



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE
MÉXICO**



**FACULTAD DE PLANEACIÓN URBANA Y
REGIONAL**

DOCTORADO EN URBANISMO

TESIS

**ANÁLISIS DE PROBLEMÁTICAS AMBIENTALES A TRAVÉS DE
LA CARTOGRAFÍA PARTICIPATIVA (CP) EN LA ZONA DE
SACRIFICIO DE LA REGIÓN TULA DEL VALLE DEL MEZQUITAL
(RTVM), HIDALGO**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE DOCTOR EN URBANISMO

PRESENTA

M. EN C.S. EBER MARTÍNEZ JIMÉNEZ

COMITÉ TUTORIAL

D. EN C.A. CARLOS ALBERTO PÉREZ RAMÍREZ

D. EN U. JUAN ROBERTO CALDERÓN MAYA

D. EN C. BELINA GARCÍA FAJARDO

TOLUCA, MÉXICO

ABRIL, 2026

Índice

Resumen	9
Abstract	10
Introducción	12
Diseño de la investigación	16
Capítulo 1. Marco teórico conceptual para el abordaje de problemáticas ambientales	29
1.1. Sistemas Socioecológicos.....	29
1.1.1. Orígenes de los SSE	29
1.1.2. Antecedentes de los SSE	32
1.1.3. Conceptualización y representaciones de los SSE	35
1.1.4. Sistemas urbanos en la conceptualización del SSE.....	37
1.1.5. Experiencias empíricas de SSE urbanos	38
1.1.6. Elementos para el análisis del SSE	40
1.2 Investigación acción participativa	43
1.2.1. Nociones conceptuales y elementos constitutivos	43
1.2.2. Aplicación de la IAP en procesos participativos.....	46
1.3 Diagnóstico participativo.....	47
1.3.1. Conceptualización y pautas para su abordaje.....	47
1.3.2 Diagnóstico ambiental comunitario	49
1.4 Cartografía participativa	49
1.4.1. Antecedentes de la cartografía participativa para los estudios sociales	50
1.4.2. Enfoques de la cartografía participativa.....	51
1.4.3. La cartografía participativa para el análisis de estudios de caso.....	53
1.5 Sistemas de Información Geográfica (SIG).....	56
1.5.1. SIG y aplicaciones.....	56
1.5.2. SIGs y proyectos participativos en materia ambiental	57
1.6 Zonas de sacrificio.....	60

1.6.1. Aproximaciones conceptuales.....	60
1.6.2. Caracterización de las zonas de sacrificio.....	63
1.6.3. Zonas de sacrificio y Sistemas Urbanos.....	66
1.6.4. Actores ligados a las zonas de sacrificio.....	68
1.7. Emergencias socioecológicas	72
Capítulo 2. Marco referencial de los SSE y la CP	74
2.1. Sistemas Socioecológicos.....	75
2.1.1. Sistemas Socioecológicos de un río al noreste de Siberia, Rusia.....	75
2.1.2. Gestión de servicios ecosistémicos en la cuenca Murray-Darling, Australia	77
2.1.3. Conflictos ambientales en sistemas socioecológicos: Motilón y Carrizo, Colombia	79
2.1.4. Análisis de compensaciones en el borde de una reserva forestal en el gradiente rural-urbano de Bogotá.....	81
2.1.5. Configuración de los sistemas socio-ecológicos en zonas metropolitanas: Yucatán, México	83
2.1.6. Respuesta del sistema socioecológico en la región subcuenca baja Rio Sonora, México.....	86
2.2. Cartografía Participativa.....	89
2.2.1. Evaluación de los servicios ecosistémicos mediante mapeo participativo, en Khorasan del Norte, Irán	89
2.2.2. Mapeo de sistemas participativos para la evaluación de políticas energéticas complejas, Reino Unido	91
2.2.3. Cartografía social y planeación territorial en Robles, Colombia	94
2.2.4. Cartografía social como metodología participativa y colaborativa, cuenca alta del río Cauca, Colombia.....	96
2.2.5. Mapeo participativo como herramienta de análisis en áreas agrícolas, Atacama, Chile	99
2.2.6. Diagnóstico ambiental de tres comunidades mayo, Sonora.....	101
2.3. Enfoques para el análisis de problemáticas ambientales	104
Capítulo 3. Metodología para el análisis de problemáticas ambientales a través de la CP.....	109
3.1. Esquema de la propuesta teórica	110
3.2. Etapas metodológicas	112
3.3. Instrumentos para el análisis de problemáticas ambientales	122

3.4. Relación de criterios e instrumentos de análisis.....	127
3.5. Caracterización del SSE	137
3.5.1. Cartografía Participativa para la caracterización de SSE.....	137
3.5.2. Articulación de los instrumentos para la caracterización del SSE	139
Capítulo 4. Resultados de la investigación en la RTVM.....	143
4.1. Análisis de las problemáticas ambientales regionales en la zona de estudio.	143
4.1.1. Diagnóstico ambiental comunitario	143
4.1.2. Cartografía participativa.....	145
4.1.3. Análisis de las problemáticas ambientales regionales en la zona de estudio	151
4.1.4. Patrones identificados en la RTVM	161
4.2. Matriz de seguimiento de problemáticas ambientales (MSPA).	164
4.3. Incidencias de problemáticas ambientales en la RTVM	165
4.4. SSE de la Región Tula del Valle del Mezquital, Hidalgo.	167
4.5. Elementos de perturbación del SSE de la RTVM	175
4.6. Zona de sacrificio de la región Tula	177
Discusión general	179
Conclusiones.....	183
Referencias	187
Anexos.....	207
A1. Glosario de indicadores y emergencias socioambientales.....	207
Emergencias-socioambientales	209
A2. Producción asociada al proyecto de investigación	212
Artículos científicos	212
Estancia de investigación	215
Ponencias en eventos académicos	216
Cursos de actualización disciplinaria	221
Actividades de retribución social	225
Figura 1. Evolución de las problemáticas ambientales en la RTVM	21
Figura 2. Esquema conceptual del sistema socioecológico.....	34

Figura 3. Esquema del sistema socioecológico	36
Figura 4. Esquema del Sistema Socioecológico, RTVM	41
Figura 5. Esquema de relación entre dos sistemas urbanos y una zona de sacrificio.....	67
Figura 6. Pentágono de los actores de las políticas ambientales	68
Figura 7. Dinámicas entre los actores sociales y las zonas de sacrificio.....	69
Figura 8. Enfoques para el análisis de problemáticas ambientales.....	108
Figura 9. Esquema de la propuesta teórica de la investigación	110
Figura 10. Esquema metodológico de investigación	112
Figura 11. Esquema metodológico para la caracterización del SSE	139
Figura 12. Diagrama de relación para el análisis de problemáticas ambientales	141
Figura 13. Diagrama de relación entre problemáticas ambientales.....	162
Figura 14. Número de conflictos socioambientales en la RTVM	165
Figura 15. Elementos de perturbación del SSE de la RTVM.....	176
Figura 16. Elementos de las emergencias socioambientales	210
Figura 17. Elementos de las emergencias socioecológicas	211
Tabla 1. Ficha de análisis, Mustonen y Shadrin (2021)	76
Tabla 2. Ficha de análisis, Bryan et al. (2010)	78
Tabla 3. Ficha de análisis, Maya-Rivera (2019).....	80
Tabla 4. Ficha de análisis, Osorno-Acosta y Corrales-Roa (2018)	82
Tabla 5. Ficha de análisis, Rodríguez-Robayo et al. (2020).....	85
Tabla 6. Ficha de análisis, De la Torre y Moreno (2019).....	87
Tabla 7. Ficha de análisis, Karimi y Raymond (2022).....	90
Tabla 8. Ficha de análisis, Barbrook-Johnson y Penn (2021)	93
Tabla 9. Ficha de análisis, González (2020).....	95
Tabla 10. Ficha de análisis, Vélez et al. (2012).....	98
Tabla 11. Ficha de análisis, González-Pacheco et al. (2019)	100
Tabla 12. Ficha de análisis, Sampedro et al. (2014).....	103
Tabla 13. Enfoques de análisis identificados entre SSE y CP.....	106
Tabla 14. Fuentes de la información para caracterizar el estado del agua de la RTVM	117
Tabla 15. Fuentes de la información para caracterizar el estado del aire de la RTVM.....	118

Tabla 16. Fuentes de la información para caracterizar el estado del suelo de la RTVM ...	120
Tabla 17. Cronograma de talleres en la RTVM.....	124
Tabla 18.. Relación de criterios para el análisis de problemáticas ambientales.....	128
Tabla 19. Matriz de dimensiones y métodos para el análisis en agua	128
Tabla 20. Matriz de dimensiones y métodos para el análisis en aire.....	129
Tabla 21. Matriz de dimensiones y métodos para el análisis en suelo	130
Tabla 22. Resultados de los indicadores para el análisis en agua, descargas	131
Tabla 23. Resultados de los indicadores para el análisis en agua, aprovechamientos	132
Tabla 24. Resultados de los indicadores para el análisis en agua, infraestructura	132
Tabla 25. Resultados de los indicadores para el análisis en agua, saneamiento	133
Tabla 26. Resultados de los indicadores para el análisis en agua, abastecimiento.....	133
Tabla 27. Resultados de los indicadores para el análisis en aire, emisiones	135
Tabla 28. Resultados de los indicadores para el análisis en aire, monitoreo.....	136
Tabla 29. Resultados de los indicadores para el análisis en aire, monitoreo.....	136
Tabla 30. Criterios para la construcción de la MSPA	164
Tabla 31. Número y tipos de alteraciones en el SSE, RTVM	166
Tabla 32. Indicadores para la caracterización cartográfica del SSE, agua	169
Tabla 33. Indicadores para la caracterización cartográfica del SSE, aire.....	172
Tabla 34. Indicadores para la caracterización cartográfica del SSE, suelo	174
Mapa 1. Zonificación de la región de estudio	20
Mapa 2. Diagnóstico Ambiental Comunitario de la localidad de San Marcos, Tula de Allende, Hidalgo.....	152
Mapa 3. Diagnóstico Ambiental Comunitario del municipio de Atitalaquia, Hidalgo, 2024	154
Mapa 4. Diagnóstico Ambiental Comunitario del municipio de Atotonilco, Hidalgo, 2024	156
Mapa 5. Diagnóstico Ambiental Comunitario de la localidad de Santa María de Apaxco, México, 2024	158
Mapa 6. Cartografía regional de las problemáticas ambientales en la RTVM, 2024.....	161
Mapa 7. Sistema Socioecológico de la RTVM, dimensión agua	168

Mapa 8. Sistema Socioecológico de la RTVM, dimensión aire.....	171
Mapa 9. Sistema Socioecológico de la RTVM, dimensión suelo	173
Foto 1. Cartografía participativa de la comunidad de Santa María de Apaxco.....	147
Foto 2. Cartografía participativa de la comunidad de Ocampo, grupo 1.....	148
Foto 3. Cartografía participativa de la comunidad de Ocampo, grupo 2.....	149
Foto 4. Mapeo verde diagnóstico Tula de Allende, RTVM.....	150
Foto 5. Mapeo verde diagnóstico de Atitalaquia, RTVM	151

“Un investigador-activista comprometido no va a desear, ni ahora ni en el futuro, ayudar a las élites y clases oligárquicas que han acumulado poder y conocimiento con un irresponsable espíritu de corta visión y craso egoísmo.”

Romper el monopolio del conocimiento.

Mohammed Anisur Rahman.

Resumen

La Región Tula del Valle del Mezquital (RTVM), ha presentado en las últimas décadas una serie de procesos acelerados de industrialización, urbanización y desterritorialización, que han enmarcado a la región en una zona de sacrificio debido al daño ambiental, la violencia ejercida por el capital, las injusticias socioambientales y devastación del paisaje. Esta zona es una de las más impactadas a nivel internacional, dada su condición de contigüidad entre territorios, elementos geográficos y fuentes contaminantes. Las complejas problemáticas ambientales de la región han llegado a un punto crítico de alteración del sistema socioecológico (SSE), debido a décadas de contaminación ambiental intensa y laxa regulación, esto ha situado la atención de instituciones, organizaciones y colectivos sociales en la denuncia, intervención y estudio de las problemáticas ambientales en la zona. Sin embargo, los esfuerzos para visibilizar y resarcir los estragos de esta crisis ambiental han sido trasladados a un enfoque tecnócrata trazado por el Estado y las agencias ambientales así como los grupos de interés político y económico presentes en la región. Ante este escenario, es necesario analizar las problemáticas ambientales vigentes desde un enfoque comunitario y de co-creación colectiva, lo que posibilita examinar las diferentes dimensiones de disrupción (agua, aire y suelo) a partir de metodologías participativas, como el diagnóstico ambiental, el mapeo verde y la cartografía participativa, además del uso de métodos combinados (cualitativos-cuantitativos), tales como las matrices de registro documental y de operacionalización de variables-indicadores, así como Sistemas de Información Geográfica (SIG). Lo anterior, facilitó la identificación de patrones, elementos de incidencia y perturbación de la configuración actual de la región de sacrificio y del SSE, considerando un periodo de estudio que abarca los principales sucesos ocurridos entre la década de 1970 a 2023, permitiendo el reconocimiento de elementos principales de interacción entre los sistemas naturales, sociales y urbanos, por ejemplo los sistemas aguas, las emisiones de contaminantes a la atmósfera, el estado de la biodiversidad, las modificaciones en las actividades económicas y cambios de usos de suelo, causantes de las principales problemáticas ambientales en RTVM. Esto llevó a la conclusión de que en la región existe una crisis socioecológica que atañe principalmente a la dimensión del agua, sin embargo trasciende hacia las demás dimensiones (aire y suelo), generando en conjunto condiciones de

fragmentación crítica del sistema sociológico hacia un ecosistema de mosaico caracterizado por un estado de insustentabilidad, derivado del predominio de actividades industriales y procesos urbanos.

Palabras clave: Cartografía participativa, sistemas socioecológicos, diagnóstico ambiental, zonas de sacrificio, problemáticas ambientales

ANALYSIS OF ENVIRONMENTAL PROBLEMS THROUGH PARTICIPATORY MAPPING (PM) IN THE SACRIFICE ZONE OF THE TULA REGION OF THE MEZQUITAL VALLEY (RTVM), HIDALGO

Abstract

The Tula Region of the Mezquital Valley (RTVM) has undergone accelerated processes of industrialization, urbanization, and deterritorialization in recent decades, relegating the area to a sacrifice zone due to environmental degradation, the violence of capital, socio-environmental injustices, and landscape devastation. This region is among the most severely impacted internationally, given its contiguous territories, geographical features, and multiple sources of pollution. The region's complex environmental problems have reached a critical point, disrupting the socio-ecological system (SES) after decades of intense pollution and weak regulations. As a result, institutions, organizations, and social groups have focused their efforts on denouncing, intervening, and studying the environmental issues affecting the area. However, attempts to expose and remedy the consequences of this crisis have largely been reduced to a technocratic approach designed by the State and environmental agencies, as well as the political and economic interest groups operating in the region. In this context, it is necessary to analyze environmental problems through a community-based approach of collective co-creation, for the examination of different dimensions of disruption (water, air, and soil) using participatory methodologies, such as environmental diagnosis, green mapping, and participatory cartography, as well as combined (qualitative-quantitative) methods, such as documentary matrices and the operationalization of variables and indicators, and Geographic Information Systems (GIS). This facilitated the identification of patterns, elements of influence, and disturbances to the current configuration of the sacrifice

zone and the SES, considering a study period that encompasses the main events occurring between the 1970s and 2023. This allowed for the recognition of key elements of interaction between natural, social, and urban systems, such as water systems, atmospheric pollutant emissions, biodiversity status, modifications in economic activities, and changes in land use, which are the causes of the main environmental problems in RTVM. This led to the conclusion that the region is experiencing a socio-ecological crisis that primarily concerns the water dimension but also transcends to other dimensions (air and soil), collectively generating conditions of critical fragmentation of the sociological system towards a mosaic ecosystem characterized by a state of unsustainability, derived from the predominance of industrial activities and urban processes.

Key words: Participatory mapping, socio-ecological systems, environmental diagnosis, sacrifice zones, environmental problems

Introducción

La expansión urbana es un fenómeno que exige la participación de diversos actores responsables del manejo de recursos sociales, económicos y ambientales; en términos de ocupación territorial representa una fragmentación de otros usos y coberturas, así como una segmentación del suelo urbano (Larrazábal, Gopar-Merino y Vieyra., 2014). Las ciudades ejercen una influencia significativa sobre el entorno, tanto a una escala global como local. Esto se manifiesta en primer lugar, en la ocupación y transformación del espacio, y segundo, en la necesidad de importar grandes volúmenes de alimentos y recursos hídricos (Palang, Spek y Stenseke, 2011), lo que conlleva a que las ciudades dependan de otros subsistemas para el cumplimiento de sus funciones y dinámicas socioeconómicas (Larrazábal, Gopar-Merino y Vieyra., 2014).

El crecimiento de las ciudades, resultado de una serie de procesos como la incorporación y reclasificación de territorios que se localizan en las periferias, generan impactos que afectan la proporción y conectividad de los ecosistemas, así como la reorganización social (Batisani y Yarnal, 2009; Lambin *et al.*, 2001). En México, los procesos de expansión urbana y su intensidad están vinculados con la posición jerárquica de las ciudades, siendo las grandes y medianas urbes en donde se presenta principalmente un crecimiento poblacional acelerado acompañado de una creciente demanda de vivienda y servicios urbanos (Dredge, 1995).

En la Región Tula del Valle del Mezquital (RTVM), los procesos acelerados de industrialización y extracción, así como las externalidades de una metrópoli extendida como la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), han generado disrupciones entre sistemas, tal es el caso de la modificación del ambiente y de los modos de vida de las poblaciones, las cuales se han movilizad para denunciar los atropellos a los derechos humanos y la falta de justicia ambiental (Carrasco-Gallegos, 2017b), que en las últimas tres décadas han dejado precedentes de una crisis ambiental abrumadora.

En esta región, se presenta un fenómeno de industrialización y de diseño del Estado, que de manera histórica ha modelado el territorio en una zona de sacrificio, la más grande a nivel internacional, debido a las diversas fuentes de contaminación altamente peligrosas que se encuentran de manera contigua en los territorios demarcados para recibir y sacrificarse en

aras del progreso y de interés capitalistas (Lerner, 2010; Lopes de Souza, 2020). En este espacio, las problemáticas ambientales se han acrecentado a causa de una laxa regulación, influencia de grupos de poder en la configuración territorial y falta de compromiso político para implementar alternativas viables a la realidad ambiental que enfrenta la zona de sacrificio de Tula.

Esta crisis ambiental no solo se limita a la RTVM, si no a otras latitudes de México como en Guanajuato, Jalisco, Tlaxcala, Puebla y Veracruz, lo que ha generado la intervención del Estado a través de la conformación de Regiones de Emergencia Sanitaria y Ambiental (RESA), integradas por municipios que concentran diversas problemáticas ecológicas. En estos territorios, las afectaciones socioecológicas se han intensificado debido a la exposición constante a múltiples fuentes de contaminación (Barreda, 2020; Ortiz-Espejel, 2020; SEMARNAT, 2020).

Mediante las RESAS, se han llevado a cabo diagnósticos técnicos de las problemáticas ambientales en las diferentes zonas de atención. En este contexto se han conceptualizado términos como *infiernos ambientales* (Toledo-Manzur, 2019) y *territorios de sacrificio* (Muñoz, 2021), los cuales se articulan con el concepto de *zonas de sacrificio*, definidas como áreas donde el daño por la actividad económica humana produce efectos irreversibles, especialmente de las formas nocivas de extracción (De Bruyn, 2023).

Las zonas de sacrificio se han abordado en dos genealogías, una vinculada a los procesos de recategorización de los territorios, en contextos donde el Estado impone el sacrificio a los territorios y poblaciones, y otra vinculada a los movimientos por la justicia ambiental, de lucha y resistencia de comunidades expuestas a procesos de degradación ambiental en zonas de concentración de actividades industriales (Martínez-Alier, 2004; Astudillo Pizarro *et al.*, 2024), ambas genealogías surgieron entre la década de los setenta y ochenta.

Este concepto ha evolucionado respecto a los marcos de análisis críticos contemporáneos vinculados a la ecología política y geografía ambiental (Latour, 2014), sin embargo, el término aborda nociones más amplias que el *sacrificio* y *extractivismo*, por lo que la complejidad del concepto requiere el análisis particular de los casos y contextos (De Bruyn, 2023) que se presentan en las distintas latitudes. Debido a la heterogeneidad de las problemáticas ambientales en la RTVM, como la concentración de industrias, presencia de

minería a cielo abierto, agricultura intensiva, aguas residuales de origen urbano e industrial, mala gestión de residuos y pérdida de biodiversidad, es necesario recurrir al marco de los sistemas socioecológicos (SSE) para examinar las dinámicas que designan a la región en una zona de sacrificio, además de identificar los elementos causantes de esta situación ambiental.

Los SSE, entendidos como el entramado de relaciones que existen entre los subsistemas de un territorio, medio ambiente y población que habita en este, vinculados generalmente con los recursos naturales y sociales (Ostrom, 2009; Urquiza-Gómez y Cadenas, 2015), suman una parte significativa para la comprensión de las problemáticas ambientales, pues permiten definir características como las interrelaciones entre unidades de recursos, funciones internas entre subsistemas, y transformaciones en el medio físico.

Para articular este marco, con un enfoque comunitario, fue necesario el diseño de un modelo teórico en función de un proceso empírico que permitió la integración de elementos como la investigación acción participativa (IAP), los diagnósticos ambientales comunitarios y la cartografía participativa. La metodología implementada incluyó el uso de estas herramientas metodológicas participativas junto con el mapeo verde y dos matrices de análisis complementarias, una de registro documental nombrada como Matriz de Seguimiento de problemáticas Ambientales (MSPA) y otra de indicadores relacionados con la caracterización del SSE denominada como Matriz de Operacionalización de Variables (MOV).

El uso de métodos combinados permitió complementar el análisis de la problemática de estudio, además de desarrollar una metodología esencial en los estudios sobre las caracterizaciones del SSE, pues comúnmente se parte de un proceso técnico que se contrasta con la realidad de estudio, por lo que esta investigación parte de manera inversa teniendo como antecedentes años de rapport previo y soporte comunitario en la región desde 2009, posibilitando la caracterización del SSE desde otra distribución y vinculación con las problemáticas ambientales.

Lo anterior, llevo a la conclusión de que la región tiene una crisis socioecológica que atañe principalmente la dimensión del agua, sin embargo trasciende hacia las demás dimensiones, en aire y suelo, generando en conjunto condiciones de fragmentación crítica del sistema sociológico hacia un ecosistema de mosaico, caracterizado por un estado de insustentabilidad, derivado del predominio de actividades industriales y procesos urbanos, por lo que es necesario complementar los estudios de las problemáticas ambientales con

enfoques de análisis que integren a la ecología política, epidemiología, geografía histórica y del paisaje, así como diagnósticos y monitoreos fundamentales para generar propuestas orientadas a reducir la degradación ambiental.

Para facilitar el abordaje de esta investigación, el contenido de este documento se divide en los siguientes siete apartados. En el primero se presentan las características del estudio, este se encuentra titulado como diseño de la investigación, en el cual se describen los antecedentes, la descripción del problema, preguntas de investigación, hipótesis, objetivos generales-específicos, y justificación. El segundo está constituido por el capítulo dedicado al marco teórico conceptual para el abordaje de las problemáticas ambientales, este incluye una sección sobre los sistemas socioecológicos, investigación acción participativa, cartografía participativa, sistemas de información geográfica, zonas de sacrificio y emergencias socioecológicas. El tercero, está compuesto por el marco referencial dividido en casos de estudio vinculantes con los SSE y la cartografía participativa, tomando en cuenta dos casos para cada rubro en el contexto internacional, latinoamericano, y nacional. El cuarto está dedicado a la metodología del estudio, este se encuentra distribuido por el esquema de la propuesta teórica, etapas metodológicas, instrumentos de análisis, relación entre criterios e instrumentos y caracterización del SSE. En el quinto se encuentra la sección de resultados del estudio, estos están integrados por el análisis de las problemáticas ambientales, matriz de seguimiento, incidencias de las problemáticas, sistema socioecológico de la RTVM, elementos de perturbación del SSE, zona de sacrificio de Tula, discusión general y conclusiones. Finalmente, el sexto apartado corresponde a las referencias y el séptimo a los anexos, este último se divide en glosario de indicadores-emergencias socioambientales, producción asociada al proyecto de investigación, en el que se incluyen, artículos científicos, estancias de investigación, ponencias, eventos académicos, cursos de actualización disciplinaria, además de actividades de retribución social desarrolladas durante el periodo (2023-2025) de la investigación.

Diseño de la investigación

Para el análisis de las problemáticas ambientales regionales, es posible recurrir a marcos teóricos como los Sistemas Socioecológicos (SSE), los cuales permiten comprender la relación entre medio ambiente y sociedad, y han sido planteados desde múltiples perspectivas. Urquiza-Gómez y Cadenas (2015) refieren que las perspectivas más importantes han sido aquellas que provienen de las tradiciones sistémicas, particularmente del enfoque de los sistemas complejos adaptativos (Buckley, 1968; Holland, 1992, 2006; Gell-Mann, 1994; Gunderson y Holling, 2002). Dentro de esta perspectiva se ubican los sistemas socioecológicos, los cuales han sido ampliamente desarrollados y discutidos por diversos autores (Holling, 2002; Norberg y Cumming, 2008; Ostrom, 2009; Rappaport, 1997).

De lo anterior, destacan las siguientes aportaciones empíricas analizadas por Gain *et al.* (2020) en *The Topical Collection*, para analizar los SSE desde el enfoque de la sostenibilidad en diferentes escalas, métodos y herramientas innovadoras disponibles actualmente.

En una investigación en la delta de Bangladesh (Hossain *et al.*, 2020), se aplicó el concepto de sistemas socioecológicos complejos para explorar la relación entre la disponibilidad del agua con la producción agrícola, pesquera y forestal. En esta investigación se desarrollaron modelos de dinámica de sistemas conceptuales y se identificaron ciclos de retroalimentación para los subsistemas ecológicos y sociales, esto con el fin de capturar las propiedades dinámicas para la sostenibilidad a largo plazo y el bienestar humano. También se exploraron las relaciones entre los umbrales biofísicos y los impactos sociales que pueden poner en riesgo la resiliencia.

De diferente manera, Adams *et al.* (2020) abordan los diferentes sistemas socioecológicos de la región costera del delta de Bangladesh para examinar la relación entre los servicios ecosistémicos y la pobreza. Esta investigación utilizó como métodos encuestas en hogares a gran escala y se analizaron las variables con modelos logísticos. Esta investigación permitió analizar la contribución económica del suministro de servicios ecosistémicos a los medios de vida de los hogares, los sistemas socioecológicos que producen

servicios ecosistémicos y la riqueza material frente a satisfacción con la vida informada.

Por otra parte, en una investigación al sur de Malawi, el marco de los sistemas socioecológicos es utilizado por Balbi *et al.* (2020) para explorar el papel de las características conductuales de los agentes humanos, esto con el fin de impulsar resultados en contextos de seguridad alimentaria. En esta investigación se utilizó un modelo de teoría de juegos que simula las estrategias de cultivo. El resultado de este estudio muestra que la cooperación solo se da si la comunidad converge en opciones de plantación de cultivo similares.

En el contexto Latinoamericano, en Bogotá, en un estudio realizado por Ramírez-Hernández (2009), se empleó el marco de los sistemas socioecológicos para reconocer de forma integral los conflictos ambientales en dos casos de estudio: en Cerros Orientales y la cuenca del río Tunjuelo. En esta investigación, se utilizaron tres tipos de fuentes: la primera, información social, derivada de los actores involucrados, la segunda, información biofísica, vinculada a variables ambientales, y finalmente, información geográfica-cartográfica, obtenida a través de mapas, imágenes de satélite y ortofotos. Como resultado se formularon propuestas gestadas desde los propios movimientos sociales, las cuales contribuyeron al ordenamiento territorial y a la elaboración de políticas públicas.

En otro trabajo previo desarrollado por Osorno-Acosta y Corrales-Roa (2018) en el límite urbano-rural de Bogotá, perteneciente a la microcuenca de San Cristóbal, se aplicó el marco de los sistemas socioecológicos para comprender las dinámicas del sistema de aprovisionamiento de agua, su estado actual y la gestión de los servicios sistémicos. En esta investigación se utilizó el método Problema, Actores, Recurso, Dinámicas, Interacciones (PARDI) para modelar de forma participativa las dinámicas socioecológicas, además de grupos focales, entrevistas y talleres. El resultado de este estudio se enfocó en la importancia de las decisiones que toman los actores con la prestación del servicio cuando el sistema socioecológico entra en crisis.

En México, uno de los casos de estudio más relevante para el análisis integral de los sistemas socioecológicos es el de los servicios ecosistémicos que se encuentran en el bosque tropical seco en la Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala. En esta investigación,

realizada por Cerón- Hernández *et al.* (2019), se establecieron cinco cuencas experimentales para el estudio del funcionamiento del ecosistema, posterior a esto, se analizó como el bosque es transformado en campos agrícolas y pecuarios, para finalmente analizar la conservación desde la perspectiva de los pobladores locales. El resultado de este estudio generó una síntesis sobre los servicios ecosistémicos que este sistema socioecológico ofrece

Por otro lado, Rodríguez-Robayo *et al.* (2020), realizaron un estudio en la zona metropolitana de Mérida, Yucatán, donde se analizó la configuración actual de los sistemas socioecológicos en ocho municipios. En esta investigación se emplearon entrevistas a actores clave, revisión bibliográfica e integración cartografía regional como métodos para analizar la configuración de los sistemas en los municipios. Como resultado, se diferenciaron dos sistemas que aportan servicios ecosistémicos de relevancia para la ciudad, el primero localizado en la zona norte, el cual se caracteriza por actividades vinculadas con la pesca, apicultura y turismo, y el otro situado al sur, asociado principalmente con la apicultura y agricultura de temporal.

Por otra parte, la cartografía participativa entendida como la construcción colectiva de mapas para poder comprender los procesos históricos de un territorio (Andrade, 2001; FIDA, 2009; Warner, 2015), es una herramienta que puede ser empleada en distintos ámbitos como el mapeo de actores, salud, movilidad, seguridad hídrica, prevención del crimen, monitoreo ambiental y evaluación participativa (Chambers, 2006).

Algunos estudios realizados en el país, como los de McCall y Álvarez (2020), los cuales presentan una guía sobre mapeo participativo y cartografía social para profesores y estudiantes del ámbito académico; Velázquez-Quesada *et al.* (2019), con un visualizador cartográfico sobre el sistema eléctrico de Centroamérica como punto de partida de un proyecto de cartografía colaborativa; Martínez-Rico (2018), con el análisis espacial de la criminalización hacia los activistas ambientales en México; Ramos-Viera (2007), con el uso de la cartografía participativa como herramienta para la conservación ambiental en comunidades indígenas de la Huasteca Potosina, así como en otros estudios impulsados por Organizaciones No Gubernamentales (Salguero, 2018; Geocomunes, s.f.a), han demostrado el alcance y el uso de esta técnica para analizar distintas problemáticas, entre ellas destacan el despojo de tierras, feminicidios, megaproyectos, impactos ambientales, criminalización a activistas, y diversas formas de violencia.

De los estudios antes mencionados, varios han sido utilizados para examinar las problemáticas en diferentes contextos y escalas: local, regional, internacional, rural, urbano, comunidad. De los trabajos más relevantes predominan los que han abordado las temáticas ambientales y sociales, destacando los casos de defensa del territorio y de justicia ambiental. No obstante, a pesar de estas valiosas contribuciones, no se identifican trabajos que exploren los sistemas socioecológicos y la cartografía participativa en conjunto para el análisis de problemáticas ambientales afectadas por diversas fuentes de contaminación, como el caso de la región que conforman los municipios de Tula De Allende, Atitalaquia, Atotonilco de Tula y Apaxco de Ocampo, México.

En México, el incremento de las problemáticas ambientales y las afectaciones en distintos territorios ha conducido a la delimitación de Regiones de Emergencia Sanitaria y Ambiental (RESA). Estas áreas se establecieron a partir de la colaboración entre equipos de investigación de instituciones nacionales y colectivos comunitarios que habitan en las zonas afectadas. Las RESAS agrupan diversos municipios caracterizados por la presencia de conflictos ambientales de distinta naturaleza, donde se ha presentado un incremento de incidencias socioecológicas derivadas de la exposición a múltiples fuentes de contaminación (Barreda, 2020; Ortiz-Espejel, 2020; SEMARNAT, 2020).

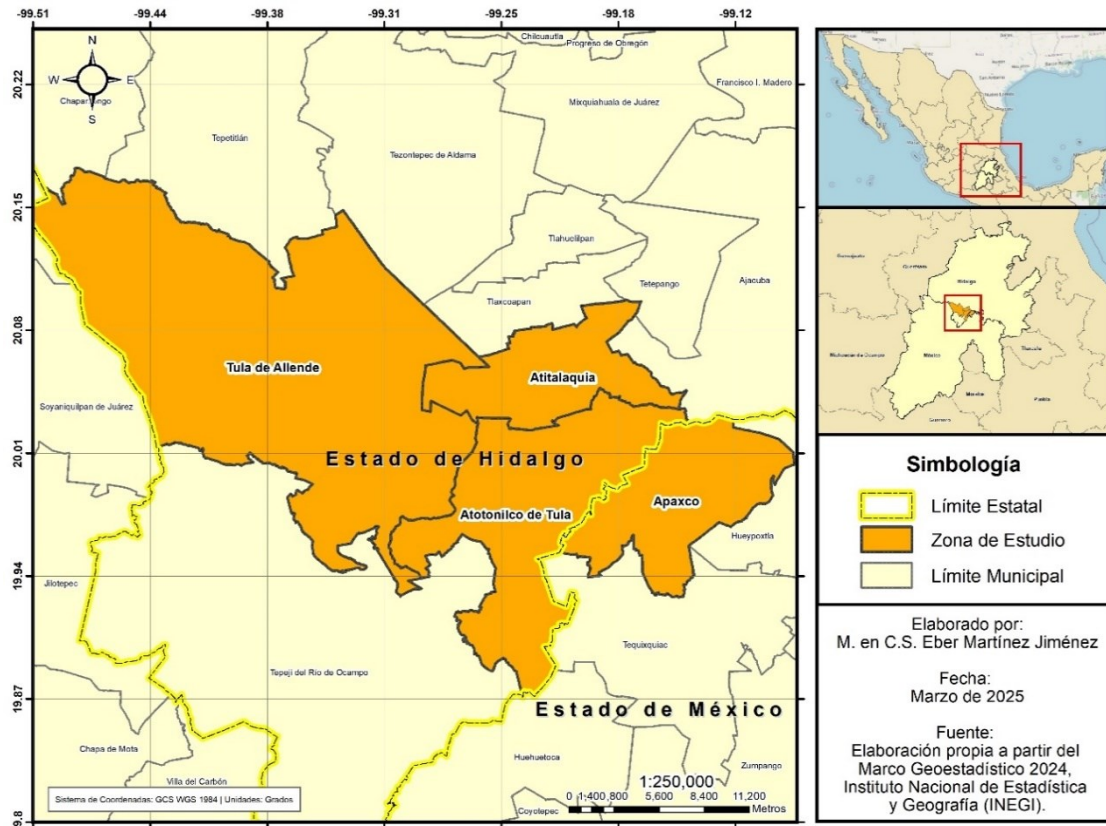
En los municipios núcleo de la RESA del Valle del Mezquital sur, conformados por Tula de Allende, Atitalaquia, Atotonilco de Tula y Apaxco de Ocampo, definidos a partir del proyecto de investigación Pronaii 318998¹, se han presentado una serie de procesos urbanos como la expansión periurbana de las zonas metropolitanas de la ciudad de México, Pachuca y Tula, el incremento de los desarrollos inmobiliarios de carácter especulativo y de parques industriales en la periferia de estas zonas, lo cual ha generado cambios drásticos en los usos de suelos de las regiones cercanas a la principal metrópoli (Ciudad de México).

Dado el nivel de jerarquía con las tres zonas metropolitanas, en este estudio definimos la zona como Región Tula del Valle del Mezquital (RTVM), compuesta por los municipios

¹ La RESA vinculada al proyecto “Evaluación de riesgo para la salud humana por agentes tóxicos de origen antrópico como herramienta de empoderamiento social. Región Estratégica Ambiental: Norte del Estado de México y Zona Tula, Hidalgo”, está compuesta por los municipios de: Estado de México: Nextlalpan, Tecámac, Zumpango, Melchor Ocampo, Tepotzotlán, Huehuetoca, Coyotepec, Tequixquiac, Apaxco, Teoloyucan. En el Estado de Hidalgo: Tizayuca, Tepeji del Río, Tolcayuca, Atotonilco de Tula, Atitalaquia y Tula de Allende. La zona se definió mediante el análisis territorial respecto a la composición urbana, exposición a fuentes de contaminación industrial y la presencia de grupos comunitarios organizados (Carrasco-Gallegos *et al.*, 2021).

de Tula de Allende, Atitalaquia, Atotonilco de Tula, localizados en los límites sur del Estado de Hidalgo y Apaxco de Ocampo, en el límite norte del Estado de México (véase Mapa 1), debido a que existen dinámicas de excreción-extractivas que ocurren a nivel regional, además de que se comparten elementos geográficos contiguos e infraestructura.

Mapa 1. Zonificación de la región de estudio

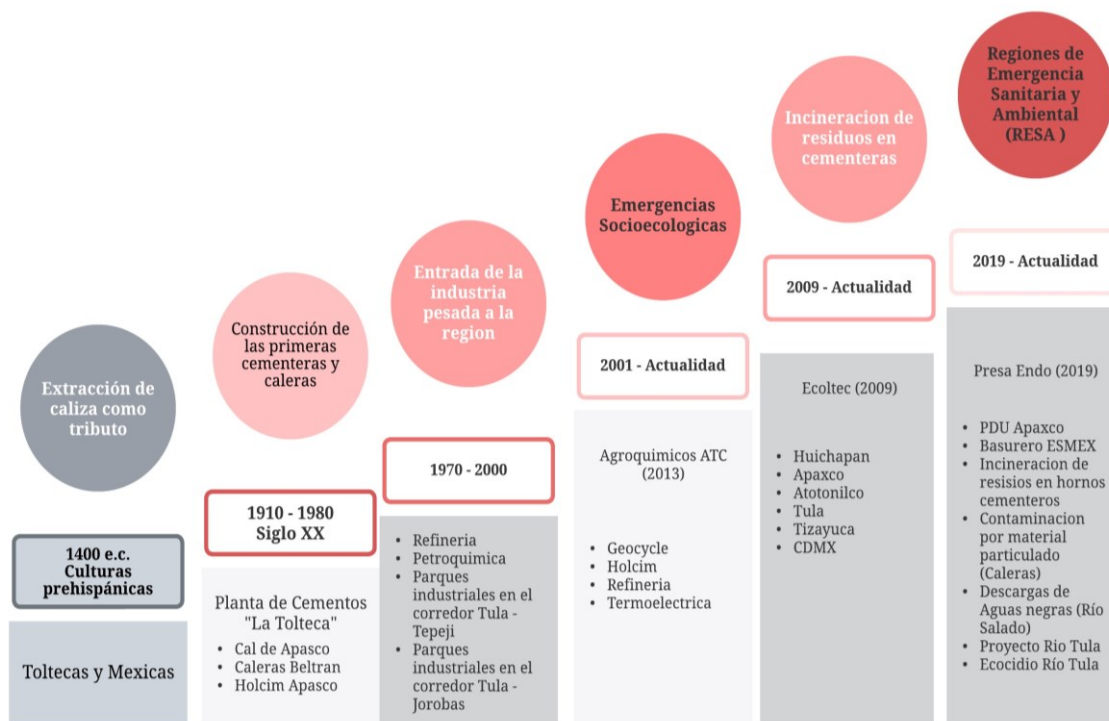


Fuente. Elaboración propia, 2025.

La contaminación ambiental en esta región tiene un carácter histórico (véase Figura 1), dado que desde inicios del siglo XX se establecieron las primeras cementeras y caleras, además de que el área ha sido reconocida como un enclave de caliza utilizado por culturas prehispánicas, como la tolteca y mexica (Cruz-Jiménez, 2011; INAFED, 2010). A partir de la segunda mitad del siglo XX la expansión de la industria pesada ha intensificado la degradación ambiental junto con el avance de la urbanización, el desarrollo nacional y la

adopción del neoliberalismo, mismos que continúan incidiendo en los territorios de la RTVM y las zonas metropolitanas adyacentes.

Figura 1. Evolución de las problemáticas ambientales en la RTVM



Fuente. Elaboración propia con base en Álvarez Orozco (2017); Cruz-Jiménez (2011); INAFED (2010).

Por lo anterior, la ubicación de la RTVM presenta rasgos característicos de lo que Lopes de Souza (2020) denomina como *zona de sacrificio*, puesto que este tipo de territorios suelen situarse en las periferias de los grandes centros urbanos, y se distinguen por la concentración de actividades industriales altamente impactantes y riesgosas, lo que genera contaminación ambiental y problemas de salud.

Las principales problemáticas ambientales como la contaminación atmosférica, descarga de aguas residuales urbanas e industriales, contaminación del suelo y cuerpos de agua, mala gestión de los residuos urbanos e incineración en hornos cementeros, son solo algunas de las problemáticas de la RTVM que están ligadas principalmente con la presencia de diferentes fuentes contaminantes que irrumpen en agua, aire y suelo.

En 2019, las problemáticas ambientales de la región tomaron gran relevancia por las instituciones y agencias encargadas de los temas ambientales y normativos, derivado del problema sanitario de la presa Endho, ubicada en el municipio de Tula de Allende. Esta incidencia propicio estudios de caracterización ambiental y de la identificación de contaminantes por parte de especialistas y organizaciones sociales (Barreda, 2020). Entre las principales problemáticas ambientales se encuentra la concentración de parques industriales, intensa actividad de minería a cielo abierto, descargas de aguas residuales de origen urbano e industrial, así como el uso excesivo de agrotóxicos y mala gestión de residuos.

Las problemáticas ambientales en la Región Tula del Valle del Mezquital suman una gran cantidad de elementos que interactúan con la población y el ambiente de este territorio. Estas problemáticas empiezan a ser más visibles respecto a los casos de afectaciones y de relación con las fuentes contaminantes, develando que el equilibrio sistémico se ha quebrantado por la falta de intervención política y social.

La problemática ambiental en esta región es compleja, debido a que en los municipios se concentra una gran cantidad de industrias, además de otros factores de riesgo como un canal de aguas negras que es utilizado para las descargas industriales y el riego agrícola en la zona, la incineración de residuos en plantas cementeras, una gran cantidad de polvos provenientes de canteras de cemento y fábricas de cal (Carrasco-Gallegos *et al.*, 2017a), además de incidencias socioecológicas frecuentes.

La laxa regulación de las normativas del Estado ha generado que la región se encuentre actualmente en deterioro, sin importar las afectaciones que se tengan en la población y en el ambiente de esta zona (Carrasco-Gallegos *et al.*, 2017a), por este motivo a esta región se le ha categorizado como una zona de sacrificio (Donoso, 2017). Ante esta situación, es imperativo contar con elementos que puedan servir para identificar, analizar y registrar de las emergencias socioecológicas; por lo que, es significativo el diseño de un instrumento que se base en el diagnóstico ambiental comunitario y la cartografía participativa como principales ejes metodológicos en su construcción. Además, actualmente en la zona de estudio, no se ha diseñado proyectos que involucren el estudio y categorización de las emergencias socioecológicas.

La RTVM ha sido catalogada por científicos y activistas como una zona de sacrificio de las peores del mundo (Ramírez, 2017). La concentración de industrias y riesgos

ambientales ha generado que los territorios de la región afronten una gran cantidad de fuentes contaminantes que amenazan la salud de la población y el ambiente en una fracción reducida. Estas características, coinciden con el término que internacionalmente se ha manejado para definir las zonas de sacrificio; espacio segregado y estigmatizado, en el que la salud física y calidad de vida de los seres humanos se ven comprometida en el nombre del desarrollo económico y/o progreso, en función de los intereses capitalistas (Lopes de Souza, 2020).

En la RTVM se han presentado incidentes de diferente tipo relacionados con la contaminación de origen antropogénico y problemáticas ambientales. Entre los incidentes más relevantes por las afectaciones en la población y por el grado de movilización social, se encuentra el caso de la presa Endho, ubicada en el municipio de Tula de Allende. En la zona de comunidades ribereñas se han suscitado diversas problemáticas ambientales y de salud relacionadas con la contaminación de aguas negras provenientes de Ciudad de México (Ortiz-Espejel, 2020).

También, en el municipio de Apaxco de Ocampo, Estado de México, se han presentado incidentes con la empresa Geocycle (antes Ecoltec)² relacionados con la contaminación ambiental en agua. En un primer incidente se registró un caso de fuga de químico por los vertidos al río provenientes de la planta perteneciente a la filial Holcim; según en palabras de los vecinos de los municipios cercanos a esta este incidente, fue percibido como un olor fuerte a químico como al acrilato. En un segundo incidente de la misma empresa, que ocurrió en noviembre de 2009, perdieron la vida once campesinos tras intoxicarse al realizar faenas de limpieza en un canal de riego cercano a la instalación Geocycle, lo que detonó una fuerte movilización social para esclarecer lo ocurrido y manifestar la responsabilidad de la empresa en el caso (Carrasco-Gallegos *et al.*, 2017b).

El panorama de la contaminación en agua de la RTVM es alarmante, pues a la región se le suman otros factores de riesgo como un canal de aguas negras proveniente de la Ciudad de México (Río Salado) que es utilizado para las descargas industriales y el riego agrícola en la zona (Carrasco-Gallegos *et al.*, 2017b). Además, también se han contabilizado siete pozos

² Esta empresa se dedica a la elaboración de Combustible Derivado de Residuos (CDR), que se utiliza en los procesos de la planta cementera Holcim (Planta Apaxco). El uso de los residuos como combustible tiene un impacto en la salud ambiental y humana de las comunidades cercanas a las plantas cementeras que utilizan el CDR para sus procesos (Carrasco-Gallegos, 2017a).

de uso público urbano con presencia de plomo, arsénico, mercurio y manganeso que rebasan los límites de las normas oficiales (Ortiz-Espejel, 2020), esto con base en los estudios sobre contaminación de pozos realizados por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2018).

Respecto a la contaminación atmosférica, otro de los incidentes de relevancia ocurridos en la zona ha sido la explosión de la empresa de Agroquímicos ATC, filial de Velsimex. Este incidente se suscitó en 2013, en el municipio de Atitalaquia, lo cual provocó una nube tóxica que disparó al ambiente diferentes compuestos químicos utilizados para la elaboración de herbicidas, insecticidas y fertilizantes; este incidente requirió el resguardo de los vecinos de la zona y de la población de las localidades aledañas a la empresa (Senado de la República, 2013).

Por otra parte, en los municipios de Tula de Allende, Atotonilco, Hidalgo y Apaxco de Ocampo, México, solo en esta fracción de territorio se concentran cinco plantas cementeras: Holcim Planta Apaxco; CEMEX Planta Atotonilco; Cementos Fortaleza Planta Vito; Cementos Cruz Azul Planta Hidalgo y Cementos Fortaleza Planta Tula (CANACEM, s.f.). Estas empresas se suman a la lista de fuentes contaminantes que afectan la salud de la población y decrecen el ambiente en la zona con la emisión de partículas³ contaminantes menores a 10 micras (PM₁₀) y a 2.5 micras (PM₂₅) derivadas de la incineración de residuos en sus hornos. Aunado a esto, la zona cuenta con varias canteras de cemento y fábricas de cal que generan una gran cantidad de polvos que afectan a la población ubicada a lo largo de la región (Carrasco-Gallegos *et al.*, 2017a).

Los municipios de la zona de estudio que se encuentran en el Estado de Hidalgo, también cuentan con otras dos fuentes contaminantes atmosféricas, la refinería Miguel Hidalgo y la central termoeléctrica Francisco Pérez Ríos, estas dos instalaciones con frecuencia registran valores que exceden la Norma Oficial Mexicana NOM-022-SSA1-2019, la cual fija el parámetro máximo permitido para la concentración de dióxido de azufre (SO₂), además son consideradas como fuentes regionales dominantes de contaminación atmosférica

³ Entre estas partículas contaminantes se encuentran los compuestos orgánicos volátiles (COVS), Óxidos de nitrógeno (NOx), las partículas dibenzodioxinas policloradas (PCDD) y los dibenzofuranos policlorados (PCDF). Diversos estudios han señalado a estos compuestos como causantes de cáncer, alteraciones neurológicas, hepáticas, inmunológicas, disfunciones hormonales, esterilidad, endometriosis y alteraciones cutáneas entre otras enfermedades (ISTAS, 2002).

debido a la magnitud del flujo de SO₂ (328 ± 183 ton/día) y dióxido de nitrógeno (NO₂) (14 ± 14 ton/día) que emiten en conjunto diario (CAME, 2020;SEMARNAT, 2023).

Dentro del corredor Tula-Tepeji se concentra tres parques industriales: Parque Industrial Tula, Parque Industrial Atitalaquia y Parque Industrial QUMA. En esta zona se han observado mayores niveles de moléculas de SO₂, mediante los análisis realizados durante el año 2019 por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). Estos análisis se realizaron a través de los datos obtenidos del TROPOMI⁴ que muestran las áreas donde se encuentra mayor presencia de SO₂ (CAME, 2020).

Las problemáticas ambientales ante mencionadas se vinculan con las características de zonas de sacrificio, pues los cambios en los usos de suelo de la región han favorecido a los grupos empresariales para expandir los polígonos industriales, convenir los permisos para sus actividades, al mismo tiempo que los grupos inmobiliarios han creado zonas habitaciones de carácter especulativo, que en la mayoría de los casos se han convertido en ciudades dormitorio para los empleados de las industrias que no residen en la región.

Debido a la complejidad de las problemáticas ambientales, es importante generar estudios que permitan aportar elementos teórico-conceptuales sobre el sistema socioecológico de la región de estudio, además de elementos metodológicos del uso de la cartografía participativa como herramienta de análisis para comprender problemáticas ambientales de la región, puesto que esta técnica permite consensar de manera colectiva las problemáticas a partir del reconocimiento por parte de las comunidades, fortalecer el conocimiento comunitario e identificar los ejes de trabajo prioritarios para delinear estrategias que contribuyan a dar solución a las problemáticas vigentes.

Para tanto, en esta investigación se formuló la siguiente pregunta principal: ¿Cómo puede la cartografía participativa (CP) y los sistemas socioecológicos (SSE) contribuir al análisis, visibilización y comprensión de las problemáticas ambientales vigentes en la zona de sacrificio de la Región Tula del Valle del Mezquital (RTVM), Hidalgo? Esta pregunta se basa en un conjunto de supuestos teóricos que no buscan establecer relaciones causales deterministas, si no que responden a los vacíos epistemológicos existentes sobre la región de estudio y su complejo panorama ambiental. Dichos supuestos consideran los procesos

⁴ Instrumento de percepción remota que se encuentra a bordo de la plataforma satelital Sentinel-5, el cual tiene una resolución espacial de 3.5 km x 5.5 km. (CAME, 2020).

históricos de la configuración territorial, las interacciones entre los elementos del SSE, el valor del conocimiento local sobre los cambios socioterritoriales, la pertinencia del uso de metodologías participativas y la cartografía social, además de la utilidad del enfoque de los SSE para analizar el territorio desde múltiples dimensiones y escalas.

A partir de lo anterior, el estudio profundiza en estos aspectos mediante una serie de preguntas específicas: 1. ¿Cuáles son las principales problemáticas ambientales identificadas por la población local en la zona de sacrificio de la RTVM? 2. ¿Cómo perciben y representan espacialmente los habitantes los impactos ambientales y sociales en su territorio mediante procesos de cartografía participativa? 3. ¿Qué diferencias y coincidencias existen entre la información generada a través de la cartografía participativa y los datos oficiales sobre contaminación y degradación ambiental en la región? 4. ¿De qué manera la cartografía participativa fortalece los procesos de organización comunitaria, apropiación territorial y defensa socioambiental en la RTVM? 5. ¿Qué actores sociales intervienen en la construcción del mapeo participativo y cómo influyen sus perspectivas en la representación de las problemáticas ambientales? 6. ¿Qué aportes metodológicos ofrece la cartografía participativa para el análisis crítico de territorios considerados zonas de sacrificio?

En este sentido, las respuestas a estas preguntas permiten abordar el objetivo general de la investigación, que es analizar las problemáticas ambientales de la RTVM y comprender los procesos complejos desde la perspectiva de las comunidades directamente afectadas, a través de un marco que permite incorporar metodologías participativas y enfoques como los SSE. Ello posibilita el desarrollo de los siguientes objetivos específicos: caracterizar las principales problemáticas ambientales presentes en la RTVM, considerando sus dimensiones ecológicas, sociales y territoriales; aplicar procesos de cartografía participativa que permitan la representación espacial de las problemáticas ambientales desde la perspectiva comunitaria; analizar los mapas generados participativamente para identificar patrones territoriales de afectación, conflictos socioambientales y zonas de mayor vulnerabilidad; contrastar la información obtenida mediante la cartografía participativa con fuentes oficiales y técnicas, para identificar coincidencias, divergencias y vacíos de información; y evaluar el potencial de la cartografía participativa como herramienta de fortalecimiento comunitario y de incidencia en la gestión ambiental local.

El estudio de las problemáticas ambientales ha sido uno de los temas de mayor trascendencia en el contexto actual, debido a la relación que guardan las dinámicas entre la sociedad y el desarrollo de las ciudades en sus diferentes escalas, además es un tema que es abordado de manera transdisciplinaria por diversas ciencias como la geografía, sociología, economía, antropología, biología, entre otras, que buscan explicar los fenómenos que se presentan en la actualidad, mayormente enfocados en los escasos recursos e insostenibilidad de las ciudades. Los procesos relacionados con la interacción entre los sistemas y la modificación del territorio implican el estudio de las causas que generan estas problemáticas ambientales regionales.

Por ello, la región de estudio forma parte de los municipios del Programa Nacional Estratégico (Pronace) de Agentes Tóxicos y Procesos Contaminantes (Valle del Mezquital sur), a cargo de la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI). En este sentido, los resultados de esta investigación podrían servir como referencia para replicarse en otros municipios de esta región y de otras de incidencia que presentan características similares en el país.

Las problemáticas ambientales en los municipios de la RTVM son complejas, considerando que se tienen varias fuentes de contaminación: una refinería, una termoeléctrica, tres parques industriales, cuatro cementeras, alta presencia de minería a cielo abierto, varias caleras y moledoras de cerámica, descargas de aguas residuales de origen urbano e industrial, uso excesivo de agrotóxicos y mala gestión de residuos. Por tanto, los ejes de análisis son diversos respecto a las afectaciones y el riesgo hacia la población por la alta concentración de fuentes contaminantes en esta región.

En este sentido, el encuadre idóneo para analizar las problemáticas ambientales en la región de estudio es el de la cartografía participativa, debido al margen de análisis territorial y el uso de técnicas mixtas que permiten estudiar el tema a profundidad, teniendo el reconocimiento por parte de la comunidad de las problemáticas que están presentes en su territorio y que decrecen su calidad de vida.

Debido a que, actualmente no se han diseñado ejes de investigación que se relacionen con el análisis de las problemáticas ambientales regionales a partir de los sistemas socioecológicos y la cartografía participativa, resulta fundamental desarrollar esta investigación para generar información que permita comprender las principales

problemáticas ambientales y las características del SSE de la región. En este sentido, el proyecto doctoral contribuye al campo del Urbanismo y a las líneas de investigación del Doctorado en Urbanismo de la UAEMéx, al integrar enfoques como lo es la Investigación Acción Participativa (IAP) y los Sistemas Socioecológicos (SSE), e incorporar una propuesta metodológica basada en cartografía participativa con diagnóstico ambiental comunitario para el análisis territorial, lo cual amplía el encuadre centrado en la planeación física-normativa y fortalece con herramientas el urbanismo crítico que analiza desigualdades territoriales, conflictos socioambientales y casos de injusticia ambiental.

Dado que la investigación se desarrolla en el programa del Doctorado en Urbanismo de la UAEMéx, el cual se enmarca en el Programa Nacional Prioritario (PRONACE) de Vivienda. Este programa, definido por la SECIHTI, tiene como finalidad impulsar agendas de investigación e incidencia orientadas a la atención de problemáticas nacionales complejas vinculadas con la vivienda y el hábitat sustentable. Asimismo, busca favorecer la formulación de políticas públicas que contribuyan el cumplimiento de las agendas internacionales en las que México participa. Por ello, es imperativo conocer el SSE de la región para examinar las inequidades territoriales y desigualdades en el acceso justo al hábitat, por lo que de esta forma la investigación contribuye al PRONACE de vivienda, además de generar estrategias de acción pública que consideren la dimensión sistémica de los problemas.

El proyecto también logrará proporcionar productos cartográficos a los grupos comunitarios que están vinculados con el Pronace de Agentes Tóxicos y Procesos Contaminantes, lo que permitirá redefinir zonas prioritarias para la atención inmediata, además de contribuir al repositorio de información del Observatorio de Emergencias Socioecológicas⁵ (OES) para el monitoreo de las emergencias socioecológicas en esta zona del país.

Finalmente, con el proyecto de investigación, se pretende la generación de nuevos conocimientos que posibiliten comprender la compleja realidad actual, así como delinear estrategias que favorezcan la solución de las problemáticas, contribuyendo al cumplimiento de los ODS: 3 salud y bienestar, 6 agua limpia y saneamiento, 7 energía asequible y no contaminante, 11 ciudades y comunidades sostenibles, 12 producción y consumo responsable, 13 acción por el clima y 15 vida de ecosistemas terrestres.

⁵ <https://odesemx.com/>

Capítulo 1. Marco teórico conceptual para el abordaje de problemáticas ambientales

1.1. Sistemas Socioecológicos

1.1.1. Orígenes de los SSE

Los SSE se basan en una teoría que engloba perspectivas y categorías más amplias, la Teoría General de Sistemas (TGS). Esta teoría abarca una gama de análisis que se acopla a varias disciplinas, desde la biología, cibernética, ecología, salud, ciencias sociales, hasta la administración de empresas y más. Lo anterior ocurre al desarrollar la conceptualización del término *sistema*, ya que este tiene diferentes connotaciones que, dependiendo del estudio y la disciplina en que se esté abordando la investigación, dependerá la definición, perspectiva, así como los componentes abarcados.

Por lo anterior, el término sistema puede llegar a expresar diversas clasificaciones y nociones, algunas de estas pueden referirse a los sistemas concretos y abstractos. Los primeros evocan términos cuantitativos de desempeño, mientras que los segundos se vinculan con las cualidades y procesos de los objetos (Fuentes y Matos, 2004). De esta perspectiva, Ribadeneira Zapata *et al.* (2019) reconocen al sistema como “una expresión de la realidad subjetiva, y no la realidad objetiva misma, que es modelada como un sistema y que integra, como un principio de la sistematicidad, los objetos de la realidad del pensamiento teórico en el estudio e investigación mediante categorías, cualidades, dimensiones y estructuras de relaciones” (p. 26).

Por otra parte, las clasificaciones posteriores al siglo XX proponen dos tipos: los sistemas autogobernados y sistemas gobernados. Los primeros poseen sus propios subsistemas o elementos jerárquicamente dispuestos a sus propias funciones, garantizando el cumplimiento y autodirección del sistema, teniendo como rasgo la subordinación de sus componentes y la homeostasis; por lo que desde esta perspectiva el sistema es visto como un todo, funcionando de manera cerrada con autorregulación sin una división entre sus subsistemas. Mientras que, de los segundos, se carece de independencia en sus subsistemas, ya que funcionan con base al establecimiento de formas predominantes de coordinación en

sus relaciones, en otras palabras, están sometidos a otros sistemas que determinan la estructura y función (De la Peña Consuegra y Velázquez Ávila, 2018).

Ranzinkov (1980) conceptualiza la teoría TGS como “una concepción científica lógico-metodología de investigación de los objetos que constituyen sistemas, por lo que la teoría está estrechamente vinculada con el enfoque sistémico, ya que es una expresión de sus principios y métodos” (p. 420). Por lo anterior, Martínez (1990) menciona que “esta teoría es considerada una herramienta de análisis que va de lo complejo a lo simple, del todo a las partes, lo que de manera relacional sitúa al enfoque de sistemas como un elemento de síntesis que va de lo simple a lo complejo, de las partes al todo” (p. 23). Es por esto que al analizar los sistemas, es importante reconocer como se interrelacionan cada una de sus partes que lo conforman, sus conductas y características de cada uno de los elementos (Rivas, 2013).

Respecto a lo anterior, es importante mencionar los aportes teóricos y la posición de la investigación desde la cual se está abordando la conceptualización de los SSE en relación con la TGS. A continuación, se hace un breve recorrido de los aportes y elementos de dicha teoría.

Inicialmente, la TGS es frecuentemente vinculada con Bertalanffy (1987), quien realizó aportes para precisar los rasgos de la teoría y definición de estos. Sin embargo, el término *sistema* se remonta a siglos atrás con las aportaciones filosóficas de diferentes autores como Platón y Aristóteles (1949) quienes precisaron particularidades del sistema del saber, Da Vinci en el renacimiento con la clasificación del modo de creación de los sistemas naturales, artificiales y mixtos, en los siglos XVII y XVIII la filosofía clásica alemana con aportaciones de taxonomías sobre los sistemas materiales e ideales, así como Kant con la sistematicidad del conocimiento, la cual sería retomada a profundidad por Schelling y Hegel, posteriormente, Friedrich con su obra *Dialéctica de la naturaleza*, además de las aportaciones de los filósofos marxistas con clasificaciones de cinco grupos: mecánicos, físicos, químicos, biológicos y sociales (De la Peña Consuegra y Velázquez Ávila, 2018).

Entrado el siglo XX, existen varios momentos de cambio en el paradigma del conocimiento, lo que de alguna manera profundizó el abordaje de los sistemas, sus características y relaciones, además de reformular grados de organización y unidades con el medio y su naturaleza. La era digital y los avances en las diversas disciplinas contribuyeron a la comprensión de los sistemas, posibilitando la interpretación de los fenómenos y

acercamientos a la realidad incorporando mayores niveles de complejidad, lo que permitió añadir mayores elementos, componentes y relaciones de un determinado sistema (De la Peña Consuegra y Velázquez Ávila, 2018).

Si bien todo lo relacionado entorno a los sistemas forma parte del paradigma sistémico, existen diferencias entre la teoría general de sistemas, el enfoque y el método sistémico, puesto que cada uno tiene sus componentes epistemológicos, categorías y procedimientos metodológicos. Esto no quiere decir que se excluyan o que una contenga a la otra, son aproximaciones que posibilitan la comprensión y explicación de los procesos sistémicos, diferenciados por la profundidad y nivel de orientación en la que se abarca o se construye el conocimiento del sistema de un fenómeno (De la Peña Consuegra y Velázquez Ávila, 2018).

Por ejemplo, en el caso del estudio de los *sistemas sociales*, las aproximaciones y usos han sufrido cambios a través del tiempo. En su análisis, Moreno (2019) señala que autores como Walter Buckley identificaron inicialmente pequeñas semejanzas con los modelos orgánico y mecánico, argumentando que la sociedad se asemeja a un *sistema* por la interrelación que se tiene entre sus partes, teniendo una dependencia mutua entre las partes integrales del todo. Otros autores, como Herbert Spencer y Talcott Parsons, también hicieron uso de ambos modelos argumentando que las sociedades se comportan de manera similar a un organismo vivo; en el caso de Durkheim, los modelos se aplicaron para explicar los fenómenos de la sociedad de manera sistemática, clasificando los fenómenos en normales o patológicos, esto sirvió para determinar de manera comparativa si un hecho social es normal o no. Por otro lado, Parsons uso los modelos mecánico y orgánico para explicar la realidad social a través de las teorías de la acción. Sin embargo, los modelos mecánico y orgánico cayeron en desuso debido a limitaciones y analogías, ya que una sociedad no puede comportarse de una manera predeterminada como una máquina, ni puede asemejarse a un organismo vivo, pues la sociedad no es un sistema homeostático, sino un sistema adaptativo. Por ello, a principios del siglo XX surgió un tercer modelo denominado *procesal*, el cual está acompañado del componente empírico y los actores, debido al uso de etnografía y del interaccionismo simbólico, ya que, al observar a la sociedad y sus fenómenos como *procesos*, se tiene una mayor coherencia del estudio de las sociedades humanas, por ende, mayor

comprensión del sistema y los cambios que se han producido en cada una a lo largo del tiempo (pp. 174-176).

De estos elementos teóricos, el estudio de las problemáticas ambientales y los SSE se posicionan en la perspectiva sistémica, entendiendo el *sistema* como el conjunto de elementos que se encuentran conectados de manera intrínseca y que están modelados como una abstracción de la realidad objetiva, es decir un modelo aproximado. Por ende, entendemos que los componentes del SSE, son un entramado de dimensiones (social, ecológica y urbana) que se relacionan y forman parte de procesos socio-territoriales, económicos, industriales, urbanos y agrícolas de la región de estudio. En los siguientes apartados se hace énfasis en los elementos conceptuales que involucra el análisis de las problemáticas ambientales desde enfoque de los SSE.

1.1.2. Antecedentes de los SSE

El marco de los sistemas socioecológicos fue propuesto por primera vez en el año 2000 por Raufflet, quienes buscaron balancear la dimensión social a la natural, con énfasis en el concepto integrado de *humanos en la naturaleza* (Cerón- Hernández *et al.*, 2019). La base teórica de los sistemas socioecológicos que es más adaptada y frecuentemente utilizada proviene de la teoría de la ecología de los sistemas o panarquía (Prieto-Barboza, 2013; Holling, 2001), esta surgió a finales de la década de los años noventa como resultado de una unión de varias disciplinas como: la ecología, biología, ecología-humana, economía ecológica, biología de la conservación, matemáticas, entre otras (Vadineanu, 2007).

Aunque el marco de los sistemas socioecológicos tiene sus raíces en los diversos trabajos realizados a lo largo del siglo XX en ámbitos como la ecología humana, antropología ecológica, geografía humana y etnoecología, Farhad (2012) menciona que, en este recorrido histórico de aportes a la construcción del marco de los SSE, en muchos casos los primeros intentos de esta articulación se atribuyen a Karl Marx (Ingold, 1980; Wolf, 1982; Harvey, 1996).

El enfoque de los sistemas socioecológicos, entiende a estos como un entramado de relaciones en torno a los recursos que son necesarios para la vida humana, donde interactúan variables sociales y ambientales (Ostrom, 2009). No se trata solamente de un sistema que se

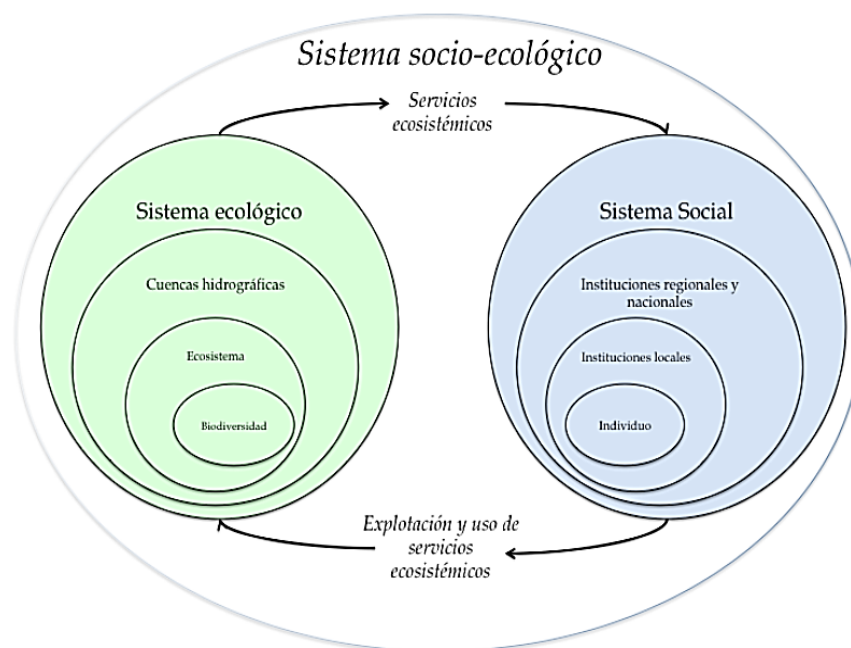
estructura en torno a un problema ecológico, sino que se consideran los sistemas sociales humanos que interactúan en un espacio determinado (Urquiza-Gómez y Cadenas, 2015). Por tanto, los sistemas socioecológicos son considerados un sistema complejo adaptativo (Raufflet, 2000) que reconoce los diferentes agentes de interacción no solo del medio físico-químico, sino también del biofísico (Maass, 2019).

Este concepto ha sido trabajado desde diferentes entidades, lo que han permitido reconocer el sistema social y sistema ecológico como uno solo, ya que delimitar los dos sistemas por separado resulta algo arbitrario para entender un sistema integrado entre personas y naturaleza (Rincón-Ruiz *et al.*, 2014; Cumming, 2011).

Por otro lado, para algunos autores (Blaikie *et al.*, 1994; Luhmann, 1998; Urquiza-Gomez y Cadenas, 2015) la identificación de problemáticas ambientales va más allá de la problematización del conocimiento, pues el medio ambiente y las propiedades o problemas que se le atribuyen son producto de las operaciones comunicativas realizadas en la sociedad, ya que a través de la comunicación se define lo que es el medio ambiente y lo que sucede en él, es decir que a través del reconocimiento por parte de la sociedad de lo que ocurre en el medio ambiente, se identifican las problemáticas regionales; esto permite identificar muchos más problemas que los que hace décadas eran tematizados.

Cerón-Hernández *et al.*, (2019), mencionan que dentro del estudio de los sistemas socioecológicos se identifican conceptos fundamentales como: la resiliencia, vulnerabilidad, adaptación y robustez (Cumming, 2011; Wilson, *et al.*, 2013). Una aproximación a este enfoque implica abarcar diferentes dimensiones como: lo social, la gobernabilidad, las estructuras institucionales, la tecnología (Rincón-Ruiz *et al.*, 2014). En el siguiente esquema se muestra la relación armónica del sistema socioecológico que proponen Cerón-Hernández *et al.* (2019):

Figura 2. Esquema conceptual del sistema socioecológico



Fuente: Cerón-Hernández, *et al.*, 2019.

Como se muestra en el esquema anterior, además de los elementos estructurantes antes mencionados, el concepto de servicios ecosistémicos es clave para la comprensión y ejecución teórica-práctica de los SSE, pues es un elemento que articula la dimensión social y ecosistémica (Cerón-Hernández *et al.*, 2019). Este concepto tiene sus orígenes en las denuncias del movimiento ambientalista sobre los efectos negativos de la contaminación, deforestación (1960-1970), en los estudios sobre el papel de los ecosistemas sanos del bienestar humano (1970-1980), y en la evaluación del beneficio para los seres humanos derivado de los recursos naturales (Balvanera y Cotler, 2007; Balvanera *et al.*, 2012; Boyd y Banzhaf, 2007; Hernández, Urceli y Pastor, 2002).

Este concepto surge de la necesidad de enfatizar la estrecha relación entre la salud de los ecosistemas y el bienestar de los seres humanos (Balvanera & Cotler, 2007; Rincón-Ruiz *et al.*, 2014). No obstante, los encuadres de las últimas décadas giran en torno a la definición adoptada en la evaluación de los ecosistemas del milenio definidos como aquellos beneficios que se obtienen de los ecosistemas (MEA, 2005).

De acuerdo con el consenso global, existe una generalidad que enfatiza los servicios ecosistémicos en términos económicos, resaltando la dependencia de la sociedad de los

ecosistemas naturales y el impulso del interés público hacia la biodiversidad (Camacho & Ruiz, 2012; Costanza et al., 2017). No obstante, hay encuadres de los servicios ecosistémicos que enfatizan las preocupaciones ecológicas, por lo que existe una crítica actual respecto a la ética ecológica sobre el abordaje de estos.

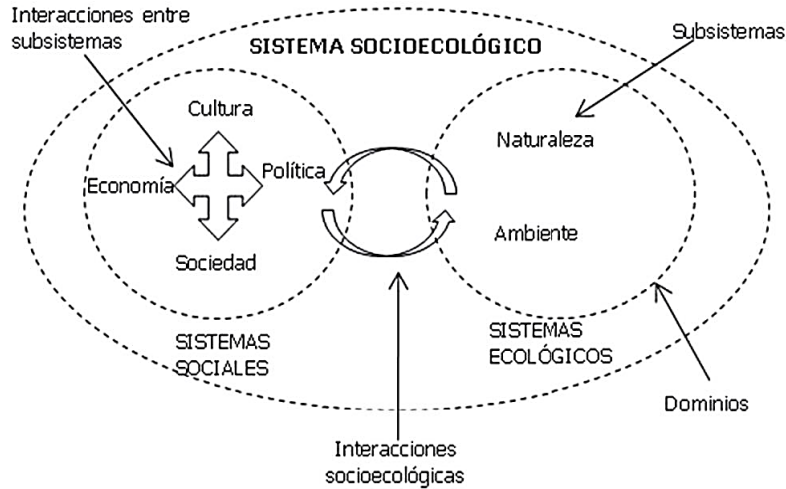
Por lo anterior, el estudio de los SSE desde el Urbanismo nos exige generar marcos que nos permitan analizar los SSE desde una perspectiva que abarque diferentes valores y elementos para su comprensión, esto requiere reconsiderar también a los servicios ecosistémicos desde otras miradas diferentes a como actualmente se han categorizado (Gowdy y Erickson, 2005; Schröter *et al.*, 2014; Rival y Muradian, 2012).

1.1.3. Conceptualización y representaciones de los SSE

Desde la perspectiva urbana, los sistemas socioecológicos están vinculados con los procesos de urbanización, ya que la ocupación del territorio trae consigo la separación entre lo urbano y rural, además del fenómeno de periurbanización que acompaña el desarrollo de ciudades intermedias, transformando nuestros hábitats y poblaciones (Sassen, 2010; Lampis, 2013). Algunos fenómenos que acompañan este proceso son: la precarización de las condiciones de vida, inseguridad, ocupación no planificada del espacio, generación de riesgos ambientales y de población (UNFPA *et al.*, 2007).

En el enfoque de la sostenibilidad, las interacciones entre sistemas sociales y ecológicos se dan de diferentes maneras, y el resultado de esto es una gama amplia de sistemas socioecológicos; la interacción entre estos dos sistemas ocasiona impactos y perturbaciones entre ellos, por una parte, a través del conjunto de actividades y procesos humanos, que generan impactos en los sistemas ecológicos, y por otra las dinámicas de los ecosistemas, que producen efectos sobre los sistemas sociales (Salas-Zapata, Ríos-Osorio, y Álvarez-Del Castillo, 2011). En el siguiente esquema se muestra la propuesta de las interacciones entre sistemas antes mencionadas:

Figura 3. Esquema del sistema socioecológico



Fuente: Salas-Zapata, *et al.*, 2011.

En la vulnerabilidad hídrica, es posible observar el sistema socioecológico a partir de la relación que se establece entre un territorio con el recurso hídrico; determinadas cuencas hidrográficas constituyen un sistema socioecológico en cuanto exista un acoplamiento recurrente, es decir, que se tenga interacción regular entre el sistema social y su entorno (Urquiza-Gómez y Cadenas, 2015). Para ello se han propuesto diversos modelos de manejo integral de cuencas enfocados principalmente en la gestión, ordenamiento, evaluación y desarrollo.

En México los principales aportes académicos a la teoría de sistemas socioecológicos se han dado desde el campo de la etnoecología (Caballero *et al.*, 1978), la ecología cultural (Palerm, 1989), la ecología política (Durand *et al.*, 2015) y la ecología humana (Daltabuit, Lincón, Lozano y Ricco, 1988). La visión de los sistemas socioecológicos y de servicios ecosistémicos son una tendencia que está permeando la toma de decisiones en México, pues estos enfoques permiten tener una visión sistémica del país y la generación de políticas públicas transversales (Cerón-Hernández *et al.*, 2019).

Algunos trabajos (Challenger, 2016; Challenger *et al.*, 2014) exploran el concepto de los sistemas socioecológicos en la operacionalización de la gestión ambiental en México, incluso las implicaciones del enfoque socioecológico se están explorando en la salud, el diseño urbano y el diseño de instituciones (Cerón-Hernández *et al.*, 2019).

A partir de algunas redes de investigación inter y multidisciplinarias también se ha logrado avanzar en el desarrollo del concepto de sistemas socioecológicos, entre estas se encuentran: la Red Mexicana de Investigación Ecológica de Largo Plazo, la Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina (LaRed) y el Grupo de Investigación MESMIS (Cerón-Hernández *et al.*, 2019).

De los elementos conceptuales referidos anteriormente, es posible definir a los SSE como el entramado de relaciones que existen entre los subsistemas de un territorio, medio ambiente y población que habita en este. Dichas relaciones están vinculadas generalmente con los recursos naturales y sociales, que confluyen en una dinámica de reciprocidad para sus funciones internas, y que a su vez tienen un elemento transformador en el medio físico.

1.1.4. Sistemas urbanos en la conceptualización del SSE

Por otra parte, desde la perspectiva urbana se debe de tomar en cuenta el concepto del Sistema Urbano (SU) como un elemento que converge entre los principales componentes del SSE: naturaleza-sociedad. Respecto a lo anterior, Terradas (2011) refiere que los estudios sobre los sistemas urbanos tienen poco de haber sido abordados y reconocidos como un ecosistema, ya que fue a partir de los trabajos de P. Duvigneaud y S. Denaeyer-De Smet, que fueron publicados en 1974, es donde se empezó a abordar diversos aspectos del funcionamiento urbano.

Terradas (2011), también menciona que para comprender los ecosistemas urbanos se plantean numerosos retos teóricos y prácticos, ya que, si los ecosistemas naturales representan una enorme complejidad para comprender sus funciones, los sistemas urbanos poseen un grado de heterogeneidad aun superior ya que muchos de sus aspectos están relacionados con actividades y procesos en las dimensiones económica, política, social y cultural. Por lo anterior, es imperativo tomar en cuenta cómo funcionan los propios sistemas urbanos en sus distintos niveles si la finalidad es comprender de manera integral las interrelaciones con los subsistemas del SSE.

Por su lado, Woźniak (2018) menciona que los estudios de los servicios sistémicos en entornos urbanos e industriales, ha generado una cantidad creciente de investigaciones

durante la última década. En estos estudios se han considerado otros ejes como la calidad y los recursos del agua (Lundy y Wade, 2011), el equilibrio ambiental entre el capital natural y los servicios ecosistémicos en áreas urbano-industriales (Niemelä, *et al.*, 2011; Grimm, *et al.*, 2000; Pickett, *et al.*, 2011), el desarrollo sostenible, así como el vínculo entre las áreas urbanas-paisaje natural (Pickett, *et al.*, 2011).

Es importante referenciar que, los estudios del sistema urbano aún carecen de una comprensión total de las conexiones entre componentes, ya que, en la práctica, el sistema urbano y ambiental pareciera que se encuentran desarticulados en diferentes tópicos. Actualmente, los estudios relacionados con los SSE son requeridos en el urbanismo para comprender las interacciones entre los demás subsistemas, por ello es importante considerar las aportaciones que se han hecho desde la ecología, ya que han logrado poco a poco romper esta brecha al abordar los estudios de este tipo de manera multidisciplinaria, alcanzando una mayor comprensión de los fenómenos y procesos desde diferentes perspectivas.

1.1.5. Experiencias empíricas de SSE urbanos

En este apartado se describen algunos casos prácticos relevantes de caracterizaciones de los SSE en el contexto internacional, latinoamericano y nacional. Los casos presentados abordan diferentes perspectivas de análisis e implementación del marco de los SSE.

En Khorasan del Norte, en Irán, Karimi y Raymond, (2022), plantean un estudio del mapeo de los servicios ecosistémicos percibidos mediante cartografía participativa para su evaluación e identificación de paquetes de servicios. Esta investigación se sitúa dentro de los estudios de los ecosistemas, sostenibilidad y planificación, y aborda principalmente los beneficios de los paisajes multifuncionales, sus distribuciones e interacciones percibidas. En este estudio se examinaron los patrones geográficos de los servicios ecosistémicos percibidos, basándose en múltiples enfoques: 1) métricas de paisaje, y 2) mapeo participativo. Esta comparación identificó las áreas donde se percibe que brindan múltiples servicios ecosistémicos, lo cual fue complementado con las percepciones de las comunidades locales sobre el uso de la tierra y los servicios ecosistémicos, generando información útil para guiar a los planificadores y administradores hacia una gestión más integral del paisaje.

En Latinoamérica, se puede referir el estudio de la Implementación de Pagos por Servicios Ambientales (PSA) en la Cuenca del río Cali, Colombia realizado por Arias-Arévalo y Pacheco-Valdés (2023). En esta investigación se identificaron los factores que influenciaron la implementación de los primeros PSA en Colombia, durante 2009 a 2014. Como metodología, en este estudio se aplicó el marco de los SSE para identificar como influenciaron positivamente la implementación del PSA en: la calidad e importancia a los servicios hídricos, la participación y liderazgo de organizaciones comunitarias y no gubernamentales, así como la vinculación del programa con cosmovisiones y valores proambientales. El resultado fue el diseño e implementación de los PSA desde la visión de los actores y los factores que influenciaron la implementación del programa en la cuenca Cali.

En el mismo país, Torregroza Fuentes *et al.*, (2014), aplicó el enfoque de los SSE para explorar la interacción entre lo natural y social vinculado los procesos de la Ciénega de la Virgen y su cuenca en Cartagena de Indias, Colombia. En este estudio se evaluó la percepción y las actitudes de los actores sociales para la gestión adecuada de doce especies vegetales presentes en la cuenca de la Ciénega de la Virgen. Esta investigación se realizó con una metodología de corte cuantitativo, aplicándose encuestas de percepción a cuatro grupos de actores dentro de la trama social. Como resultado se comprendió, en función al rol de los actores, como los individuos valoran de manera propia el papel de determinadas especies como agentes biológicos claves.

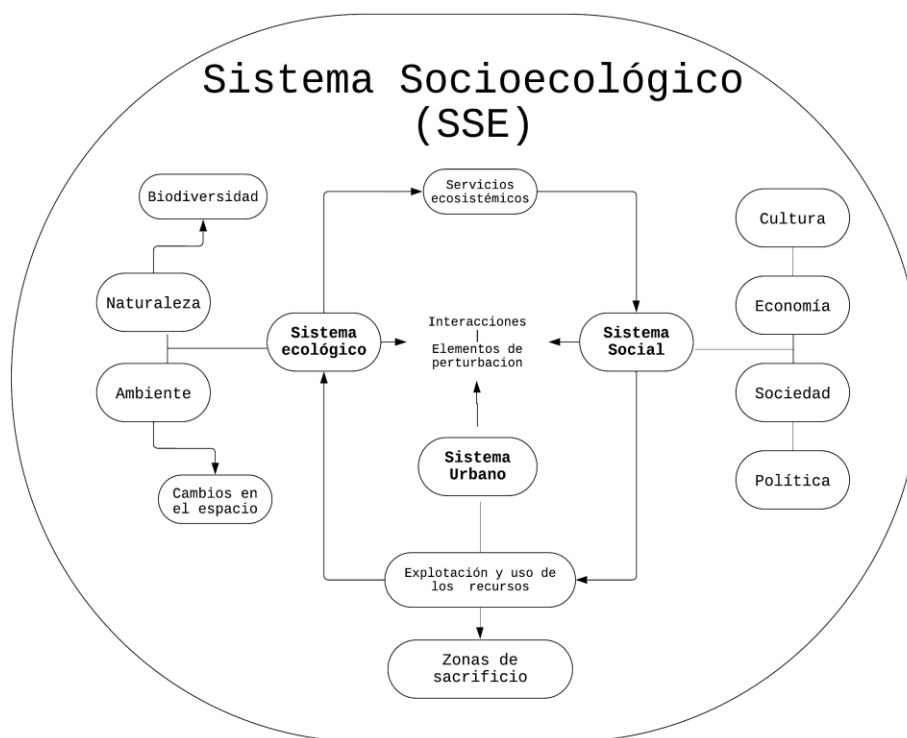
En el norte de México, un caso práctico de la caracterización de los SSE se realizó en la región de la subcuenca baja Río Sonora por De la Torre y Moreno (2019), en este estudio se identificaron las respuestas del SSE de la subcuenca ante los distintos aprovechamientos a través de tres perspectivas: (a) escala ecológica, (b) alcance de las políticas de conservación y (c) contexto social. Como metodología se identificó la dinámica territorial por medio de la técnica de superposición geométrica de información vectorial con el uso de un Sistema de Información Geográfica, en un periodo de cuarenta años. El resultado que se obtuvo fue la interrelación territorial entre distintos vínculos productivos del SSE, alteración hidrológica, incremento sucesivo de usos de suelo y cambios de vegetación, el exiguo alcance las políticas de regulación ecológica, así como la tendencia demográfica decreciente en áreas rurales y niveles significativos de marginación.

Al sur de México, un estudio sobre la gestión adaptativa a partir del aprovechamiento de las palmas camedor realizado por Jiménez-Jiménez *et al.* (2022), en la reserva de la biosfera La Sepultura, Chiapas, buscó comprender las relaciones e interacciones entre los actores involucrados en el manejo de un recurso material no maderable, como las palmas camedor, así como el mejoramiento de las condiciones de vida de las poblaciones rurales, considerando el capital humano y social, el fortalecimiento de las organizaciones locales y su capacidad de responder a los cambios provocados por factores externo e internos. Los resultados del estudio develaron la pertinencia de construir y analizar la gestión adaptativa de un recurso natural, considerando diversos elementos de información bajo el marco de los SSE complejos.

1.1.6. Elementos para el análisis del SSE

Desde el urbanismo se puede aportar a la definición del SSE, que este se compone de elementos que interactúan entre los sistemas urbano y ambiental, y que es a través de las dimensiones de análisis de estudio que se pueden develar las problemáticas, relaciones y procesos para comprender de manera integral el SSE. Para enfatizar lo anterior, se propone el siguiente esquema retomando de los elementos planteados por autores como Salas-Zapata *et al.* 2011, Woźniak *et al.* 2018 y Ceron-Hernández *et al.* 2019.

Figura 4. Esquema del Sistema Socioecológico, RTVM



Fuente. Elaboración propia, con base en Salas-Zapata *et al.* (2011); Woźniak *et al.* (2018); Ceron-Hernández *et al.* (2019).

El esquema anterior muestra el modelo de análisis propuesto para comprender el SSE de la RTVM, este se compone por tres ejes principales: Sistema Ecológico (SE), Sistema Social (SS) y Sistema Urbano (SU). El análisis de estos elementos es importante para definir las conexiones entre los demás sistemas y sus unidades, a continuación, se detallan cada uno de estos ejes de análisis y su comprensión en este estudio:

Sistema Ecológico: Este eje comprende el análisis de dos dimensiones, naturaleza y ambiente. En la primera, se encuentran los componentes vinculados con la biodiversidad, entendiendo este concepto como la cantidad de especies de flora y fauna que poseen interacción con las dinámicas entre el sistema natural y sus propios subsistemas. En la segunda, se concentran los elementos vinculados con el ambiente, entendido como el medio antrópico que ha sido alterado por procesos humanos y donde se han generado los principales cambios en el espacio.

Sistema Social: Este eje se compone por cuatro dimensiones de análisis: cultura, economía, sociedad y política. En la primera, se encuentran los elementos vinculados con la cultura, entendida como la identidad, creencias, tradiciones y organización de las personas. En la segunda, se integran los elementos afines con la economía como el empleo, comercio y actividades productivas. En la tercera, se localizan los elementos análogos con la sociedad como la población, salud, educación y vulnerabilidad. En la cuarta, se incorporan los elementos vinculados con la dimensión política como la gobernanza, justicia y legislación.

Sistema Urbano: En este eje se integran los efectos, procesos e interacción con la explotación y uso de los servicios ecosistémicos, además de incorporar las zonas de sacrificio como principal espacio en el que ocurren las interacciones entre la extracción y demanda de recursos entre diferentes sistemas urbanos. En este marco se incluye también a la industria como mecanismo de transformación de los recursos y su reincorporación a través de diversas dinámicas territoriales como la deposición final de los residuos y aguas residuales urbanas.

Tomando en cuenta que los sistemas antes descritos cuentan con dinámicas que se ven interconectadas, en el centro del esquema se localizan los elementos de perturbación, así como las interacciones, las cuales se tienen con los diversos elementos de los sistemas. En este sentido es importante mencionar que definimos los elementos de perturbación como las alteraciones en el territorio que repercuten directamente en los sistemas, tanto externa como internamente, y las interacciones por su parte las conceptualizamos como el intercambio y/o conexión que se tienen entre los componentes del sistema.

1.2 Investigación acción participativa

1.2.1. Nociones conceptuales y elementos constitutivos

Como menciona Ander-Egg (1990), no se puede definir con exactitud en que día, semana, mes o año surgió la Investigación Acción Participativa (IAP), pero es posible referir que su origen⁶ se remonta a mediados de los años setenta, con el auge de las luchas populares a nivel global y los cambios en los paradigmas en las ciencias sociales, donde surgieron nuevas propuestas metodológicas, especialmente en el campo de la intervención social.

En este contexto, la aparición de la IAP se formuló con la finalidad de promover la participación de la población involucrada en la ejecución de programas o actividades que suponen la realización de estudios para transformar su situación y generar posibilidades de actuación desde ellos mismos. Educadores, trabajadores y científicos sociales, mostraron un interés creciente por estos procedimientos, por lo que las experiencias se fueron multiplicando con una preocupación central: buscar que se incorporara a la misma gente en los procesos de investigación y de resolución de sus propios problemas (Ander-Egg, 1990).

La mayoría de los autores que han abordado el concepto de la IAP, están de acuerdo con señalar la Investigación Acción (IA) de Kurt Lewin como antecedente fundamental de la idea y la práctica de la IAP, ya que su estudio del cambio de los hábitos alimenticios de los estadounidenses ayuda a explicar parcialmente algunas dimensiones de la metodología. El trabajo de Lewin optó por utilizar una metodología que implicaba acción en lugar de las metodológicas clásicas como, las encuestas, entrevistas, etc. La idea era que la misma gente se convirtiera en actora del cambio, centrándose en la idea de adquirir conocimientos en y por la acción, al mismo tiempo en que los participantes estaban asociados al estudio e implicados en la solución del problema planteado (Ander-Egg, 2003).

Desde las ciencias sociales se han desarrollado teorías y metodologías que favorecen los procesos y valores democráticos; la IAP ha demostrado ser un método efectivo para conocer la estructura de las redes sociales, así como para profundizar y ampliar la democracia, mediante procesos participativos. Para Valderrama (2023), las referencias

⁶ Hay acuerdo en tomar el Simposio Mundial de 1997, en Colombia, como el primer evento donde se abordó el tema de la Investigación Acción Participativa (IAP). Este evento puede ser tomado en cuenta como hito referencial o plataforma de lanzamiento de esta metodología (Ander-Egg, 1990, p. 19).

metodológicas de corte crítico y transformador más sobresalientes provienen de Paulo Freire y sus pedagogías populares, así como de Fals Borda con los denominados diagnósticos rurales participativos.

La IAP se sitúa en la perspectiva teoría de la dialéctica, que parte de la consideración del objeto a investigar como protagonista de la investigación, utilizando técnicas específicas para la investigación sin rechazar el uso de técnicas cuantitativas y cualitativas (Alberich, 2008). Utilizar la IAP en el ámbito social y educativo posibilita un análisis de la realidad a través de técnicas adicionales, como la cartografía social, que permite transferir el conocimiento de lo global a lo concreto. Por ello, una investigación participativa garantiza el acceso y el protagonismo de las personas en la construcción del conocimiento sobre sus propias realidades (Valderrama, 2013).

Dicho lo anterior, Selener (1997) menciona que se ha conceptualizado a la IAP como un proceso por el cual miembros de un grupo o una comunidad, colectan y analizan información, y actúan sobre sus problemas con el propósito de encontrarles soluciones y promover transformaciones políticas y sociales (p. 17). Por tanto, la IAP es una investigación para el cambio social llevada a cabo por personas de una comunidad que buscan mejorar sus condiciones de vida y las de su entorno (Zapata y Rondán, 2016).

Posicionar la IAP dentro de un enfoque en concreto es un diálogo que aún sigue en construcción, pues algunos autores como Greenwood (2007), afirman que la Investigación-Acción (IA) no es un “método” más de las ciencias sociales, sino una manera fundamentalmente distinta de realizar en conjunto investigación y acción para el cambio social. La IA no es ni un método ni una técnica, es una estrategia de vida que incluye la creación de espacios para el aprendizaje colaborativo y el diseño, ejecución y evaluación de acciones liberadoras.

Por su parte Ader-Egg (1990) plantea que la IAP es una propuesta metodología que tiene como objetivo el estudio de los intereses de un grupo de personas o colectivo, teniendo como finalidad la transformación de la situación-problema que afecta a la gente involucrada. Esta metodología recalca la estrecha relación entre la investigación y la práctica, fundamentándose en el supuesto de “el pueblo es el principal agente de cambio social”, superando toda forma de relaciones dicotómicas jerarquizadas entre el investigador y la gente involucrada. La IAP exige formas de comunicación entre iguales y un compromiso efectivo

del investigador con la gente, pues es una herramienta intelectual al servicio del pueblo que se puede aplicar a una escala relativamente reducida.

Por lo anterior, es relevante considerar varias nociones conceptuales de la IAP, como una metodología, perspectiva de análisis, y fundamento ideológico, como lo exponen los siguientes autores:

La IAP es la metodología de intervención social propia de la psicología social comunitaria (sobre todo en Latinoamérica) ya que es una corriente de pensamiento que surge en paralelo con los desarrollos de la dicha subdisciplina y que hace énfasis en que las personas que están afectadas por los problemas sociales deben ser parte de la solución de estos problemas. Por lo tanto, el diseño, ejecución y evaluación de los programas y acciones se hace a partir del diálogo entre quienes intervienen y los miembros de la comunidad (Montenegro, 2014).

Desde la perspectiva de la psicología comunitaria, la IAP surge como un modelo alternativo al modelo médico, este modelo busca a partir de los aspectos positivos y de los recursos de las comunidades, su desarrollo y su fortalecimiento, centrandose en ellos el origen de la acción, por lo que los miembros de dichas comunidades dejan de ser considerados como sujetos pasivos, para ser vistos como actores sociales, constructores de su realidad (Montero, 1982, 1984).

Desde el fundamento ideológico, la IAP representa creencias sobre el papel del científico social en disminuir la injusticia en la sociedad, promover la participación de los miembros de comunidades en la búsqueda de soluciones a sus propios problemas y ayudar a los miembros de las comunidades a incrementar el grado de control (empoderamiento) que ellos tienen sobre aspectos relevantes en sus vidas (Balcazar, 2003).

La IAP genera conciencia sociopolítica entre los participantes en el proceso, incluyendo tanto a los investigadores como a los miembros del grupo o comunidad. Esto genera condiciones en un contexto concreto para involucrar a los miembros de una comunidad o grupo en el proceso de investigación en una forma no tradicional como agentes de cambio y no como objetos de estudio (Balcazar, 2003).

Por otro lado, respecto a los elementos constitutivos. Ander-Egg (1990) menciona que la IAP posee tres elementos constitutivos: 1) Investigación, 2) Acción y 3) Participación.

Estos elementos suponen una simultaneidad con el proceso de conocer y de intervenir, e implican la participación de los mismos actores locales.

En el contexto de esta investigación, es importante mencionar que la IAP es un elemento relevante en el desarrollo de este trabajo, ya que la investigación se articula principalmente con la participación de las comunidades de la región de estudio, por lo que las nociones antes mencionadas se vinculan esencialmente con los procesos metodológicos. Por ellos para la investigación, que se refiere a la IAP como los procesos de participación en los que las comunidades serán los principales actores que definirán su realidad y los desafíos existentes para mejorar su calidad de vida, entorno y capacidades ante las problemáticas ambientales regionales.

1.2.2. Aplicación de la IAP en procesos participativos

La IAP es una metodología con éxitos recientes de aplicación a procesos participativos locales. Algunos casos exitosos se han aplicado en Europa y América latina, a continuación, se describen algunos:

De manera internacional, en Jaén, España, de 2008 a 2009 se desarrolló un proceso de participación con el objetivo de dinamizar el tejido social de la ciudad y desarrollar una política de participación ciudadana. En este estudio de Alberich *et al.* (2009) se realizó un marco metodológico plural combinando perspectivas de investigación complementarias: cuantitativa, cualitativa y participativa. El resultado fue el análisis de los discursos derivados de entrevistas semirrígidadas de los distintos actores y el estudio de temas centrales mediante el diagnóstico participativo realizado por las asociaciones.

También en Europa, se puede referir algunos casos como el “Presupuesto Participativo en Portugal”, financiado por la iniciativa comunitaria EQUAL y asesorado por la experiencia de Sousa Santos, además del proyecto titulado “Globalización contrahegemónica y democracia participativa: experiencias en el encuentro Norte-Sur”, este último financiado por el Gabinete de Relaciones Internacionales de Ciencia y Educación Superior del ministerio de Ciencia, Tecnología y Educación Superior de Portugal. En ambos proyectos se llevaron a cabo procesos participativos, con características especiales y diferentes para cada territorio (Valderrama, 2013).

La realización de procesos de investigación participativa busca en esencia generar transformación de las realidades de aquellos actores que hasta el momento han sido sujetos pasivos en la interacción con los investigadores, y que, a través de técnicas, estrategias, así como nuevas metodologías se convierten en protagonistas de la generación de nuevo conocimiento (Yepes y Marín, 2018).

1.3 Diagnóstico participativo

1.3.1. Conceptualización y pautas para su abordaje

El diagnóstico participativo es el proceso y la metodología que mediante la participación consciente la comunidad se dirige al autoconocimiento de su realidad y a la organización de sus pobladores en estructuras sociales representativas y estables para emprender una acción transformadora (Muiños-Gual, 2008).

Desde la perspectiva de la IAP Ander-Egg (1990), menciona que el diagnóstico supone: 1) establecer la descripción de lo que nos pasa, 2) explicar los que nos sucede, 3) evaluar con que recursos y medios disponemos para superar los problemas y necesidades detectadas, y 4) identificar las cosas que facilitan u obstaculizan la realización de un programa o proyecto que permita cambiar o mejorar la situación.

Por su parte Dollinger (2016), define el diagnóstico participativo como un entramado de procesos en los que se permite obtener conocimiento (empírico) sobre la realidad o fenómeno que se pretende mejorar o transformar, en los cuales se participa activa y solidariamente las personas involucradas en dicha realidad. La interacción e interrelación que se desarrolla en el diagnóstico contiene tres elementos esenciales de análisis: 1) La realidad actual, la cual se pretende mejorar o transformar, 2) La realidad ideal, la cual se pretende alcanza o construir, y 3) La participación solidaria de los diferentes actores involucrados en la realidad que se espera transformar (líderes locales, población local, investigadores y agencias).

Otros autores como Ganter *et al.* (2015), definen el diagnóstico participativo como una “fotografía” realizada por la comunidad de sus relaciones sociales y de la manera en que esta interactúa con su entorno con los elementos más relevantes de su vida cotidiana.

En algunos casos el término diagnóstico participativo se aplica a actividades de monitoreo, en estos escenarios, se involucra la participación de personas locales que no cuentan con capacitación profesional especializada, pero tienen distintos grados de conocimiento, experiencia, roles sociales e intereses. Este tipo de diagnósticos participativos son un proceso continuo, en el que los usuarios locales de los recursos naturales registran sistemáticamente información, reflexionan al respecto y llevan a cabo acciones de gestión en respuesta a lo aprendido (Evans y Guariguata, 2008).

Muiños-Gual (2008), menciona que el diagnóstico participativo se distingue de otros tipos de diagnósticos con relación a sus ejes como lo explica: 1) El autoconocimiento de la realidad por parte de sus pobladores, 2) La organización consciente de la comunidad y 3) La transformación sustentable de la realidad local.

El primer eje tiene relación en como la realidad envuelve y afecta a una comunidad o grupo de personas ya que no todos tiene una misma correspondencia con esa realidad, por lo general, no se está plenamente consciente de la naturaleza y el origen de los problemas que impiden al colectivo realizar sus aspiraciones y alcanzar la calidad de vida deseada.

El segundo eje tiene que ver con la manera en que la comunidad puede canalizar sus capacidades con formas de organización social capaces de desarrollar proyectos de autogestión a través de herramientas e instrumentos para llevar a vías de hecho sus objetivos y metas concretas.

Finalmente, el tercer eje tiene que ver con la acción social transformadora, pues a través de sus organizaciones e instituciones participativas la comunidad va construyendo los peldaños que la harán ir ascendiendo al ideal futuro o realidad soñada. Es importante comprender que, al alcanzar este punto, el horizonte será distinto, pero se habrán dejado atrás aquellos problemas que hoy impiden alcanzar las metas.

El método de diagnóstico participativo se auxilia de una reflexión de sensibilización como punto de partida, y a partir de la metodología constructivistas en el trabajo de grupo, con una pregunta base como guía ¿Cuáles son los principales problemas ambientales que afectan a tu localidad o comunidad?, con base a esta pregunta se identifican los problemas, se genera la discusión sobre la situación problemática, las causas, efectos y posibles soluciones. En este proceso reflexivo se establecen acuerdos, se dialogan los desacuerdos y

se llega a un consenso para presentar una perspectiva como expresión de colectividad (DOM, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2018).

1.3.2 Diagnóstico ambiental comunitario

El Diagnóstico Ambiental Comunitario (DAC) parte íntegramente del diagnóstico participativo e incorpora elementos del Desarrollo Comunitario Radical (DCR) para la identificación de las problemáticas ambientales. El DAC precisa las problemáticas ambientales como eje de análisis para la acción colectiva hacia la justicia social y ambiental.

Las diferencias que existen con el diagnóstico participativo son respecto a la variación de los métodos e instrumentos utilizados, así como el objetivo, que en el caso del DAC, se centra en la identificación de las problemáticas ambientales a diferentes escalas.

Al norte de México, se aplicó un caso práctico de esta metodología por Sampedro *et al.* (2014) en las comunidades Mayo “Las Aceitunitas”, “El Paredón” y “El Paredoncito”, del municipio de Benito Juárez de Sonora. En este caso práctico se realizó un taller participativo para externalizar la problemática ambiental de las localidades, esto se documentó a través de fotografías, recorridos y un diario de problemáticas ambientales derivado de pláticas con la población. Los resultados fueron la elaboración de talleres de educación ambiental para el manejo y caracterización de los residuos sólidos, así como la discusión de alternativas y propuestas para la gestión de los RSU con la participación de las autoridades de saneamiento básico del municipio de Benito Juárez, Sonora.

Al sur de México, en la Reserva Ecológica Cuxtal (REC) en Mérida, Yucatán, se puede referir otro caso de DAC. En este trabajo (Campos, *et al.*, 2020) se realizó un diagnóstico ambiental participativo con 16 jóvenes de la localidad Dzoyaxché que viven dentro de la reserva. La metodología, basada en la gestión del desarrollo sostenible local, permitió identificar 17 problemáticas principales, esto dio como resultado un prediagnóstico de la comunidad que derivó en un Plan Intercultural de Educación Ambiental no formal para los jóvenes.

1.4 Cartografía participativa

1.4.1. Antecedentes de la cartografía participativa para los estudios sociales

Esta técnica tuvo su mayor periodo de desarrollo en los años de 1970 a 1990 debido a los cambios en los nuevos modos de aprendizaje, pasando de los cuestionarios de encuestas extractivas a los nuevos enfoques de métodos para la evaluación participativa y análisis (Chambers, 1994). Es importante mencionar dos cambios significativos en la evolución de la cartografía participativa, debido a que estos son la raíz del modelo metodológico actual de esta técnica:

In these changes, a part has been played by two closely related families of approaches and of methods, often referred to as rapid rural appraisal (RRA) which developed and spread especially in the 1980s and its further evolution into participatory rural appraisal (PRA⁷) which has developed and spread fast in the 1990s. (Chambers, 1994, p. 953)

En estos cambios, una parte ha sido desempeñada por dos familias de enfoques y métodos estrechamente relacionados, a menudo referidos como evaluación rural rápida (RRA) que se desarrolló y difundió especialmente en la década de 1980 y su posterior evolución hacia la evaluación rural participativa (PRA) que se ha desarrollado y difundido rápidamente en la década de 1990 (Chambers, 1994).

La elaboración de mapas proviene de una larga tradición de trabajo participativo. Su realización como una imagen estática sin la intervención directa de la comunidad, se configura como una técnica que oculta realidades territoriales concretas que a la vez suelen ser complejas (Betancurth *et al.*, 2020). La cartografía en la investigación social parte de la premisa “quien vive en el territorio es quien lo conoce” (Andrade, 1997), por tanto, se debe recurrir a los habitantes para poderlo comprender (Pájaro y Tello, 2014).

Los estudios basados en la metodología de cartografía participativa enfatizan la elaboración colectiva de mapas para poder comprender lo que ha ocurrido y ocurre en un territorio determinado, permitiendo que las comunidades examinen las circunstancias y

⁷ PRA, tal como existe a principios y mediados de la década de 1990, tiene varias fuentes. La conceptualización de la PRA ha evolucionado, se basa y resuena con varias tradiciones epistemológicas. Una descripción reciente del término PRA es la siguiente: “una familia de enfoques y métodos que permiten a la población rural compartir, mejorar y analizar su conocimiento de la vida y condiciones, para planificar y actuar” (Chambers, 1994).

elaboren estrategias, además de rescatar los saberes locales de la comunidad (Andrade, 2001; FIDA, 2009; Warner, 2015).

El mapeo participativo ha sido utilizado con un amplio rango de propósitos, como lo son: mapeo de actores, mapeo de salud, mapeo de movilidad, mapeo del agua potable y saneamiento en comunidades rurales, prevención del crimen, monitoreo y evaluación participativa (Chambers, 2006).

1.4.2. Enfoques de la cartografía participativa

La evolución en las metodologías de investigación y los nuevos paradigmas del conocimiento han generado que las técnicas cualitativas y las herramientas geotecnológicas cada día sean mayormente aprovechadas por los investigadores, instituciones y miembros de la sociedad civil para el estudio de la de las problemáticas sociales y ambientales de las últimas décadas. Por lo anterior, la cartografía participativa es una técnica que debe considerarse importante en el estudio de las problemáticas socioecológicas del país, pues su margen para el análisis territorial es de utilidad al analizar no solo encuadres geográficos, si no también elementos sociales que responden a la interacción con la modificación del espacio geográfico y el modo de vida de las poblaciones que residen ahí.

Ramírez-Morales y Gualdrón (2018), mencionan que las complejas situaciones que enfrenta la sociedad en la actualidad demandan la aplicación de nuevas técnicas y estrategias de análisis que puedan dar interpretación a las corrientes que configuran el mundo, es por esto que la cartografía social es una herramienta de uso colectivo relevante para interpretar la realidad socioeconómica, histórico-cultural y territorial.

La cartografía social o participativa tiene matices de la Investigación Acción Participativa (IAP), dado el carácter dinámico de la construcción del mapa y el diálogo emergente en el proceso del trabajo colectivo en torno a lo que se representa (Barragán, 2016). El proceso de esta técnica es netamente subjetivo y cualitativo, por un aparte, debido a las estrategias utilizadas ya que se parte principalmente de las vivencias de los actores del territorio y del investigador, por otro lado, dado el análisis de los significados que se le atribuye los resultados por parte de los investigadores y lectores (Uribe-Lotero *et al.*, 2017). Por tanto, la cartografía participativa se sitúa en el enfoque comprensivo-crítico que

contribuye a develar aquellos aspectos simbólicos que les permite a los sujetos interpretar su mundo y transformarlo (Barragán y Amador, 2014).

Algunos autores como Fernández *et al.* (2011), definen la cartografía participativa como “un camino para el reconocimiento del mundo cultural, ecológico, productivo y político que se expresa en el territorio, y que nos debe servir como ubicación dentro de un contexto social que nos permita construir un presente y el futuro” (p. 03).

En los últimos años, los estudios en el país relacionados con las problemáticas ambientales han sido analizados a partir de diferentes encuadres que se sitúan dentro de la cartografía participativa. Algunos autores como Montes Gallegos *et al.* (2016), definen la cartografía participativa como la ciencia que estudia la recolección y el análisis de los datos de información del territorio que ha sido representada en forma gráfica, utilizando los mapas como técnicas de comunicación. Esta definición abarca una perspectiva del conocimiento que involucra los saberes locales con la vinculación del territorio:

La cartografía participativa parte de las epistemologías de la diversidad, construyendo teoría desde las experiencias y formas de existencias alternativas que circulan desde las reflexiones en asambleas y consejos comunitarios. Esta recuenta historias biográficas individuales y colectivas además de vincular la tierra-naturaleza-cultura. (Botero, 2012, pp. 35-36)

La cartografía participativa, no solo se limita a representar características geográficas distintivas, también se pueden ilustrar conocimientos sociales, culturales e históricos, incluyendo información sobre el uso y ocupación de la tierra, demografía, pautas de salud y distribución de la riqueza. Los mapas participativos se pueden utilizar para gestionar conflictos entre una comunidad y personas o entidades ajenas a ella, además de aportar soluciones a conflictos internos (FIDA, 2009).

Barragán y Amador (2014), mencionan a la cartografía participativa como una metodología que posibilita el abordaje no solo de los problemas sociales, sino que también integran los diferentes actores en los procesos de co-contrucción social del conocimiento, intercambio colectivo de saberes, incluso en la identificación de los recursos para la transformación de sus realidades.

Por su parte González-Pacheco *et al.* (2019), menciona que los mapas participativos son el resultado de la dialéctica del espacio expuesto por Lefebvre, trabajado por Soja (1996), y divulgado por Diez Tetamanti *et al.* (2014), quienes desarrollaron la denominada “thirdspace”. Tanto el material de la práctica espacial, mental de la representación del espacio y la experiencia del espacio de representación, son registrados en este mapeo de la realidad; este mapeo procura generar nuevos conocimientos en función de la memoria colectiva de las comunidades.

1.4.3. La cartografía participativa para el análisis de estudios de caso

De manera global, se pueden referir algunos casos prácticos como el de Tailandia con la planificación participativa del uso de la tierra. En este caso práctico se utilizaron técnicas de cartografía participativa para que la comunidad interviniera en el análisis de las cuestiones relativas a la planificación local y regional del uso de la tierra y contribuyeran a resolverlas. Como resultado, se clasificaron los recursos naturales a nivel de aldea para mejorar la utilización sostenible de la tierra, el agua y los bosques, y se elaboraron estrategias de gestión (FIDA, 2009).

Otro caso práctico ocurrió en Filipinas, en el que se realizó el proyecto PAFID-FIDA, entre los años 2003-2006, este implemento técnicas de cartografía participativa para obtener el pleno reconocimiento jurídico de los derechos y territorios ancestrales de las comunidades indígenas en Mindanao septentrional. Este proyecto beneficio a 12,000 indígenas que reivindicaban en total unas 100,000 hectáreas de territorios ancestrales (FIDA, 2009).

Algunos casos prácticos también han ocurrido en Latinoamérica. En 2005, en Perú se llevó a cabo el proyecto de Fortalecimiento de los Mercados, en el que se tenía como objetivo incrementar el valor de los activos naturales y materiales. Este proyecto utilizo técnicas cartográficas comunitarias para indicar como las comunidades perciben el pasado, el presente

y el futuro del entorno local y las zonas a su alrededor. La cartografía participativa permitió documentar los recursos materiales e inmateriales, para determinar las iniciativas económicas basadas en recursos para su gestión (FIDA, 2009)

En Colombia, también se ha utilizado la cartografía participativa para caracterizar los conflictos socioambientales que afrontan los habitantes de la cuenca alta del río Cauca. En la investigación realizada por Vélez *et al.* (2012), se exploraron los problemas del monocultivo de caña de azúcar, procesos de expansión urbana, minería de oro a cielo abierto y afectaciones de las hidroeléctricas en tres de las comunidades de la cuenca alta del río Cauca. A través del uso de la cartografía participativa como metodología, se indaga como perciben y se movilizan las comunidades ante los conflictos socioambientales asociados con procesos económicos extractivos en la cuenca. Como resultado se identificaron las relaciones con los conflictos socioambientales, cambio de usos de suelo de la cuenca alta del río Cauca entre los años 1950 - 2011, además se construyeron productos de investigación para el fortalecimiento de las organizaciones sociales.

En Colombia otro caso práctico de cartografía participativa se llevó a cabo en los barrios del departamento de Caldas por Betancurth Loaiza, *et al.* (2020), en el periodo de 2018 a 2019, en el que se identificaron los activos comunitarios a través de varios aspectos como ubicación geográfica, determinantes sociales, percepciones del entorno, actitudes, historicidad, antecedentes de acompañamiento comunitario y economía local. En este estudio se utilizó el programa Atlas.ti 7.0 para codificar la información y generar categorías. Como resultado se evidenció la utilización de la cartografía social como un método para el estudio de los activos en salud a nivel comunitario, así como una reflexión a la discusión teórica de la cartografía participativa como aporte metodológico en la praxis de la salud pública

En México, los casos más relevantes de cartografía participativa son los que se han derivado de proyectos a cargo de organizaciones de la sociedad civil, por ejemplo Geocomunes, con el análisis de megaproyectos asociados al transporte, industria, urbanización, proyectos energéticos, deforestación, minería y conflictos sociales, entre otros. Estos análisis, han permitido detallar las problemáticas y los actores envueltos en situaciones que amenazan los bienes comunes, a diferentes escalas (Geocomunes, s.f.a).

La cartografía participativa ha sido utilizada en las últimas décadas en razón a los cambios sociales, poblacionales y del territorio. Sin embargo, dentro de los estudios en el

país relacionados con la cartografía participativa, también hay casos en los que esta técnica se ha implementado con intereses poco éticos por parte de instituciones y grupos de interés, dejando de lado el elemento comunitario y el objetivo principal que esta técnica propone.

Un ejemplo de esto es referido por Bjørn-Sletto *et al.* (2020), entre los años 2006 y 2009 en las comunidades del Rincón Zapoteco. En el proyecto denominado *México indígena* ocurrió un caso de extractivismo de información comunitaria, pues los diferentes ejercicios de mapeo participativo que buscaban fortalecer el control de las comunidades sobre la tierra y los recursos se convirtieron en un acto de “geopiratería”, ya que la institución a cargo recopiló datos para entregarlos a su fuente financiadora con otro objetivo y sin certeza de cuántos fueron los datos recopilados en las comunidades y su uso.

Algunos estudios de cartografía participativa realizados por Laboratorio de Investigación en Desarrollo Comunitario y Sustentabilidad (LIDECS) en el Valle del Mezquital, han permitido examinar una parte de la percepción de los riesgos ambientales de las comunidades pertenecientes a los municipios de la región de Apaxco-Atotonilco-Atitalaquia; el análisis de este colectivo muestra un panorama alarmante de las problemáticas ambientales de esta región de sacrificio (Martínez-Jiménez, 2018).

Actualmente, esta técnica sigue siendo una herramienta importante para el análisis social y geográfico por parte de diferentes instituciones, grupos académicos y laboratorios de investigación. Aunque el mapeo participativo ha sido abordado desde diferentes encuadres del conocimiento y por diversas entidades, existen pocas aproximaciones teóricas de este concepto aplicado al urbanismo.

1.5 Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Dentro de las definiciones más usadas para referir a los SIG, se puede mencionar a Cowen (1990), estos se definen como:

Un SIG, es un sistema de hardware, software, y procedimientos diseñados para realizar la recolección, el almacenamiento, administración, análisis, modelización y presentación de datos referenciados espacialmente para la resolución de problemas complejos de planificación y gestión. (p. 3)

Por otra parte, según la definición del portal de Esri Ecuador (2021), los SIG son una estructura para recopilar, gestionar y analizar datos de diferente tipo, que analizan la ubicación espacial, organizan capas de información y visualizan mediante mapas y escenas en 3D, una vasta colección de datos, revelando información detallada sobre estos elementos como patrones, relaciones, situaciones, lo que ayuda a los usuarios a tomar decisiones inteligentes.

Otra definición plantea que los SIG pueden ser el conjunto de información con herramientas informáticas o software que tiene como fin la obtención de datos relacionados con el espacio físico. Este permite a los usuarios crear consultas interactivas, integrar, analizar y representar de una forma eficiente cualquier información geográfica asociada a un territorio, además de permitir conectar mapas con bases de datos facilitando la visualización de los datos obtenidos en un mapa, relacionando fenómenos geográficos de cualquier tipo (SGM, 2017).

De acuerdo con los aportes conceptuales antes presentados, podemos definir a los SIG en esta investigación como un conjunto de herramientas tecnológicas que son utilizadas para el manejo, análisis e interpretación de la información de diversas temáticas que pueden representarse en un espacio geográfico.

1.5.1. SIG y aplicaciones

Braceras (2012), menciona que las aplicaciones de los SIG son numerosas, pues estos pueden ser utilizados para la investigación científica, la gestión de recursos, la arqueología, la gestión del medio ambiente, la cartografía, la planificación territorial y urbanística, la

sociología o la gestión catastral, entre otros. Un SIG almacena información referenciada geográficamente, con coordenadas absolutas, a la que se es posible añadir información alfanumérica (datos cuantitativos o cualitativos) creando todo tipo de mapas temáticos.

Los SIG son utilizados actualmente para varias disciplinas y sectores de sociedad, como la economía, política, estudios urbanos, ciencias ambientales, estudios de riesgo, medicina, entre otras ramas. Algunos de los usos más relevantes han sido los enfocados a los estudios técnicos sobre indicadores socio-territoriales, otros a la rama de las actividades y servicios, como las plataformas digitales, y algunos más a los estudios de la gestión territorial y de recursos.

Los SIG, han servido como una herramienta para el análisis integrado del riesgo para la salud, ya que este se basa en la elección de indicadores específicos de salud ambiental y su proyección espacial. Los factores de riesgo dependen de variables sociales, ambientales y de salud tales como la presencia de fuentes de contaminación, los contaminantes en el medio, el comportamiento de la población y la accesibilidad de los grupos expuestos a los sistemas sanitario y educativo (Arribas *et al.*, 2012).

Por tanto, son bastantes los usuarios de miles de organizaciones, en todos los campos del conocimiento, que usan los SIG para hacer mapas que comuniquen, realicen análisis, compartan información y resuelvan problemas complejos en todo el mundo (Esri Ecuador, 2021).

1.5.2. SIGs y proyectos participativos en materia ambiental

Los SIG son un recurso que integra nuevos métodos de enseñanza y aprendizaje dentro de las nuevas tendencias cartográficas, es por esto por lo que el SIG participativo se compone de la cartografía social y la cartografía convencional, permitiendo toma de decisiones más acertada gracias a que la cartografía participativa representa la visión de la comunidad sobre su territorio (Ramírez-Morales y Gualdrón, 2018).

Un ejemplo sobre el uso de los SIGs y su vinculación con la cartografía participativa es el proyecto de Mapeo de Conflictos Ambientales (MCA) creado en el Observatorio de la Deuda en la Globalización (ODG) en 2010, en este proyecto, la cartografía crítica y colaborativa se sitúan como un elemento que aspira a ser una herramienta de lucha y

transformación social, pues la necesidad de denunciar situaciones de injusticia ambiental ha empujado a las redes de comunidades y organizaciones en lucha a construir estrategias comunes a nivel local y transnacional. Por lo anterior, el mapeo crítico, participativo y colectivo puede tener varios niveles de acción, desde la creación artística hasta la acción directa para la formulación de políticas, que se suman y complementan con el objetivo de proveer el cambio social (Ortega, 2012).

En América Latina, existen proyectos como el observatorio del Programa de Pós-Graduação em Cartografia Social e Política da Amazônia (PPGCSPA), cuyo objetivo principal es analizar la relación entre la implementación de megaproyectos de minería, infraestructura, logística y sus efectos sociales. Este observatorio muestra la cartografía social de los conflictos que afectan a los pueblos y comunidades tradicionales de la Amazonía y el Cerrado (PPGCSPA, s.f).

Así mismo, el Atlas de Justicia Ambiental de la Universidad Autónoma de Barcelona (UAB), es un proyecto que ha sido elaborado a través de un proceso colaborativo entre académicos y la sociedad civil (ONG, activistas, comunidades), y que aporta evidencia sobre los conflictos ecológicos en todo el mundo. El Atlas muestra los conflictos por tipo, mercancía/recurso, compañía o país, además de recopilar las historias de las comunidades que luchan por la justicia ambiental. El objetivo de este proyecto es visibilizar las movilizaciones, reclamos, testimonios y defender el caso de una verdadera responsabilidad corporativa y estatal por las injusticias infligidas a través de sus actividades (EJ Atlas, s.f.)

En México se puede mencionar al Observatorio de Emergencias Socio-ecológicas (OES), este es un proyecto participativo de monitoreo ambiental que contribuye con información científica e investigación a las resistencias en la defensa del territorio desde las comunidades y para ellas (Vargas, 2022). Este proyecto tiene como objetivo producir información sobre las distintas emergencias socio-ecológicas que ocurren en el país, desde aquellas tan grandes como la ocurrida en el Río Sonora, hasta las más pequeñas en tamaño, pero igual de perjudiciales en la salud ambiental y humana, como el incendio del basurero de la comunidad de Santa María Coapan, Tehuacán, Puebla (Meza, 2022).

En el norte de México, el Observatorio Río Sonora es un proyecto que implementa las metodologías participativas y tecnológicas de la información para visibilizar los recursos biológicos, histórico-culturales, sociales y también las amenazas a estos recursos. El

observatorio tiene como objetivo ser un espacio de intercambio entre información académica y conocimiento de la población local sobre la situación socioambiental de la Cuenca del Río Sonora, además de fomentar el uso de cartografía participativa y los SIG (COLSON, s.f.).

En el sur de México, el colectivo Geocomunes ha implementado el uso de plataformas basadas en SIGs con el fin evidenciar las diferentes problemáticas ambientales en el sur del país, tal es el caso del visualizador de la península de Yucatán el cual se compone de varios proyectos sociales, territoriales y energéticos. Este visualizador compila varios de los proyectos participativos, desarrollados con las comunidades del sur de península de Yucatán, con el fin de visualizar los impactos y las injusticias ambientales de los proyectos regionales de desarrollo turístico, urbano, energético y económico (Geocomunes, s.f.b).

Los proyectos antes descritos, son ejemplos claros de como se ha articulado la cartografía social y las geotecnologías para examinar los conflictos ecológicos, las injusticias socioambientales, los recursos comunitarios y locales, entre otros encuadres socioambientales. Por tanto, es importante destacar que la integración de ambas puede ayudar a comprender, representar y difundir los temas de estudio actuales sobre problemáticas socioambientales y otros ejes de análisis que pueden ser abordados por diferentes disciplinas, por ejemplo, la medicina a través de los análisis epidemiológicos, la biología con el análisis de las diferentes afectaciones en seres vivos y el derecho con los estatutos-regulaciones relacionados con la justicia ambiental y social.

1.6 Zonas de sacrificio⁸

1.6.1. Aproximaciones conceptuales

El origen de la etiqueta *zonas de sacrificio*, como menciona Lerner (2010), proviene de la expresión de *zonas de sacrificio nacional*, este es un “término acuñado por funcionarios del gobierno para designar áreas peligrosamente contaminadas como resultado de la extracción y el procesamiento de uranio en armas nucleares durante la guerra fría” (p. 14).

El criterio de zona de sacrificio ha sido expresado en una larga historia de injusticia ambiental y se ha utilizado como un término para describir comunidades y paisajes desfavorecidos, contaminados y descuidados de manera desproporcionada en nombre de la acumulación de capital (Davis 2003, 1993; Faber, 2008). Por lo anterior, Sacco y Hedges (2012), mencionan que este concepto ha servido para definir estas zonas como “aquellas áreas del país que han sido ofrecidas para la explotación en nombre de las ganancias, progreso y avance tecnológico” (p. 8).

El concepto de zonas de sacrificio maneja diversas nociones y contextos, Lerner (2010, p. 15) menciona que:

La designación de zonas de sacrificio no solo comprende las áreas contaminadas por radiactividad, como en un principio era asociado este concepto, sino lugares sacrificados a los estragos de una intensa contaminación, en los que se debe incluir a las comunidades con procesos de contaminación agudos y donde los residentes viven adyacentes a industrias altamente contaminantes; estas poblaciones que viven junto a la industria pesada, deben hacer sacrificios económicos y de salud desproporcionados que las personas con mayor poder adquisitivo pueden evitar.

Por otra parte, Lopes de Souza (2020, p. 220-221) indica que:

El termino de zonas de sacrificio, es como se ha dado a conocer internacionalmente a cierto tipo de espacio segregado y estigmatizado, donde la salud física, mental y calidad de vida de los seres humanos se ven comprometidas en aras de los intereses capitalistas. También,

⁸ La información de este apartado fue empleada para la publicación del artículo: Martínez Jiménez, E., & Pérez Ramírez, C. A. (2024). Elementos determinantes de las zonas de sacrificio en México. Bajo el volcán. Revista del Posgrado de Sociología. BUAP, 62–93. <https://doi.org/10.32399/ICSYH.bvbuap.2954-4300.2024.6.11.772>

señala que la ubicación de las zonas de sacrificio tiene una característica típica, estas se ubican en la (semi)periferia de los grandes centros urbanos, donde el espacio se considera particularmente “adecuado” para recibir actividades que son altamente impactantes y peligrosas en relación con los desastres o contaminación ambiental; por ejemplo, fábricas altamente contaminantes y vertederos de desechos tóxicos.

Desde la perspectiva de la sustentabilidad, Niessen (2020, pp. 860-864), afirma que:

La crisis ambiental y el racismo se vinculan cada vez más con las zonas de sacrificio, pues estas se conciben como ubicaciones físicas que se designan como prescindibles en aras de la actividad económica y que implican tanto ecocidio como racismo, dado a que los paisajes y sus poblaciones se destruyen en el proceso, pues las zonas de sacrificio son abundantes en recursos que se consideran prescindibles y explotadas para obtener ganancias económicas.

Desde la perspectiva económica actual (capitalista), Souza (2020, p. 223) señala que:

Las personas que viven en una zona de sacrificio son vistas como *personas desechables*, pues son vidas que pueden ser sacrificadas masivamente y que son reemplazables; estas personas viven en ambientes que están contaminados y lentamente debilitan su salud incrementando la mortalidad en la zona.

Actualmente, la expresión *zona de sacrificio* se utiliza para justificar la extracción de recursos a macro escala, donde las tierras y los pueblos de estos proyectos de extracción masiva se sacrifican en gran medida en nombre de las dinámicas económicas y energéticas nacionales dominantes (Little, 2017). Estas áreas se consideran irreparables debido a las

consecuencias de la actividad económica humana y a los tipos de contaminación irreversibles (De Bruyn, 2023).

En América latina, la conceptualización de zonas de sacrificio ha sido expresada bajo la idea de *territorios de sacrificio*, esta se ha desarrollado en contextos extractivistas y luchas socio territoriales en Chile, Argentina, Bolivia, Ecuador y se ha utilizado para designar el “proceso de degradación de la vida que se instala con la llegada de proyectos de desarrollo, implementados por los gobiernos bajo el discurso del bien común” (Muñoz, 2021, p. 63).

En Chile, Castán-Broto y Sanzana-Calvet (2020, p. 280) mencionan que:

El termino de zonas de sacrificio entro en el debate público por primera vez en 2015, cuando cinco comunas (Tocopilla, Huasco, Quintero, Coronel y Puchuncaví) se reunieron para exigir al gobierno nacional acciones y reconocimiento de sus barrios como zonas de sacrificio; áreas urbanas expuestas a grados extremos de contaminación ambiental y degradación causada por la concentración de actividades industriales, como la minería del carbón o la generación de electricidad. Los costos sociales, económicos y ambientales de las industrias energéticas, se han justificado en nombre del desarrollo nacional y el crecimiento económico.

En México, Muñoz (2021) menciona que el termino territorios de sacrificio ha sido utilizado en el ámbito ambiental para “describir e identificar territorios que comparten la sustracción desmedida de aguas, crecimiento imparable de urbes, agotamiento de bienes naturales y ecosistemas, sobreexplotación de espacio, aumento de actividades mineras y extractivas, proliferación de espacios urbanos” (p. 63).

De esta forma, para la investigación el termino *zona de sacrificio* puede definirse como el territorio que ha sido impactado por una alta presencia de industrias contaminantes y que es visto como un espacio geográfico en el que las actividades son reguladas de manera laxa permitiendo: la extracción de recursos de forma desenfrenada, entrada de actividades peligrosas (ambientales y sociales) y una expansión industrial-urbana a favor de intereses capitalistas.

Las características típicas de este tipo de zonas se distinguen por la presencia de un número considerable de problemáticas socioecológicas frecuentes, así como varios casos de afectaciones en la salud relacionadas con la actividad industrial de las poblaciones cercanas a estos polígonos, que decrecen la calidad de vida y vulneran sus derechos.

1.6.2. Caracterización de las zonas de sacrificio

Las zonas de sacrificio se han caracterizado con base a las tipologías descriptivas del propio concepto acuñado en las luchas sociales relacionadas con la defensa del territorio y la justicia socioambiental. Este concepto describe las zonas de sacrificio como los territorios con mayor presencia de problemáticas ambientales y de industria pesada que afectan directamente la salud de la población y degradan el territorio sin importar las consecuencias socioambientales de la región. Lopes de Souza (2020), menciona que la población de estos territorios es vista como “desechable”, al igual que la mano de obra que se emplea en las industrias y megaproyectos de desarrollo económico, energéticos y extractivos.

Las zonas de sacrificio, territorialmente, se pueden caracterizar respecto a varios componentes principales, Martínez (2024) menciona los siguientes:

- a) presencia de industria pesada
- b) zonas de extracción de varios tipos
- c) grandes vías de comunicación interestatales
- d) desarrollos inmobiliarios (ciudades dormitorio)
- e) problemáticas perceptibles en agua, aire y suelo
- f) laxa regulación al sector industrial
- g) monitoreo ambiental mínimo
- h) surgimiento de movimientos sociales
- i) incidentes frecuentes de emergencias socioambientales

Dicho lo anterior, a lo largo del territorio nacional podemos encontrar regiones que compartan características similares con las zonas de sacrificio y que han sido documentados (Álvarez-Mullaly *et al.*, 2021) por parte de académicos, expertos y sociedad civil por sus procesos de degradación ambiental y sanitaria de los hábitats. Barreda (2020), citado por Muñoz (2021, p. 101) menciona algunos lugares como:

Las comunidades a orillas del río Santiago en El Salto y Juanacatlán, Jalisco, las comunidades del río Lajas en Dolores Hidalgo, Guanajuato, las comunidades de la región del río Tula, Hidalgo y el río Salado, Estado de México, las comunidades de la cuenca del río Zahuapan y Atoyac, Tlaxcala, las comunidades del río Metlapanapa, Puebla y las comunidades de Coatzacoalcos, Veracruz.

Sin embargo, no solo existen los casos antes referenciados, hay más zonas de sacrificio que pueden compartir otro tipo de componentes o prescindir de alguno de ellos, por ejemplo, las que se vinculan a nombre del interés nacional, por omisión del estado, acumulación histórica, acumulación daños, acumulación de vulnerabilidades y de construcción de vulnerabilidades (Bravo, 2023). Por lo anterior, Bravo (2021, p. 6) considera que:

En la creación de las zonas de sacrificio existe una intencionalidad del estado, pues este ejerce modalidades de violencia espacial destructiva y justifica estas con las utilidades que genera; el Estado demanda a sectores de la población, considerados inferiores, una ofrenda-sacrificio para alcanzar un bien superior, con notaciones morales casi heroicas, este sacrificio implica la destrucción, en muchos casos irreversible del lugar.

Bravo también hace énfasis en el término del *sacrificio* ya que menciona que:

Si bien este sacrificio es inútil, ¿porque el retorno no está garantizado?, siempre hay un cálculo: ¿cuánto se está dispuesto a sacrificar a cambio de un proyecto que generara riqueza o un valor? ¿una comunidad, un barrio, ecosistema o un país?, de aquí que los diferentes significados y alcances de sacrificio pueden ser de diferente tipo: acumulación histórica de daños, acumulación de vulnerabilidades, construcción el desastre, intencionalidad por

omisión, intencionalidad expresa y acumulación de factores sacrificales. (p. 7)

En la zona de estudio, la zona de sacrificio abarca varios territorios del Estado de Hidalgo y parte de la zona norte del Estado de México, donde el proceso de degradación es visible a lo largo de la zona por un alta presencia de minería a cielo abierto, industria pesada, ubicada en tres parques industriales en las periferias de los principales núcleos urbanos, descargas de aguas negras urbanas e industriales, problema socioecológicos relacionados con la gestión de residuos en la región, movimientos sociales de base y surgimiento de nuevos grupos que exigen un alto a la degradación al ambiente y al territorio, además del derecho a la justicia ambiental.

En un caso más cercano al centro del país, en el Valle de Toluca, Estado de México, se encuentra la Zona de Sacrificio Lerma (ZSL), esta se compone por varios parques industriales que se encuentran en la periferia del núcleo urbano de Toluca. A estos se les suma el río Lerma como principal caudal al que van a parar tanto aguas residuales urbanas como industriales. Igualmente, a lo largo del territorio se pueden observar varios desarrollos inmobiliarios de carácter especulativo que responden a los procesos de expansión urbana de la capital mexiquense. También se cuentan con otro tipo de problemas ecológicos como la tala ilegal de árboles en diferentes puntos del Valle de Toluca, siendo los visibles los de las localidades cercanas al Xinantécatl (Nevado de Toluca) y a las localidades limítrofes con la Ciudad de México como San Francisco Xochicuatl, Santa Cruz Hitzizilapan, Santa Ana Jilotzingo, entre otras más.

En las periferias también se pueden observar zonas de extracción de materia prima para la construcción como el tepojal, el tezontle y block en las comunidades pertenecientes a Xonacatlán, Oztoltepec, Lerma y Temoaya. Aunado a esto, también hay presencia de movimientos sociales ambientales y en defensa del territorio en los diferentes puntos de la capital: en la zona norte de Toluca con la presencia de habitantes de San Andrés Cuexcontitlán y Temoaya, en el noreste con habitantes de La Constitución Totoltepec y Lerma, en la zona sureste con habitantes de San Mateo Atenco, en la zona suroeste con habitantes de San Juan de las Huertas y San Felipe Tlalmimilolpan, al oeste con habitantes de Almoloya de Juárez y San Francisco Tlalcilcalpan, entre otras localidades que defienden la vida, el ambiente y el territorio.

De manera similar que, en otras zonas de sacrificio, también se tiene una laxa regulación ambiental a la industria y a las principales problemáticas ambientales como la contaminación por material particulado, deforestación, contaminación y pérdida de cuerpos de agua, entre otras. Por tanto, las zonas de sacrificio de la Región Tula y Lerma comparten componentes que pueden ser comparables con otros territorios con condiciones similares.

Por lo anterior, el reconocimiento de estas zonas permite visibilizar la cantidad de impactos a la salud, ambiente y procesos de gobernanza que son omitidos en la implementación de proyectos de desarrollo, energéticos y de vivienda, que traen consigo el desarrollo-expansión de estas zonas en los territorios.

1.6.3. Zonas de sacrificio y Sistemas Urbanos

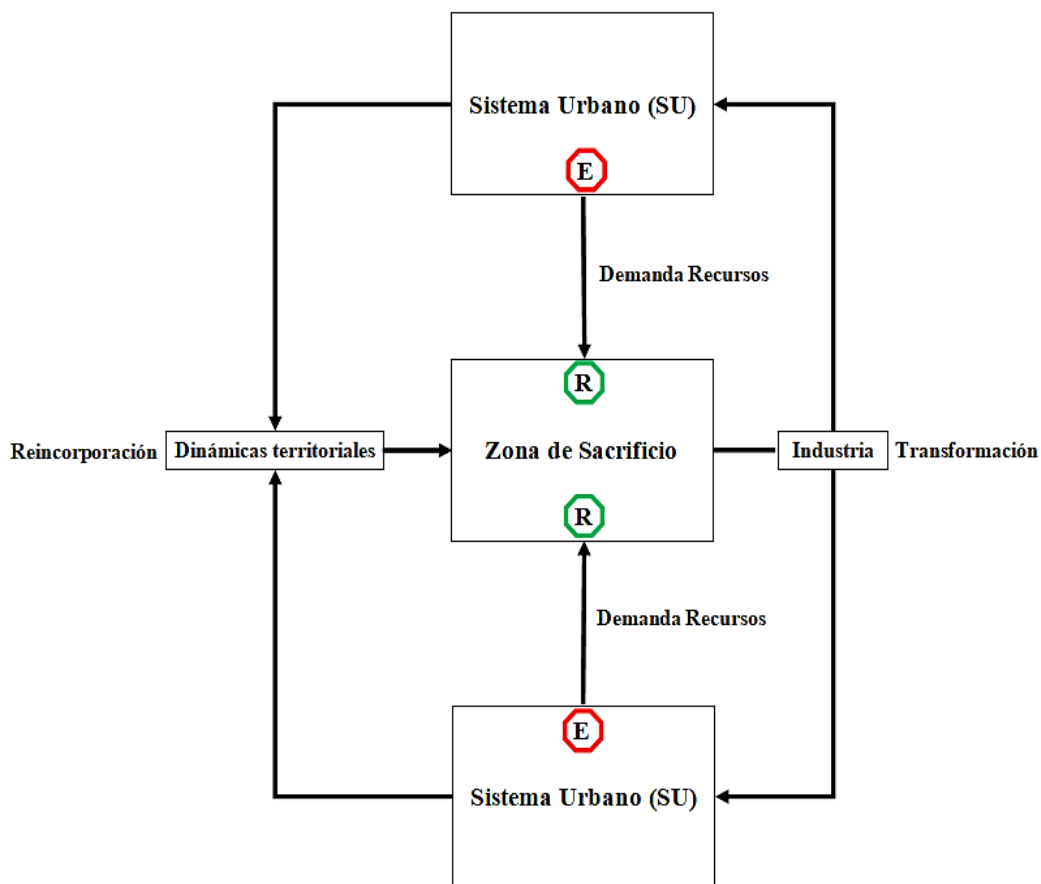
Ciertamente, los procesos que se generan en las zonas de sacrificio tienen estrecha relación con la demanda de los recursos que las ciudades ejercen hacia las periferias, siendo el elemento de intercambio y transformación, los principales componentes que explican cómo se generan estos procesos de perturbación de los sistemas urbanos hacia las zonas periurbanas.

Por lo anterior, es importante definir que los sistemas urbanos no solamente se tratan de una unidad dimensional para definir los procesos de una urbe, si no que comprenden conexiones a diferentes escalas que pueden ir desde una ciudad hasta una región. Estos sistemas urbanos pueden estar constituidos por centros urbanos y localidades rurales, en donde se generan interacciones directas con elementos naturales, como la demanda de recursos, y también de forma indirecta con la reincorporación de los recursos transformados, lo cual propicia la reproducción de las dinámicas territoriales.

Las zonas de sacrificio no solo interactúan con un solo sistema urbano, si no que en la mayoría de los casos están subordinados a otros, teniendo como elemento de enlace los procesos de transformación y reincorporación de materia. Por lo anterior, Díaz (2014), menciona que a medida que el abastecimiento local de las ciudades continua en aumento por agentes como las corporaciones e individuos, los centros urbanos generan dinámicas entre los territorios de los cuales se abastecen y establecen sus relaciones, así como su nivel de

entropía a través de procesos de apropiación del territorio y del espacio. Para explicar estas relaciones, se presenta el siguiente esquema que refiere como se dan estas conexiones con el sistema urbano y las zonas de sacrificio.

Figura 5. Esquema de relación entre dos sistemas urbanos y una zona de sacrificio



Fuente. Elaboración propia, con base a Díaz, 2014 y Woźniak, 2018.

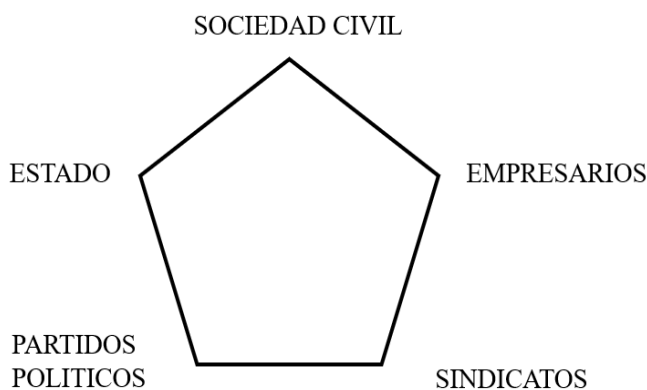
Respecto a lo anterior, se muestra el modelo de interacción entre dos sistemas urbanos y una zona de sacrificio, que es utilizada como un sistema de recurso y también de retorno de la materia transformada a través de las dinámicas territoriales de reincorporación de la materia en forma de residuos, aguas negras y/o material particulado. También se refieren dos procesos en el esquema, “E” que señala la extracción (quien genera la demanda) y “R” que refiere al recurso (de donde se extrae).

1.6.4. Actores ligados a las zonas de sacrificio

Las zonas de sacrificio tienen cierto dinamismo con los SSE y los componentes urbanos que se vinculan con los procesos de extracción y retorno de recursos. Es por esto por lo que el sistema urbano es un elemento que se interrelaciona con varios actores y agencias involucradas en su funcionamiento.

Desde la política ambiental, los actores que se han considerado que intervienen y construyen los ejes en materia ambiental son: el Estado, sociedad civil, sector empresarial, sector político y sindicatos (Römpczyk, 1995).

Figura 6. Pentágono de los actores de las políticas ambientales



Fuente: Römpczyk, 1995.

En el caso de las zonas de sacrificio, los actores identificados son el sector privado, académico, población local y el Estado (véase Figura 7). Estos tienen una relación con las problemáticas ambientales, debido a que dentro de los procesos internos del SSE existe elementos detonantes vinculados con las transformaciones del territorio, lo cual genera momentos críticos de coyuntura en las dinámicas territoriales y conflictos sociales como respuesta a tales procesos.

En este sentido en las últimas décadas, el Estado ha tenido un rol cada vez menor en la gestión territorial de la RTVM, teniendo mayor peso el sector privado en este ámbito al ser un actor principal que está presente en los programas de desarrollo y ordenamiento en los tres niveles de gobierno de la región. Por su parte, el Estado al focalizar el discurso en el mercado energético como desarrollo nacional, ha impulsado el crecimiento de las zonas industriales, como las que se encuentran en la RTVM, ampliando la zona de sacrificio aún más con la instalación de nuevos megaproyectos.

Por lo anterior, los actores sociales son considerados parte fundamental en los procesos de defensa del territorio y en las respuestas de los conflictos vinculados a los problemas socioecológicos que se han presentado en la RTVM, ya que han sido los habitantes, organizaciones no gubernamentales, aliados políticos, académicos, y activistas quienes han denunciado las irregularidades, afectaciones, omisión e incumplimiento de las normas. Esto se ha visibilizado a través de numerosas marchas, foros informativos, y propuestas locales.

Actualmente, los actores que frecuentemente están implicados en las zonas de sacrificio son:

- a) Estado: Gobierno Federal, Estatal, Municipal, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) , Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), Centro Nacional de Programas Preventivos y Control de Enfermedades (CENAPRECE), Secretaria de Economía (SE), Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU), así como otros organismos que están relacionados con la regulación, monitoreo y competencia en los temas de medio ambiente y territorio.
- b) Sociedad civil: Colectivos ambientalistas, colectivos en defensa del territorio, Organizaciones No Gubernamentales, movimientos sociales emergentes y de base, así como otras organizaciones locales, como redes vecinales y grupos comunitarios.
- c) Consorcios empresariales: Industrias del sector metalúrgico, industrias del sector de la construcción, industrias del sector agrícola, industrial del sector alimenticio,

industrias del sector energético, industrias del sector manufacturero, industrias del sector textil, industrias del sector químico, industrias del sector ganadero, industrias del sector minero, así como otras industrias vinculadas con la extracción de recurso, transformación y reincorporación de materia.

1.7. Emergencias socioecológicas

Dentro de las definiciones relacionadas con las problemáticas socioecológicas, se incluyen a las emergencias ambientales. Estas se definen en las Directrices para Emergencias Ambientales de la ONU (2017) como: un desastre o accidente repentino originado por factores naturales, tecnológicos o provocados por el hombre, o una combinación de estos, que causa o amenaza con causar graves daños ambientales, así como la pérdida de vidas humanas y propiedades. Entre los daños se incluyen las consecuencias ambientales secundarias de amenazas naturales, además de los desastres provocados por el hombre.

Las emergencias ambientales suelen ser de distintitos tipos como: accidentes industriales, derrames de petróleo, accidentes de transporte, incendios forestales, emergencias de salud ambiental y pública, radiológica, contaminación marina, de desechos peligrosos, efectos devastadores en humedales costeros y de agua dulce, por mencionar algunos. Es importante mencionar que, casi todos los tipos de emergencias ambientales tiene consecuencias para la salud en las poblaciones afectadas (ONU, 2017).

Las emergencias ambientales tienen una estrecha relación con las emergencias socioecológicas, para comprender la similitud es preciso mencionar que el primer concepto se refiere a como se definen y se atienden este tipo las emergencias, el segundo concepto está vinculado con las interacciones directas con los sujetos, el contexto ambiental y territorial. Las emergencias socioambientales se identifican principalmente en términos de tiempo, escala y afectación (véase Anexo A1), por ejemplo; cuando el aire se envenena por sustancias químicas o cuando ocurre un evento súbito e inesperado que afecta a un espacio geográfico determinado.

En México, los marcos legales respecto a las emergencias socioecológicas carecen de una definición teórico-práctica, es decir, actualmente las emergencias socioecológicas discrepan de las normativas y acciones que teóricamente deberían considerarse para afrontar la alteración del medio, ya sea social o ambiental, en las diferentes escalas del tiempo relacionadas con la respuesta ante una emergencia. Las acciones realizadas a través de las declaratorias ambientales, vinculadas con las emergencias socioecológicas, distan de ser la mejores para resarcir los daños ambientales y las afectaciones a la población en los diferentes casos en México.

En el Estado de Sonora, la emergencia socioecológica más relevante es la ocurrida en 2014 en el río Sonora vinculada con Grupo México, en la que se afectaron a más de 22,000 personas de siete municipios: Arizpe, Banámichi, Huépac, Aconchi, San Felipe, Baviácora y Ures (Lamberti, 2018). Las acciones que se tomaron para actuar y resarcir los daños no fueron las más adecuadas, pues varios pobladores de los municipios afectados refieren una situación de ausencia de las autoridades reguladoras para remediar los impactos en el ambiente y la salud de la población, además de inconsistencias en el Fideicomiso Río Sonora, creado para subsanar esta catástrofe ambiental (Proyecto PODER, 2020).

En la región del Valle del Mezquital, una de las emergencias socioecológicas más relevantes que se vinculan con el tema de la gestión adecuada de este tipo de sucesos es la explosión en la planta de agroquímicos de ATC ocurrida en 2013, en este suceso los protocolos de seguridad para responder a este tipo de emergencias no se ejecutaron de la mejor manera, además de que la cantidad real de personas que fueron afectadas se desconoce, ya que la población que fue canalizada a los centros de salud y unidades de emergencia, derivada del suceso, fue atendida por cuadros clínicos de intoxicación y crisis nerviosa por lo sucedido, sin embargo, no se dio un seguimiento a la población que fue expuesta por varias horas a contaminantes derivados de la explosión (Senado de la República, 2013).

En la región del Alto Lerma, también han ocurrido emergencias socioecológicas relevantes, principalmente de tipo industrial. En 2025 se suscitó una emergencia que impacto de manera amplia a la población de los municipios de la zona norte del Valle de Toluca: Temoaya, Oztolotepec, Lerma. El incendio de un centro de reciclaje de material de la CFE origino esta emergencia, en la que se emitieron grandes cantidades de contaminantes a la atmósfera por un tiempo prolongado, mismas que alcanzaron a percibirse a cinco kilómetros como un olor a cables o plástico quemado. La columna de humo y contaminantes fue visible en gran parte del Valle de Toluca, lo que provocó una mala calidad del aire, durante el suceso así como en días posteriores, a pesar de ser controlado en varias ocasiones, este incendio tardo poco más de una semana en ser sofocado en su totalidad.

Capítulo 2. Marco referencial de los SSE y la CP

Con la finalidad de formular una propuesta propia para el análisis sobre las problemáticas ambientales en la región de sacrificio de estudio, el presente apartado presenta una revisión de estudios e investigaciones previas en el ámbito temático de los sistemas socioecológicos y la cartografía participativa, que pretenden la identificación de fundamentos teóricos, metodologías y categorías de análisis, que han sido empleados en diversos casos de estudio en el contexto internacional, latinoamericano y en México.

Para ello, se llevó a cabo la búsqueda, selección y análisis de diversos recursos documentales, principalmente artículos científicos de revistas indizadas y capítulos de libro especializados, que fueron seleccionados a partir de los siguientes criterios: desarrollo empírico de un caso de investigación, claridad y consistencia en la propuesta metodológica aplicada, cobertura temática afín al objeto de estudio, colaboración de investigadores y académicos de reconocidas instituciones, así como la vigencia de la publicación de cada contribución.

A fin de identificar los elementos más relevantes de cada uno de los trabajos objeto de esta revisión, se diseñó un cuadro que permitió distinguir el tipo, año, área, país, términos, categorías y variables. Como resultado se presentan 12 contribuciones de las cuales se destaca la problemática, el objetivo, descripción del caso de estudio, metodología empleada, resultados, así como una reflexión sobre los elementos de mayor significancia que podrían ser retomados en la formulación de una propuesta de análisis propia para la zona de sacrificio de la Región Tula del Valle del Mezquital, Hidalgo.

2.1. Sistemas Socioecológicos

En este apartado se incluyeron las aportaciones de los estudios realizados en el contexto internacional, latinoamericano y nacional en relación con los sistemas socioecológicos. Estas investigaciones se consideraron relevantes respecto a sus elementos de concordancia metodológicos, teóricos y conceptuales con la presente investigación.

2.1.1. Sistemas Socioecológicos de un río al noreste de Siberia, Rusia

En el contexto internacional, se puede referir el estudio realizado por Mustonen y Shadrin, (2021), en la comunidad Andryushkino de los pueblos Yukaghir y Even, localizados a la orilla del río Alazeya en el noreste de Siberia. Esta investigación se sitúa en el marco de análisis de los sistemas socioecológicos, por lo que en este caso se analizaron los cambios sistémicos en el contexto socioeconómico de la cuenca fluvial y la comunidad mediante historias orales registradas en la comunidad entre 2005 y 2020. Lo anterior se combinó con literatura científica relevante y datos meteorológicos de estaciones de medición, para detectar e identificar incidencias de sucesos.

Como resultado de la investigación de Mustonen y Shadrin (2021), se obtuvo un análisis del sistema socioecológico del río Alazeya que enfatiza los problemas en los cambios ecológicos de la región, las implicaciones en los cambios de las ocupaciones tradicionales de los pueblos Yukaghir con el nuevo comercio, transformaciones e impactos en los sistemas hídricos, cultura y en las comunidades locales.

Para enfatizar las aportaciones del estudio, en la siguiente tabla se exponen los principales elementos de concordancia con la presente investigación respecto al análisis de los sistemas socioecológicos.

Tabla 1. Ficha de análisis, Mustonen y Shadrin (2021)

Autor(es): Mustonen y Shadrin Año: 2021 Tipo: Artículo de revista indexada Área: Biodiversidad, Sistemas Socioecológicos, Cambio Climático País: Rusia			Título: El río Alazeya: sistemas socioecológicos cambiantes conectados a un río del noreste de Siberia
Términos	Categorías	Variables	Interpretación
-Historia Local -Cambios Ecológicos	Ecológico	Pastoreo, Pesca, Caza, Condiciones climáticas	Las actividades primarias se consideran como los comercios dominantes en Siberia, estos dependen de los ecosistemas circundantes para su ejecución. La región tiene inviernos largos, cualquier cambio en la criosfera tiene una alteración significativa al sistema.
	Cultural	Autonomía, Conocimiento	Las comunidades han conservado las actividades tradicionales de pastoreo de renos, caza y pesca; estas cuentan con un sistema de conocimiento, creencias, prácticas y relaciones con diferentes aguas en el contexto del cambio climático.
	Social	Gobernanza	La pesca de las comunidades es sostenible, pero depende totalmente de las condiciones del sistema.
	Económico	Servicios	Las pesquerías han permitido la supervivencia en los meses más fríos del invierno en toda la región. La pérdida de hielo invernal y el derretimiento temprano del hielo primaveral causan una variedad de impactos en los servicios de aprovisionamiento y comercio.

Fuente. Elaboración propia, 2024.

Por lo anterior, el estudio de Mustonen y Shadrin (2021), aportan elementos para el análisis de los sistemas socioecológicos como la consideración de materiales científicos, historias orales y datos meteorológicos, con el objetivo de crear un marco de análisis histórico que sirva para comprender y relacionar los principales fenómenos vinculados con los cambios ecológicos. En definitiva, estos elementos son de importancia en la presente investigación para analizar las alteraciones al sistema socioecológico, como se incorporan en la Matriz de Seguimiento de Problemáticas Ambientales (MSPA).

Por otra parte, es importante resaltar que el estudio de Mustonen y Shadrin (2021), también enfatiza el rescate de los saberes locales para la caracterización del SSE y los cambios ecológicos en una escala regional. Por esta razón, el estudio también aporta a la

investigación un caso que justifica el enfoque cualitativo en este tipo de estudios, complementando así el análisis del SSE.

2.1.2. Gestión de servicios ecosistémicos en la cuenca Murray-Darling, Australia

El trabajo de Bryan *et al.* (2010), aborda la gestión de los servicios ecosistémicos mediante un método basado en el mapeo de valores sociales. El área de estudio abarca la región de gestión de recursos naturales de la cuenca Murray-Darling, ubicada al sur de Australia. En esta investigación se identificaron áreas prioritarias en el paisaje para gestionar los valores sociales de los servicios ecosistémicos de acuerdo con cuatro objetivos: abundancia, diversidad, rareza y riesgo.

Esta investigación se sitúa en los estudios de planificación del paisaje y gestión ambiental, por lo que el marco de los servicios ecosistémicos fue utilizado para analizar de qué manera la sociedad valora los beneficios de la naturaleza respecto a su localización. En esta investigación se adaptaron un conjunto de índices espaciales de la ecología a los valores sociales, para orientar de mejor manera la gestión de los servicios ecosistémicos.

Como metodología, se entrevistaron a un total de 56 representantes, los cuales mapearon sus valores para los servicios sistémicos. Las áreas con mayor valor social se calcularon utilizando SIG respecto a los índices espaciales de abundancia, rareza y riesgo; estos se superpusieron con áreas con puntajes de índice altos para identificar puntos críticos para la gestión de servicios sistémicos.

Como resultado, se ubicaron cuatro puntos críticos de alta a baja prioridad respecto a la gestión de los servicios ecosistémicos en el área de estudio; derivado de esto, se interpretaron, sintetizaron y resumieron las sugerencias de la comunidad para la gestión de cada punto crítico, permitiendo así orientar la gestión de valores en el paisaje al identificar donde se encuentran las áreas de gestión de alta prioridad y especificar qué servicios deben gestionarse. Esta información biofísica y económica, complementa los estudios sistemáticos de planificación del paisaje para la conservación y la gestión ambiental.

Para enfatizar las aportaciones del estudio, en la siguiente tabla se exponen los principales elementos de concordancia con la presente investigación respecto al análisis de los sistemas socioecológicos.

Tabla 2. Ficha de análisis, Bryan *et al.* (2010)

Autor(es): Bryan <i>et al.</i> Año: 2010 Tipo: Artículo de revista indexada Área: Ecología País: Australia			Título: Apuntando a la gestión de los servicios ecosistémicos basada en valores sociales: ¿dónde, qué y cómo?
Términos	Categorías	Variables	Interpretación
-Servicios ecosistémicos -Valores ecológicos -Mapeo de valores sociales	Ecológico	Servicios ecosistémicos, Capital natural	La inclusión de valores sociales en la planificación espacial puede mejorar la comprensión de los servicios ecosistémicos, respecto a su distribución, cuantificación y gestión.
	Social	Valores sociales, personas	Los valores asignados incorporan la percepción de las personas, estas atribuyen un valor a los bienes, actividades y servicios sobre el paisaje.
	Económica	Rentabilidad	Los valores varían en tipo y abundancia respecto a los servicios ecosistémicos a los que están relacionados. La gestión de estos recursos se basa en maximizar la diversidad de especies, la abundancia individual, la conservación de pocos ejemplares y su protección.

Fuente. Elaboración propia, 2024.

Al involucrar a la comunidad en la toma de decisiones ambientales, este método puede identificar la valoración de los propios actores locales respecto a las condiciones del entorno y mejorar la gestión ambiental espacialmente explícita y específica de los servicios ecosistémicos, para protegerse y mejorar los valores sociales y mitigar las amenazas a los servicios ecosistémicos.

Este estudio aporta a la presente investigación una metodología, desde la perspectiva comunitaria, para identificar áreas prioritarias para la gestión de los valores sociales de los servicios ecosistémicos. Lo anterior puede incorporarse específicamente en la etapa cuatro del estudio, donde se articularán las estrategias que contribuyan a remediar los daños del SSE en la región de estudio.

2.1.3. Conflictos ambientales en sistemas socioecológicos: Motilón y Carrizo, Colombia

En el contexto latinoamericano, Maya-Rivera (2019), presenta una investigación en el campo de los estudios sobre los recursos de uso común, conflictos ambientales, dilemas de la gobernanza y participación comunitaria. Esta investigación se realizó en las microcuencas Motilón y Carrizo, las cuales forman parte de los afluentes del río Encano que alimenta el Lago Guamués. Este sistema se localiza al sur occidente colombiano y por su alta densidad poblacional presenta estados de alteración en sus ecosistemas, además de conflictos ambientales causados por la ampliación de actividad ganadera extensiva, necesidades de subsistencia de la población, desarticulación institucional y comunitaria para la gestión de los recursos naturales, entre otras.

La metodología utilizada por Maya-Rivera (2019), se propuso a partir del enfoque sistémico, lo que permitió concebir las microcuencas Motilón y Carrizo como sistemas complejos, tomando en cuenta atributos que no necesariamente pueden ser observados en los subsistemas. Por lo anterior, se analizaron las interrelaciones que existen entre los conflictos ambientales, las dinámicas de gobernanza y en la participación comunitaria a través de dos etapas: la primera, enfocada en la recolección de información en campo con base en revisión de información secundaria y entrevistas semiestructuradas a actores claves; y la segunda, dedicada al análisis de la información mediante la definición de variables relevantes de los sistemas socioecológicos, como factores sociales, económicos y ambientales, para la aplicación del método estructural de Matriz de Impactos Cruzados y la Multiplicación Aplicada a la Clasificación (MICMAC) y del Modelo de Análisis y Desarrollo Institucional (IAD, por sus siglas en inglés).

Como resultado de la investigación de Maya-Rivera (2019), se identificaron y caracterizaron 23 variables asociadas con factores sociales, económicos y ambientales, a partir de un análisis sobre las dinámicas históricas del territorio. Esto permitió reconocer que en los dos sistemas socioecológicos se presentan dinámicas bruscas, similares en condiciones de influencia y dependencia para las variables que describen la generación de conflictos ambientales en el territorio. También se evidenció con la aplicación del IAD, que las acciones originadas por las comunidades frente a la conservación del recurso hídrico en la estructura

institucional generan una marcada dualidad en la estructura política entre organizaciones activistas y burocráticas.

Con el objetivo de señalar los métodos del estudio, en la siguiente tabla se presentan algunos aspectos de concordancia para analizar los conflictos ambientales en sistemas socioecológicos con la presente investigación.

Tabla 3. Ficha de análisis, Maya-Rivera (2019)

Autor(es): Maya-Rivera Año: 2019 Tipo: Tesis de Maestría Área: Desarrollo Rural, Sistemas Socioecológicos, Conflictos Ambientales, Gestión de Recursos País: Colombia			Título: Conflictos Ambientales en sistemas socio-ecológicos. Los dilemas de la gobernanza y la participación comunitaria en la gestión del recurso hídrico en las microcuencas Motilón y Carrizo, Laguna de La Cocha, Nariño.
Términos	Categorías	Variables	Interpretación
Participación comunitaria Gestión del recurso hídrico Modelo de desarrollo institucional	S (Social-Económica-Política)	Pobreza, nivel educativo, migración, estilo de vida, globalización,	Se analizaron los beneficios económicos, valor paisajístico y cultural de los sistemas socio-ecológicos de las comunidades de estudio y como se han convertido en un elemento de interés institucional y comunitario.
	GS (Sistemas de Gobernanza)	Organizaciones comunitarias, Auto-organización	Se examinaron los errores del estado relacionadas con las reformas cosméticas y las actividades ganaderas y agrícolas, además de analizar como estas han favorecido la corrupción para mantener el poder e inhibir la participación de los campesinos.
	A (Actores)	Identidad, Intereses	Se analizaron los aportes por parte de instituciones, ONG, y otras organizaciones en las dinámicas locales, lo que permitió identificar que la mayoría de los proyectos están diseñados sin considerar las necesidades que tiene la comunidad.

Fuente. Elaboración propia, 2024.

De lo anterior, es importante señalar que los métodos aplicados para el análisis del territorio y sus relaciones entre variables en la investigación de Maya-Rivera, (2019), se apoyan en el juicio cualitativo de los actores y/ o expertos que forman parte del sistema, por tanto, se han considerado todas aquellas variables que de forma sistémica y estructurada caracterizan al sistema socioecológico.

Por tanto, para esta investigación los aportes de Maya-Rivera, (2019), se centran en los elementos metodológicos para la caracterización del SSE como: las etapas de recolección de información en campo, análisis de las interrelaciones entre los conflictos ambientales, revisión de información secundaria como datos duros y entrevistas semiestructuradas a actores claves, y la definición de variables relevantes de los sistemas socioecológicos mediante categorías sociales, económicos y ambientales.

2.1.4. Análisis de compensaciones en el borde de una reserva forestal en el gradiente rural-urbano de Bogotá

En el contexto latinoamericano, se puede referir el estudio de Osorno-Acosta y Corrales-Roa (2018), en el que se identificaron, diagnosticaron y analizaron las compensaciones del sistema socio ecológico de la microcuenca de la quebrada San Cristóbal, Bogotá, a través del método Problemas, Actores, Recursos, Dinámicas, Interacciones (PARDI) para la construcción participativa del sistema socioecológico.

El área de estudio se ubica al norte de la localidad de Usaquén perteneciente a la ciudad de Bogotá. Esta microcuenca se encuentra dentro de la Unidad de Planeamiento Zonal (UPZ) número 11, que se ubica en medio de los cerros orientales de Bogotá y pertenece a la cuenca con el mismo nombre. La expansión urbana hacia esta área ha generado conflictos por el uso y la tenencia de la tierra, esto ha afectado el servicio ecosistémico de aprovisionamiento de agua, ya que el caudal se ha visto reducido debido a la intervención en el ciclo hidrológico.

Este trabajo se sitúa dentro de los estudios de los sistemas socioecológicos y abarca el análisis de las dinámicas entre los servicios ecosistémicos, involucrando a los actores sociales respecto a una problemática específica. Por lo anterior, en este estudio se realizó un análisis *trade-off* entre los distintos actores sociales y el servicio ecosistémico de aprovisionamiento de cantidad y calidad de agua de la microcuenca de San Cristóbal.

Respecto a la metodología, se hizo una adaptación al método PARDI para la construcción participativa del SSE de la microcuenca de la quebrada de San Cristóbal, esto con el propósito de modelar de forma participativa las dinámicas socio-ecológicas. Para ello, se identificaron y analizaron los *trade-off* existentes en el SSE a través de herramientas de

tipo cualitativo que se trabajaron con los grupos de actores: 1) discusión con la comisión ambiental local, 2) entrevistas a profundidad y 3) taller participativo con habitantes de la microcuena.

En la primera, la discusión se llevó a cabo con la metodología de Martín, López y Montes (2012), para apreciar las prioridades que los actores sociales perciben sobre el servicio ecosistémico de aprovisionamiento hídrico y sus componentes. En la segunda, Las entrevistas se realizaron a cuatro informantes clave tomando en cuenta dos criterios: su saber experto sobre el recurso hídrico y su saber local en relación con la quebrada. Finalmente, para completar la información se realizó un taller al que asistieron 33 personas, en su mayoría adultos mayores y líderes comunitarios, en el que se identificaron en un mapa los servicios ecosistémicos, su problemática, ubicación de usos y actividades.

Con el objetivo de señalar los aportes teóricos y metodológicos del estudio, en la siguiente tabla se presentan algunos aspectos de concordancia para analizar los sistemas socioecológicos con la presente investigación.

Tabla 4. Ficha de análisis, Osorno-Acosta y Corrales-Roa (2018)

Autor(es): Osorno-Acosta y Corrales-Roa Año: 2018 Tipo: Artículo de revista indexada Área: Sistemas Socioecológicos, Gestión de Recursos País: Colombia			Título: Análisis de <i>trade-offs</i> en el borde de una reserva forestal en el gradiente urbano-rural de Bogotá
Términos	Categorías	Variabes	Interpretación
-Trade-off -Sostenibilidad -Hábitat -Patrimonio ambiental -Saber local -Territorio	Ecológico	Hidrografía, Bosques, Biodiversidad	El balance entre servicios ecosistémicos y actores sociales se ve reflejado con su uso y gestión. Se requiere una amplia variedad de bienes y servicios para llegar a la sostenibilidad.
	Social	Intereses, aprovisionamiento, conflictos	Se afecta la calidad de vida de las personas que viven en la localidad cuando se altera el acceso de los actores a los servicios ecosistémicos del área.
	Económico	Servicios ecosistémicos	El incremento del uso de un servicio ecosistémico puede tener efectos como la disminución de otro.

Fuente. Elaboración propia, 2024.

El análisis de *trade-off* es una herramienta para conocer cómo funcionan las diferentes dinámicas sociales y ecológicas en un socio-ecosistema, debido a que proporcionan información sobre el balance de los servicios ecosistémicos y actores sociales vinculados con

el uso y gestión. Por ello de este trabajo es válido reconocer la importancia del análisis de las dinámicas que permiten conocer los beneficios del servicio ecosistémico de aprovisionamiento hídrico, así como los elementos de perturbación en procesos históricos y cambios en el sistema socioecológico.

Por otro parte, el estudio justifica la construcción participativa del SSE con los actores clave para el análisis de las dinámicas entre los servicios ecosistémicos. Esto es una característica que se desea enfatizar en la presente investigación y que para la metodología es primordial para realizar la caracterización del SSE.

2.1.5. Configuración de los sistemas socio-ecológicos en zonas metropolitanas: Yucatán, México

En México, se puede referir el estudio de Rodríguez-Robayo *et al.* (2020), en el que analizaron la configuración actual de los sistemas socio-ecológicos en ocho municipios de la zona metropolitana de Mérida, Yucatán, haciendo uso del enfoque de los SSE para abordar la relación entre la sociedad y la naturaleza en la ciudad y su zona metropolitana.

El área de estudio se ubica en una región donde la cobertura forestal ocupa gran parte del territorio, ofreciendo a la sociedad gran parte de bienes y servicios. La ciudad de Mérida junto con los municipios que conforman su zona urbana que concentra el desarrollo económico del estado, por ello las constantes tendencias poblacionales, desarrollo turístico, parques industriales son consideradas situaciones de acción que pueden detonar a largo plazo cambios estructurales en los SSE.

Respecto a la metodología, se utilizaron varias herramientas como la integración de cartografía regional, entrevistas a actores clave y revisión bibliográfica, para la cuantificación de las transformaciones paisajísticas de la zona metropolitana de Mérida. Lo anterior, se realizó utilizando el marco de análisis de los SSE para caracterizar los sistemas socio-ecológicos de los municipios de Conkal, Kanasín, Progreso, Ucú, Umán, Chicxulub Pueblo, Hunucmá y Tixpéhual, los cuales pertenecen a la zona metropolitana de Mérida.

La investigación de Rodríguez-Robayo *et al.* (2020), contó con cuatro etapas. La primera, centrada en una visión regional del territorio a partir de información cartográfica disponible en la que se identificaron variables del sistema y unidades de recurso de cada

mapa. La segunda, enfocada en la búsqueda y revisión de información bibliográfica histórica de la región respecto a los sistemas socioecológicos, unidades de recursos, actores y gobernanza. La tercera, orientada a la elaboración de entrevistas a profundidad con autoridades locales clave con conocimiento local-municipal del territorio sobre aspectos socioecológicos, unidades de recurso, actores y gobernanza. Y, por último, la cuarta encaminada a la integración de la información para definir la configuración de los SSE de la zona.

Los resultados del estudio de Rodríguez-Robayo *et al.* (2020), reflejan que existen cambios en la cobertura forestal en el periodo analizado de 2005-2015, estas modificaciones a los sistemas socio-ecológicos se concentran en tres zonas: en la costa, en el oriente y en la región centro-occidente. Estos cambios presentan dos principales ganancias y dos pérdidas de cobertura. Las primeras se evidencian en la expansión de la mancha urbana y el establecimiento de pastizales cultivados al norte de Hunucmá. Las segundas, en la reducción de la superficie agrícola, de la selva mediana caducifolia y la disminución de la selva baja caducifolia.

Estos cambios, junto con evidencias históricas, entrevistas a actores clave, cartografía y uso de recursos geoespaciales a través de SIG, permitieron identificar interacciones sociedad-naturaleza, de las cuales se definieron dos SSE predominantes para la zona de estudio: el SSE de la Región Norte, delimitado a partir de áreas donde la influencia de la expansión urbana se fortalece debido a los próximos desarrollos inmobiliarios, y el SEE de la Región Sur, delimitado biofísicamente a partir de la vegetación secundaria de selva mediana y de actividades económicas primarias.

Con el objetivo de enfatizar en las aportaciones de realizadas en el análisis de los SSE, en siguiente tabla se presentan algunos aspectos de concordancia con la presente investigación.

Tabla 5. Ficha de análisis, Rodríguez-Robayo *et al.* (2020)

Autor(es): Rodríguez-Robayo <i>et al.</i> Año: 2020 Tipo: Artículo de revista indexada Área: Sistemas Socioecológicos, Gestión de Recursos País: México			Título: Configuración de los sistemas socio-ecológicos en zonas metropolitanas. La experiencia en Mérida, Yucatán, México.
Términos	Categorías	Variables	Interpretación
-Sistema de recursos -Unidades de recursos -Derechos de propiedad -Medios de vida -Gobernanza -Conectividad	Ecológico	Equilibrio ecosistémico, Monitoreo,	Se reflejan las coberturas boscosas bajo alguna figura de protección, además de la cantidad de los recursos naturales disponibles en el territorio a través de la percepción de la población local.
	Social	Actores, Experiencias, Conocimiento local	Se examinaron los atributos socioeconómicos y los medios de vida de la población, diferenciando las actividades y sectores económicos.
	Económico	Productividad, Valores económicos	La economía de los municipios se concentra en actividades vinculados a la transformación de recursos y servicios que estos proveen.
	Territorio	Límite de los recursos, Tamaño del sistema de recursos, Distribución	Las comunidades rurales y su forma de gestionar los recursos naturales desempeñan un papel fundamental en la preservación y gestión de servicios en contraposición a los cambios de uso de suelo y la disminución de servicios ecosistémicos.
	Gobernanza	Liderazgo, Redes, Organizaciones, Reglas	Se analizaron las dinámicas de los habitantes con los derechos de propiedad y la toma de decisiones en la región vinculadas con las normativas.

Fuente. Elaboración propia, 2024.

De este trabajo sobresale la visión regional del territorio a partir del marco de análisis de los sistemas de recursos y unidades propuestos por McGinnis y Ostrom (2014). Es importante referir que este marco de análisis permite examinar los principales elementos entre los actores y los sistemas de gobernanza, para de esta manera identificar los cambios estructurales en los SSE, por tanto, las contribuciones de Rodríguez-Robayo *et al.* (2020), permitirán retomar elementos para la caracterización del SSE del área de estudio, identificando las relaciones con los problemas socioecológicos de la zona con una escala similar.

Por otra parte, es importante retomar los elementos metodológicos que Rodríguez-Robayo *et al.* (2020) presenta para la caracterización del SSE como: las evidencias históricas (revisión de literatura), entrevistas a actores clave, recursos cartográficos y uso de datos

geoespaciales a través de SIG. Estas etapas, aportan a la investigación una metodología para sistematizar la caracterización del SSE de una manera integrada con los objetivos de análisis.

2.1.6. Respuesta del sistema socioecológico en la región subcuenca baja Río Sonora, México

En México De La Torre y Moreno (2019), realizaron una investigación en la región subcuenca baja Río Sonora, localizada al suroeste del estado de Sonora. Esta región se compone de varios sistemas de cuencas: río Bacoachi, río Sonora, el distrito de riego de la presa Abelardo L. Rodríguez y el distrito de la Costa de Hermosillo.

El área de estudio tiene un alcance completo sobre el acuífero Costa de Hermosillo, esta presenta una condición geohidrológica de sobreexplotación asociada a un proceso de intrusión salina según la CONAGUA, (2015). Desde la primera mitad del siglo XX, la subcuenca Río Sonora ha desarrollado regímenes de aprovechamiento vinculados a la construcción de la presa Abelardo L. Rodríguez, esto ha condicionado un contexto delimitado por los aprovechamientos en las áreas de la subcuenca: área norte, centro-sur.

Para el análisis de este espacio, se consideraron elementos territoriales que comprende el SSE como distintas formas de producción agraria (agricultura, producción de carbón, pesca acuicultura) y fenómenos demográficos (crecimiento urbano). En esta investigación se buscó identificar como el SSE responde a las distintas expresiones territoriales de aprovechamientos a partir de tres perspectivas: ecológica, política y social.

Esta investigación se sitúa dentro de los estudios sociales que exploran las dinámicas de los SSE en el territorio desde un enfoque socioespacial, además de utilizar los SIG para el análisis de los componentes territoriales de los sistemas sociológicos vinculados con los aprovechamientos productivos en la región subcuenca baja Río Sonora.

En esta investigación se realizó una breve caracterización del área de estudio, identificando los procesos de apropiación ecológica registrados en la subcuenca y los vínculos con el SSE, esto se complementó con el análisis de tres dimensiones: el primero refiere a la generación de información cartográfica de indicadores territoriales correspondientes a la escala ecológica, como usos de suelo y cambios ecológicos en las áreas perturbadas; en el segundo, se examinaron los alcances de las principales políticas públicas

de regulación ecológica; por último, en el tercero, se analizó el contexto social a través de la tendencia demográfica, marginación y dependencia socioeconómica.

Como metodología para establecer los indicadores se utilizaron técnicas de sensoría remota y uso de SIG, para determinar la resiliencia a través de la identificación de propiedades acerca del estado del SSE. El uso de este tipo de metodología permite identificar y comparar atributos del SSE (Gallopín, 2006), de esta manera en la investigación se establecieron dos criterios definidos por Vilarity (2009): 1) identificación de escalas espaciales y definición de fronteras; 2) identificación de componentes del sistema (interrelaciones-transformación) y sus respuestas a través del tiempo. Lo anterior permitió a De La Torre y Moreno (2019), operacionalizar las variables y distinguir expresiones territoriales de cada régimen de aprovechamiento, a través de la selección de indicadores y técnicas.

Con relación a los resultados, De La Torre y Moreno (2019), obtuvieron con su investigación el nivel de in/sustentabilidad y resiliencia que presentan cada escala de análisis (ecológica, política y social). También se analizaron los cinco sistemas sociales (regímenes de producción) así como sus vínculos e interrelaciones entre cada elemento de perturbación del SSE. Por tanto, con el objetivo de considerar las aportaciones de realizadas en el análisis de los SSE, en siguiente tabla se presentan algunos aspectos de concordancia con la presente investigación.

Tabla 6. Ficha de análisis, De la Torre y Moreno (2019)

Autor(es): De la Torre y Moreno		Título: Resiliencia del Sistema Socio-Ecológico en la región subcuenca baja Río Sonora	
Año: 2019			
Tipo: Artículo de revista indexada			
Área: Desarrollo Regional, Sistemas Socioecológicos, Territorio			
País: México			
Términos	Categorías	Variables	Interpretación
Sustentabilidad Resiliencia	Ecológica	Cambio de usos de suelo Usos de agua Deforestación Modificación hidrológica	Los principales elementos de perturbación en el SSE tienen vinculación con los factores de presión ecológica y las actitudes sociales frente a los distintos aprovechamientos en el territorio.
	Política	Ordenamiento ecológico Aprovechamiento Conservación Restauración	Los programas de ordenamiento, en el caso de México, no se traducen en una política de desarrollo territorial sustentable ya que se presenta una

			sectorización desigual en los tres ejes de la política territorial.
	Social	Demografía Marginación Dependencia	El desarrollo de las actividades productivas ha sentado las bases para generar dinámicas territoriales entre las condiciones socioeconómicas y la población.

Fuente. Elaboración propia, 2024.

Por lo anterior, el trabajo realizado por De La Torre y Moreno (2019), permitió concluir que el SSE de la subcuenca baja del Río Sonora, no presenta elementos que se traduzcan en una resiliencia que amortigüe la incidencia de las actividades agroproductivas, describiendo un contexto crítico sin compensación. Esto plantea dos puntos importantes a considerar dentro de esta investigación: el primero es la metodología estructural para desarrollar la caracterización, y establecer los indicadores de análisis del SSE. El segundo, es la metodología para analizar los vínculos e interrelaciones entre cada elemento de perturbación del SSE a través del análisis de dimensiones. Esto último, es relevante para identificar y comparar atributos de los SSE.

Así, las categorías analizadas en el estudio plantean aspectos metodológicos como el uso de metodologías mixtas, así como la identificación y comparación de componentes del SSE, que pueden retomarse desde la perspectiva urbana tomando en cuenta las variables de análisis presentadas en la tabla anterior.

2.2. Cartografía Participativa⁹

En este apartado se incluyeron las aportaciones de los estudios realizados en el contexto internacional, latinoamericano y nacional con relación a la cartografía participativa. Estas investigaciones se consideraron relevantes respecto a sus elementos de concordancia metodológicos, teóricos, conceptuales, así como la implementación de software e innovaciones en las áreas de estudio en los que está enmarcada la presente investigación.

2.2.1. Evaluación de los servicios ecosistémicos mediante mapeo participativo, en Khorasan del Norte, Irán

En el contexto internacional, se puede referir el estudio realizado por Karimi y Raymond (2022), en Khorasan del Norte, Irán, el cual plantea el mapeo de los servicios ecosistémicos percibidos mediante cartografía participativa para su evaluación e identificación de paquetes de servicios. El área de estudio se designó a través de una zona de amortiguamiento de 35 km de las principales áreas protegidas ubicadas en el centro de esta provincia, esto incluyó a los dos únicos parques nacionales, diferentes tipos de áreas protegidas y sus tierras circundantes.

Respecto a la metodología, en este estudio se examinaron los patrones geográficos de los servicios ecosistémicos percibidos, basándose en múltiples enfoques: 1) métricas de paisaje, y 2) mapeo participativo. En el primero, se aplicaron métricas de diversidad de Shannon y de uniformidad de Simpson, para evaluar patrones generales específicos y la existencia de paquetes de servicios ecosistémicos. La aplicación de estas métricas tiene como ventaja poder examinar la abundancia relativa de los servicios ecosistémicos, sin embargo, solo miden la cantidad. En el segundo, un total de 158 personas del área de estudio mapearon individualmente los servicios sistémicos de aprovisionamiento, culturales y de biodiversidad, haciendo uso de una copia impresa mediante entrevistas. Esto permitió comprender el panorama social acerca de las percepciones comunitarias sobre paisajes multifuncionales.

⁹ La información de este apartado fue empleada para la publicación del artículo: Martínez-Jiménez, E., Pérez-Ramírez, C. A., & Calderón-Maya, J. R. (2025). Cartografía participativa para el análisis de problemáticas ambientales en la Región Tula del Valle del Mezquital, México. *Perspectiva Geográfica*, 30(2). <https://doi.org/10.19053/uptc.01233769.19059>

Los resultados del estudio realizado por Karimi y Raymond, (2022), mostraron las áreas de abundancia y diversidad de valor, en donde los servicios ecosistémicos estaban distribuidos de manera uniforme o desigual en todo el paisaje, además se encontraron correlaciones entre diferentes tipos de servicios ecosistémicos incluidos los servicios sociales, espirituales, culturales y el turismo. como: el servicio de agua potable con los servicios ecosistémicos culturales, o con el servicio de aprovisionamiento como el pastoreo.

El análisis de los múltiples enfoques permitió establecer una tipología de 12 servicios ecosistémicos diferentes, como, por ejemplo: el servicio de agua potable con los servicios ecosistémicos culturales y el servicio de aprovisionamiento del pastoreo. Esto permitió encontrar combinaciones parciales con los múltiples servicios, formando así una combinación de paquetes en el paisaje.

La comparación de dos evaluaciones (diversidad y uniformidad) identificaron las áreas donde se perciben que se brindan múltiples servicios ecosistémicos, esto fue complementado con las percepciones de las comunidades locales sobre el uso de la tierra y los servicios ecosistémicos, lo cual generó información útil para guiar a los planificadores y administradores hacia una gestión más integral del paisaje.

Para enfatizar las aportaciones del estudio, en el siguiente cuadro se exponen los principales elementos de concordancia con la presente investigación y el análisis de los sistemas socioecológicos.

Tabla 7. Ficha de análisis, Karimi y Raymond (2022)

Autor(es): Karimi y Raymond Año: 2022 Tipo: Artículo de revista Área: Ecosistemas y Medio Ambiente País: Irán			Título: Evaluando la diversidad y uniformidad de los servicios ecosistémicos tal como los perciben los residentes mediante mapeo participativo
Términos	Categorías	Variables	Interpretación
-Diversidad del paisaje -Servicios percibidos de -Índices de diversidad -Índices de uniformidad -Paquete de servicios ecosistémicos	Ecológico	Paisajes multifuncionales, Servicios de aprovisionamiento, Biodiversidad	Se cuantificaron los valores de los servicios ecosistémicos respecto a los servicios individuales y los conjuntos. Esto permitió cuantificar la diversidad del paisaje respecto a los servicios ecosistémicos.
	Social	Percepciones, Valoración ambiental	Se examino el patrón de los valores sociales de los servicios ecosistémicos, además de las amenazas percibidas a los ecosistemas.
	Económico	Servicios ecosistémicos,	Se identifico la relacion promedio de la abundancia de todos los servicios

		Características socioeconómicas	ecosistémicos, respecto al valor social promedio regional.
--	--	---------------------------------	--

Fuente. Elaboración propia, 2024.

El trabajo enfatiza el uso de diferentes enfoques para examinar los patrones geográficos de los servicios ecosistémicos, no obstante, el enfoque de la cartografía participativa es significativo en este estudio ya que aportó la información necesaria para complementar la evaluación mediante las percepciones de la comunidad. Esto mejoró la comprensión de las percepciones comunitarias sobre paisajes multifuncionales, generando así información de utilidad para el desarrollo estrategias de planificación y gestión sostenible de una manera justa y equitativa.

Por tanto, el estudio fundamenta el uso de la cartografía participativa como un enfoque importante para analizar las distribuciones e interacciones de los servicios sistémicos través de las percepciones de la comunidad. Esto último es un elemento significativo en los estudios de los sistemas socioecológicos, pues se reconoce la necesidad de incluir los conocimientos locales para complementar con información necesaria los estudios enfocados en el análisis y evaluación de los elementos de interacción entre sistemas, además de incluir un elemento fuerte de participación local, pues la comunidad es quien mejor conoce el territorio y tiene una noción fuerte sobre los procesos de interacción.

2.2.2. Mapeo de sistemas participativos para la evaluación de políticas energéticas complejas, Reino Unido

En el contexto internacional, el estudio realizado por Barbrook-Johnson y Penn, (2021), aporta elementos para la evaluación de los sistemas a través de un novedoso método que incorpora diagramas de bucle causal y el análisis de sus dinámicas. Este método tiene un uso potencial para obtener conocimientos detallados apropiados para el estudio de la complejidad, además de contribuir a los métodos enfocados al análisis y construcción de mapas.

El enfoque del este estudio se ubica en la ciencia de la complejidad, la cual ha sido abordada a través de una variedad de métodos diferentes que han sido utilizados para su estudio, dentro de estos se ubica el mapeo de sistemas participativos: un método de propósito

general para desarrollar una comprensión detallada y participativa de la naturaleza del sistema, por tanto, tiene un gran valor para quienes participan. Este puede ser aplicado en entornos de evaluación ya que los mapas producidos pueden servir de diversas maneras tanto para la evaluación o una introducción detallada y práctica. Este método se desarrolló a lo largo de varios años en múltiples etapas de proyectos y estudios de caso con diversas partes interesadas en entornos complejos, lo que permitió mejorar el método con la interacción de los participantes, su respuesta, validez, aplicabilidad del modelado y análisis técnico.

La metodología del mapeo de sistemas participativos involucra equipos de hasta 12 participantes, que construyen de manera colectiva un mapa causal de un sistema de interés; se hace alrededor de una mesa con notas adheribles, rotafolios y rotuladores. Este mapa se compone de 1) factores y 2) conexiones causales. De los primeros, estos pueden representar cualquier cosa siempre que sean variables, estas pueden subir o bajar respecto en su cantidad o valor. De los segundos, estos deben de representar relaciones causales con un sentido matemático, un aumento de un factor causa un aumento en el siguiente, una disminución causa disminución o aumento en la siguiente dependiendo de la relación causal.

La información generada con este mapa causal puede adicionarse según se considere conveniente a través con la incorporación de la información en un mapa. El mapa producido es un objeto intersubjetivo; refleja las creencias del grupo de personas que lo construyeron, por lo que el mapa resultante puede usarse en cualquier análisis de mapa, lo que esencialmente puede examinar como está conectado el sistema “a que” y a “través de qué”, generando narrativas con los participantes que permitan llegar a una comprensión mejor del mapa.

Este enfoque se aplicó en dos casos de estudio, uno en la planificación de evaluación de energía, y el segundo en una evaluación de una política de gobierno central sobre calefacción renovable. Los talleres de este mapeo se llevaron a cabo con una selección del personal del Departamento de Negocios, Energía y Estrategia Industrial del Reino Unido (BEIS, por sus siglas en inglés), quienes expresaron interés en desarrollar una comprensión más detallada de la interacción de las políticas y otros factores contextuales en el sector energético.

En estos dos casos de estudio, el mapa resultante fue utilizado principalmente como herramienta de discusión y referencia por analistas y evaluadores del departamento del BEIS,

lo que brindo diferentes modos de uso del Mapeo de Sistemas Participativos en entornos de evaluación y destaco la importancia de comunicar de mejor manera los mapas a quienes no están directamente involucrados en sus desarrollo y uso, por ejemplo, a altos funcionarios o políticos.

Para enfatizar las aportaciones del estudio, en el siguiente cuadro se exponen los principales elementos de concordancia con la presente investigación y el análisis de los sistemas socioecológicos.

Tabla 8. Ficha de análisis, Barbrook-Johnson y Penn (2021)

Autor(es): Barbrook-Johnson y Penn Año: 2021 Tipo: Artículo de revista científica [indexada] Área: Gestión de recursos País: Reino Unido			Título: Mapeo de sistemas participativos para la evaluación de políticas energéticas complejas.
Términos	Categorías	Variabes	Interpretación
-Mapeo cognitivo - Mapas de teoría del cambio	Metodología	Cualitativa	El método utilizado es valioso para la evaluación de sistemas, ya que presenta una herramienta intuitiva y flexible para la comprensión de la estructura en entornos complejos.
	Aplicabilidad	Evaluación	Muestra una imagen del panorama general sobre cualquier política o evaluación individual. No se limita solo a la evaluación, también puede servir como diagnóstico o de manera introductoria hacia el análisis de un sistema que se pretende analizar.
	Actores	Participación, Valor	El proceso de aprender y construir un mapa junto con las partes interesadas ofrece un gran potencial para los evaluadores y planificadores, ya que el valor se centra en los aportes, la construcción y el análisis del mapa.
	Productos	Mapa, Narrativas	Mejora la comprensión del sistema por los conocimientos únicos que ofrece, puesto que se analiza a fondo las conexiones y los factores que lo componen.

Fuente. Elaboración propia, 2024.

El estudio realizado por Barbrook-Johnson y Penn, (2021), aporta a la presente investigación un elemento metodológico que podría incorporarse en el diseño del instrumento, ya que para la investigación es significativo identificar los elementos de interacción entre sistemas (ecológico, social y urbano) y las problemáticas ambientales, por

lo que el uso de metodologías como el mapeo participativo de sistemas, puede enfatizar “a que” están conectados estos elementos y “a través de qué”.

Por otra parte, la elaboración de mapas causales es un elemento significativo para considerar dentro de las etapas de aplicación del instrumento, pues en el proceso de elaboración de diagnóstico puede ayudar a sistematizar los elementos importantes. Esto sin duda puede facilitar la representación de los elementos identificados en un mapa base.

2.2.3. Cartografía social y planeación territorial en Robles, Colombia

En el contexto latinoamericano, González (2020), presenta una reflexión de las experiencias de una investigación realizada desde el marco de la IAP y la cartografía participativa, en una de las comunidades afrocolombianas de la zona plana sur riberena del río Cauca, la comunidad de Robles. Este caso de estudio se localiza en el municipio de Jamundí, departamento del Valle del Cauca, considerado por la autoridad ambiental, Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC), como zona de gran importancia ambiental.

Por su historia de tenacidad en la organización comunitaria por los derechos de la tierra, la comunidad de Robles fue escogida por la CVC y Fundaminga en 1998, para desarrollar los primeros ejercicios de cartografía social al sur del territorio de Jamundí. Estos ejercicios pudieron llevarse a cabo gracias a las socializaciones en pequeños grupos de la comunidad: adultos mayores, maestros y jóvenes estudiantes. Los talleres tuvieron una estructura flexible, por lo que la comunidad tuvo una participación sobresaliente en la recopilación participativa de los datos, además de una motivación excepcional para verificar y complementar la información en la que la mayoría de la comunidad participo en el ejercicio.

Como resultado se generaron cuatro tipos de mapas: 1) mapas ecológico-económicos, 2) mapas administrativos-infraestructurales, 3) mapas de redes relacionales y 4) mapas de conflictos. En el primero, se ubicaron las áreas de importancia ambiental y productiva para la comunidad, destacando: las fincas tradicionales, humedales, micronegocios locales, vertientes naturales, deforestación, contaminación por agroquímicos, embalses, la microcuenca y sitios de recreación comunitaria. En el segundo, se proporcionó un inventario de viviendas temporales y permanentes en zonas rurales, así como en áreas más desarrolladas,

incluyendo características de la vivienda, canales de comunicación e infraestructura local. En el tercero, se ubicaron sitios de interés mítico y religiosos, lugares donde crecen plantas, prácticas culturales y sitios de comercio. Finalmente, en el cuarto, se identificaron acontecimientos de transformación socioeconómica y ecológica de la región, en estos los participantes rastrearon todos los conflictos que afectan a sus comunidades.

Con la finalidad de rescatar los aportes del estudio, en la siguiente tabla se muestran los elementos de concordancia con la presente investigación.

Tabla 9. Ficha de análisis, González (2020)

Autor(es): González, C.A. Año: 2020 Tipo: Capítulo de libro Área: Desarrollo local, Estrategias Participativas, Estudios del Territorio País: Colombia			Título: Cartografía social y planeación territorial en Robles, Colombia
Términos	Categorías	Variables	Interpretación
-Territorio -Amenazas -Servicios ambientales -Biodiversidad -Sostenibilidad alimentaria	Método	Investigación Acción Participativa	La cartografía social está basada en postulados de la IAP, procesos de construcción social y producción conjunta de conocimientos.
	Ecológico	Agricultura	Se ilustra el sistema de uso de la tierra hacia prácticas sostenibles de gestión de la biodiversidad.
	Social	Planificación, participación	El uso de la cartografía social permite la creación de una visión colectiva del territorio.
	Económico	Productividad, Autogestión	A partir del uso de la metodología y los conocimientos locales se delimitaron parcelas, así como lugares que se han utilizado para cultivar a lo largo de los años.
	Territorial	Conservación del territorio	Se examinó la territorialización de los espacios de vida comunitaria y autónoma a partir de las percepciones y la cartografía disponible.

Fuente. Elaboración propia, 2024.

Por lo anterior, las experiencias de González (2020), aportan a la investigación elementos prácticos de los talleres realizados en la comunidad de Robles como: los procesos comunitarios, estrategias metodológicas, así como resultados cartográficos que se vincula completamente con la IAP y el empleo de la cartografía participativa.

Así mismo se destaca la elaboración de diversos tipos de mapas de la realidad de estudio que pueden ser replicados para el desarrollo de la investigación, tal es el caso de los mapas ecológico-económico y de conflictos, que permitirán identificar los recursos que inciden en la caracterización del sistema socioecológico de la región de estudio, así como de los conflictos sociales que se han generado a partir de las problemáticas ambientales.

De la misma manera, la investigación de González (2020), aporta categorías de análisis que pueden ser consideradas en la investigación para la caracterización del SSE de la región como las áreas de importancia ambiental y productivas, inventario de viviendas temporales, sitios de interés y acontecimientos de transformación socioeconómica y ecológica de la región. Lo anterior se retomó para la Matriz de Seguimiento de Problemáticas Ambientales (MSPA) dentro de la sistematización de la información.

2.2.4. Cartografía social como metodología participativa y colaborativa, cuenca alta del río Cauca, Colombia

La investigación de Vélez *et al.* (2012), es otro de los estudios con relación al uso de la cartografía social que se pueden referir en el contexto latinoamericano. Esta investigación tuvo como objetivo explorar las oportunidades y desafíos de la cartografía social, como metodología de investigación para caracterizar conflictos socioambientales que afrontan tres de los territorios de la cuenca alta del río Cauca, al suroccidente de Colombia.

El área de estudio, considero las comunidades afrodescendientes del El Hormiguero y Guachené, localizadas en la planicie sur del departamento del Valle del Cuca, así como la comunidad de La Toma, localizada al norte. Las dos primeras localidades, han sido afectadas por el monocultivo de caña de azúcar y procesos de expansión urbana. Por otra parte, la localidad de la Toma ha sido amenazada por la minería de oro a cielo abierto y también ha sido afectada históricamente por la generación hidroeléctrica.

Por la complejidad de los conflictos socioambientales asociados con procesos demográficos, hidrografía y geografía de la cuenca alta del río Cauca, la investigación de Vélez *et al.* (2012), se realizó con una perspectiva transdisciplinaria de investigación participativa, a partir de la cual se planteó realizar una aproximación entre los problemas

ambientales y sociales del territorio. Por tanto, la investigación abordó una perspectiva crítica regional de los conflictos socioambientales relacionados con el cambio de uso de suelo.

La metodología utilizada por Vélez *et al.* (2012), incluyó el uso de la cartografía participativa como instrumento cualitativo para indagar como tres comunidades locales perciben y se movilizan frente a la historia y la geografía de los conflictos socioambientales asociados a los procesos económicos extractivos en la cuenca alta del río Cauca. Esto se realizó a través de trabajo de campo que incluyó talleres cartográficos, de memoria histórica, análisis de imágenes satelitales, de fotografías aéreas y recorridos de verificación, así como la georreferenciación de conflictos socioambientales en los tres territorios.

La perspectiva de la cartografía social permitió reconocer e incorporar en la investigación los intereses y las posiciones de la comunidad, así como los de las organizaciones sociales, a través de representaciones gráficas (mapas). Lo anterior posibilitó que se tomaran decisiones políticas y de planeación autónoma del territorio derivadas de los resultados cartográficos.

Los resultados permitieron identificar que las plantaciones de caña, pino, cultivos de uso ilícito y megaproyectos, desataron conflictos, violencia y cambios que han afectado durante estos procesos a las comunidades afrodescendientes de la región. Los productos cartográficos y proceso de la investigación contribuyeron al fortalecimiento de las organizaciones locales, esto propició un diálogo con los consejeros comunitarios para afianzar su gobernabilidad, adelantar procesos jurídicos y administrativos en defensa de su autonomía, permanencia y subsistencia.

Con el objetivo de señalar los aportes de la investigación, en la siguiente tabla se presentan algunos aspectos de concordancia para analizar las problemáticas ambientales con la presente investigación.

Tabla 10. Ficha de análisis, Vélez *et al.* (2012)

Autor(es): Vélez <i>et al.</i> Año: 2012 Tipo: Artículo de revista Área: Desarrollo Local, Estrategias Participativas País: Colombia		Título: Cartografía social como metodología participativa y colaborativa de investigación en el territorio afrodescendiente de la cuenca alta del río Cauca.	
Términos	Categorías	Variables	Interpretación
-Territorio -Conflictos socioambientales -Defensa de la vida -Autonomía -Territorialidad -Defensa del territorio	Metodológico	Cualitativa, Participativa	Se indago como tres comunidades perciben y se movilizan frente a la historia y la geografía de los conflictos socioambientales asociados a los procesos socioeconómicos extractivos.
	Social	Política de Tierras, Población étnica, Demografía,	La perspectiva cartográfica social permitió reconocer e incorporar los interés e imposiciones de la comunidad respecto a los cambios en el territorio, procesos de despojo e impactos al sistema socioecológico.
	Económico	Extractivismo	En la región emergieron nuevos terrenos propicios para la agricultura intensiva y la expansión urbana, lo que termino impulsando el desarrollo agroindustrial cañero.
	Ecológico	Uso de suelo, Bienes ambientales, Hidrografía	El cambio de usos de suelo y actividades tradicionales, contribuyo al decaimiento de los humedales, restricción de la economía pesquera, transporte y recreación en el río.

Fuente. Elaboración propia, 2024.

La investigación utiliza el enfoque de la IAP para el uso de la cartografía participativa como metodología de investigación cualitativa, lo que sustenta los procesos comunitarios que deben de considerarse al realizar una investigación con esta perspectiva. Por esta razón, las experiencias de los tres casos en los territorios de la cuenca alta del río Cauca, aportan a la presente investigación elementos metodológicos que pueden considerarse para la caracterización del SSE como: la aplicación de talleres cartográficos, de memoria histórica, análisis de imágenes satelitales, de fotografías áreas y recorridos de verificación.

2.2.5. Mapeo participativo como herramienta de análisis en áreas agrícolas, Atacama, Chile

En el contexto latinoamericano, también se puede referir el estudio González-Pacheco *et al.* (2019), en el que se emplea el mapeo participativo como técnica de análisis capaz de estudiar áreas agrícolas afectadas por fenómenos naturales en el desierto de Atacama, al norte de Chile. En esta investigación se usó un enfoque nuevo de investigación en las áreas agrícolas del desierto más árido del mundo, donde las latitudes son superiores a los 1500 m de altitud.

La agricultura en este espacio es restringida por las condiciones climáticas del desierto y por la localización de estas al interior de valles y quebradas que generan un corte en las macro formas de estas regiones. Las condiciones en que se desarrolla esta actividad han generado un interés en el tema de adaptación y resistencia en estos espacios; esta área de estudio ha sufrido reducciones considerables en las áreas agrícolas desde el año de 1977 hasta la actualidad, esto ha dado pie a la necesidad de identificar las variaciones de las áreas agrícolas en los espacios afectados debido a la intensidad de estos fenómenos naturales.

Respecto a la metodología, se siguió una secuencia de tres etapas para el análisis de la información: 1) recolección de datos, 2) revisión de datos climáticos y 3) revisión de cartas topográficas. En la primera etapa, se realizó una colecta de datos a través de antecedentes históricos y bibliográficos, en la segunda, se revisaron los datos climáticos para entender los fenómenos socioculturales correspondientes a los deslizamientos y a las crecidas de los ríos que afectan estos espacios de precordillera en los que habita la comunidad, y el tercero, se revisaron las cartas topográficas de la región desarrolladas por el Instituto Geográfico Militar de Chile, imágenes satelitales de alta resolución del satélite GeoEye, mapas temáticos de organismos gubernamentales y datos estadísticos como los desarrollados por el Instituto Nacional de Estadística.

Por otra parte, se desarrolló trabajo de campo en donde se realizaron esbozos cartográficos en distintos periodos por la comunidad. Esto permitió identificar los sucesos de fenómenos socioculturales en tres periodos: los ocurridos anterior al año 1977; entre 1977 y 2012; después del 2012. Estos mapas fueron digitalizados para registrar la información de forma digital, pudiendo así georreferenciar, cuantificar y sistematizar los datos. Esto permitió

evidenciar la información histórica de los espacios agrícolas susceptibles a fenómenos como deslizamientos y a las crecidas de los ríos.

Las técnicas utilizadas tuvieron como finalidad estudiar las áreas agrícolas afectadas por fenómenos naturales haciendo uso de dos métodos de sistematización que componen el mapeo participativo: la cartografía tradicional y no tradicional. La mezcla de estas técnicas fue utilizada para generar conocimientos colectivos del espacio geográfico analizado a través de procesos socio-participativos entre los participantes, para llegar hasta una imagen colectiva del territorio.

Los resultados del estudio permitieron generar material gráfico (mapas) para relacionar la distribución y el desarrollo de las áreas agrícolas en relación con los fenómenos socio-naturales que se han suscitado históricamente y los posibles efectos que pudiesen ocasionar en el futuro. Estos mapas representan un insumo importante para la comunidad Laonzana, ya que a través de estos fueron identificados 26 espacios agrícolas existentes en el pasado, de los cuales en la actualidad solo están activos en su producción tres.

Con el objetivo de señalar los aportes de la investigación, en la siguiente tabla se presentan algunos aspectos de concordancia para analizar las problemáticas ambientales con la presente investigación.

Tabla 11. Ficha de análisis, González-Pacheco *et al.* (2019)

Autor(es): González-Pacheco <i>et al.</i> Año: 2019 Tipo: Artículo de revista indexada Área: Desarrollo Local, Ciencias Ambientales País: Chile			Título: Mapeo participativo como herramienta de análisis de espacios afectados por fenómenos naturales en zonas agrícolas, Atacama.
Términos	Categorías	Variabes	Interpretación
-Dominio social -Nodos de interacción -Medio antropizado -Comunicación territorial -Trialectica -Thirdspace	Metodológico	Cualitativa	El uso de la metodología incorpora una combinación de cartografías “tradicionales”, así como “no tradicionales” que propician la creación de mapas elaborados en conjunto con la comunidad.
	Ecológico	Agricultura, Fenómenos naturales	Se evidencian los cambios en los suelos, debido a los desastres provocados por los efectos de fenómenos naturales, esto se logró rescatando los conocimientos de las áreas agrícolas en el pasado.
	Económico	Actividades económicas locales, acumulación del capital	El uso de la metodología permite el análisis de áreas agrícolas principalmente donde no hay registros de las variaciones de las áreas agrícolas y sus actividades.

	Social	Fenómenos socioculturales	La reducción constante de la población impide la manutención de las áreas agrícolas, así como la pérdida de la transmisión de conocimiento de las técnicas utilizadas de generación en generación.
--	--------	---------------------------	--

Fuente. Elaboración propia, 2024.

El estudio permitió validar las técnicas del mapeo participativo en los espacios afectados por la ocurrencia de fenómenos naturales en el Desierto de Atacama, esto justifica el uso del mapeo participativo en los estudios del territorio ya que es una herramienta importante por el tipo de abordaje que utiliza, además de que realiza una combinación de información de carácter no tradicional mediante el trabajo participativo entre la comunidad y el investigador, rescatando la memoria colectiva que posteriormente es georreferenciada en mapas, y que es trabajada en ambientes de SIG. Por tanto, el estudio aporta a la investigación una metodología para sistematizar la caracterización del SSE de una manera integrada con los objetivos de análisis, destacando la implementación de la cartografía participativa y el uso de los SIG para analizar el territorio.

2.2.6. Diagnóstico ambiental de tres comunidades mayo, Sonora

En México Sampedro *et al.* (2014), realizaron una investigación de corte cualitativo en la zona costera del municipio de Benito Juárez, Sonora, en tres de los pueblos indígenas Yoreme-Mayo que realizan aprovechamiento de los recursos marinos en la Bahía de El Tóbari: Paredón Colorado, Paredoncito y Aceitunas.

Por sus características, el Golfo de California es un ecosistema con alto índice de productividad, del que se benefician los pueblos Mayos del municipio de Benito Juárez. No obstante, la laguna de El Tóbari se encuentra separada del Golfo de California por una isla llamada Huivulai. Con el fin de comunicar el continente con la isla, en 1966 se construyó un pedraplén que modificó la circulación natural. Esto fue confirmado por los trabajos del análisis del azolvamiento de Bravo y Escofet (1998), y por las observaciones oceanográficas realizadas por Cruz *et al.* (2000). Estos estudios señalaron la urgencia de realizar un

diagnóstico ambiental que incluyera el desglose de problemas y causas, involucrando a las comunidades.

En 2012, la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), retiró un 50% del pedraplén de la Bahía de El Tóbari. Esto planteó la necesidad de generar un diagnóstico ambiental en tres comunidades con participación de diferentes actores sociales, con el objetivo de elaborar una propuesta objetiva y factible. Por lo anterior, el estudio de Sampedro *et al.* (2014), llevó a cabo talleres con los principales actores, donde se plantearon diferentes problemas como: el azolvamiento y contaminación de la Bahía, la deforestación de manglares, pesca furtiva, así como la mala gestión y disposición final de residuos sólidos urbanos (RSU) de las actividades pesqueras.

Como metodología, Sampedro *et al.* (2014), realizaron un taller participativo con la presencia de representantes del municipio, de la comunidad Mayo y de la población de las tres comunidades. Posteriormente, se realizaron talleres para externalizar la problemática ambiental de las localidades, así como recorridos en las tres comunidades, en la costa y en la bahía. Esto sirvió para generar una memoria fotográfica y un diario de la problemática ambiental integrado con pláticas con la población.

Una vez realizados los recorridos, se discutieron los resultados con los participantes, acordando efectuar talleres de educación ambiental, así como la capacitación mediante talleres sobre el manejo, caracterización y gestión de los RSU. De esta manera, las alternativas y propuestas se discutieron con la participación de las distintas autoridades municipales y actores sociales involucrados.

Como resultado de la investigación de Sampedro *et al.* (2014), identificaron los principales problemas para los pescadores Mayo: alta incidencia de pesca furtiva, obtención ilegal de permisos para aprovechamiento en temporada de veda, uso de alimentos procesados para la pesca, deforestación de manglares, azolvamiento de la bahía debido a la descarga de aguas contaminadas y presencia del pedraplén que impide la circulación natural del agua; aunado a esto, también se identificaron otros problemas como la construcción de varios islotes en lugares que no están bien ubicados, deposición de materiales del dragado de la Bahía en lugares incorrectos, obstrucción de la salida de drenes al mar, por consiguiente riesgo a inundación frente a un fenómeno meteorológico.

Con el objetivo de señalar los aportes en cuanto a los diagnósticos ambientales, en la siguiente tabla se presentan algunos aspectos de concordancia para analizar las problemáticas ambientales con la presente investigación.

Tabla 12. Ficha de análisis, Sampedro *et al.* (2014)

Autor(es): Sampedro <i>et al.</i> Año: 2014 Tipo: Artículo de revista Área: Desarrollo Sustentable, Desarrollo Local País: México			Título: Diagnóstico ambiental de tres comunidades Mayo del municipio de Benito Juárez, Sonora
Términos	Categorías	Variabes	Interpretación
-Sustentabilidad - Problemáticas ambientales -Ecosistema -Productividad	Ecológica	Educación ambiental, Deforestación, Actividad pesquera	El trabajo conceptual y metodológico del desarrollo sustentable permitieron proponer un modelo para el manejo de los recursos naturales.
	Territorial	Intervenciones, Aprovechamiento de recursos	La implementación de intervenciones en el territorio impide la circulación natural del agua, lo que limita la salida de drenes al mar.
	Social	Participación, Organizaciones locales y académicas, Instituciones de gobierno	Las recomendaciones técnicas y las necesidades de la población se tomaron en cuenta a través de los talleres, llegando a propuestas que desde una diversidad de saberes ambientales, encaminan a la creación de modelos de gestión ambiental.

Fuente. Elaboración propia, 2024.

A pesar de que la cartografía participativa no está presente como una de las metodologías utilizadas en la investigación de Sampedro *et al.* (2014), el Diagnóstico ambiental comunitario es una de las técnicas que es empleada previa a implementar esta metodología. Por tanto, los aportes Sampedro *et al.* (2014), en esta investigación son relevantes para retomar una serie de pasos metodológicos para el diseño del diagnóstico ambiental.

2.3. Enfoques para el análisis de problemáticas ambientales¹⁰

Derivado de la revisión de casos de estudio que abordan los SSE y la cartografía participativa en el contexto internacional y nacional, es posible identificar diversas perspectivas y enfoques teóricos conceptuales y metodológicos, que han sido empleados para el análisis de problemáticas ambientales.

De los casos analizados respecto a los SSE, predominan los elementos teóricos sobre los sistemas complejos, sistemas socioecológicos y unidades de recursos (Rappaport, 1997; Holling, 2002; Norberg y Cumming, 2008; Ostrom, 2009). Estos encuadres fueron utilizados para analizar, caracterizar, comparar y comprender el SSE del área de estudio, por ello estos componentes teóricos están definidos en el eje de análisis de la investigación, precisando así la manera en que es examinado el SSE en los estudios presentados.

El enfoque disciplinario que prevalece en los estudios analizados es el de la Ecología, de estos se presentan dos generalidades: 1) gestión de recursos y 2) sostenibilidad. En los primeros, se resalta la identificación, cuantificación, cambios en el tiempo, monitoreo y percepción de servicios ecosistémicos del SSE. En los segundos, se explora la evaluación del SSE, implementación propuestas y procesos de participación ciudadana vinculados con procesos de transición hacia la sostenibilidad.

En cuanto al aspecto metodológico, los casos presentados tienden a utilizar metodologías combinadas (cuantitativas y cualitativas), sin embargo, se tiene como eje medular el enfoque técnico para la caracterización del SSE: uso de SIG, técnicas de percepción remota, análisis de datos geográficos y estadísticos. La parte complementaria, hace uso de otros instrumentos como entrevistas, cuestionarios y encuestas que permiten detallar la información del estudio.

De los estudios analizados, la escala territorial de análisis que predomina es la regional, ya que se analizan varios municipios y en algunos casos extensiones considerables de territorio para comparar los distintos componentes y dinámicas de uno o varios SSE. Respecto al ámbito espacial, el contexto periurbano es el que predomina en los estudios ya

¹⁰ La información de este apartado fue empleada para la publicación del artículo: Martínez-Jiménez, E., Pérez-Ramírez, C. A., & García-Fajardo, B. (2026). Sistemas socioecológicos y cartografía participativa. Enfoques para el análisis de problemáticas ambientales. *Intersticios Sociales*, 31.

que se analizan con frecuencia las actividades productivas que están vinculadas con las alteraciones, gestión de recursos y dinámicas sociales del SSE.

Por tanto, los estudios analizados aportan elementos teóricos, conceptuales y metodológicos, vinculados con la caracterización del SSE, en escalas territoriales de análisis similares para la comprensión de sus elementos, como las interacciones y dinámicas entre sistemas. Del mismo modo, los casos presentados presentan un eje estructural de categorías para el análisis del SSE como lo social, económico y ecológico.

Por otro lado, con relación a los caso de estudio que abordan las problemáticas ambientales desde la cartografía participativa, predominan los elementos teóricos situados en el enfoque comprensivo-crítico (Barragán y Amador, 2014), los cuales contribuyen a develar aquellos aspectos para comprender el territorio, examinar las realidades territoriales, formar una co-construcción social del conocimiento y propiciar un cambio de la realidad a través de la elaboración de estrategias que involucran la participación y el conocimiento local de las comunidades (Andrade, 1997; FIDA, 2009; Barragán y Amador, 2014; Warner, 2015).

Por lo anterior, en la mayoría de las investigaciones analizadas, los elementos teóricos están presentes en el proceso metodológico, lo que permite precisar los objetivos del uso de la cartografía participativa, llegando a aportar en varios casos la información detallada para las caracterizaciones socioespaciales y datos cualitativos que a través de esta técnica son posibles de especificar.

Es importante mencionar que de los casos analizados, predominan los trabajos de carácter combinado (Cuantitativo-Cualitativo) en su metodología, teniendo como procesos clave: 1) el análisis de la información bibliográfica, estadística y geográfica, 2) la recopilación de información en campo a través de entrevistas, encuestas e historias de vida 3) la complementación de los datos mediante metodologías constructivistas de participación como la elaboración de diagramas causales, diagnósticos ambientales y cartografía participativa, y por último 4) la sistematización de la información a través de software especializado para datos cualitativos y representación geográfica.

El uso de metodologías combinadas ha permitido complementar el panorama de las investigaciones con un eje multidisciplinario, permitiendo abarcar diferentes encuadres y una mayor comprensión del tema de estudio. Por ello, la tendencia del enfoque disciplinario en las investigaciones analizadas se inclina hacia la etnografía aplicada en estudios de gestión

de recursos, procesos comunitarios, estudios del territorio y análisis de conflictos socioambientales.

Con relación a la escala territorial de los casos analizados, estos se pueden dividir en dos: 1) los estudios enfocados a los entornos locales y 2) los estudios que analizan el territorio a una escala regional. Los primeros, detallan los procesos de interacción con los actores y el entorno que los rodea, teniendo como contexto un nivel barrio, localidad e incluso municipal. En las segundas, se detallan los procesos que se dan a una mayor escala con los actores y los ecosistemas, que en los casos presentados pueden ser varios SSE, y que a nivel territorial abarcan diferentes municipios e incluso fracciones de estados.

Por otra parte, en la mayoría de las investigaciones analizadas su ámbito de estudio predominante es en el contexto periurbano, ya que se analizan municipios y localidades que se encuentran en las afueras de las zonas urbanas. Sin embargo, las investigaciones de mayor alcance y periodo de estudio se han realizado en el contexto rural, teniendo como eje de análisis la etnografía y la IAP, mismas que requieren de un análisis estrecho de los fenómenos de estudio y de la implicación en ellos. En la siguiente tabla se pueden visualizar los enfoques identificados en el marco referencial.

Tabla 13. Enfoques de análisis identificados entre SSE y CP

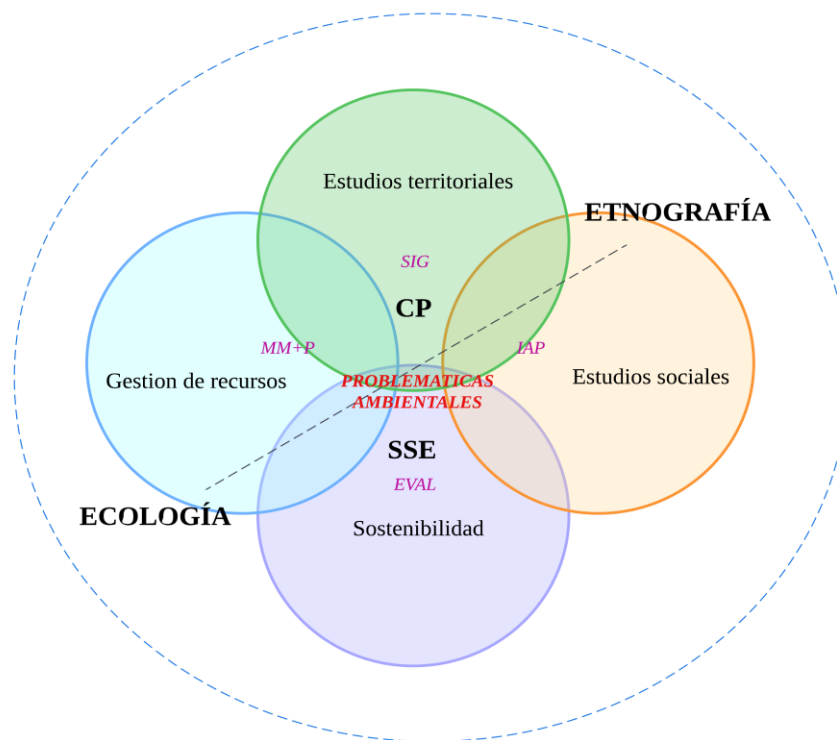
	SSE	CP
Elementos teóricos	I) Sistemas complejos II) Sistemas socioecológicos, III) Unidades de recursos	I) Comprensivo-critico II) Decolonialidad
	(Rappaport, 1997; Holling, 2002; Norberg y Cumming, 2008; Ostrom, 2009).	(Andrade, 1997; FIDA, 2009; Barragán y Amador, 2014; Warner, 2015; Barragán y Amador, 2014)
Enfoque disciplinario	Ecología	Etnografía
	De estos enfoques se presentan dos generalidades: 1) gestión de recursos y 2) sostenibilidad. En los primeros, se resalta la identificación, cuantificación, cambios en el tiempo, monitoreo y percepción de servicios ecosistémicos del SSE. En los segundos, se explora la evaluación del SSE, implementación propuestas y procesos de participación ciudadana vinculados con procesos de transición hacia la sostenibilidad.	De estos enfoques se presentan estudios sobre gestión de recursos, procesos comunitarios de participación, así como estudios del territorio y análisis de conflictos socioambientales. Por otra parte, también se presentan otro enfoque que comprende la ciencia popular, los saberes locales, el sentipensar, y la co-construcción del conocimiento.

Ámbito territorial	Uso de los SSE para la caracterización de sus elementos en diferentes escalas territoriales, además de comparar los distintos componentes y dinámicas de uno o varios SSE.	Aportan en varios casos la información detallada para las caracterizaciones socioespaciales y datos cualitativos, que a través de esta técnica son posibles de especificar.
Metodológico	Se utilizan metodologías combinadas (cuantitativas y cualitativas) que parten de un eje medular, un enfoque técnico para la caracterización del SSE: se hace uso de SIG, técnicas de percepción remota, análisis de datos geográficos y estadísticos.	Se utilizan metodologías combinadas (cuantitativas y cualitativas) que tienen como procesos clave: el análisis de la información bibliográfica, estadística, geográfica, trabajo de campo, uso de metodologías constructivistas, y sistematización de la información a través de software especializado.
Ámbito espacial	Predomina el contexto periurbano en los estudios, ya que se analizan con frecuencia las actividades productivas que están vinculadas con las alteraciones, gestión de recursos y dinámicas sociales del SSE.	Predomina el contexto periurbano, ya que se analizan municipios y localidades que se encuentran en las afueras de las zonas urbanas. Sin embargo, las investigaciones de mayor alcance y periodo de estudio se han realizado en el contexto rural.
Escala territorial	De los estudios analizados predomina la escala regional, ya que se analizan se analizan extensiones considerables de territorio para comparar los distintos componentes y dinámicas de uno o varios SSE.	1) Entornos locales: nivel barrio, localidad y municipal. 2) Escala regional: mayor escala de análisis a nivel territorial entre actores y sistemas. Se abarcan diferentes municipios y fracciones de Estados.

Fuente. Elaboración propia, 2024.

De la tabla anterior, se pueden generalizar los diferentes enfoques para el análisis de problemáticas ambientales identificados en la revisión de casos de estudio, en la siguiente figura se pueden observar de manera sintética estas características.

Figura 8. Enfoques para el análisis de problemáticas ambientales



MM+P: Modelo Matemático + Predicción | **EVAL:** Evaluación
IAP: Investigación Acción Participativa | **SIG:** Sistemas de Información Geográfica

Fuente. Elaboración propia, 2024.

Es importante enfatizar que esta investigación se posiciona entre estos enfoques, teniendo varias aristas de investigación. Sin embargo, consideramos que dentro de los encuadres es necesario enfatizar la perspectiva comunitaria para comprender las problemáticas desde las propias personas que viven en los territorios, inclinando la investigación hacia los estudios socioterritoriales, teniendo mayor uso de enfoques como la IAP y SIG.

Capítulo 3. Metodología para el análisis de problemáticas ambientales a través de la CP

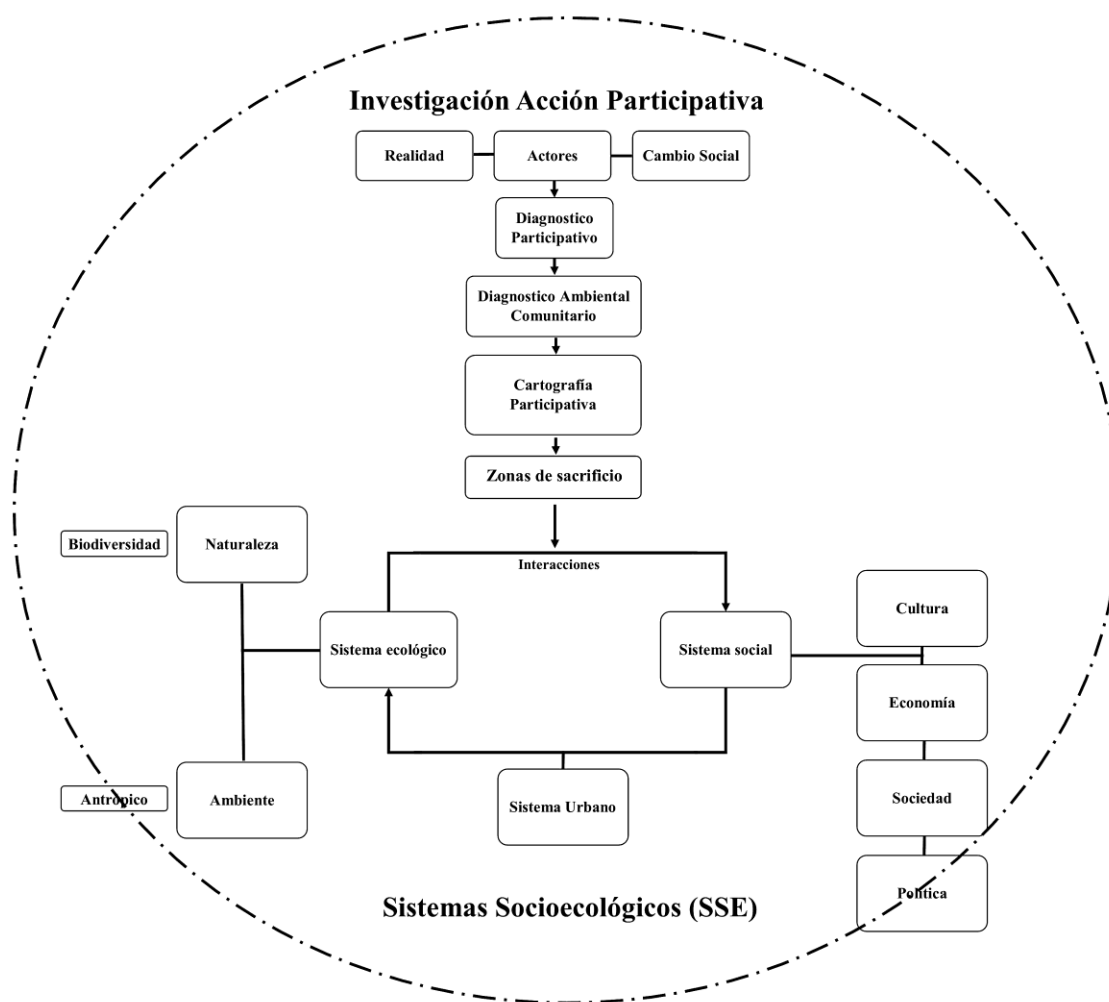
A partir de los trabajos examinados en el marco teórico conceptual y marco referencial, en este capítulo se presenta los elementos metodológicos para analizar las problemáticas ambientales a través de la cartografía participativa y los SSE. Para ello se retomaron categorías y variables de las aportaciones examinadas como por ejemplo: la temporalidad de los datos, escala de afectación de los fenómenos, volúmenes de materia, presencia de infraestructura, dinámicas de transferencia, monitoreo de incidencias, servicios ecosistémicos, entre otros. Esto se realizó con el objetivo de definir los instrumentos de análisis, pasos metodológicos, así como la relación entre criterios y técnicas que guardan con la investigación.

En este apartado los elementos metodológicos se presentan por separado con el objetivo de describir las características que podrán servir para replicar la metodología en estudios similares. En los siguientes apartados se describe, 1) esquema de la propuesta teórica, siendo esta la estructura epistemológica del estudio, 2) etapas metodológicas, en las cuales se desarrollan cada una de las fases de la investigación, 3) instrumentos para el análisis de problemáticas ambientales, 4) relación de criterios e instrumentos de análisis, donde se refieren los vínculos entre las variables de análisis con los instrumentos y técnicas, por último, 5) la caracterización del SSE, en el que se describen los procedimientos así como la matriz de operacionalización de variables de análisis, esta última para definir los elementos cuantitativos e indicadores para la caracterización del SSE de la RTVM.

3.1. Esquema de la propuesta teórica

Esta investigación tuvo como objetivo analizar las problemáticas ambientales de los municipios de la RTVM a partir del empleo de los SSE y la CP para su comprensión y caracterización. Para ello, fue necesario hacer uso de técnicas como la cartografía participativa desde una perspectiva comunitaria, ya que por su articulación con otras técnicas de carácter constructivista, como el diagnóstico ambiental y el mapeo verde, se alcanzó el objetivo planteado. En el siguiente esquema (véase Figura 9) se muestra la propuesta teórica con la que se analizaron las problemáticas ambientales de la RTVM.

Figura 9. Esquema de la propuesta teórica de la investigación



Fuente. Elaboración propia, 2024.

En este esquema se muestra la IAP en la parte superior como la perspectiva empírica predominante para analizar las problemáticas ambientales, ya que de esta se desprenden metodologías participativas que están estrechamente vinculadas con la integración de los diferentes saberes, el empoderamiento de las comunidades, y la generación de cambios en la realidad.

La IAP tiene una aplicación sobre la *praxis*, por lo que esta investigación, al ser una continuación de los trabajos realizados en 2016 por LIDECS, utiliza esta perspectiva debido a que es importante para comprender las problemáticas ambientales a través de la construcción del conocimiento colectivo, validando así los elementos que interactúan con el SSE. Lo anterior, generó una caracterización del SSE a partir de la realidad de las personas que viven en el territorio, y que por tanto, tienen mayor conocimiento sobre cómo se generan las problemáticas ambientales en la región de estudio. Esto permitió definir cuáles son los aspectos del SSE relevantes para su caracterización.

Por otro lado, en la parte inferior se muestran los SSE como perspectiva teórica que abarca tres sistemas de análisis: ecológico, social y urbano. Estos sistemas tienen una estrecha relación con las problemáticas ambientales, ya que cada uno se entrelaza con los elementos de perturbación, momentos de disrupción y críticos del SSE, lo cual nos permite examinar patrones en agua, aire y suelo.

Es importante mencionar que esta propuesta teórica parte de una perspectiva socioterritorial que se complementa con los SSE, a diferencia de las tendencias sobre los estudios del SSE, los cuales generalmente se realizan de manera inversa partiendo desde una perspectiva técnica y complementándose con otros encuadres. De este modo, los elementos del SSE como el sistema ecológico, social y urbano, son delineados por la información comunitaria, teniendo una validación local.

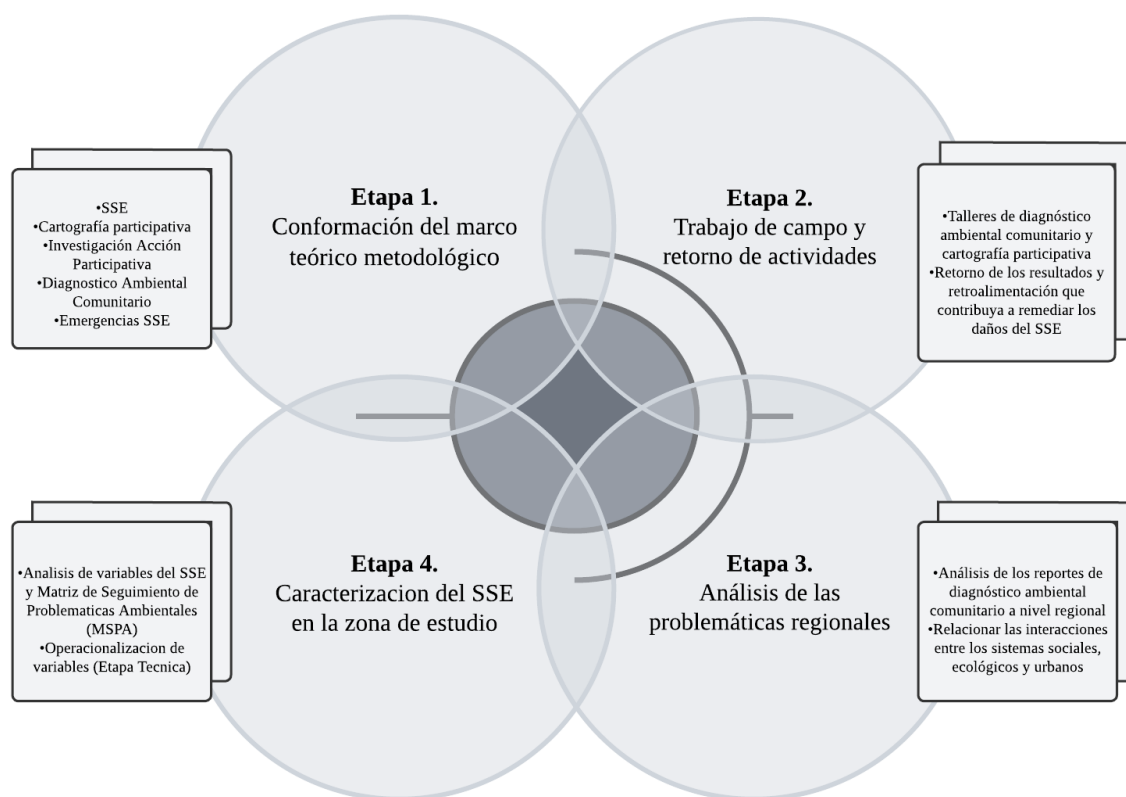
Por tanto, la propuesta teórica de esta investigación no solo es un conjunto de conceptos epistemológicos, también es trabajo aplicado a la realidad de estudio, por lo que gran parte de las variables de análisis fueron delineadas mediante los ejercicios previos en 2016 y reforzados con la aplicación de nuevos ejercicios con una perspectiva socioecológica, permitiendo así abarcar el estudio de las problemáticas ambientales.

3.2. Etapas metodológicas

Al considerar diferentes encuadres articulados por la IAP y los SSE, la metodología se dividió en cuatro etapas para poder detallar los diversos pasos y componentes de la investigación. En este apartado se describen estas características, instrumentos y la relación con el análisis de las problemáticas ambientales. Es importante mencionar que, si bien es cierto que el trabajo de campo en secuencia de orden dentro de los trabajos de investigación le secunde a la conformación del marco teórico, en este caso se realizó después de la estructuración de los instrumentos, debido a que la caracterización del SSE se desprende del trabajo con los actores locales ya que son tomados en cuenta para definir las dimensiones, variables e indicadores de análisis.

En el siguiente gráfico, se presenta un esquema metodológico en el que se describen las diferentes etapas metodológicas de la investigación.

Figura 10. Esquema metodológico de investigación



Fuente. Elaboración propia, 2024.

El esquema muestra de manera sintética las cuatro etapas metodológicas para analizar las problemáticas ambientales de la RTVM, comprender sus causas y vínculos a través de la CP y los SSE. En los siguientes párrafos se detallan estas etapas:

Etapas 1. Conformación del marco teórico metodológico

En esta primera etapa se realizó el análisis de la información documental, lo cual permitió relacionar diversas nociones teóricas y metodológicas relacionadas con los SSE, cartografía participativa, diagnóstico ambiental comunitario y emergencias socioecológicas. Para ello fue necesaria la búsqueda, identificación, selección y análisis de diversas fuentes documentales contenidas en libros y capítulos de libros especializados, artículos de revistas científicas, tesis de posgrado, bases de datos, así como en compendios estatales y municipales.

Para la obtención de esta información fue necesario consultar los repositorios de diversas instituciones, centro de investigación, bibliotecas, acervos hemerográficos, tales como el Archivo Histórico y Biblioteca Central del Estado de Hidalgo y de México, Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial, A.C. (CentroGeo), Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), bibliotecas universitarias del Estado de Hidalgo y de México, así como acervos comunitarios vinculados a la región, entre otras fuentes documentales como plataformas electrónicas de repositorios institucionales y hemerotecas digitales de revistas científicas de libre acceso como Directory of Open Access Journal (DOAJ), Scientific Electronic Library Online (SCIELO), y la Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal (Redalyc). La búsqueda y acopio de información se desarrolló en los meses de enero a marzo de 2024, considerando una delimitación temporal para los trabajos seleccionados a partir del año 2010 y a la fecha, debido a la relevancia, vigencia de nuevos aportes académicos, aplicabilidad de los marcos de análisis e integración de estos para la comprensión de las problemáticas ambientales.

Lo anterior, se realizó a través de los siguientes criterios: desarrollo empírico del caso de investigación, claridad y consistencia en la propuesta metodológica aplicada, cobertura temática afín al objeto de estudio, colaboración de investigadores y académicos de reconocidas instituciones, así como la vigencia de la publicación de cada contribución. Esto

permitió la identificación de 46 contribuciones que retoman los SSE o la CP como una categoría central para el análisis correspondiente, pero también se emplean como noción paralela de otros planteamientos teóricos, e incluso como un soporte instrumental para el desarrollo metodológico. Si bien, no todos los trabajos identificados en esta primera selección se relacionaron con el estudio de problemáticas ambientales, si emplearon los marcos referidos, ya que algunos se presentan como argumentaciones teóricas y otros refieren a estudios de casos empíricos aplicados en diversas realidades espaciales.

Por tanto, con la finalidad de precisar los trabajos que emplean los marcos de SSE y la CP para el abordaje de problemáticas ambientales, se elaboró una matriz sintética que incluyó: la problemática abordada, el enfoque disciplinario, marco de análisis, metodología implementada, escala territorial y análisis del estudio. Esto permitió identificar 12 aportaciones, de las cuales 9 son trabajos de académicos e investigadores de países como Rusia, Australia, Colombia, Irán, Reino Unido y Chile. En el caso de México, donde se realiza esta investigación, se identificaron 3 trabajos de instituciones como la Universidad Autónoma de Guerrero, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD) y el CentroGeo.

Finalmente, se construyó un marco teórico-metodológico para la investigación, permitiendo la identificación de tendencias sobre las temáticas que abordan las problemáticas ambientales, los métodos e instrumentos que se han utilizado, además de las perspectivas desde las que se han realizado los estudio. También, con la conformación de esta etapa, se delimito la investigación dentro de los estudios socioterritoriales, destacando el enfoque comunitario como parte fundamental para la realización del estudio.

Etapa 2. Trabajo de campo y retorno de actividades

Esta etapa se llevó a cabo después de la conformación del marco teórico y la creación de los instrumentos, por lo que para el trabajo de campo se realizaron diversos ajustes debido a que la participación de los actores locales fue fundamental para definir las variables e identificar las problemáticas ambientales y realizar una caracterización del SSE acorde con la realidad de estudio. Los municipios donde se llevó a cabo este trabajo fueron seleccionados con base a las características de la zona de sacrificio de Tula, una región donde se presentan

procesos intensos de disrupción del SSE asociados a actividades industriales, extractivas y urbanas. A si mismo, se tiene antecedentes de trabajo comunitario desarrollado durante más de una década y mapeo previo (LIDECS, 2016) en la región, lo que permitió contar con facilitadores y convocatoria para llevar a cabo cuatro talleres de diagnóstico ambiental comunitario, dos ejercicios de cartografía participativa y un recorrido por los municipios de estudio.

Para el desarrollo de estos talleres se conformaron grupos focales de entre 6 a 12 participantes por taller, reuniendo un total de 55 personas. El número de participantes se definió con base al manejo adecuado del taller, asegurando de esta manera que el dialogo fluyera y se generara una reflexión colectiva sobre los conocimientos compartidos. La selección de participantes consideró el conocimiento sobre el territorio y los roles sociales: estudiantes, activistas, líderes comunitarios, habitantes de la región, ejidatarios y representantes del gobierno local. Esto permitió la inclusión de perspectivas de varios sectores clave y actores involucrados en la cotidianidad de la RTVM. Esto sirvió para identificar las relaciones que existen con elementos de perturbación del SSE, permitiendo a su vez delinear las variables de análisis en sus tres dimensiones: agua, aire y suelo.

También se realizaron las actividades de retorno de resultados de los talleres y retroalimentación con los participantes con los siguientes objetivos:

- 1) Se realizó el retorno de los resultados, información y productos de los talleres en cada municipio, con el fin de fortalecer conocimiento local sobre las problemáticas ambientales y su relación con los elementos de perturbación del sistema socioecológico.
- 2) Se realizaron ejercicios de retroalimentación de los resultados mediante conversatorios, con el fin de generar propuestas originadas por los participantes, haciendo uso de las cartografías, infografías y reportes técnicos, siendo estos los productos derivados de los talleres.
- 3) De las actividades de retorno, es importante mencionar que los resultados gráficos e informes se encuentran en el Observatorio de Emergencias Socioambientales (OES) para su consulta y libre acceso en la página www.odesemx.com, con el fin de facilitar la disposición de la información a las comunidades que participaron en estos ejercicios.

Etapa 3. Análisis de las problemáticas ambientales regionales

Para caracterizar el SSE fue necesario analizar las problemáticas ambientales regionales, por esta razón el trabajo de campo es una parte importante de esta investigación ya que para definir y relacionar las problemáticas ambientales, se requiere consensar estas de manera colectiva a partir del reconocimiento por parte de las personas que viven en esta región.

Esta identificación y análisis comunitario permite delimitar las problemáticas a partir de unidades de recurso mediante la participación de los actores locales, estableciendo donde se originan, como se generan y con qué elementos del SSE se interactúa. Si bien McGinnis y Ostrom (2014) manejan un enfoque desde la economía, la identificación de unidades de recurso en esta investigación permitió definir en que elemento se concentran las problemáticas y como intervienen en la disrupción del equilibrio sistémico. Para ello, se requirió de las siguientes herramientas metodológicas para la identificación de los elementos de interacción del SSE:

- a) Diagnóstico Ambiental Comunitario (DAC): Identificación de las problemáticas ambientales a diferentes escalas.
- b) Cartografía Participativa (CP): Geolocalización, co-construcción social del conocimiento, intercambio colectivo de saberes y validación de la información a través del consenso colectivo.
- c) Matriz de Seguimiento de Problemáticas Ambientales (MSPA): Registro empírico-documental, sistematización y relación de variables.

Con la primera, se reconocen las problemáticas ambientales a través un mapa verde, el cual permite identificar los momentos clave que propiciaron cambios en el agua, aire y suelo de los territorios de la RTVM. Esto proporciona información histórica para caracterizar el SSE y sistematizar la información en la MSPA.

Con la segunda, se localizan las problemáticas ambientales a través de un mapeo que incluye los conocimientos y saberes de la comunidad. Esta técnica proporciona narrativas sobre información geográfica detallada, además de la evolución de las problemáticas ambientales que abarcan dimensiones ecológicas, políticas y sociales.











Con la tercera, se efectúa un registro documental y empírico de las problemáticas ambientales, tanto del trabajo de campo como de artículos, documentos y notas periodísticas, que resaltan los momentos clave de cambio, perturbación y críticos de la RTVM. Esta matriz también sirve como instrumento de sistematización de la información, ya que permite relacionar las variables con los elementos del SSE.


Etapa 4. Caracterización del SSE en la zona de estudio

Esta etapa corresponde a una fase de investigación técnica la cual permite caracterizar la zona de estudio con relación al estado del SSE. Para ello, se consultaron diferentes fuentes de información, incluidas bases de datos institucionales que contienen aspectos sobre las cuencas hidrográficas, ecosistemas, biodiversidad, infraestructura, población y actividades económicas de la región, así como elementos sociales que se vinculan con las interacciones del medio físico, como salud, políticas públicas, economía, cultura y ambiente.

En los siguientes cuadros se presenta las fuentes de información consultadas respecto a la información requerida para caracterizar el SSE de la RTVM.










Tabla 14. Fuentes de la información para caracterizar el estado del agua de la RTVM














Dim	Sub[D]	Variable	Sub[V]	Fuente de la información
AGUA	Gestión del agua	Descargas	Domiciliarias	INEGI → Censo 2020 → Tabulados 
			Urbanas	CONAGUA → SINA → D. Vectoriales 
			Industriales	INEGI → DENUE → D. Vectoriales 
			Agrícolas	RAN → SIG.RAN → D. Vectoriales 
		Aprovechamiento	Usos	CONAGUA → SINA → D. Vectoriales 
				INEGI → Censo 2020 → Tabulados 
				INEGI → Censo 2010 → Tabulados 
		Infraestructura	Hidráulica	CONAGUA → SINA → D. Vectoriales 
				INEGI → M. Geoestadístico 2023
				→ D. Vectoriales 
Gob. Federal → CONAGUA → Programa Hídrico Regional → Info. Documental 				

		Abastecimiento	Cuenca Hidrográfica	CONAGUA → SINA → D. Vectoriales  SEMARNAT → Atlas Geográfico → Agua 2022 → D. Vectoriales  Gob. Estatal → Plan Estatal de Desarrollo 2022 – 2028 → Info. Documental 
		Saneamiento	Emergencia Sanitaria	CONAGUA → SINA → D. Vectoriales  Gobierno → Reportes CONAGUA → Info. Documental  Comunidad → Saberes locales → Info. Local 

Fuente. Elaboración propia, 2024.

Tabla 15. Fuentes de la información para caracterizar el estado del aire de la RTVM

Dim	Sub[D]	Variable	Sub[V]	Fuente de la información
AIRE	Calidad del aire	Emisiones	Industria	INEGI → DENUÉ → D. Vectoriales  Comunidad → Saberes locales → Info. Local 
			Transporte	INECC → Inventario Nacional de Emisiones (INEGYCEI) 2018 → Info. Documental 
			Río	CONAGUA → SINA → D. Vectoriales  INEGI → M. Geoestadístico 2023 → D. Vectoriales 
			Orgánicos	Comunidad → Saberes locales → Info. Local  INEGI → DENUÉ → D. Vectoriales  INEGI → Residuos Sólidos → Tabulados  SEMARNAT → Espacio Digital Geográfico (ESDIG) → D. Vectoriales 

			<p>Agrotóxicos</p> <p>RAN → SIG.RAN → D. Vectoriales </p> <p>CONAGUA → SINA → D. Vectoriales </p> <p>SADER → SIAP → SENASICA</p> <p>→ Info. Documental </p> <p>CONAFOR → SNMF → INFYS</p> <p>→ D. Vectoriales </p> <p>Comunidad → Saberes locales</p> <p>→ Info. Local </p>
	Monitoreo	Normatividad	<p>Gob. Federal → Marco Normativo → Leyes y Reglamentos Federales aplicables en la RTVM → Info. Documental </p> <p>Gob. Federal → Marco Normativo → Convenios Internacionales aplicables en la RTVM → Info. Documental </p>
Competencia		<p>Gob. Federal y Estatal → Marco Jurídico</p> <p>→ Competencia institucional en la RTVM</p> <p>→ Info. Documental </p> <p>Comunidad → Saberes locales</p> <p>→ Info. Local </p>	
Epidemiología		<p>DGIS → Mortalidad</p> <p>→ 10 principales enfermedades</p> <p>→ Tabulados </p> <p>CONABIO → Geoportal</p> <p>→ SNIB → D. Vectoriales </p> <p>CONABIO → Enciclovida → Especie por Región → D. Vectoriales </p> <p>Comunidad → Saberes locales</p> <p>→ Info. Local </p>	

Fuente. Elaboración propia, 2024.

Tabla 16. Fuentes de la información para caracterizar el estado del suelo de la RTVM

Dim	Sub[D]	Variable	Sub[V]	Fuente de la información
SUELO	Gestión Territorial	Uso de Suelo	Evolución	INEGI → Uso de suelo y vegetación S2 – S6 → D. Vectoriales
				CONAGUA → SINA → D. Vectoriales
				RAN → SIG.RAN → D. Vectoriales
				SADER → SIAP → SENASICA → Info. Documental
		Desarrollo	Vivienda	Gob. Federal → Plan de Desarrollo Urbano → Info. Documental
			Económico	Gob. Estatal → Plan Estatal de Desarrollo 2022 – 2028 → Info. Documental
		Extracción	Recursos N.	SGM → Geoinfomex → Inventarios Mineros Municipales para la RTVM → Info. Documental
		Residuos	Urbanos	SEMARNAT → ESDIG → D. Vectoriales SEMARNAT → RETC → SINAT → Info. Documental
		Servicios Ecosistémicos	Culturales	Academia → SECIHTI → Pronaii 318998 → Info. Documental
				Gob. Federal → Plan de Desarrollo Urbano → Info. Documental
Regulación	CONAFOR → SNMF → INFYS → D. Vectoriales			

Fuente. Elaboración propia, 2024.

Es importante mencionar que aunque esta etapa tiene un enfoque técnico, esta se desprende de los procesos metodológicos cualitativos que se utilizaron como eje rector para analizar las problemáticas ambientales regionales y para la caracterización del SSE de la zona de estudio. De esto es relevante mencionar que al ser una propuesta con diferentes encuadres conceptuales (IAP-SSE), en esta etapa se tomó en cuenta la participación de las personas como un recurso significativo para la identificación de componentes como las unidades de recurso, interacciones y elementos de perturbación.

Por tal motivo, en esta investigación no solo reconocemos a la CP como una técnica con un amplio margen de análisis, aplicabilidad y participación, sino que es una parte fundamental para generar una caracterización del SSE más acercada a la realidad, ya que esto último requiere integrar dentro de los procesos técnicos los elementos relevantes para las personas, quienes conocen su territorio y tienen una noción amplia de como ocurren las interacciones y problemáticas ambientales.

Por otra parte, en esta etapa también se llevó a cabo la elaboración cartográfica temática, la cual permitió representar y sintetizar de manera grafica los diferentes componentes vinculados con el SSE de la región de estudio. Esta cartografía temática se derivó de un cruce de información tanto de la MSPA y de los datos oficiales disponibles, lo que robustece la caracterización del SSE con el uso de técnicas combinadas.

3.3. Instrumentos para el análisis de problemáticas ambientales

La RTVM comprende varios territorios que han presentado una degradación acelerada a lo largo de las últimas décadas, en este contexto las organizaciones comunitarias han sido parte fundamental en los procesos de defensa del territorio y en la respuesta a los conflictos vinculados a los problemas socioecológicos. Por este motivo, se han considerado a las organizaciones y población local como los principales actores sociales que pueden aportar a la construcción de una caracterización del SSE fiel a la realidad que viven, conocen, y resisten.

El trabajo comunitario realizado desde 2009 con las organizaciones de esta región ha propiciado la generación de estudios académicos y sociales, como el proyecto 243127 de Investigación Científica Básica de CONACyT y los talleres de Diagnostico Ambiental Comunitario / Mapeo de Factores de Riesgo realizados por las comunidades de la región. Estos se han dado en contextos de antecedentes y procesos de militancia social con las comunidades, por ello la decisión de realizar la aplicación de los instrumentos metodológicos con los actores sociales de estas organizaciones se justifica por: 1) tiempo recorrido con los colectivos, 2) creación conjunta del conocimiento y 3) fortalecimiento local del conocimiento.

Tomando en cuenta lo anterior, para integrar de manera adecuada las fases metodológicas y los procesos del trabajo de campo, fue significativo definir los instrumentos y sus características. Esto permitió construir la información requerida para comprender las principales problemáticas ambientales de la región RTVM. A continuación, se presentan las fases metodológicas para realizar el trabajo de campo de la investigación.

- a) Primer acercamiento - logística
- b) Difusión a través de redes de comunicación – medios gráficos
- c) Talleres de diagnóstico y cartografía
- d) Retorno de resultados y retroalimentación

I) Primer acercamiento – logística

A través de un facilitador, con más de diez años de experiencia de trabajo comunitario en la región, se presentó la propuesta de investigación y trabajo de campo con las comunidades. Esta presentación se realizó en un formato de charla informativa acompañada de una exposición a los actores clave de cada municipio de la región de estudio: delegados, regidores, comisariados, organizaciones comunitarias y población local. Lo anterior se realizó con la finalidad de dar a conocer la investigación, sus objetivos, la importancia del trabajo con los actores clave y participantes de la región para reconocer la evolución de las problemáticas ambientales, además de los cambios que se han presentado en los últimos años. La logística de los espacios, duración de los talleres y fechas, se organizaron con los actores clave de cada uno de los municipios, por lo que las características y fechas en las agendas de los participantes, se consensaron mediante la comunicación de este primer acercamiento.

II) Difusión a través de redes de comunicación

Se hizo uso de las redes de comunicación de los grupos comunitarios y de las *plataformas soporte*¹¹ para dar a conocer la convocatoria de los talleres de diagnóstico ambiental que se llevaron a cabo en los municipios de estudio, esto a través de imágenes y oficios con información puntual como los espacios, horarios y actividades a desarrollar. Estos canales de comunicación fueron clave para la difusión, aclaración de dudas respecto a los ejercicios y establecer confianza respecto al origen de la propuesta. De lo anterior, se realizaron gráficos que fueron compartidos a través de medios digitales e impresos, como infografías sobre la importancia de la cartografía participativa, su objetivo y uso, además de carteles sobre la convocatoria. Estos elementos gráficos fueron solicitados por los actores clave para dar una mayor difusión de la convocatoria, además de servir como material didáctico para comprender el objetivo de los talleres diagnóstico.

¹¹ Las *plataformas soporte* son ONGs que tiene adheridas a varias colectivas, quienes a través de sus páginas, canales de comunicación, listas de miembros y correos, dan a conocer avisos importantes.

III) Talleres de diagnóstico y cartografía

Los talleres de diagnóstico ambiental comunitario y cartografía participativa fueron relevantes para identificar contextos clave sobre los procesos sociales y territoriales que han ocurrido en la región. A continuación se presentan las características y objetivos de estos.

Tabla 17. Cronograma de talleres en la RTVM

Municipio	Objetivos	Fechas de aplicación y actores	Resultados	Fechas de retorno	Productos entregados
Apaxco de Ocampo	Taller diagnóstico; realizar un análisis de las problemáticas ambientales (evolución) con los principales actores sociales y habitantes del municipio. Taller cartografía participativa: identificar las problemáticas ambientales geográficamente, sus principales interacciones y dinámicas con el SSE.	17/08/2024 [Colectivos sociales y población local]	A través del reconocimiento comunitario, localización y análisis de las problemáticas ambientales, se identificaron los elementos de interacción en agua, aire y suelo que intervienen en la perturbación del sistema socioecológico, así como los momentos clave que generaron cambios territoriales, sociales y ecológicos en las dinámicas del SSE de la RTVM.	05/08/2025	-Reporte diagnóstico -Línea de tiempo -Cartografía participativa
Atotonilco de Tula		23/08/2024 [Miembros de la sociedad civil y estudiantes]		11/10/2024	-Reporte diagnóstico -Cartografía participativa
Atitalaquia		16/08/2024 [Personal del gobierno local, y miembros de la sociedad civil]		18/10/2024	-Reporte diagnóstico -Línea de tiempo -Cartografía participativa
Tula de Allende		15/08/2024 [Personal del gobierno local, y miembros de la sociedad civil]		05/08/2025	-Reporte diagnóstico -Línea de tiempo -Cartografía participativa

Fuente. Elaboración propia, 2024.

De estos talleres es importante mencionar las características que se consideraron para su implementación, así como las referencias prácticas y metodológicas relevantes para la articulación de los instrumentos, en los siguientes apartados se detallan estas particularidades.

Taller de Diagnóstico Ambiental Comunitario (DAC)

Al ser uno de los elementos principales de la investigación, es importante definir las características de los ejercicios de cartografía participativa en los municipios de la zona de estudio, ya que esta se compone de diferentes elementos lúdicos para su ejercicio. A continuación se describen los elementos metodológicos que la integran, tomando en cuenta las técnicas del colectivo del Laboratorio de Investigación en Desarrollo Comunitario y Sustentabilidad (LIDECS) sugeridas para el mapeo participativo, además de otros recursos como el Manual de Mapeo Colectivo, publicado por Iconoclasistas en 2013, así como las experiencias empíricas propias.

- a) En un primer momento, se realizó un taller de diagnóstico ambiental comunitario conformado por grupos focales de seis a ocho personas. Estos grupos se establecieron en relación con el número de participantes con la finalidad de tener varias perspectivas de las problemáticas ambientales en diferentes puntos del territorio. Posteriormente, se desarrollaron ejercicios didácticos como mesas de trabajo de discusión y mapeos verdes basados en el Desarrollo Comunitario Radical (DCR), lo cual permite la identificación de problemas socioambientales.
- b) En un segundo momento, se efectuó una breve introducción a los elementos geográficos y territoriales, esto se efectuó de una forma sencilla a través de ejemplos sobre los elementos más importantes de representación geográfica y de ubicación, lo que les permitió a los participantes contar con nociones de representación sobre el papel dando lugar a un mapeo participativo. En este ejercicio, se realizan procesos lúdicos para plasmar los saberes de los participantes con el reconocimiento de parte del grupo.
- c) En un tercer momento, se implementó una charla de retroalimentación acerca de los resultados del taller, mediante la revisión de cada uno de los mapas por parte del

grupo y conclusiones del ejercicio. Este momento es de suma importancia, ya que rectifica la información que se tiene de manera colectiva sobre las problemáticas ambientales con los demás participantes, lo que puede derivar en una ampliación de información.

Es relevante referir que en al menos tres de los ejercicios de esta investigación se implementaron líneas de tiempo para crear mapeos verdes con el objetivo de explorar, identificar y registrar los saberes locales, así como narrativas de los participantes, para posteriormente generar cartografías de dicha información. No obstante, sugerimos tomar en cuenta esta técnica para crear un registro histórico, ya que para el estudio de los cambios y perturbaciones del SSE es relevante conocer en qué momento fueron percibidos y de qué manera.

Taller de Cartografía Participativa (CP)

Esta parte del ejercicio comprende el mapeo participativo realizado en el DAC y el trabajo de análisis (técnico) posterior a la aplicación del ejercicio lúdico. Al ser una técnica que involucra el uso de SIG para el proceso de sistematización, se tomó en cuenta la metodología del colectivo LIDECS, la cual sugiere no mezclar este proceso técnico en el mismo taller que el DAC. Por tanto, los pasos que se consideraron en este proceso de sistematización son los siguientes:

Digitalización de la información: Este proceso se realizó para manejar los datos de manera óptima en una versión digital, en este caso se utilizó el software *QGIS* en su versión 3.2 para la cartografía y *Pixlr Editor* para mejorar la calidad de las evidencias gráficas (rotafolios, notas).

Estandarización del mapeo colectivo: En este paso se validó cada mapa generado en el ejercicio y se creó un consenso de los elementos referidos a partir de una clasificación homologada a partir de la información de los mapeos verdes, líneas de tiempo y notas de campo.

Representación de la información: En esta etapa se llevó a cabo la representación de la información mediante el uso de SIG, con simbología fácil de apreciar y con la información que los participantes refirieron en el ejercicio.

IV) Retorno de resultados y retroalimentación

En este paso se realizaron actividades de retorno de los resultados a los participantes de los talleres, presentando el mapa diagnóstico al grupo, así como los reportes de cada ejercicio. Estas actividades consistieron en conversatorios sobre los resultados y estrategias locales gestadas entre los participantes de los talleres, además de una entrega de resultados regionales mediante actores clave y líderes comunitarios.

Estas actividades se llevaron a cabo en el mes de noviembre de 2024, donde se entregaron de manera impresa el reporte diagnóstico, línea de tiempo y cartografía participativa a cada grupo de los participantes de los talleres. De manera posterior, en el mes de mayo de 2025 se compartieron los resultados regionales a través de canales de comunicación de las propias organizaciones sociales y grupos comunitarios, esto con el fin de difundir el trabajo realizado por los participantes y los hallazgos gestados a través de la cocreación de conocimiento comunitario.

3.4. Relación de criterios e instrumentos de análisis

Las problemáticas ambientales pueden ser examinadas desde diferentes enfoques, por lo que esta investigación se encuentra dentro desde el enfoque socioterritorial, en el que han desarrollado aportaciones metodológicas que involucran técnicas con perspectivas transdisciplinarias, como la cartografía participativa y el uso de los SIG. De los estudios examinados en el capítulo dos, se identificaron dimensiones que han servido para el análisis de las problemáticas ambientales y la caracterización del SSE, por ejemplo: la identificación de las unidades de recurso (Maya-Rivera, 2019; De La Torre y Moreno, 2019; Rodríguez-Robayo *et al.*, 2020), la distribución de los recursos ecosistémicos (Bryan *et al.*, 2010; Mustonen y Shadrin, 2021; Osorno-Acosta y Corrales-Roa, 2018) y los cambios-conflictos socioecológicos en el territorio (Vélez *et al.*, 2012; González, 2020).

De lo anterior, existen categorías y variables que, por su relación con el estudio, fueron significativas para esta investigación. En el siguiente cuadro se sintetizaron las categorías y criterios que tiene vinculación relevante con el estudio de las problemáticas ambientales.

Tabla 18.. Relación de criterios para el análisis de problemáticas ambientales

Categoría	Variables	Criterio	Referencia
Ecológico	Condiciones climáticas	Cambios ecológicos a escala regional	Mustonen y Shadrin, (2021)
Cultural	Actividades tradicionales		
Social	Sustentabilidad		
Económico	Servicios ecosistémicos		
Ecológico	Capital natural	Gestión de los servicios ecosistémicos	Bryan <i>et al.</i> , (2010)
Social	Valores sociales		
Económico	Abundancia		
Social	Organización	Conflictos ambientales	Maya-Rivera, (2019)
Económico	Estilo de vida		
Cultural	Identidad		
Ecológico	Hidrografía, Biodiversidad	Conflictos por el uso de la tierra	Osorno-Acosta y Corrales-Roa (2018)
Social	Aprovisionamiento		
Económico	Uso de suelo (servicios ecos.)		
Ecológico	Monitoreo	Cambios estructurales en los SSE	Rodríguez-Robayo <i>et al.</i> , (2020)
Social	Actividades económicas		
Económico	Productividad		
Territorio	Distribución de los recursos		
Ecológico	Cambios de usos de suelo	Elementos de perturbación del SSE	De La Torre y Moreno (2019)
Político	Aprovechamiento de recursos		
Social	Dependencia		

Fuente. Elaboración propia, 2024.

Si bien, los criterios que retomamos en el cuadro anterior abordan diferentes aspectos de los SSE, esta investigación también enfatiza la participación de los actores para elaborar una caracterización aproximada a la realidad de estudio y las problemáticas que se tiene en la RTVM, por ello en las siguientes matrices (véase Tabla 19, Tabla 20 y Tabla 21) se presentan las relaciones con los indicadores y métodos que se utilizaron para analizar de las problemáticas ambientales a través de tres dimensiones (agua, aire y suelo) en la RTVM.

Tabla 19. Matriz de dimensiones y métodos para el análisis en agua

Dim	Sub	Variable	Subvariable	Indicador	Método
Agua	Gestión del agua	Descargas	Domiciliarias	Qmed_Dom: Cantidad diaria descargas domiciliarias	Análisis de Datos Estadísticos (ADS)
			Urbanas	Qmed_S1: Cantidad diaria descargas urbanas	
			Industriales	Qan_P1: Volumen de descarga anual industrial	Análisis de Datos Geoespaciales (ADG)
			Agrícola	SupRgo: Superficie de riego	
	Aprovechamiento	Uso de aguas subterráneas		Ev_Comp_Urb: Evolución por competencia urbana	ADS + Tasas de cambio
				Apran_Pec: Aprovechamiento anual pecuario	
				Apran_Inds: Aprovechamiento anual industrial	

				Apran_Agr: <i>Aprovechamiento anual agrícola</i>	(TS)
				Apran_Pub: <i>Aprovechamiento anual público urbano</i>	
				VEAS_Acu: <i>Vol. Extracc. de aguas subterráneas del acuífero</i>	
		<i>Infraestructura</i>	Hidráulica	Tot_Prs_NAMO: <i>Volumen de Nivel de Aguas Máx. Ord.</i>	ADG + Análisis de Datos Documentales (ADD)
				Tot_Cnl: <i>Total de canales de riego</i>	
				Tpo_Sdn: <i>Tipo de sistemas de drenaje</i>	
				Tot_Patm: <i>Total de plantas de tratamiento y condición</i>	
		<i>Abastecimiento</i>	Cuenca Hidrográfica	Tot_Fnt_Abs: <i>Total de fuentes de abastecimiento</i>	ADG + ADD + Diagnóstico Ambiental Comunitario (DAC) + Cartografía Participativa (CP)
				Tot_Loc_Abs: <i>Total de localidades abastecidas</i>	
				Nvl_DMA: <i>Nivel de Disponibilidad Média Anual de Agua</i>	
				Tot_Pry_Hdr: <i>Total de proyectos hídricos</i>	
		<i>Saneamiento</i>	Emergencias Sanitarias	Tot_Inc_Snt: <i>Total de incidencias sanitarias</i>	
				Eg_Ic: <i>Elemento geográfico de incidencia</i>	

Fuente. Elaboración propia, 2025.

Tabla 20. Matriz de dimensiones y métodos para el análisis en aire

Dim	Sub	Variable	Subvariable	Indicador	Método
Aire	<i>Calidad del aire</i>	<i>Emisiones</i>	Industria	Are_AF_Cst: <i>Área de afectación industria petroquímica</i>	ADG + CP
				Are_AF_Cst: <i>Área de afectación industria construcción</i>	
				Are_AF_Pq: <i>Área de afectación industria alimentaria</i>	
			Transporte	Emi_veh_Tps: <i>Emisiones de vehículos de transporte pesado</i>	ADD + DAC
				Emi_veh_Lcr: <i>Emisiones de locomotoras de patio</i>	
				Emi_veh_Tp: <i>Emisiones de vehículos de transporte particular</i>	
			Río	PTAR_Sit_Af: <i>Área de afectación del PTAR</i>	
				Rio_Sit_Af: <i>Área de afectación del río</i>	
			Orgánicos	Fert_Sit_Tot: <i>Total de sitios fertilizante</i>	
		Sit_Binf_Rad: <i>Sitios disposición biológicos infecciosos y radioactivo</i>			
		<i>Monitoreo</i>	Agrotóxicos	Snc_Utz_Clv: <i>Sustancias utilizadas en los cultivos</i>	ADD + ADG
				Loc_Sit_Pg: <i>Sitios con presencia de plagas</i>	
			Normatividad	Tot_Nom_Apl: <i>Total de Normas Oficiales Mexicanas (NOM) aplicables</i>	
Tot_Norm_Int: <i>Total de normatividad internacional aplicable</i>					

			Competencia	Tot_Inst_Cmp: <i>Total de instituciones con competencia</i>	
			Epidemiología	Prn_Enf_Hsp: <i>Principales enfermedades hospitalarias</i>	
				ISCN: <i>Índice de sustentabilidad de capital natural</i>	

Fuente. Elaboración propia, 2025.

Tabla 21. Matriz de dimensiones y métodos para el análisis en suelo

Dim	Sub	Variable	Subvariable	Indicador	Método
Suelo	Gestión territorial	Usos de suelo	Evolución	TS_Cr_Agr: <i>Tasa de crecimiento agrícola</i>	ADD + ADG
				TS_Cr_Urb: <i>Tasa de crecimiento urbano</i>	
		Desarrollo	Vivienda	Tot_Und_Hab: <i>Total de unidades habitacionales</i>	ADD + ADS + ADG
				Tot_Pry_Viv: <i>Total de proyectos de vivienda</i>	
			Económico	Tot_Proj_Ind: <i>Total de proyectos industriales</i>	
				Tot_Proj_Eng: <i>Total de proyectos energéticos</i>	
		Extracción	Recursos N.	Tot_Ext_Clz: <i>Total de extracción de caliza</i>	
		Residuos	Urbanos	Tot_Sto_Dsf: <i>Total de sitios de disposición final de residuos</i>	
				Tot_Fnt_Inc: <i>Total de fuentes de incineración de residuos</i>	
		S. Ecosistémicos	Culturales	Tot_Sto_MyP: <i>Total de sitios de VP-medio ambiente y paisaje</i>	
				Tot_Sto_HyA: <i>Total de sitios de VP-Histórico y Urbano arquitectónico</i>	
			Regulación	Has_Def_Reg: <i>Áreas de deforestación regional</i>	

Fuente. Elaboración propia, 2025.

Las tres matrices incluyen indicadores que por su naturaleza empírica-técnica son importantes definir, a continuación se presenta su descripción y vinculación con los elementos de análisis de esta investigación.

Matriz de dimensiones y métodos para el análisis en agua

Esta matriz se construyó a partir de la información que arrojaron los ejercicios de diagnóstico ambiental comunitario y de cartografía participativa realizados en campo. Con base en los mapeos verdes y la sistematización de información en la MSPA se desglosaron las dimensiones, variables e indicadores para examinar las problemáticas ambientales, estos

elementos fueron sintetizados para caracterizar el SSE en tres dimensiones de análisis: agua, aire y suelo.

En el caso de la matriz de dimensiones y métodos para el análisis en agua (véase Tabla 22), se consideró la gestión del agua como un subdimensión en la que se pueden examinar las variables de descargas, aprovechamientos, infraestructura, abastecimiento y saneamiento, pues autores como Rodríguez-Robayo *et al.* (2020), De La Torre y Moreno (2019) y Osorno-Acosta y Corrales-Roa (2018), han utilizado estas variables para examinar el SSE.

Estas variables a su vez concentran una subjerarquías de elementos específicos, como por ejemplo la variable *descargas*, esta agrupa indicadores como el volumen diario de agua residual (Qmed_dom) para la RTVM, el sistema urbano tributario (Qmed_SU1) que comprende aportaciones de Ciudad de México y Estado de México, las descargas industriales de la región Tula (Qmed_PI) y la superficie total de riego agrícola (SupRgo).

Tabla 22. Resultados de los indicadores para el análisis en agua, descargas

Variable	Subvariable	Resultado
Descargas	<i>Domiciliarias</i>	Qmed_Dom [RTVM] = 2,849.84 Mm ³
		Qmed_Dom [S1] = 194,059.22 Mm ³
	<i>Urbanas</i>	Qmed SU1 = 2,483,415 m ³
	<i>Industriales</i>	Qan_PI [RTVM] = 6,407.42 Mm ³
	<i>Agrícola</i>	SupRgo = 21,506.92 Ha

Fuente. Elaboración propia, 2025.

Estos indicadores de origen cuantitativo permiten dimensionar la cantidad de descargas que son tributadas a los ríos Tula y Salado, mismos que atraviesan los municipios de la RTVM. Esta información es relevante para analizar los aspectos ambientales, pues permite detallar el estado de la contaminación en agua, siendo esta una de las problemáticas más referidas en los diagnósticos ambientales.

Tabla 23. Resultados de los indicadores para el análisis en agua, aprovechamientos

Variable	Subvariable	Resultado
Aprovechamiento	Usos de aguas subterráneas	Ev_Comp_Urb [2000-2010] RTVM = -0.69
		Ev_Comp_Urb [2010-2020] RTVM = -0.87
		Aprov_Pecuario RTVM = 253,508 m ³ /año
		Aprov_Industrial RTVM = 8,239,206 m ³ /año
		Aprov_Agrícola RTVM = 1,450,181 m ³ /año
		Aprov_Publico Urbano (potable) RTVM = 15,358,101 m ³ /año
		V.E.A.S. [Acuífero 1310] = 191,537,257 m ³ /año

Fuente. Elaboración propia, 2025.

En cuanto a la variable de *aprovechamientos* (véase Tabla 23) también incluye una subjerarquía de variables, esta considera indicadores vinculados con los *usos de las aguas subterráneas*, como la evolución por competencias (*Ev_Comp_Urb*), indicador que está vinculado a la seguridad hídrica (Martínez-Jiménez, 2022), el cual permite examinar el comportamiento de la cantidad de agua destinada para el uso urbano en dos periodos, 2000 a 2010 y 2010 a 2020.

Del mismo modo, también se incluye los *aprovechamientos* pecuarios, industriales, agrícolas y urbanos, además del Volumen de Extracción de Aguas Subterráneas (V.E.A.S.) del acuífero. Estos últimos indicadores, detallan información sobre cómo se gestiona el agua sobre las actividades de la región, además peculiaridades sobre el aseguramiento de cantidades del vital líquido, siendo este un recurso de gran importancia para la calidad de vida de las poblaciones que se encuentran en una región con clima seco.

Tabla 24. Resultados de los indicadores para el análisis en agua, infraestructura

Variable	Subvariable	Resultado
Infraestructura	Hidráulica	Tot_Prs_NAMO [Requena] = 51,570,000 m ³ Tot_Prs_NAMO [Endhó] = 182,900,000 m ³
		Tot_Cnl [1310] = Extensa red de canales, con distrito de riego (003 Tula)
		Tpo_Sdn [1310] = Irregular, con sierras y elevaciones volcánicas
		Tot_Patm [RTVM] = 11 plantas PTAR, 5 en operación; 2 vivienda, 2 CFE, 1 PTAR Regional (Atotonilco)
		Tot_Lcn [RTVM] = 2 líneas de conducción principales; Río Salado y Tula Tot_Lcn [Sist.Dren. ZM-Cdmx] = 4 líneas; T.E.C., T.E.P., T.E.O. y G.C.D.

Fuente. Elaboración propia, 2025.

En el caso de la variable *infraestructura* (véase Tabla 24), esta involucra la subjerarquía *hidráulica* que incluye indicadores como el Nivel de Aguas Máximas Ordinarias

(NAMO) para las presas Requena y Endhó, las cuales son la infraestructura principal en donde se contienen las descargas provenientes de las zonas metropolitanas, así como las tributaciones de los ríos Tula y Salado. También, se incluyen otros indicadores que refieren a las características de los canales (Tot_Cnl) y sistema de drenaje (Tpo_Sdn), a la infraestructura dedicada al tratamiento de las aguas residuales (Tot_Patm), y a las líneas de conducción principales que llegan a la región (Tot_Lcn).

Tabla 25. Resultados de los indicadores para el análisis en agua, saneamiento

Variable	Subvariable	Resultado
Saneamiento	<i>Emergencias sanitarias</i>	Tot_Inc_Snt = 3 incidencias; Rio Tula (2021), Presa Endhó (2019) y Rio Salado (2009)
		Eg_Ic = Rio Tula

Fuente. Elaboración propia, 2025.

Vinculado a lo anterior, la variable *saneamiento* (véase Tabla 25) incluye la subjerarquía *emergencias sanitarias* la cual retoma información sobre los incidentes sanitarios ocurridos en la región y sobre que elemento geográfico se han presentado la mayoría de estas incidencias. Esta información es retomada de los diagnósticos y la MSPA, lo cual permite inspeccionar sobre los eventos que han ocurrido sobre este tópico y donde han ocurrido.

Tabla 26. Resultados de los indicadores para el análisis en agua, abastecimiento

Variable	Subvariable	Resultado
Abastecimiento	<i>Cuenca hidrográfica</i>	Tot_Fnt_Abs [RTVM] = 4 Cuencas: C. 2672, C. 2673, C. 2674 y C. 2677
		Tot_Loc_Abs [RTVM] = 96 localidades: 21 urbanas, 75 rurales
		Nvl_DMA [Sub. C-1310] = 30,462,743 m ³ /anual Nvl_DMA [Sup. RTVM] = 8,700,000 m ³ /anual
		Tot_Pry_Hdr = 4 proyectos: 1 potabilizadora, 2 redes de pozos, 1 línea de conducción de agua

Fuente. Elaboración propia, 2025.

Con relación a la variable *abastecimiento* (véase Tabla 26), esta comprende una subjerarquía que se centra en la cuenca hidrográfica, esta involucra indicadores como las fuentes de abastecimiento (Tot_Fnt_Abs), las localidades abastecidas por la cuenca

(Tot_Loc_Abs), el nivel de Disponibilidad Media Anual (DMA) de agua subterránea de la subcuenca y superficial para la zona de estudio, así como los proyectos hídricos considerados para la región (Tot_Pry_Hdr), permitiendo inspeccionar las características sobre el abastecimiento actual y las estrategias relacionadas con la gestión del agua.

Matriz de dimensiones y métodos para el análisis en aire

En el caso de la matriz de dimensiones y métodos para el análisis en aire, se consideró la *calidad del aire* (véase Tabla 27) como un subdimensión en la que se pueden examinar las variables de *emisiones* y *monitoreo*, siendo relevantes para conocer aspectos sobre las sustancias a las que están expuestas las poblaciones, sus fuentes de emisión y sitios de afectación en el territorio. Estas variables se han utilizado en otros estudios para explorar los cambios en los sistemas socioecológicos (Mustonen y Shadrin, 2021; Orosco-Acosta y Corrales-Roa, 2018) partiendo de una revisión de los datos históricos del SSE, así como datos estadísticos y cartográficos.

La variable *emisiones* tiene una estructura en la que se concentran cuatro subjerarquías, *industria*, *transporte*, *rio* y *orgánicos*. Estas cuatro subvariables contienen indicadores como las áreas de afectación relacionadas con los tipos de industria, por ejemplo el *área de afectación industria petroquímica* (Are_AF_Pq), de *construcción* (Are_AF_Cts) y *alimentaria* (Are_AF_Almt), que nos sirven para dimensionar la magnitud de la afectación en el aire desde el origen de la fuente y con una relación desde donde es percibida.

Del mismo modo en la subvariable *transporte* se encuentran indicadores como *emisiones de vehículos de transporte pesado* (Emi_veh_Tps), *vehículos de transporte particular* (Emi_veh_Tp) y *emisiones de locomotoras de patio* (Emi_veh_Lcr). Estos indicadores permiten examinar la cantidad de contaminantes emitidos a la atmósfera con relación a los tipos de transporte referidos en los diagnósticos ambientales y considerados como relevantes para conocer las características del SSE en aire.

En el caso de las subvariables *rio* y *orgánicos*, los indicadores se vinculan directamente con la magnitud y el elemento geográfico en el que se presentan las afectaciones derivadas del *olor* y la percepción del *riesgo*, como por ejemplo el *área de afectación de la PTAR* (PTAR_Sit_Af), el *área de afectación rio* (Rio_Sit_Af) y *total de sitios de fertilizante*

(Fert_Sit_Tot). En el caso del indicador de *sitios disposición* biológicos infecciosos y radioactivos (Sit_Binf_Rad), se vincula con la percepción del *riesgo*, ya que estos sitios son identificados como un elemento importante en los diagnósticos ambientales relacionados con las afectaciones en la calidad del aire.

Tabla 27. Resultados de los indicadores para el análisis en aire, emisiones

Variable	Subvariable	Resultado
Emisiones	Industria	Are_AF_Pq = 5 Km primer radio y a 10 Km visible
		Are_AF_Cts = 2 Km primer radio y a 3 Km del centroide intermunicipal
		Are_AF_Almt = 1) Primer radio a 500 mts, 2) Segundo radio a 1 km
	Transporte	Emi_veh_Tps [RTVM] = 5,675 ton/año CO (Monóxido de carbono)
		Emi_veh_Lcr [RTVM] = 219 ton/año NOX (Óxidos de Nitrógeno)
		Emi_veh_Tp [RTVM] = 6,092 ton/año CO (Monóxido de carbono)
	Rio	PTAR_Sit_Af = de 500mts a 1km
		Rio_Sit_Af = de 10mts a 250mts
	Orgánicos	Fert_Sit_Tot = 3 sitios en Apaxco, pqts. Tecnológicos fertilizante
		Sit_Binf_Rad = 3 sitios CADER Atoto; Varilla Tula, Infeccioso Progreso

Fuente. Elaboración propia, 2025.

En cuanto a la variable *monitoreo* (véase Tabla 28), esta posee una subjerarquía de variables como *agrotóxico*, *normatividad*, *competencia* y *epidemiología*. Estas permiten examinar indicadores como las *sustancias utilizadas en los cultivos* (Snc_Utz_Clv), los *sitios con presencia de plagas* (Loc_Sit_Pg), el *total de normas mexicanas* (Tot_Nom_Apl) e *internacionales* (Tot_Norm_Int) aplicables a la RTVM, así como las *instituciones con competencia* en materia normativa, (Tot_Inst_Cmp), las *principales enfermedades hospitalarias* () y el *índice de capital natural* (). Esto nos permite explorar el panorama del SSE desde sus diversas características vinculadas con lo ecológico y social, como por ejemplo el grado de degradación y afectación ambiental, así como las agencias encargadas de la regulación y legislación regional.

Tabla 28. Resultados de los indicadores para el análisis en aire, monitoreo

Variable	Subvariable	Resultado
Monitoreo	Agrotóxicos	Snc_Utz_Clv = 11 Sustancias Plaguicidas = 6; Maiz = 4; Semillas = 1
		Loc_Sit_Eg = 5 sitios Mun = 3; Reg = 2
	Normatividad	Tot_Nom_Apl = 93 instr Leyes 13; Reglamentos 19; Manu. 10; NOM-NMX 48; Program 2
		Tot_Acu_Int = 8 aplicables Acuerdos 2; Convenio 4; Protocolo 1; Derecho Inter. 1
	Competencia	.
	Epidemiología	.
RTVM_ISCN = No sustentable		

Fuente. Elaboración propia, 2025.

Matriz de dimensiones y métodos para el análisis en suelo

En el caso de la matriz de dimensiones y métodos para el análisis en suelo, se consideró la *gestión territorial* como un subdimensión en la que se pueden examinar las variables de *usos de suelo, desarrollo, extracción, residuos y servicios ecosistémicos* (véase Tabla 29), siendo estas variables de análisis algunas de las que han sido utilizadas para examinar el SSE (Rodríguez-Robayo *et al.*, 2020; Maya-Rivera, 2019; Vélez y Varela, 2012; Bryan *et al.*, 2010) con relación a los procesos de perturbación y cambio en el territorio.

Tabla 29. Resultados de los indicadores para el análisis en aire, monitoreo

Variable	Subvariable	Resultado
Usos de suelo	Evolución	TS_Cr_Agr = Tula: -17.40, Atitalaquia: -19.39, Atotonilco: -10.85, Apaxco: -7.32
		TS_Cr_Urb = Tula: +54.62, Atitalaquia: +73.27, Atotonilco: +84.06, Apaxco: +63.52
Desarrollo	Vivienda	Tot_Und_Hab_RTVM = 25
		Tot_Pry_Viv = 2 Apaxco: Real de Castilla 2da Etapa y Parque Chino (Perez)
	Económico	Proy_Ind = 2 ; PEECTA - Tula, Hunan Gold Group (Parque Chino) Proy_Eng = 1 ; Coquizadora Tula - CFE
Extracción	Recursos N.	Tot_Ext_Clv = 61,373,537.42 m3 [2003-2013]
Residuos	Urbanos	Tot_Sto_Dsf = 2 sitios de disposicion final y 1 regional en construccion
		Tot_Fnt_Inc = 6 sitios que incineran RSU 1 centro de economía circular, 5 cementeras
Servicios ecosistémicos	Culturales	Tot_Sto_MyP [RTVM] = 32 sitios
		Tot_Sto_HyA [RTVM] = 53 sitios
	Regulación	Has_Def_Reg [RTVM] = 1722.72 hectareas

Fuente. Elaboración propia, 2025.

Estas subjerarquías de variables se encuentran desagregadas en indicadores como la *tasa de crecimiento de uso de suelo agrícola* (TS_Cr_Ag) y *urbano* (TS_Cr_Urb), el *total de unidades habitaciones* (Tot_Und_Hab), de *proyectos de vivienda* (Tot_Pry_Viv), *industriales* (Tot_Pry_Ind) y *energéticos* (Tot_Pry_Eng). También se incluyen indicadores de *extracción de materia* como la *caliza* (Tot_Ext_Clz), zonas que presentan *deforestación* (Has_Def_Reg), sitios de *disposición final* (Tot_Sto_Dsf) y de *incineración de residuos* (Tot_Fnt_Inc), elementos de valor patrimonial categorizados en *medio ambiente y paisaje* (Tot_Sto_MyP) e *históricos y urbano* (Tot_Sto_HyA).

3.5. Caracterización del SSE

En este apartado se describe la metodología para la caracterización del SSE de la región de estudio, así como su articulación con los instrumentos de análisis para analizar las problemáticas ambientales. Esta fase tiene un enfoque de análisis técnico que coteja lo referido en los ejercicios de diagnóstico ambiental y de cartografía participativa con los datos duros, teniendo un cruce de información entre datos cualitativos y cuantitativos lo que permitió detallar elementos del SSE, que si bien pueden enfocarse en algunos aspectos en específico, también describen información sobre las problemáticas ambientales identificadas en la RTVM.

3.5.1. Cartografía Participativa para la caracterización de SSE

Para analizar las problemáticas ambientales fue necesario caracterizar el SSE desde un enfoque comunitario que permitiera delinear los tópicos de análisis, esto requirió del cruce metodologías cualitativas y cuantitativas. En la primera etapa, se trabajó con los resultados de la pesquisa de investigación, donde se realizó la mayor parte del trabajo colaborativo y se detallaron los indicadores necesarios para caracterizar el SSE en tres dimensiones: agua, aire y suelo. La segunda etapa se enfocó en el trabajo técnico, este incluyó la operacionalización y desarrollo de 56 indicadores orientados a examinar los rasgos relevantes del SSE de la región.

El cruce de estas metodologías permitió contar con un enfoque complementario del SSE con el fin de analizar las problemáticas ambientales. En este sentido, es importante mencionar este rol metodológico que tuvo la CP para detallar los elementos específicos del SSE, pues con base a los ejercicios realizados en la zona de estudio se operacionalizó una serie de indicadores requeridos para contrastar la información identificada en la pesquisa con los datos de fuentes oficiales. De esta información, se incluyeron las narrativas de las participantes recopiladas en notas de campo y mapeos verdes, por lo que la información y el análisis de esta sistematización permito realizar un registro documental amplio de las problemáticas ambientales.

Para sintetizar la información se requirió el uso de una matriz documental denominada MSPA, en la que se crearon relaciones con los elementos del SSE, por ejemplo, si estas incidencias reportadas en los ejercicios crearon momentos de cambio, perturbación o críticos. Por lo anterior, la CP ha permitido detallar elementos como: lugar donde se presentó o presenta la problemática, elemento geográfico, margen de afectación, actores involucrados, tipo de problemática y origen de esta, esto último complementándose con el mapeo verde.

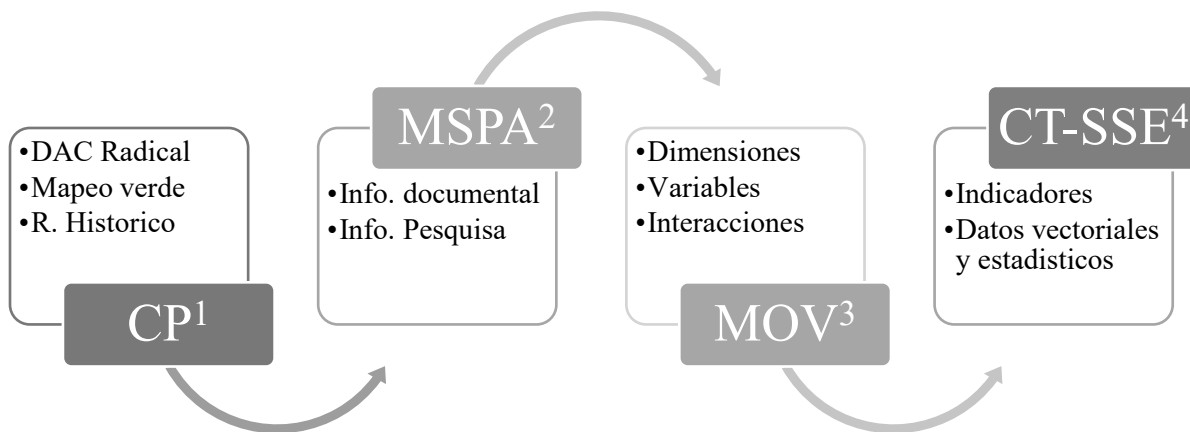
Si bien es cierto que la cartografía participativa puede utilizarse para diferentes propósitos como examinar saberes locales, gestionar la tierra y analizar de manera simbólica algunos elementos como la cultura, cosmovisión y estructuras sociales, en esta investigación rescatamos un enfoque comunitario que permite definir cuáles son las problemáticas, donde se localizan, como se perciben en cuestión de magnitud y tiempo, además de como interactúan con los elementos sociales, ecológicos y urbanos.

Dicho lo anterior, es importante para las caracterizaciones del SSE tomar en cuenta las dinámicas entre las dimensiones antes mencionadas, por lo que la CP brinda la posibilidad de realizar un diagnóstico con los actores locales quienes reconocen estas interacciones, sus causas, además de sus intervenciones (si las hay). De esta manera, los elementos como los indicadores y características de los mismo se construyen respecto a la realidad de las personas como parte fundamental para realizar este tipo de aproximaciones.

3.5.2. Articulación de los instrumentos para la caracterización del SSE

Para poder examinar las problemáticas en una zona de alta complejidad ambiental, como lo es la RTVM, se requirió de un enfoque que permitiera la integración de diversos recursos metodológicos con perspectivas transdisciplinarias. El enfoque de esta investigación parte de la IAP como eje articulador entre la *empíria* y los SSE (véase Figura 11), permitiendo delinear los elementos de análisis, como las problemáticas ambientales, a partir de instrumentos de participación colectiva, por ejemplo, los mapeos verdes, diagnósticos ambientales comunitarios, la cartografía participativa y el uso de matrices de registro documental. En el siguiente esquema se sintetiza la vinculación entre estos instrumentos

Figura 11. Esquema metodológico para la caracterización del SSE



Fuente. Elaboración propia, 2024.

- 1) Cartografía Participativa (CP)
- 2) Matriz de Seguimiento de Problemáticas Ambientales (MSPA)
- 3) Matriz de Operacionalización de Variables (MOV)
- 4) Caracterización Técnica del Sistema Socioecológico (CT-SSE)

El uso de la CP requirió de técnicas complementarias como el Diagnóstico Ambiental Comunitario (DAC) con un enfoque de desarrollo comunitario radical (Ledwith, 2011), y

mapeos verdes, que derivaron en líneas de tiempo de las problemáticas ambientales de la región. La conjunción de estos instrumentos complementarios posibilitó, que mediante la cartografía participativa, se analizaran las problemáticas ambientales vigentes, pero también sobre su origen, evolución y coyuntura, pues se profundizó sobre estas características a través de los saberes locales. Estas narrativas cargadas de historias de vida y significados referencian procesos sociales y ecológicos que han configurado las formas de vida y el territorio, por lo que su validación conllevó un proceso de cocreación colectiva de conocimientos.

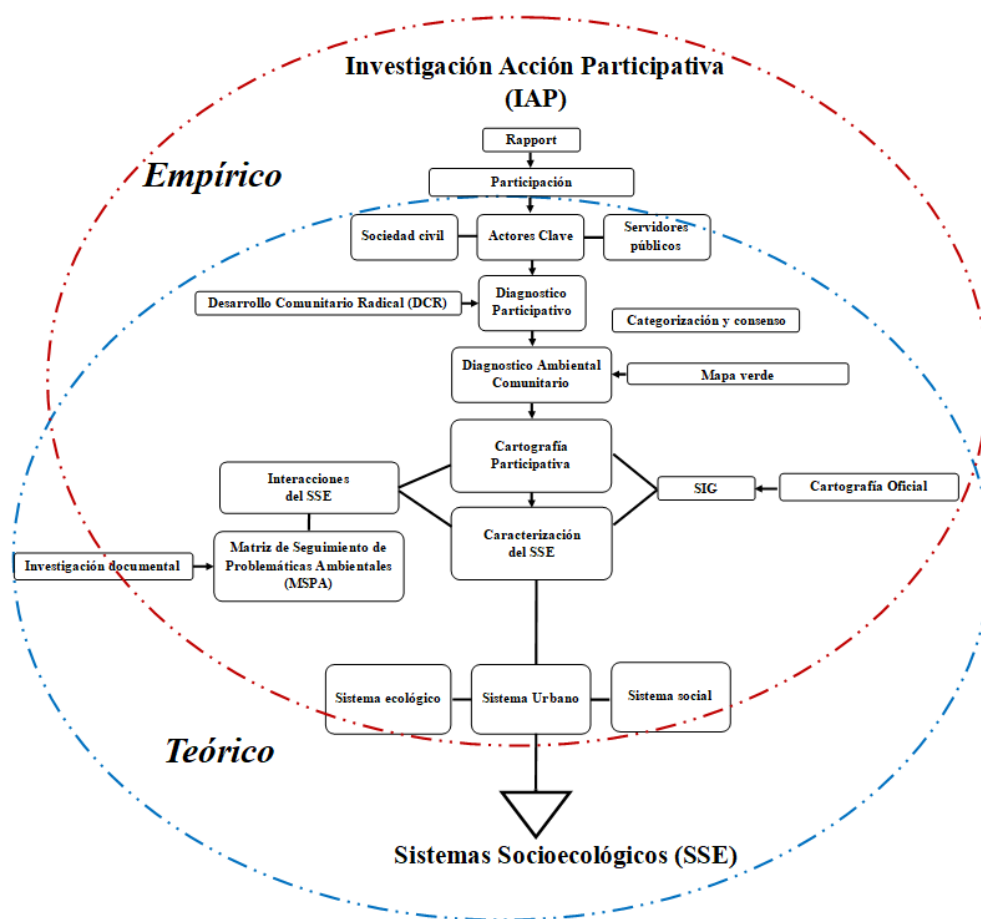
En los cuatro talleres de diagnóstico ambiental se originaron distintas estrategias, unas encausadas en la educación ambiental local, otras a la denuncia de las problemáticas ambientales, y algunas en la integración en políticas públicas. Dado que los ejercicios fueron de carácter constructivista, esta información se trasladó a diversos recursos como infografías, mapas y reportes diagnóstico, que están disponibles en la web del Observatorio de Emergencias Socioecológicas¹² (OES), esto con la finalidad de concentrar los recursos y facilitar el acceso a la información.

Finalmente, para procesar la información referente a las interacciones de los elementos de perturbación del SSE, se requirió de un proceso donde se categorizaron los elementos referidos en las cartografías, en este se sistematizaron las problemáticas ambientales referidas así como las fuentes contaminantes y afectaciones en el medio. Los criterios que se utilizaron para este proceso fueron: categoría (agua, aire, suelo), municipio afectado, tipo de problemática ambiental, factores vinculados, impacto en el SSE y actores implicados.

Esta información se organizó en una matriz de registro documental, denominada Matriz de Seguimiento de Problemáticas ambientales (MSPA), donde se tomaron en cuenta los elementos referidos en los talleres diagnóstico, notas de campo, contribuciones académicas, así como reportes institucionales. Esto permitió desarrollar un esquema sobre las interacciones con los elementos de perturbación del SSE, con el fin de comprender el panorama sobre las problemáticas ambientales y visibilizar la crisis socioambiental.

¹² <https://www.odesemx.com/>

Figura 12. Diagrama de relación para el análisis de problemáticas ambientales



Fuente. Elaboración propia, 2024.

Para detallar las características de relación, es preciso mencionar los elementos como dimensiones, variables, indicadores que se relacionan con la teoría y los componentes empíricos a través del uso de los instrumentos descritos en la Figura 12.

La IAP como parte de la instrumentación y perspectiva de investigación

Como uno de los principales enfoques de esta investigación, la IAP es una metodología que, como han planteado diversos autores clásicos de este paradigma, entre ellos Kurt-Lewin, Ander-Egg, Paulo-Freire y Fals-Borda, es más que una serie de pasos o técnicas, ya que entre sus implicaciones está el generar un cambio en la realidad, involucra la participación, creación de conocimiento colectivo y una forma de vida que puede generar

procesos de militancia y fortalecimiento de varios grupos de personas con el mismo fin. Es por esto, que la IAP va más allá de herramienta metodológica de pasos a seguir, si no que envuelve al investigador dentro de los fenómenos y procesos que se llevan a cabo con las personas, colectivos y poblaciones. Dicho esto, la perspectiva al desarrollar una investigación con la IAP debe de contemplar objetivos en diferentes momentos con el grupo de trabajo, siendo los de largo plazo los de mayor alcance, que, en el caso de esta investigación, deben de cumplir con un proceso de rapport previo.

Rapport previo

En 2016 los primeros diagnósticos socioambientales a cargo de la organización LIDECS, evidenciaron la percepción de las problemáticas ambientales en el territorio mediante la elaboración de mapeos colectivos. El trabajo y soporte comunitario en esta región se ha realizado desde hace 10 años bajo un contexto de antecedentes y procesos de militancia social con los compañeros de las comunidades.

Estos mapeos fueron conjuntados para enfatizar la magnitud de las problemáticas en la región. Estos mapeos colectivos, permitieron tener cartografías que visibilizaron el panorama de las problemáticas ambientales de los municipios de Apaxco, Atotonilco y Atitalaquia.

El diagnóstico ambiental permitió identificar las problemáticas en el territorio, no obstante, la manera en que ocurren o se “dan” estas problemáticas ambientales quedo en el consenso colectivo, pues no era el objetivo de los talleres realizados en 2016. Caracterizar el Sistema Socioecológico nos permite reconocer estas “interacciones” que afectan a lo ecológico y social, y que también propician la expansión de la zona de sacrificio (lo Urbano). Esto puede servir para definir “que es lo que ocurre”, “como ocurre” y que efectos tienen las “problemáticas ambientales”.

Capítulo 4. Resultados de la investigación en la RTVM

En este apartado se describen los resultados obtenidos a partir de la pesquisa realizada en la RTVM, el análisis de los hallazgos así como la implicación de los instrumentos metodológicos. En la primera sección, se presenta el análisis de las problemáticas ambientales, siendo este el resultado de los diagnósticos ambientales comunitarios y la cartografía participativa. En la segunda, se encuentran los resultados de la MSPA, de la cual se derivaron dos productos importantes para el análisis de las problemáticas ambientales de la región: 1) registro de incidencias relacionadas con la perturbación del SSE, 2) proporciones de eventos en agua, aire y suelo. En la tercera, la caracterización del SSE de la RTVM mediante cartografía temática. En la cuarta, los elementos de perturbación del SSE que se vinculan con las problemáticas ambientales de la zona de estudio. Por último, en la quinta sección se presenta la descripción de la configuración de la región de sacrificio y su relación con los procesos ecológicos, urbanos y sociales vinculantes con las problemáticas ambientales de la región.

4.1. Análisis de las problemáticas ambientales regionales en la zona de estudio.

4.1.1. Diagnóstico ambiental comunitario

Esta investigación se realizó en los municipios de Atitalaquia, Atotonilco, Tula de Allende y Apaxco de Ocampo, en las comunidades de Santa María de Apaxco, San Marcos, Ocampo y Atitalaquia, las cuales comparten una contigüidad territorial respecto a los elementos geográficos, fuentes de contaminación y problemáticas ambientales. En estos municipios se realizaron cuatro talleres de diagnóstico ambiental comunitario (DAC) junto con tres de cartografía participativa (CP) en el segundo semestre de 2024.

Los ejercicios de DAC y CP se realizaron a través de grupos focales conformados por actores como estudiantes de nivel medio superior, activistas ambientales, líderes comunitarios, habitantes de la región, así como personal administrativo del gobierno local como delegados, ejidatarios y representantes de departamentos de ecología. Estos grupos

focales se crearon para cada uno de los ejercicios, definiendo un margen para los grupos como mínimo de 6 personas y máximo 12 personas, teniendo un total de 55 asistentes.

Para la aplicación, se requirió del apoyo de actores clave de las comunidades, como profesores, delegados del gobierno local, líderes comunitarios y colectivos, quienes fueron el enlace principal para la convocatoria y la realización de los talleres. Este enlace es resultado del rapport previo que parte de una década de trabajo de soporte comunitario y de militancia social de esta región desde el año 2009, y que en años posteriores (2016) derivó en estudios de diagnóstico ambiental comunitario con el Laboratorio de Investigación en Desarrollo Comunitario y Sustentabilidad (LIDECS).

Por otra parte, también fue necesario el uso de instrumentos complementarios como los mapeos verdes, los cuales son una representación gráfica en la que se identifican los significados de los espacios naturales y sociales vulnerables a los agentes contaminantes, reflejando el estado de la localidad, lo cual facilita la identificación de problemas, sus posibles causas y soluciones locales (Leoncio-Antole *et al.*, 2016).

Lo anterior se añadió al Diagnóstico Ambiental Comunitario (DAC) que parte íntegramente del diagnóstico participativo e incorpora elementos del Desarrollo Comunitario Radical (DCR) para la identificación de las problemáticas ambientales y precisa las problemáticas ambientales como eje de análisis para la acción colectiva hacia la justicia social y ambiental.

La conjunción de estos instrumentos complementarios posibilitó, mediante la cartografía participativa, el análisis sobre las problemáticas ambientales vigentes, pero también sobre su origen, evolución y coyuntura, pues se puede profundizar sobre estas características a través de los saberes locales, los cuales son consensuados a través del diálogo. Estas narrativas están cargadas de historias de vida y significados, además de referencias sobre procesos sociales y ecológicos, que han configurado las formas de vida y el territorio, por lo que su validación conlleva un proceso de cocreación colectiva de conocimientos.

Los análisis comunitarios tienen otros elementos sociales, como los conflictos y elementos de valor que son relevantes para identificar características y procesos puntuales del SSE, lo que posibilita la integración de nociones como la relación entre el Estado y los procesos de industrialización en los territorios, los efectos de la entrada de consorcios

internacionales y su relación con las configuraciones territoriales, el aumento de las zonas de sacrificio y el metabolismo de varios sistemas urbanos. Por lo tanto, estos diagnósticos ambientales comunitarios constituyen un elemento importante para el estudio de los SSE, pues no solo se incluye información fidedigna de las personas que habitan en el territorio, también se examina sobre su respuesta ante las interacciones.

Lo anterior, permitió crear infografías sobre los cambios en el SSE, reportes sobre los elementos de perturbación del SSE, mapas de diagnóstico ambiental y cartografía participativa, que tuvieron como fin el fortalecimiento del conocimiento local y el uso de esta información.

4.1.2. Cartografía participativa

La IAP aplicada en contextos sociales y pedagógicos propicia un análisis de la realidad mediante técnicas complementarias, como por ejemplo la cartografía social, la cual permite vincular conocimientos generales a diversos márgenes de análisis. Lo anterior permite formular estrategias metodológicas para profundizar sobre las condiciones ambientales del territorio, a través de un proceso reflexivo donde las personas exteriorizan significados, historias de vida y referencias sobre procesos sociales y ecológicos, mediante la representación gráfica y el uso de técnicas constructivistas que propician el diálogo.

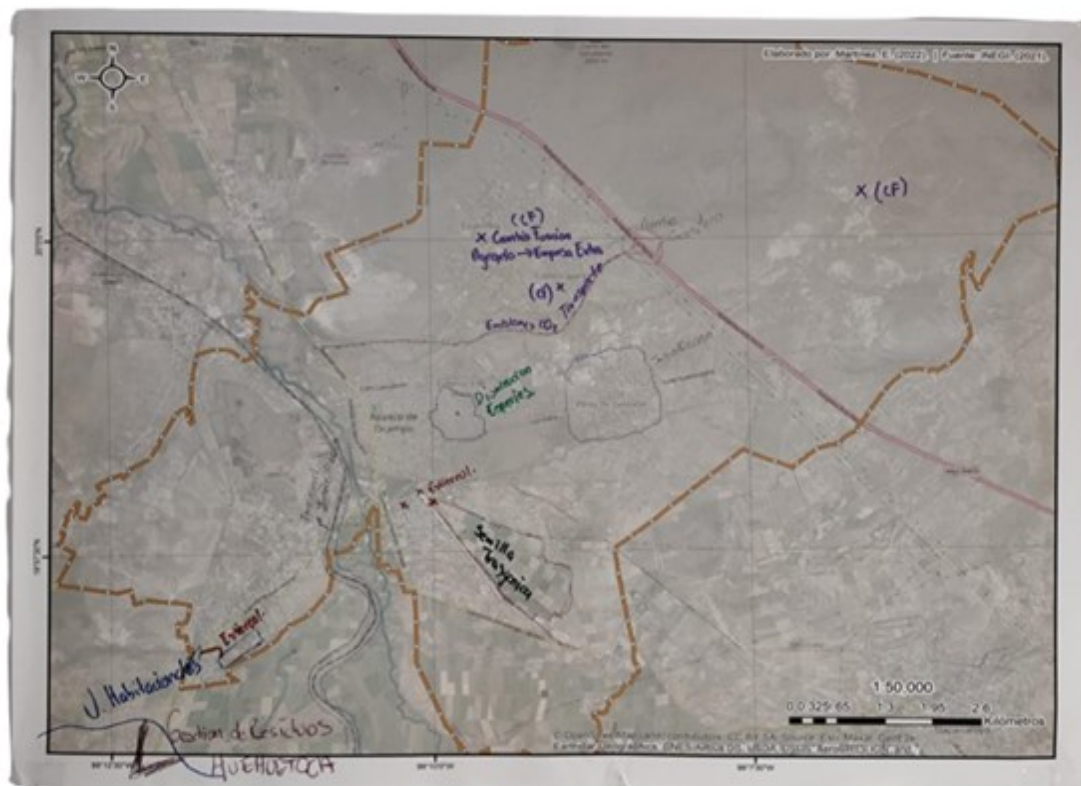
La cartografía participativa puede integrar el análisis de las problemáticas ambientales gracias a las interpretaciones de los habitantes respecto a cómo se generan las interacciones entre dimensiones (agua, aire, suelo), cuál es su evolución y que elementos están implícitos; es dentro de esta cotidianidad que se producen dinámicas y se generan efectos sobre el medio, percibidos como una disrupción entre elementos. Dichas disrupciones pueden identificarse mediante análisis comunitarios que reflejan su estado, por ejemplo la gestión de recursos naturales y del territorio.

En los municipios de la RTVM se generaron tres cartografías, en las que se identificaron problemáticas ambientales de relevancia actual en la región, tales como las descargas de aguas residuales industriales y urbanas, la gestión de residuos sólidos urbanos, la modificación de los usos de suelo en el territorio, la calidad del aire por procesos industriales y mineros, la pérdida de la biodiversidad y el aumento de problemas de salud.

En estas cartografías, se trasladó la información de los mapeos verdes y los diagnósticos ambientales comunitarios a la base cartográfica, partiendo del diálogo y consenso colectivo entre participantes, identificando procesos intensivos en el territorio, tales como el aumento de las industrias y proyectos de vivienda, uso de agrotóxicos y fertilizantes, además de la tipificación de flujos de materia.

En el caso de Apaxco de Ocampo se identificaron problemáticas ambientales (véase Foto 1) tales como la disminución de especies, el aumento de unidades habitacionales, gestión de residuos y agua, además de la modificación de usos de suelo en el territorio. En estas cartografías, no solo se ubicaron sitios donde se encuentra la problemática ambiental, también las percepciones reconocidas por los habitantes a través de los años mediante historias orales y conocimientos del territorio, por ejemplo la disminución de especies con la intensificación del uso de agrotóxicos, la relación con la modificación de modos de alimentación y las actividades predominantes de la población con los procesos de cultivo, así como la permutación de la función del ejido con las actividades industriales. Estos análisis se encuentran en los cuatro reportes diagnósticos generados para cada uno de los municipios de la RTVM (OES, 2024), donde se especifican los momentos clave de la perturbación del sistema socioecológico, recuperando el trabajo colectivo realizado en estos talleres.

Foto 1. Cartografía participativa de la comunidad de Santa María de Apaxco

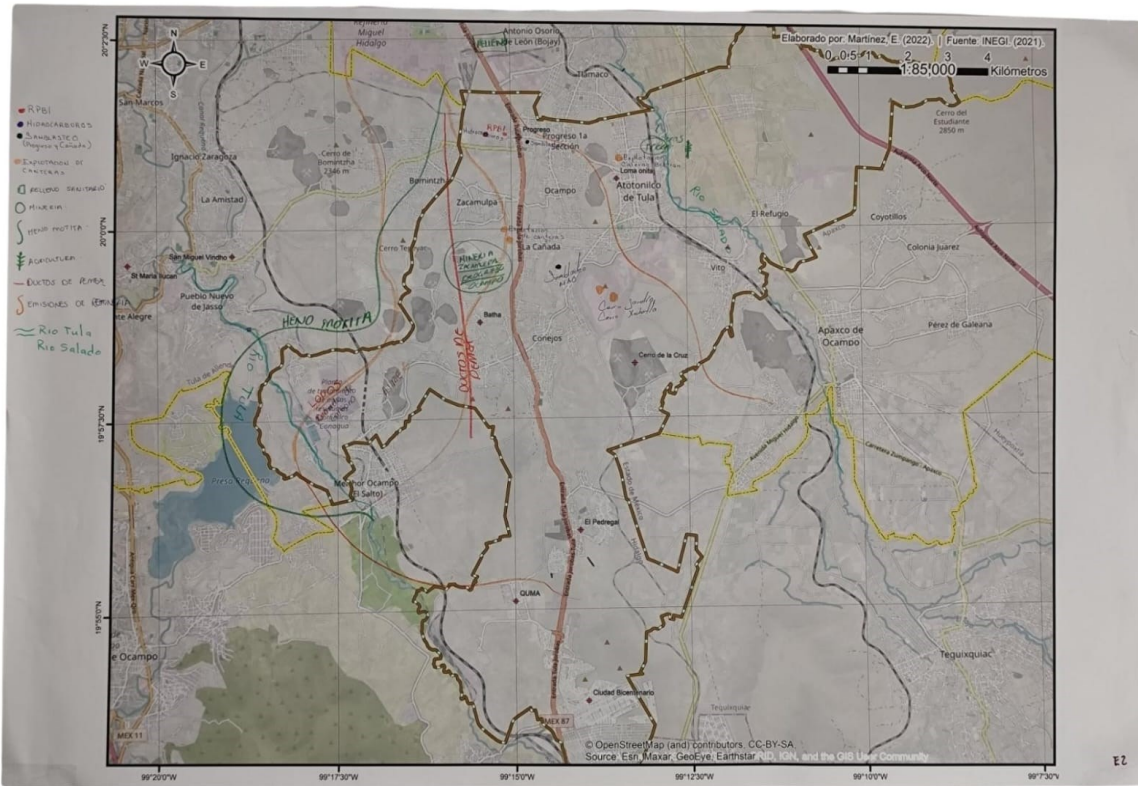


Fuente. Archivo propio, Apaxco de Ocampo, Estado de México, 2024.

En cuanto al caso de Atotonilco de Tula, también se identificaron problemáticas ambientales similares como las descargas de aguas residuales en el río Tula y Salado, el aumento de fábricas en los tres principales parques industriales, las emisiones de contaminantes y su afectación a la calidad del aire por procesos industriales y mineros, así como el aumento de problemas de salud en las poblaciones. Este ejercicio tuvo una asistencia de 32 personas, por lo que se pudieron crear dos cartografías (véase Foto 2 y Foto 3) en las que se localizaron elementos geográficos, en ellos se presentan las problemáticas ambientales además de fuentes de contaminación en agua, aire y suelo.

identificar causas como el cambio de usos de suelo, la intensificación de actividades industriales y agrícolas a gran escala, como causantes de estas problemáticas.

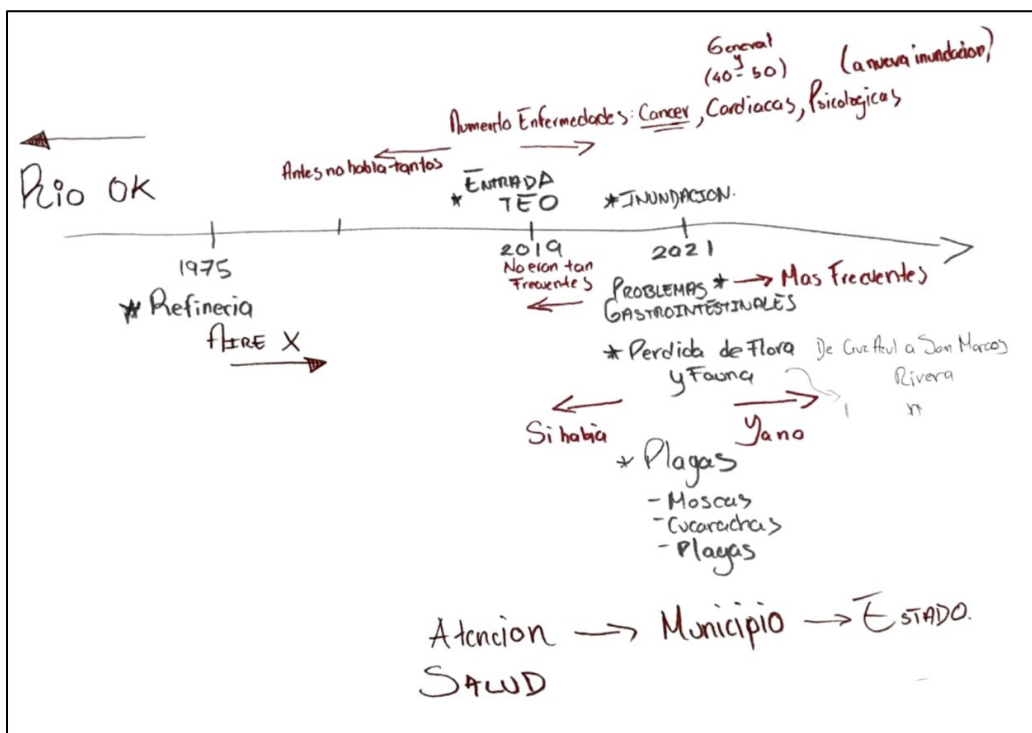
Foto 3. Cartografía participativa de la comunidad de Ocampo, grupo 2



Fuente. Archivo propio, Atotonilco de Tula, Hidalgo, 2024.

Por otra parte en los casos de Atitalaquia y Tula de Allende, se produjeron mapeos verdes que concentraron la información del taller en una representación a modo de línea de tiempo (véase Figura 4 y Figura 5) en la que se detallan los procesos sociales y ecológicos que han configurado el territorio al paso de los años, además de la identificación de momentos de disrupción del SSE. Este recurso posibilitó el diálogo entre participantes, creando narrativas amplias sobre los factores que han generado estas disrupciones y como se ha perdido el equilibrio sistémico en la región.

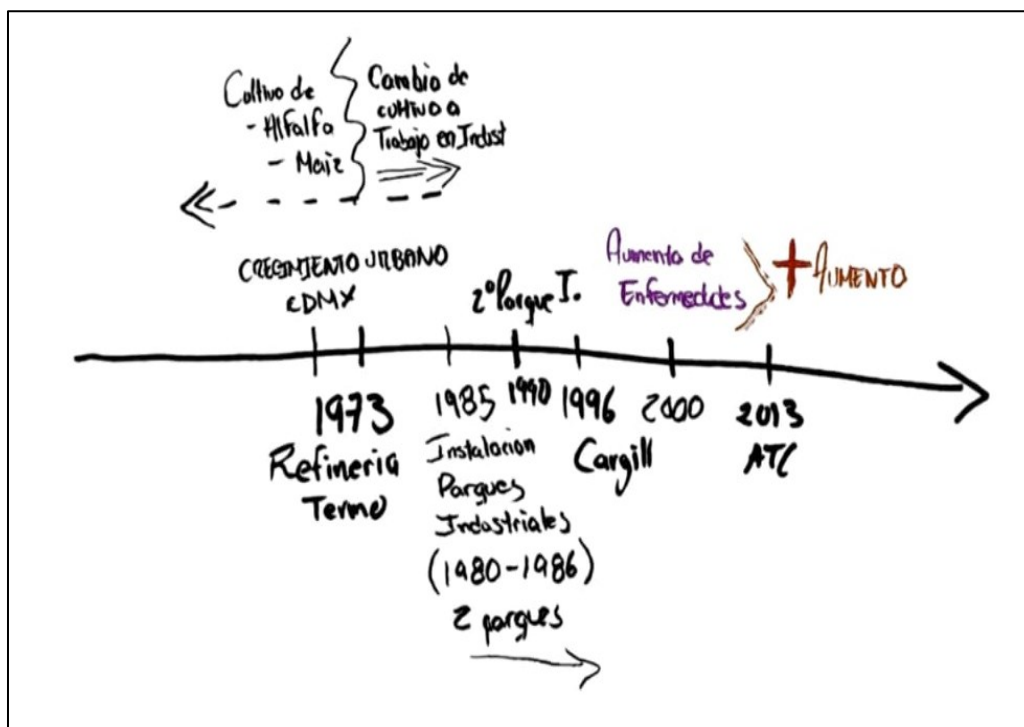
Foto 4. Mapeo verde diagnóstico Tula de Allende, RTVM



Fuente. Archivo propio, 2024.

En estos ejercicios, se precisaron los factores de las interrupciones, los años en donde se suscitaron los indicios de momentos de cambio del SSE, así como las consecuencias de estos, por lo que con este recurso se analizaron los momentos clave que están vinculados con los acontecimientos de problemáticas ambientales, además de emergencias socioecológicas en la región. Esta información es referida en los reportes diagnósticos del OES (2024), donde se rescata esta información sobre lo que ha ocurrido históricamente en el territorio de la RTVM, presentándose de manera visual a través de infografías sistematizadas con los momentos clave de la interrupción del SSE.

Foto 5. Mapeo verde diagnóstico de Atitalaquia, RTVM

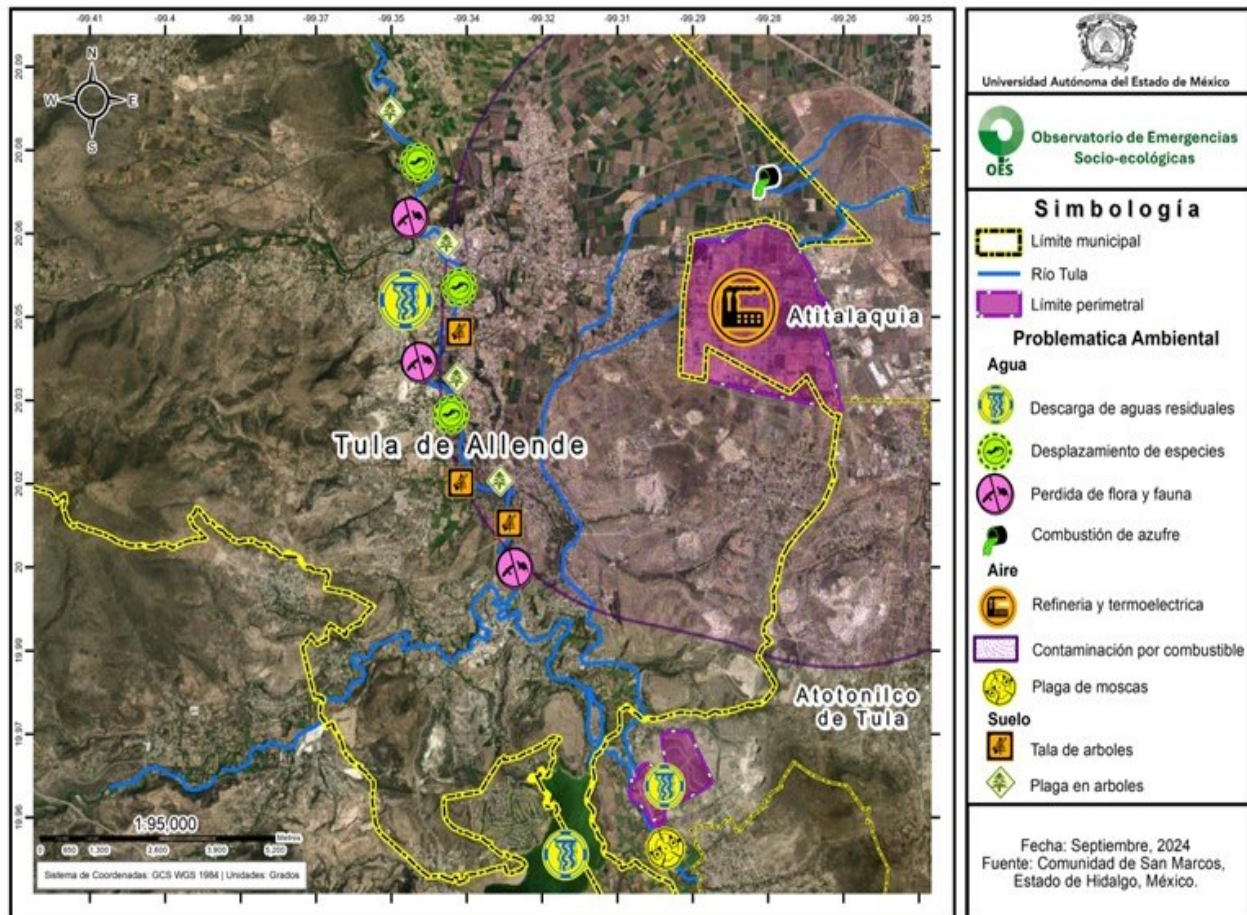


Fuente. Archivo propio, 2024.

4.1.3. Análisis de las problemáticas ambientales regionales en la zona de estudio

Derivado del análisis de los reportes diagnóstico realizados en las cuatro comunidades de la RTVM. San Marcos, Ocampo, Atitalaquia y Apaxco, se identificó que existe una serie de problemáticas ambientales comunes, principalmente las que se encuentran relacionadas con actividades industriales, urbanas y agrícolas. A continuación, se presenta los resultados del análisis de los DAC y CP de los cuatro municipios de estudio, así como la interpretación de los productos cartográficos derivados de estos.

Mapa 2. Diagnóstico Ambiental Comunitario de la localidad de San Marcos, Tula de Allende, Hidalgo



Fuente. OES, 2024.

En este mapa (Mapa 2) se presentan las problemáticas ambientales que son identificadas en la zona oeste del centro histórico de Tula de Allende. En el caso de las problemáticas en agua, se identificó el río Tula como el principal caudal que presenta una contaminación severa, particularmente por las externalidades de operación del Túnel Emisor Oriente (TEO). En este caudal, se depositan las descargas urbanas de la Ciudad de México y los centros urbanos limítrofes, por lo que la gestión de las descargas urbanas, así como la operatividad de la presa Requena, son reconocidas como los factores causantes de la inundación en 2021 de las localidades ribereñas y el centro de Tula de Allende. Esta inundación provocó problemas sanitarios, además de pérdidas humanas y materiales. Aunado a lo anterior, en este canal se identifica una pérdida y desplazamiento de especies vinculado

con este evento, además de una degradación prolongada de su estado por la descarga de aguas residuales urbanas e industriales.

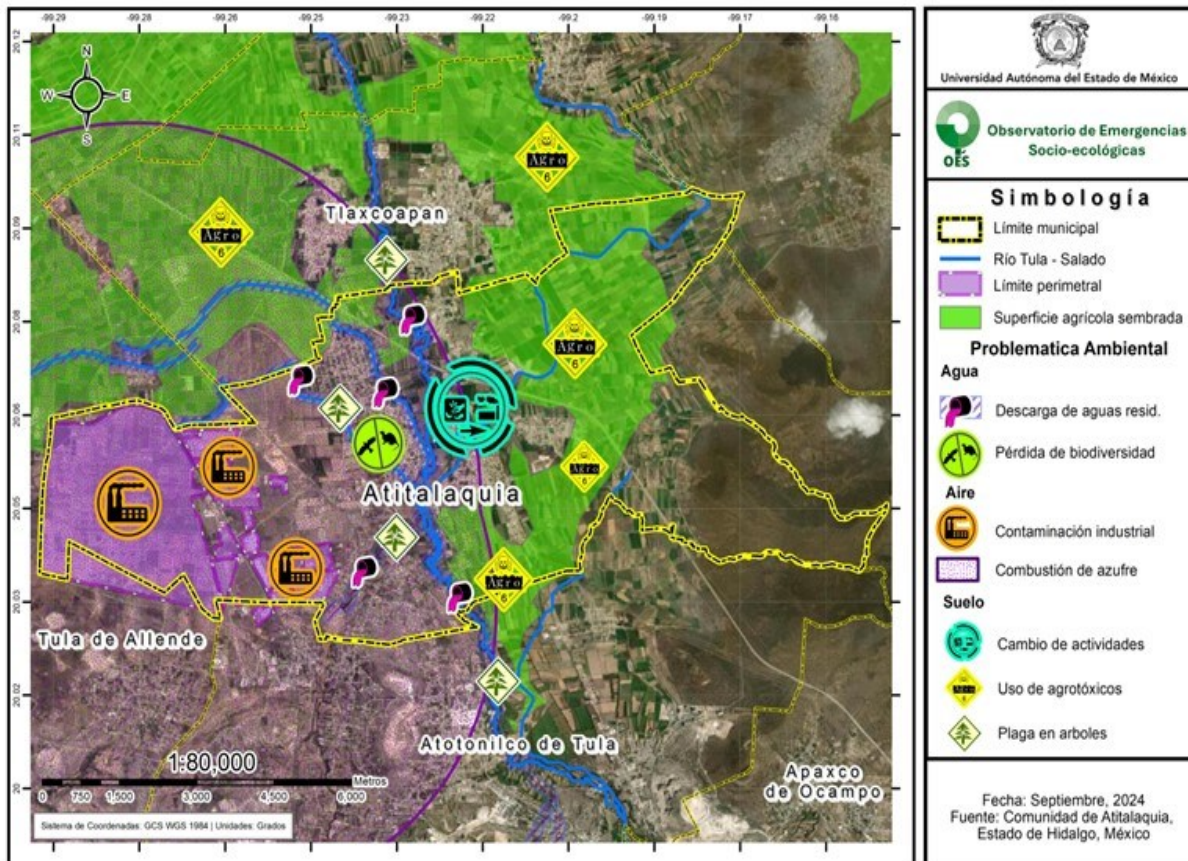
En cuanto a las problemáticas ambientales en aire, la instalación de la refinería Miguel Hidalgo y el complejo termoeléctrico Francisco Pérez Ríos en 1975, marcaron un punto crítico para la calidad del aire de la RTVM, esto a causa del aumento de manera gradual de bióxido de azufre y partículas suspendidas. Estas emisiones afectan directamente la salud de la población cercana al complejo, debido a que su rango de afectación es percibido a 5 kilómetros de la fuente.

Por otra parte, en relación con las problemáticas ambientales en el suelo, se identificó una gran deforestación en la ribera que comenzó desde 2017, a causa de los trabajos de aplicación del cauce del río Tula, donde se talaron aproximadamente 1,500 árboles. En esta zona actualmente, se presentan plagas de moscas y heno motita, afectando la vegetación regional.

De estos resultados, fue posible identificar momentos clave de la perturbación del sistema socioecológico. En este caso se reconoce por parte de la comunidad 1) cambio de las condiciones del río Tula después del año 1975, con la instalación de la refinería y el complejo termoeléctrico, 2) trabajos de ampliación del río Tula, 3) entrada en operación del T.E.O., 4) la inundación del río Tula, 5) pérdida de flora y fauna en la ribera del río, y finalmente, 5) la presencia de plagas.

Estos momentos de perturbación se han dado principalmente en el río Tula, lo que a su vez agrupa las problemáticas ambientales en este elemento geográfico, concentrando las fuentes de contaminación y procesos urbanos, como la descarga de aguas residuales urbanas e industriales, modificando los procesos socioecológicos de la región.

Mapa 3. Diagnóstico Ambiental Comunitario del municipio de Atitalaquia, Hidalgo, 2024



Fuente. OES, 2024.

Por otra parte, en el Mapa 3 derivado del DAC y CP en Atitalaquia, se presentan las problemáticas ambientales que fueron identificadas en la zona noreste de la RTVM. En el caso de las problemáticas en agua, se identificó al río Salado como el principal caudal que recibe las descargas de aguas residuales, tanto urbanas como industriales, de los municipios de Apaxco, Atotonilco y Atitalaquia. Este caudal recorre la parte este de la RTVM y es utilizado para abastecer varios canales de riego de la región, por lo que también se le atribuye la pérdida de biodiversidad en la zona, debido a la alta cantidad de sustancias contaminantes que concentra.

En el caso de las problemáticas ambientales en aire, se identificó a la refinería y el complejo termoeléctrico de la paraestatal PEMEX, como las dos principales fuentes de contaminación que decrecen la calidad del aire, debido a la dispersión de las partículas y olores ocasionadas por la combustión de azufre. A esto, se le suman dos parques industriales

que desde los años ochenta ha incrementado las emisiones de contaminantes en el aire y las enfermedades crónicas relacionadas con la exposición a estas sustancias. Estas percepciones comunitarias coinciden con los diagnósticos técnicos elaborados por instituciones gubernamentales, las cuales han documentado concentraciones de compuestos orgánicos volátiles (COVs), contaminantes orgánicos persistentes (COPs), y óxidos de nitrógeno (NOx), por encima de los límites permitidos (CAME, 2020; 2023).

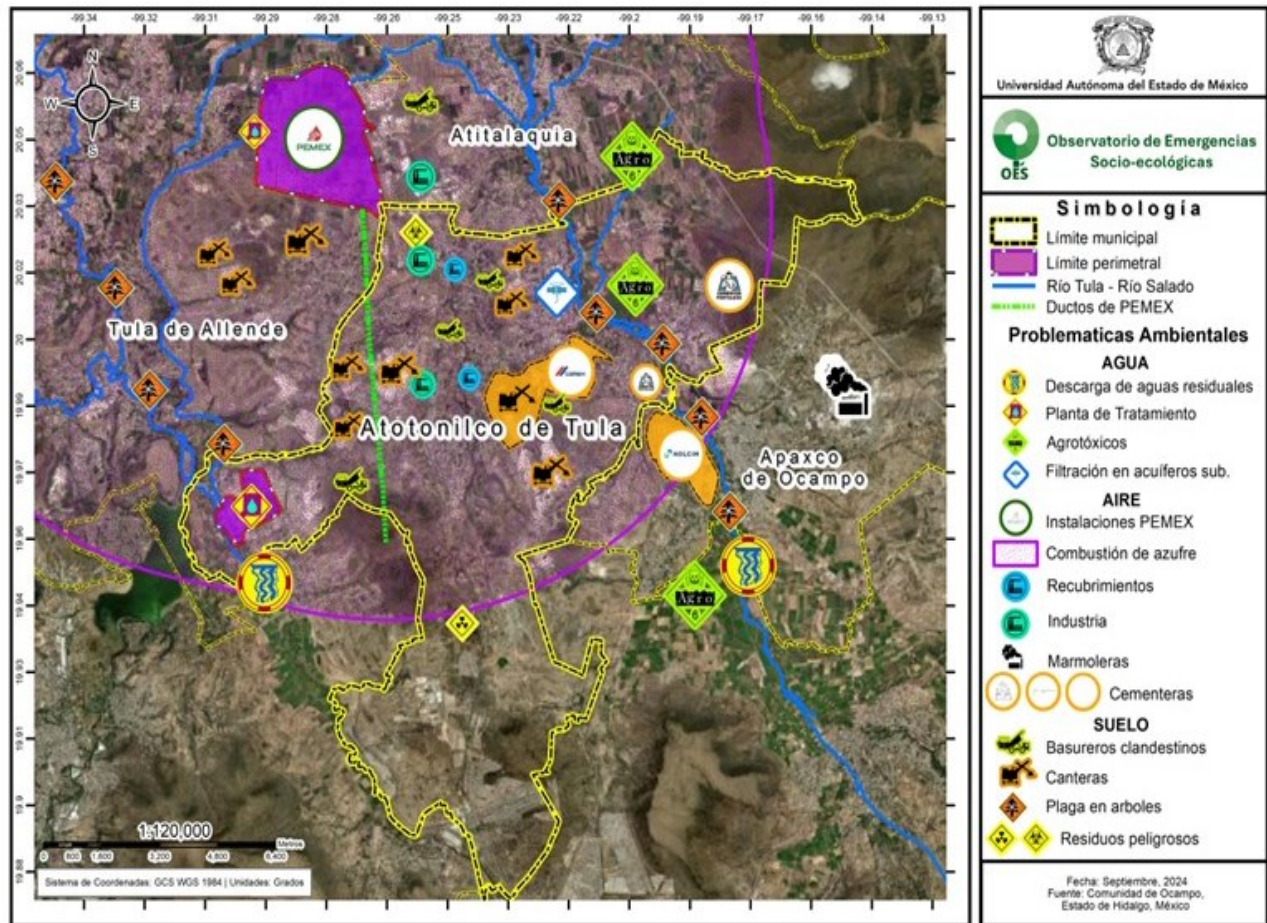
En cuanto a las problemáticas ambientales en el suelo, se identificaron los cambios de uso agrícola al industrial como una de las principales problemáticas que ha afectado las prácticas de cultivo locales, debido a que los modos de cultivo han transitado de lo tradicional a lo agroindustrial, promoviendo el uso de semillas transgénicas y monocultivos, a lo cual se le relaciona un mayor uso de agrotóxicos y una forma de producción a gran escala.

De estos resultados, también fue posible identificar momentos clave de la perturbación del sistema socioecológico. En el caso de Atitalaquia se reconoce por parte de la comunidad: 1) cambios territoriales en 1970, originados por las externalidades del crecimiento urbano de la Ciudad de México, 2) modificación de la calidad del aire desde 1973, con la instalación de la refinería y termoeléctrica, 3) instalación de los primeros parques industriales en 1985, los cuales desplazaron las actividades agrícolas predominantes en la región por actividades industriales, 4) instalación de un segundo parque industrial en 1990, generando una expansión industrial en el territorio, con afectaciones derivadas por la contaminación de la suma de múltiples industrias, 5) entrada de Cargill a la región en 1996, provocando que los modos de cultivo y alimentación de la comunidad se vieran modificadas, 6) aumento de enfermedades crónicas en el año 2000, relacionadas a la exposición de diferentes fuentes contaminantes industriales, 7) explosión de la fábrica de agroquímicos ATC en 2013, causando afectaciones como contaminación atmosférica y exposición a diferentes compuestos químicos, y finalmente, 8) pérdida de biodiversidad, que actualmente se le suma la presencia de plagas como el heno motita en los árboles de la región.

Los momentos de perturbación del sistema ecológico en Atitalaquia se han dado principalmente por los cambios en las actividades y usos de suelo industrial-agrícola. Estos han sido resultado de procesos de una explosión demográfica acelerada, derivada de la implementación de proyectos de desarrollo urbano, tanto para la región como de otros centros urbanos limítrofes a la Ciudad de México. Esto han modificado la forma de vida de los

habitantes de la región, así como las actividades que se desarrollan de una manera más intensiva, lo que genera que los procesos socioecológicos presenten en cada momento de cambio una alteración en los sistemas, como el aumento de enfermedades, pérdida de biodiversidad y presencia de plagas.

Mapa 4. Diagnóstico Ambiental Comunitario del municipio de Atotonilco, Hidalgo, 2024



Fuente: OES, 2024.

En el caso de Atotonilco, el Mapa 4 presenta las problemáticas ambientales que fueron identificadas en la zona central de la RTVM. En esta, se concentran gran parte de las fuentes contaminantes, por lo que varios elementos geográficos, unidades económicas y sitios de disposición final, presentan una contigüidad con los municipios de Tula de Allende, Atitalaquia y Apaxco de Ocampo.

Respecto a las problemáticas ambientales identificadas en agua, se presentan dos de los caudales referidos en los mapas anteriores (Mapa 1 y 2), el río Tula y Salado. En estos caudales se identificaron las descargas de aguas residuales, tanto urbanas como industriales, como problemática ambiental. A esto, se le añade la contaminación de los agrotóxicos utilizados en las parcelas de riego, debido a que los canales de riego que atraviesan el municipio reciben estas sustancias y retornan a estos caudales.

De una manera similar, se identifica la gestión de las plantas de tratamiento como una problemática ambiental, pues en el municipio se ubica la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), la cual recibe las externalidades de la Ciudad de México, pero opera de una manera ineficaz. Por otra parte, la filtración en acuíferos subterráneos se identificó como otra problemática ambiental en agua, debido a que la infraestructura es obsoleta teniendo fugas y filtraciones en una zona donde las fuentes de extracción como caleras y canteras generan grandes cantidades de polvos que se pueden combinar en la red de agua.

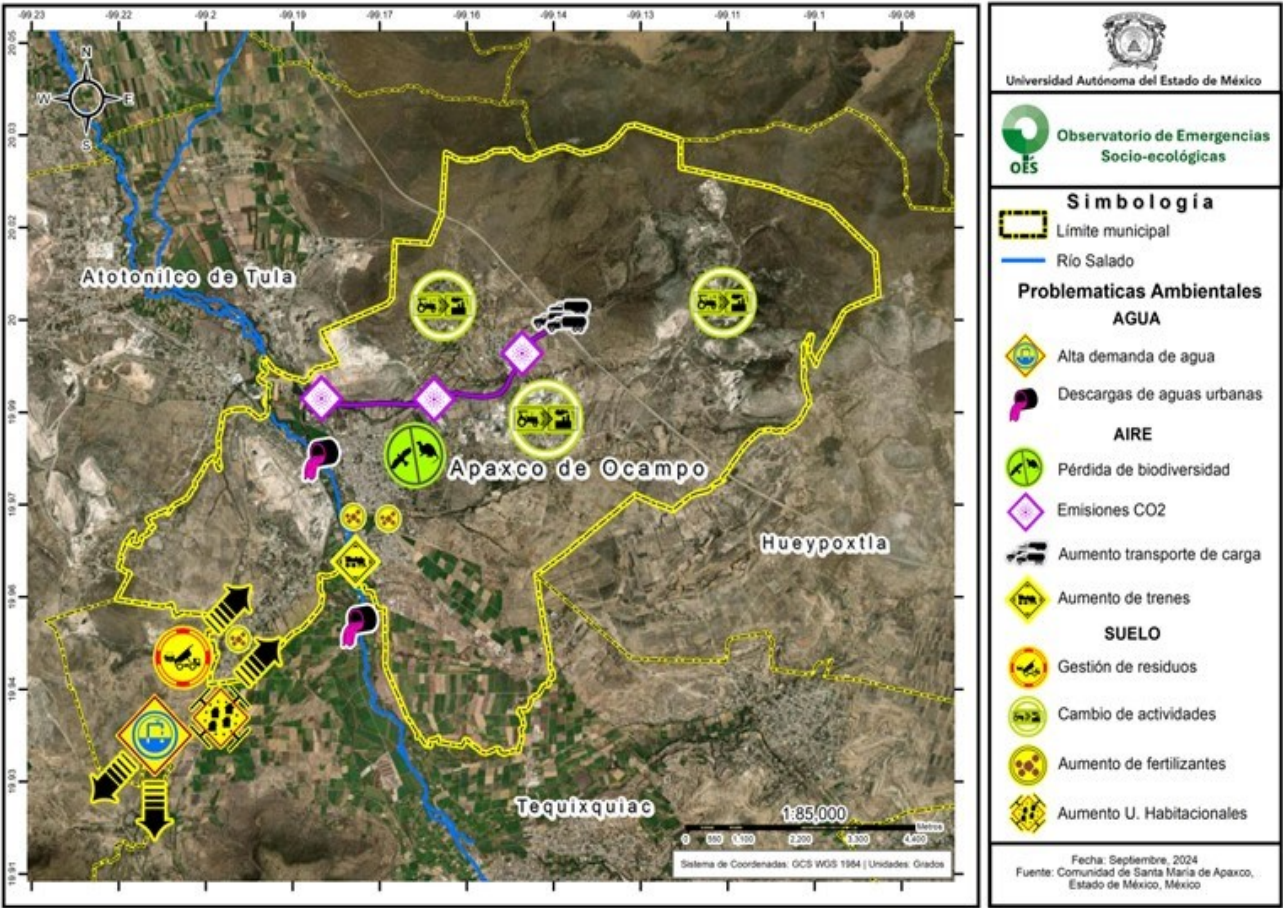
En cuanto a las problemáticas ambientales en aire, se identificaron diversas fuentes de emisiones a la atmosfera, principalmente industrias dedicadas a la construcción, como las cementeras, caleras y marmoleras, además de otras industrias dedicadas al rubro de los hidrocarburos y recubrimientos. De estas, sigue prevaleciendo las instalaciones de PEMEX como la principal fuente de contaminación por combustión de azufre, percibido a 8 kilómetros del complejo.

Con relación a las problemáticas ambientales en el suelo, se identificaron a las canteras como una problemática ambiental, debido a la degradación y extracción desmesurada que presentan varias de estas zonas en el municipio. Aunado a esto, los sitios de deposición final de residuos urbanos y confinamiento de residuos peligrosos también son identificados como una problemática ambiental, ya que se reconocieron varios basureros clandestinos que operan sin una regulación. Finalmente, la presencia de plaga de heno motita en arboles también es reportada como una problemática ambiental, ya que no solo se identificó en la ribera del río Salado, sino también en la del río Tula, identificando un problema regional respecto a esta plaga.

De estos resultados, no se cotejaron momentos clave de perturbación del sistema socioecológico debido a la cantidad de ejercicios de CP y mapeos verdes utilizados en este municipio. Sin embargo, las perturbaciones en el sistema ecológico coinciden con lo que se

ha reportado en los municipios contiguos de Atitalaquia y Tula de Allende, en este caso la gestión de las descargas urbanas-industriales y la gran cantidad de fuentes contaminantes del sector industrial-extractivo, son las principales causas de las problemáticas ambientales.

Mapa 5. Diagnóstico Ambiental Comunitario de la localidad de Santa María de Apaxco, México, 2024



Fuente. OES, 2024.

Finalmente, en el Mapa 5 derivado del DAC y CP en la localidad de Santa María de Apaxco, se presentan las problemáticas ambientales que fueron identificadas en la zona sureste de la RTVM. Esta zona tiene una particularidad frente a las anteriores, ya que esta localidad se ubica en municipio de Apaxco de Ocampo, este se encuentra en los límites del Estado de Hidalgo y México, por lo que su administración y normatividad rozan la jurisdicción de dos entidades. Esta condición es relevante para el análisis de las problemáticas ambientales de este territorio, pues al igual que en los resultados anteriores, existe una

contigüidad con otros procesos, como la gestión de las descargas de aguas residuales, abastecimiento y sitios de disposición final.

En cuanto a las problemáticas ambientales identificadas en agua, se reconoce al río Salado como uno de los caudales que también recibe las externalidades de las descargas urbanas de la Ciudad de México y los centros urbanos limítrofes. Este caudal, también es utilizado para los canales de riego de la zona, además de ser uno de los elementos geográficos en el que se vierten las descargas urbanas e industriales del municipio de Apaxco. Por otra parte, el abastecimiento del agua es otra de las problemáticas ambientales identificadas, debido al estrés hídrico que se tiene por la gran cantidad de desarrollos inmobiliarios y unidades habitacionales, como la Ciudad Bicentenario la Toscana, esto repercute en la disposición del vital líquido y se intensifica con el impulso de estos proyectos en el municipio.

En relación con las problemáticas ambientales identificadas en aire, se reconoció el aumento de emisiones como uno de los principales problemas. Este problema es derivado del aumento de transporte de carga y trenes, además de la afluencia de vehículos de la autopista interestatal Arco Norte. A esto, se le suma la pérdida de especies como otra problemática, ya que los polvos generados por la actividad extractiva e industrial en la zona, así como el aumento de emisiones de CO₂, son factores que han contribuido a esta situación.

En el caso de las problemáticas ambientales en el suelo, se identificó a la gestión de residuos como una problemática regional, debido a que los residuos son gestionados hacia el municipio por la gran cantidad que se generan en las unidades habitacionales que se encuentran en los municipios limítrofes. Respecto a los cambios de uso de suelo, estos también se identificaron como otra problemática ambiental, ya que las actividades industriales han crecido a tal punto de reorganizar el territorio, principalmente en la localidad de Pérez de Galeana, donde se presenta un cambio significativo de usos de suelo agrícola a la categoría industrial. Por otra parte, en el suroeste del municipio, se han presentado estos cambios de uso de suelo hacia desarrollos inmobiliarios, lo que también ha sido identificado como una problemática ambiental.

De estos resultados, también fue posible identificar momentos clave de la perturbación del sistema socioecológico. En el caso de Apaxco de Ocampo, se reconoce por parte de la comunidad: 1) la instalación de la cementera Holcim, como el primer momento

de cambio en la calidad del aire de la comunidad, debido desde los años 1970-1980 se empezó a generar una nube de polvo en todo el municipio, la cual genera afectaciones a la salud de población, 2) las constantes incidencias de la empresa Ecoltec desde 2009, donde la explosión de la empresa, vertidos al río y la muerte de 11 campesinos, provocaron un precedente de injusticia ambiental en la región, 3) el aumento de transporte de carga, derivado de la entrada en operación de la caseta de cobro Apaxco de la autopista Arco Norte en 2016, teniendo una aceleración en cuanto a la extracción y mayor flujo de materia que se traslada, 4) la disminución de especies en el año de 2017, a causa del cambio de usos de suelo y técnicas intensivas de cultivo, 5) la actualización del plan municipal de desarrollo urbano en 2019, el cual favorece las modificaciones de expansión industrial y urbana, 6) la incineración de residuos en hornos cementeros en años posteriores a 2022, generando sustancias precursoras de cáncer como dioxinas y furanos, y finalmente, 7) una disminución actual de especies, derivada del uso de agrotóxicos para contrarrestar las plagas en los cultivos.

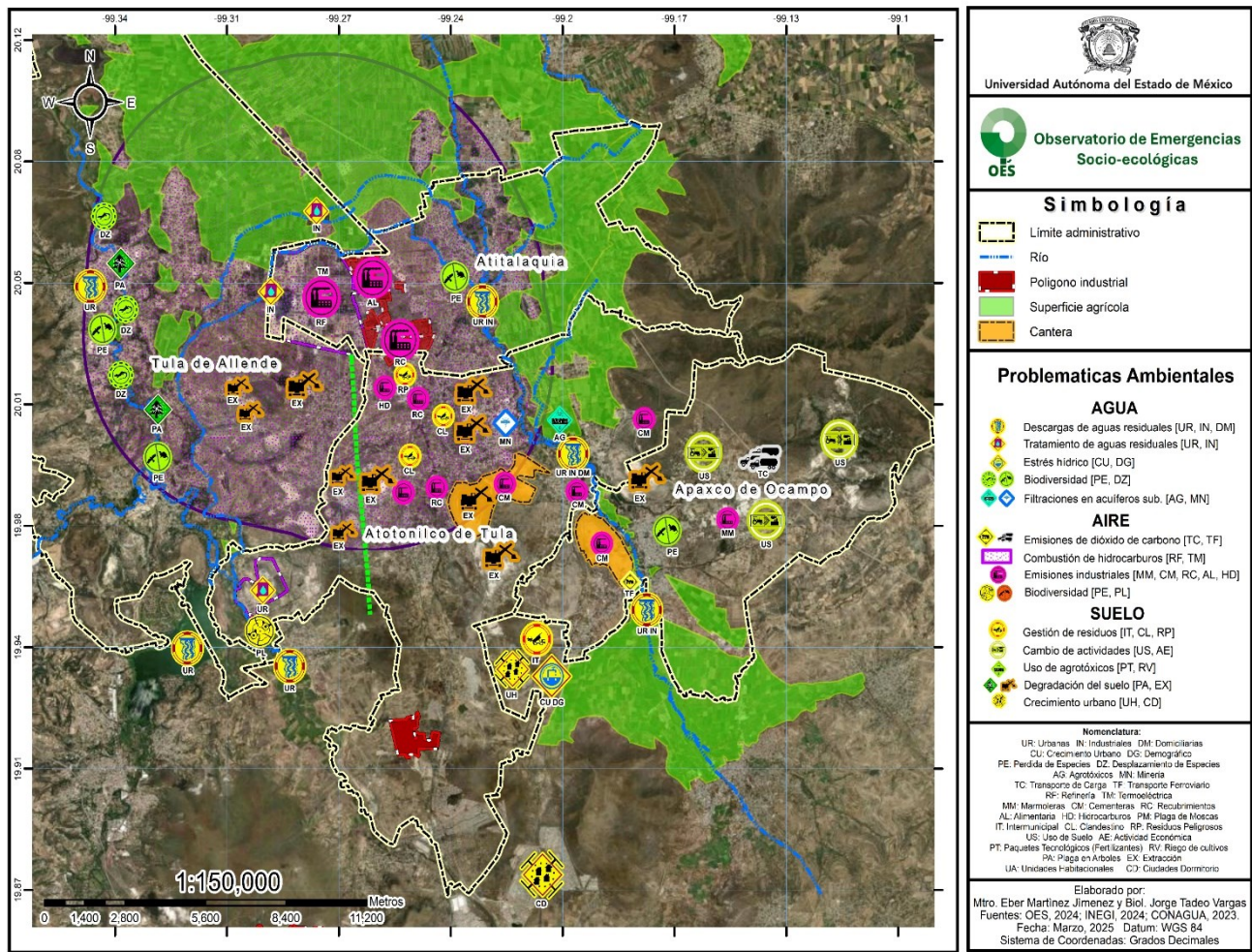
En el caso de Apaxco, los momentos de perturbación responden a procesos de intensificación de la industria, agricultura y ocupación del suelo. Esto conlleva a una gestión inadecuada de los residuos y de las descargas de aguas residuales, además de los recursos, como el agua y la extracción de materia prima para la construcción. Como consecuencia, las perturbaciones han modificado los procesos de regeneración y reintegración del sistema socioecológico, esto puede reconocerse a través de los dos momentos de disminución en la cantidad de especies, lo que indica una pérdida de biodiversidad en la región debido a los procesos intensos que se han presentado en un periodo relativamente corto.

Respecto a estos resultados, es importante mencionar que, si bien una parte de estos son derivados del DAC y CP, los reportes y productos gráficos (infografías) se encuentran en el Observatorio de Emergencias Socioambientales (OES), para su consulta y libre acceso en la página www.odesemx.com, con el fin de facilitar la disposición de la información a las comunidades que participaron en estos ejercicios. Si bien estos resultados coinciden con diagnósticos ambientales elaborados por instancias gubernamentales y académicas, es imperativo complementar estos estudios con la información local, pues a partir de las experiencias, la trascendencia y conocimientos sobre el territorio, se puede contrastar los datos, revelando o integrando conocimientos sobre las dimensiones socioambientales que no siempre quedan dentro de los reportes técnicos.

4.1.4. Patrones identificados en la RTVM

Los reportes diagnósticos reflejan un patrón de degradación ambiental vinculado principalmente a la industrialización y urbanización sin una adecuada planeación y gestión de los recursos naturales. Estos fenómenos se hacen evidentes a través de los hallazgos documentados en los reportes, como por ejemplo la concentración de fuentes que emiten grandes cantidades de sustancias a la atmósfera, suelos degradados por actividades extractivas, así como el cambio de usos de suelo. Por tanto, la contaminación del agua, aire y suelo, así como la pérdida de biodiversidad, se presentan en los cuatro municipios (véase Mapa 6).

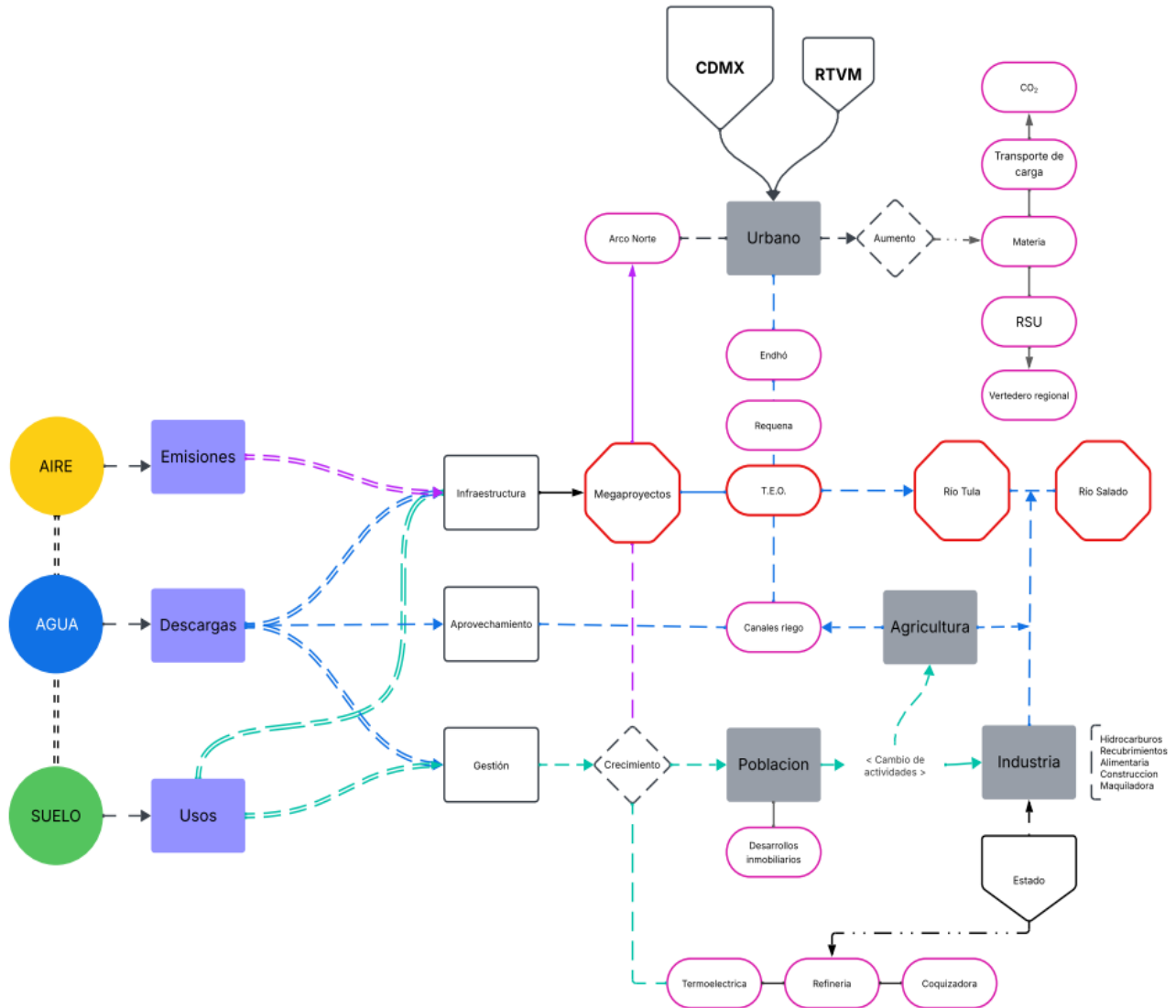
Mapa 6. Cartografía regional de las problemáticas ambientales en la RTVM, 2024



Fuente. Elaboración propia a partir del OES, 2024.

Estos problemas no solo afectan al medio ambiente, sino que también tienen un impacto directo en la salud de la población, por ejemplo problemas gastrointestinales, enfermedades de la piel, respiratorias e incluso cáncer (ISTAS, 2002; Conant y Fadem, 2011; Giesen, 2012; Martínez-Jiménez, 2018). En la siguiente figura (Figura 13) se muestran las interrelaciones entre estas problemáticas ambientales:

Figura 13. Diagrama de relación entre problemáticas ambientales



Fuente. Elaboración propia, 2025.

Contaminación del agua: Al analizar los reportes, se destaca la contaminación del agua como una problemática central. En las comunidades de Ocampo, San Marcos,

Atitalaquia y Apaxco, los ríos (Tula y Salado) reciben las descargas de aguas residuales urbanas, domiciliarias e industriales, además de verse afectados por el uso de agroquímicos y cambios de uso de suelo que afectan la calidad del agua.

Impacto industrial: La industrialización de la RTVM, la cual trajo consigo industrias cementeras, petroquímicas y parques industriales, ha sido un factor clave en el deterioro ambiental. Estas actividades han contaminado tanto el aire como el agua, además de provocar un aumento en enfermedades crónicas en la población local.

Problemas en la calidad del aire: Las emisiones industriales y el aumento del transporte pesado (como en Apaxco), han generado un deterioro extensivo en la calidad del aire de la RTVM. El bióxido de azufre, dióxido de carbono y otros compuestos químicos emitidos a la atmósfera son una característica que, en Ocampo, Atitalaquia, y San Marcos, se presentan en los reportes de diagnóstico ambiental.

Pérdida de biodiversidad: La pérdida de especies de flora y fauna es un patrón común en los municipios de la RTVM, esto se puede constatar con el Índice de Sustentabilidad de Capital Natural (ISCN), el cual sitúa la región en la insostenibilidad (CONABIO, 2019). Asimismo, las actividades industriales, expansión urbana y uso excesivo de agroquímicos han afectado los ecosistemas locales, como se observa en los diagnósticos ambientales de Ocampo, Apaxco y San Marcos, donde varias especies de animales han sido desplazadas, desaparecido o disminuido drásticamente.

Mala gestión de residuos: Los reportes de diagnóstico ambiental elaborados para las comunidades, mencionan problemas relacionados con la gestión inadecuada de residuos sólidos, aguas residuales y lodos industriales, que se contribuyen a la contaminación del suelo, aire y agua.

Problemas de salud: La exposición a contaminantes industriales, mala calidad del aire y agua, han generado un aumento de enfermedades crónicas y gastrointestinales en las comunidades de la RTVM. En San Marcos y Apaxco, se identifica el impacto en la salud de la población con la presencia de cáncer y enfermedades respiratorias, además de otras relacionadas con la exposición a diversas fuentes contaminantes industriales, agrícolas y extractivas.

4.2. Matriz de seguimiento de problemáticas ambientales (MSPA).

El instrumento que proponemos como Matriz de Seguimiento de Problemáticas Ambientales (MSPA), tiene como objetivo registrar la información, tanto empírica como documental de las problemáticas ambientales que han ocurrido históricamente en la región de estudio y relacionar las interacciones con las variables de estudio del SSE, tomando como base la información de los diagnósticos socioambientales realizados en los cuatro municipios. En el siguiente cuadro se presentan los criterios utilizados para su construcción

Tabla 30. Criterios para la construcción de la MSPA

Identificador	Criterio	Fuente - instrumento
Incidencia	<i>Año registrado</i>	Investigación Documental (IDC), Diagnóstico Ambiental Comunitario (DAC), Cartografía Participativa (CP), Análisis de las Narrativas (AN)
Elemento ambiental	<i>Agua, aire, suelo</i>	
Municipios afectados	<i>Municipios donde fue registrada la afectación</i>	
Problemática	<i>Nombre de la problemática</i>	
Dimensión de análisis	<i>Territorial, agua, disposición final residuos, recursos naturales, calidad del aire, servicios ecosistémicos, infraestructura, normatividad, saneamiento</i>	
Subdimensión	<i>Sociedad, política, naturaleza, economía, cultura, ambiente</i>	
Sistema(s) afectado(s)	<i>Sistema social, ecológico, urbano</i>	
Variable de interacción	<i>Biodiversidad, comercio, empleo, geomorfología, recurso económico, minería, salud, jurisdicción, territorio, historia, tradiciones, actividades económicas, uso de suelo, vegetación, vulnerabilidad</i>	
Tipo de problemática	<i>Vinculada con el SSE</i>	
Factores	<i>Actividad económica predominante, afectación a la salud, aportaciones del sector energético, aportaciones del municipio, aumento de enfermedades epidemiológicas-industriales, crecimiento industrial, degradación del suelo, exposición a sustancias, incineración de residuos, laxa regulación, imagen de la empresa, mala calidad del aire, deforestación, pérdida de biodiversidad, extracción de materia prima</i>	
Impacto	<i>Perdida-decrecimiento- perturbación del SSE</i>	
Movilización social	<i>Población, organizaciones</i>	

Actores implicados	<i>Instituciones, ONG, consorcios, sociedad civil, empresas, gobiernos</i>
--------------------	--

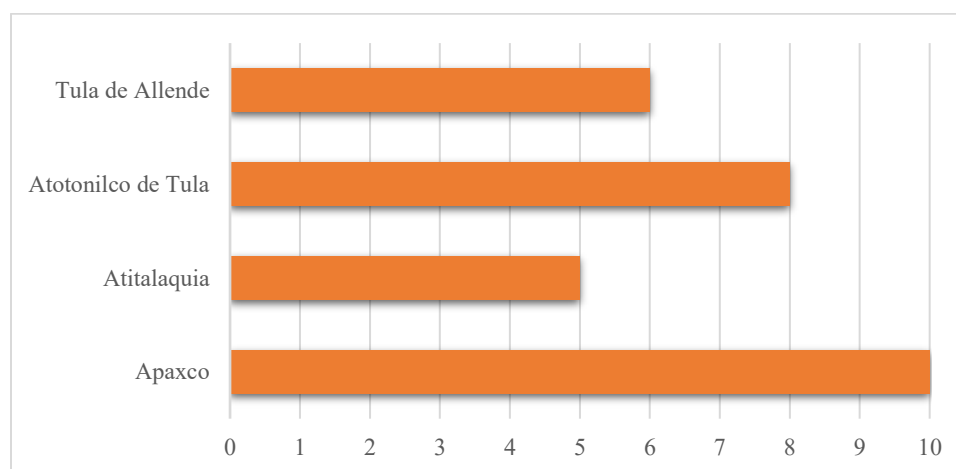
Fuente. Elaboración propia, 2024.

La matriz permitió dar seguimiento a las problemáticas ambientales de la RTVM, generando así un registro histórico de las incidencias mediante el cruce de información documental y de campo. Esta matriz está compuesta por las narrativas de los participantes de los talleres de DAC y CP, los reportes diagnósticos de los municipios de estudio, documentos académicos e instituciones públicas, así como notas periodísticas en las que se describen las características de las incidencias. A continuación se presentan los resultados derivados de este instrumento.

4.3. Incidencias de problemáticas ambientales en la RTVM

La implementación de la MSPA facilitó la relación con el número de conflictos socioambientales del SSE (véase Figura 11), debido a que la información de la matriz tuvo un proceso de abstracción sobre las relaciones entre dimensiones y variables, esto dio lugar a una matriz dinámica que muestra las interacciones entre: sistemas, dimensiones, municipios, problemática ambiental, factores, impacto, respuesta social y actores implicados.

Figura 14. Número de conflictos socioambientales en la RTVM



Fuente. Elaboración propia, 2025.

Del mismo modo, a través de esta matriz se puede realizar filtros que facilitan la identificación de categorías de momentos de alteración en el SSE delimitados en:

- 1) Momento de cambio: Suceso que se identifica como el precursor de una serie de cambios en el SSE. Es un evento donde no hay retorno al estado original.
- 2) Perturbación del SSE: Suceso que se identifica como una disrupción directa en los sistemas: ecológico, social, urbano. Generalmente de origen antrópico, pero también puede suscitarse por eventos naturales o climáticos.
- 3) Momento crítico: Suceso que se identifica como una alteración inconmensurable ya que en este punto el SSE ya no tiene una manera de restaurarse debido a sus condiciones de degradación, si no de evolucionar a otro estado que no es el original.

Estas categorías fueron creadas a partir de lo reportado en los ejercicios de diagnóstico ambiental, retomando los mapeos verdes que referencian estos incidentes en relación a su impacto en el SSE.

Tabla 31. Número y tipos de alteraciones en el SSE, RTVM

Municipio	Incidencias	Categoría
Apaxco de Ocampo	7	I. Momento cambio
	3	II. Perturbación del SSE
	1	III. Momento crítico
Atotonilco de Tula	4	I. Momento cambio
	3	II. Perturbación del SSE
	1	III. Momento crítico
Atitalaquia	4	I. Momento cambio
	1	II. Perturbación del SSE
	1	III. Momento crítico
Tula de Allende	1	I. Momento cambio
	3	II. Perturbación del SSE
	2	III. Momento crítico

Fuente. Elaboración propia, 2025.

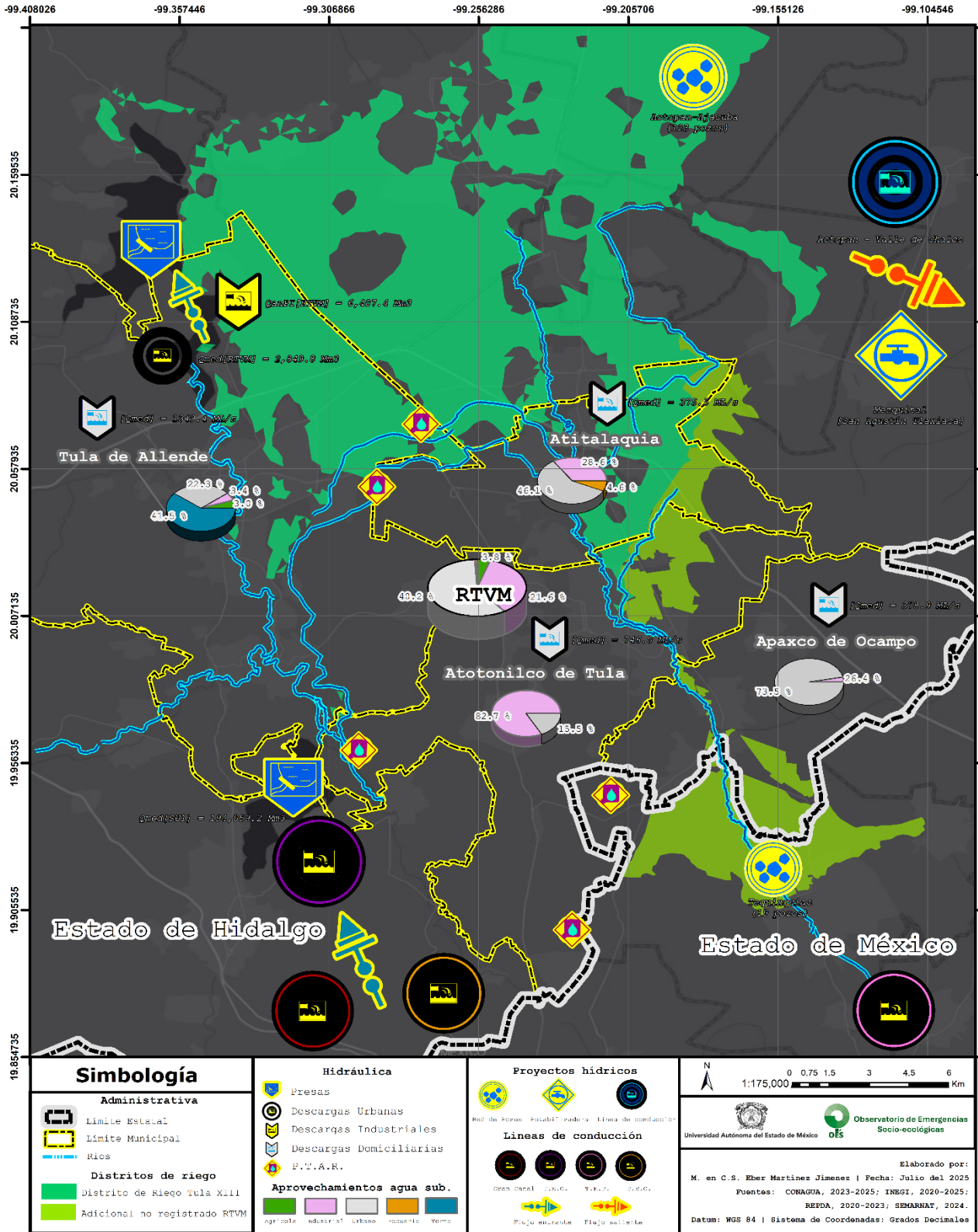
La información generada es relevante para reconocer el estado actual del SSE en cuanto a la relación que guardan los incidentes y las alteraciones en sus componentes. Esto posibilitó la creación de variables de análisis, que dieron lugar a la caracterización del SSE que a continuación se presentan en el siguiente apartado.

4.4. SSE de la Región Tula del Valle del Mezquital, Hidalgo.

La caracterización del SSE de la región Tula del Valle del Mezquital, es uno de los procesos de este estudio que requirieron de la implementación de estrategias metodológicas para su desarrollo, ya que se incluyeron perspectivas de análisis participativas aplicadas al diagnóstico ambiental para el análisis de las problemáticas ambientales. La creación de un instrumento como la Matriz de Operacionalización de Variables (MOV), permitió delinear *indicadores* que examinan las características vinculadas con el SSE, además de las problemáticas ambientales en agua, aire y suelo.

Este proceso cuantitativo posibilitó la construcción de cartografías temáticas, que de manera gráfica permiten ver una radiografía del territorio referente a estos elementos. La representación de estos indicadores tiene la finalidad de puntualizar aspectos significativos del SSE, por ejemplo las dinámicas sobre algunos *componentes* como la infraestructura, elementos geográficos, fuentes de emisiones, actividades económicas, aprovechamiento y explotación de recursos, entre otros.

Mapa 7. Sistema Socioecológico de la RTVM, dimensión agua



Fuente. Elaboración propia, 2025.

En esta caracterización del SSE en agua, se reconocen aspectos como las descargas residuales, aprovechamientos, infraestructura y abastecimiento de agua, como elementos significativos para explorar y representar el estado del SSE respecto a las problemáticas ambientales, por ello los indicadores utilizados para elaborar la cartografía fueron los siguientes.

Tabla 32. Indicadores para la caracterización cartográfica del SSE, agua

D.	V.	Indicador	Resultado
Agua	Descargas	<i>Qmed_Dom</i>	Qmed_Dom [RTVM] = 2,849.84 Mm ³
			Qmed_Dom [SI] = 194,059.22 Mm ³
		<i>Qmed_SI</i>	Qmed [SI] = 2,483,415 m ³
		<i>Qan_PI</i>	Qan_PI [RTVM] = 6,407.42 Mm ³
		<i>SupRgo</i>	SupRgo [RTVM] = 21,506.92 ha Adicional = 26,164.83 ha
	Aprovechamiento	<i>Ev_Comp_Urb</i>	P1_2000-2010 [RTVM] = -0.70
			P2_2010-2020 [RTVM] = -0.87
		<i>Apran_Pec</i>	Aprov_Pecuario [RTVM] =253,508 m ³ /anual
		<i>Apran_Inds</i>	Aprov_Industrial [RTVM] =8,239,206 m ³ /anual
		<i>Apran_Agr</i>	Aprov_Agricola [RTVM] =1,450,181 m ³ /anual
	Infraestructura	<i>Tot_Patm</i>	PTAR [RTVM] = 11 plantas 5 en operación: 2 vivienda, 2 CFE, 1 Regional
			<i>Tot_Lcn</i>
			Tot_Lcn [ZM_CDMX] = 4 líneas de conducción; TEC, TEP, TEO y G.C.D.
	Abastecimiento	<i>Tot_Pry_Hdr</i>	Tot_Pry_Hdr [RTVM] = 4 proyectos: 1 potabilizadora, 2 redes de pozos, 1 línea de conducción de agua potable

Fuente. Elaboración propia, 2025.

Estas variables representadas en el Mapa 7, permiten comprender como es que algunos elementos interactúan en la región, como por ejemplo el agua en sus diversos aprovechamientos y líneas de conducción, además de los procesos que el propio SSE soporta, como por ejemplo la gestión bilateral (extracción-retorno) de recursos. Lo anterior, ocurre no sólo en el ámbito de un único sistema urbano, sino por la interacción con dos sistemas

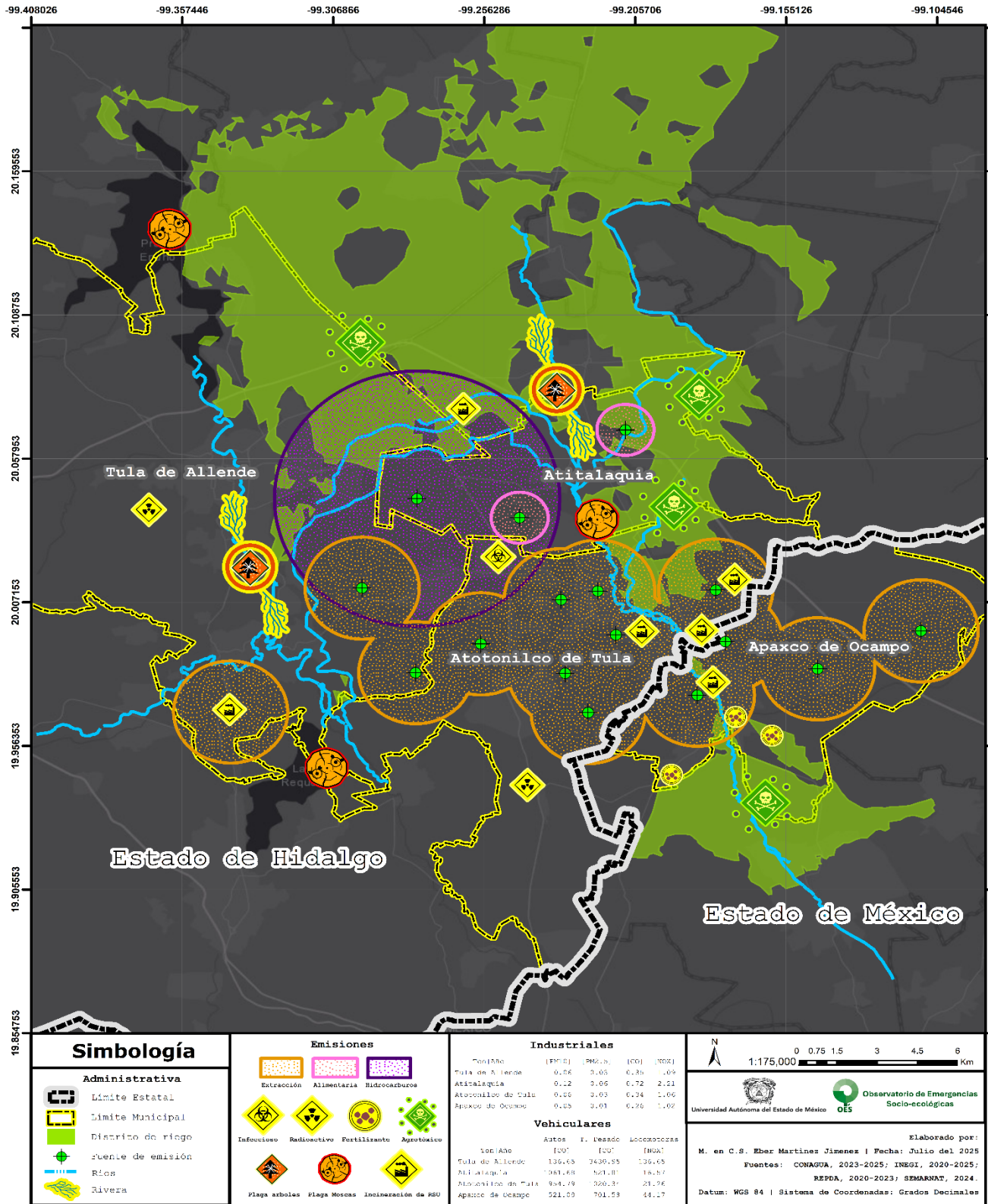
(CDXM y EDOMEX), lo que ha llevado a gestar conflictos socioambientales en la región de manera histórica, pues la infraestructura y la gestión de los recursos hídricos han tenido un *diseño*¹³ para que estos sistemas urbanos subsistan integrando otros de menor tamaño como la RTVM.

Lo anterior, comprende no solo el hecho de que la RTVM actúa como una periferia donde se configura el territorio a los requerimientos del capital, sino también a las necesidades de un sistema urbano mayor, por lo que las externalidades como el aumento demográfico, la escases hídrica, la especulación del suelo y las excreciones de una metrópoli extendida como la CDMX, son enviadas hacia este espacio, lo que confluye con procesos de transformación-extractivos de recursos que perpetúan de varias formas la explotación y desigualdad.

Por otra parte para la caracterización del SSE en el aire (véase Mapa 8), se representaron variables como las emisiones de los tipos de industria como la alimentaria, de hidrocarburos y extracción, además de sitios de afectación tanto para el río y la PTAR regional, estas últimas relacionadas con la afectación por la percepción del olor. También, sitios de disposición final de residuos municipales, biológicos infecciosos y radioactivos, que son identificados como un elemento que altera el ambiente y que involucra aspectos sociales del riesgo, al estar en cercanía con este tipo de confinamientos en el territorio. Finalmente, se incluyeron sitios con plagas donde hay presencias moscas cerca de los cuerpos de agua, así como heno motita en el arbolado riveroño.

¹³ La designación del Estado sobre estos espacios geográficos convierte este *diseño* en lugares especializados para recibir las externalidades del metabolismo urbano, a estos espacios se le conoce como zonas de sacrificio.

Mapa 8. Sistema Socioecológico de la RTVM, dimensión aire



Fuente. Elaboración propia, 2025.

Para lo anterior, fueron necesarios los siguientes indicadores que se desprenden de la MOV y del manejo de los datos en software SIG.

Tabla 33. Indicadores para la caracterización cartográfica del SSE, aire

D.	V.	Indicador	Resultado
Aire	Industria	Are_AF_Pq	Are_AF_Pq = 1er radio a 5 km y a 10 km visible
		Are_AF_Cst	Are_AF_Cts = 1er radio a 2 km y a 3 km visible desde un centroide intermunicipal
		Are_AF_Almt	Are_AF_Almt = 1) Primer radio a 500 mts, 2) Segundo radio a 1 km
	Rio	PTAR_Sit_Af	PTAR_Sit_Af = 500 mts a 1 km
		Rio_Sit_Af	Rio_Sit_Af = 10 mts a 250 mts
	Orgánicos	Fert_Sit_Tot	Fert_Sit_Tot = 3 sitios Apaxco, pqts. tecnológicos fertilizante
		Sit_Binf_Rad	Sit_Binf_Rad = 3 sitios CADER Atotonilco; varilla radiactiva en Tula, y biológico infeccioso en Progreso
	Agrotóxicas	Loc_Sit_Pg	Loc_Sit_Pg = 5 sitios Municipales = 3; Regionales = 2

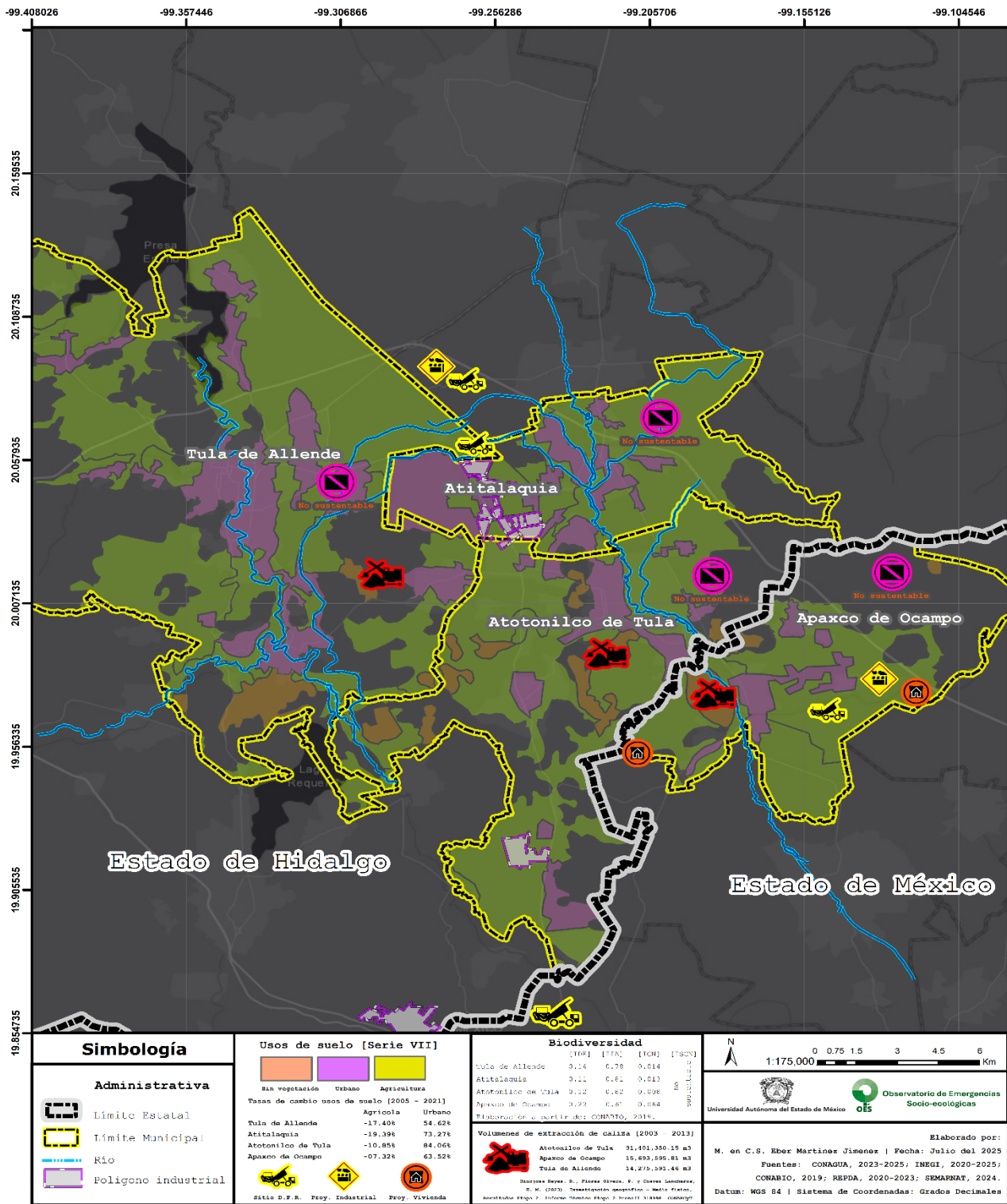
Fuente. Elaboración propia, 2025.

La representación de estos indicadores permite visualizar la escala de las emisiones percibidas, ya sea visuales, de olor o riesgo. Esto evidencia un panorama alarmante en cuanto a la exposición a diversas fuentes contaminantes que decrecen la calidad del aire, pues se tiene una regulación laxa sobre las emisiones de sustancias, al igual que los sitios de confinamiento de residuos de manejo especial, así como como señales claras de problemas sanitarios principalmente en los sitios rivereños de la RTVM.

Este panorama se adhiere a las características sobre las zonas de sacrificio (Martínez y Ramírez, 2024), en las que las propias regulaciones y actuaciones de las agencias reguladoras en materia ambiental han dado pie a que el ambiente se convierta en un espacio *malsano*¹⁴ y generador de problemas ambientales tangibles, como los problemas sanitarios y de mala calidad del aire, debido a su falta de intervención e incorporación de medidas poco eficientes para la región.

¹⁴ Un espacio malsano refiere a la afectación paulatina sobre los territorios y cuerpos, este no solo involucra el aspecto ambiental, sino social al percibir el entorno enfermo como un agente que perjudica la salud de las personas y que la decrece con el tiempo.

Mapa 9. Sistema Socioecológico de la RTVM, dimensión suelo



Fuente. Elaboración propia, 2025.

En el caso de la caracterización del SSE en suelo, se tomaron en cuenta variables vinculadas con la gestión territorial, lo que involucra aspectos como la evolución, vivienda, economía, recursos naturales, residuos urbanos y servicios de regulación. Para representar estos elementos, se requirieron los siguientes indicadores.

Tabla 34. Indicadores para la caracterización cartográfica del SSE, suelo

D.	V.	Indicador	Resultado
Suelo	Evolución	TS_Cr_Agr	TS_Cr_Agr = Tula: -17.40, Atitalaquia: -19.39, Atotonilco: -10.85, Apaxco: -7.32
		TS_Cr_Urb	TS_Cr_Urb = Tula: +54.62, Atitalaquia: +73.27, Atotonilco: +84.06, Apaxco: +63.52
	Vivienda	Tot_Pry_Viv	Tot_Pry_Viv = 2 proyectos: Apaxco: Real de Castilla 2da Etapa y Cd. Dormitorio de Hunan Gold Group (Pérez de Galeana)
	Económico	Tot_Proj_Ind	Proy_Ind = 2 proyectos: PEECTA – Tula de Allende, y Hunan Gold Group (Parque Chino)
	Recursos N.	Tot_Ext_Clz	Tot_Ext_Clz = 61,373,537.42 m ³ [2003-2013]
	Urbanos	Tot_Sto_Dsf	Tot_Sto_Dsf = 2 sitios de disposición final y 1 regional en construcción
	Regulación	Has_Def_Reg	Has_Def_Reg [RTVM] = 1722.72 hectáreas

Fuente. Elaboración propia, 2025.

La representación de estos indicadores permitió analizar la hegemonía sobre las actividades económicas del territorio, que son la industria y la agricultura. Esto revela un dominio del aspecto urbano, pues a pesar de existir esta relación de actividades en la región, este es un factor determinante que genera cambios en los elementos socioecológicos, debido a su influencia sobre las transformaciones territoriales. Esto está estrechamente relacionado con el impacto sobre los recursos naturales y los servicios ecosistémicos ligados a ellos, pues esto propicia cambios en los usos de suelo para el crecimiento industrial, así como una especulación del suelo y desarrollos de vivienda implicados con este rubro.

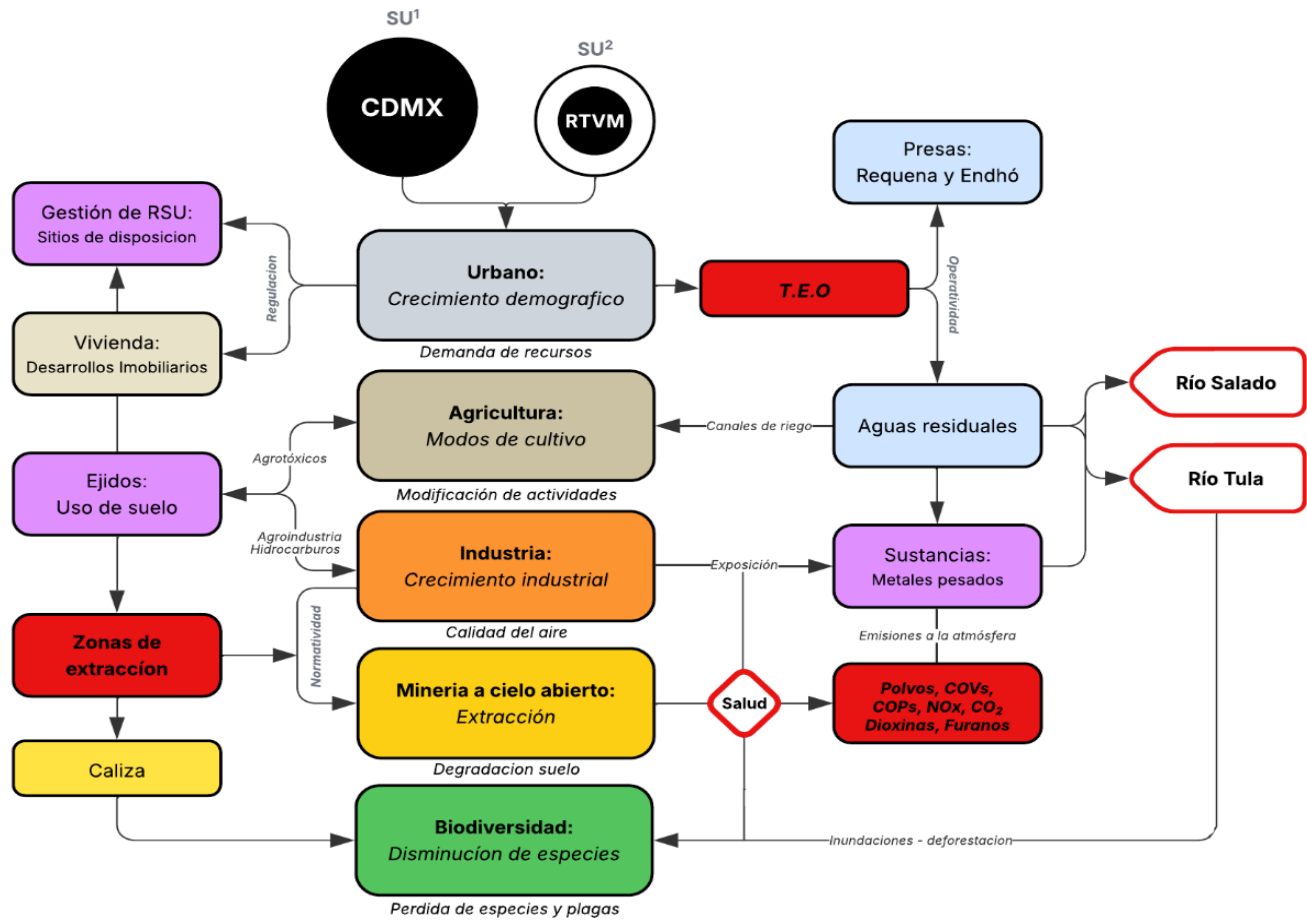
Lo anterior se puede contrastar con el Índice de Sustentabilidad de Capital Natural (ISCN) para la región, el cual marca una tendencia hacia la nula sustentabilidad (COBABIO, 2019), esto se debe a que la biodiversidad se ha perdido a través de los años en relación con la cantidad de biota y las acciones para contrarrestar estos efectos. Ciertamente, a esto también se le tiene que añadir la disminución de la agricultura, a causa del predominio de la industria, asimismo la adopción del uso del uso de agrotóxicos, siendo esto un agente que impacta en la biota.

Si bien no se representan todos los indicadores de las dimensiones agua aire y suelo, por la saturación gráfica que puede presentar la cartografía temática, las representaciones de los indicadores relacionados con el SSE permiten identificar elementos y zonas en donde se presentan las principales problemáticas ambientales. En este sentido, los patrones sobre las zonas agrícolas, cuerpos de agua e industrias, muestran una degradación acelerada sobre la región a causa del crecimiento industrial y urbano, provocando relaciones como el cambio de usos de suelo con las actividades predominantes y modos de vida, la disminución de la biodiversidad con la extracción desmesurada de recursos y la adopción de técnicas agrícolas-industriales.

4.5. Elementos de perturbación del SSE de la RTVM

El análisis de los instrumentos y de la información de la pesquisa llevó a la elaboración de un esquema (véase Figura 15) que de manera sintética muestra las relaciones en forma de flujos, refiriendo los componentes que derivan de cada uno. Este es el resultado de un proceso de sistematización entre el diagnóstico ambiental y la MSPA, teniendo como fin analizar las problemáticas ambientales principales de la RTVM con los elementos principales de interacción y de perturbación del SSE.

Figura 15. Elementos de perturbación del SSE de la RTVM



Fuente. Elaboración propia, adaptada de De la Torre Váldez y Vázquez (2019); Díaz (2014).

En la parte superior, se pueden ubicar los sistemas que interactúan con los elementos urbanos, agrícolas, industriales, mineros y de biodiversidad. Estos a su vez se componen de procesos que se vinculan con la problemática presentándose de color rosa, por ejemplo, la gestión de residuos, los usos de suelo y sustancias emitidas, además del recurso como la caliza, representada en color amarillo. De color rojo, se presentan las derivaciones de las dinámicas entre las problemáticas, así como de color azul la operatividad de los recursos hídricos.

El análisis de estos componentes permitió la identificación del elemento predominante donde ocurren las problemáticas, siendo el agua el elemento predominante en

el que se presentan las dinámicas con los demás elementos, seguido del recurso de la caliza como un componente que deriva en la disrupción en la biodiversidad, así como en los aprovechamientos del uso de suelo. Estos dos elementos están vinculados con las actividades y procesos socioterritoriales de la RTVM, como el crecimiento demográfico, los modos de cultivo, el crecimiento industrial y la extracción de recursos.

A su vez, elementos como las descargas del Túnel Emisor Oriente (T.E.O.), la industria y la minería, generan una exposición a sustancias como por ejemplo a los metales pesados, tanto a la atmosfera como en el agua. Esto implica una dinámica entre la salud de las poblaciones y la exposición a estos elementos, acrecentando los casos de enfermedades que se relacionan directamente con las sustancias emitidas en niveles fuera de los máximos permisibles.

4.6. Zona de sacrificio de la región Tula

La zona de sacrificio de la Región Tula del Valle del Mezquital tiene peculiaridades únicas que la convierten en uno de los casos más impactados a nivel internacional por sus diferentes fuentes contaminantes concentradas en un solo lugar, estas incluyen: complejos de tipo industrial (3 polígonos), hidrocarburos (refinería, termoeléctrica y coquizadora), transformación y e incineración de residuos (parque de economía circular y 5 cementeras), extensiones de parcelas de riego (maíz, alfalfa y hortalizas) con canales de riego de aguas residuales, y minería a cielo abierto de material no metálico.

La presencia de estas fuentes sitúa a la RTVM en una de las zonas de sacrificio que concentra la mayor cantidad de actividades consideradas como peligrosas e impactantes para la salud humana, debido a la exposición de las sustancias emitidas. La industria, la quema de combustibles fósiles, agricultura intensiva, gestión inadecuada de los residuos y minería, son consideradas en los reportes de la E.P.A. (2010, 2015, 2020, 2025) como fuentes que tienen efectos negativos en la salud de las poblaciones derivados a su exposición, como el riesgo de cáncer, así como otros padecimientos vinculados a problemas reproductivos, al sistema respiratorio y nervioso.

Esta situación de deterioro ambiental y erradicación de la vida de la región no es un proceso aislado, pues de manera histórica la región se ha configurado con base a las

necesidades del capital y la complicidad el Estado, ya que una zona de sacrificio no se crea de la nada, pues hay una intención detrás de tal destrucción. Por ello, los procesos como la periurbanización, la adopción del neoliberalismo, el desarrollo nacional y el crecimiento demográfico, son procesos implícitos de dominio del Estado sobre las poblaciones y los territorios, que van de la mano con las configuraciones territoriales que han torneado a la región a una zona de sacrificio.

En este sentido, la región posee esta serie de procesos de subsunción del capital que han propiciado la configuración del territorio, partiendo de que la región desde tiempos prehispánicos sirvió como un enclave que tenía que rendir tributo de recursos como la caliza, en tiempos contemporáneos, a inicios del siglo XX se tiene la instalación de las primeras fábricas de cal, donde se genera un proceso de especialización del espacio y la preparación del territorio para la instalación de la primer etapa de industrialización de la región a mediados de los cincuenta. En este periodo, la extracción de recursos y configuración territorial se vuelve evidente con la construcción de la Refinería Miguel Hidalgo, además de una explosión demográfica en la zona centro del país. Posteriormente, se tiene una segunda fase de intensificación industrial a mediados de los años noventa y dos mil, donde se tiene la entrada de empresas transnacionales y el inicio de una serie de desequilibrios metabólicos derivados de la extracción desmesurada y degradación ambiental.

Este desequilibrio ha generado externalidades negativas en el territorio, como el cambio de uso de suelo agrícolas a un ámbito urbano e industrial, la recepción de drenajes colectores de la metrópoli a la región, la migración de la población a zonas habitacionales diseñadas para contrarrestar el aumento demográfico y la falta de vivienda, así como la disminución de recursos y de biodiversidad en la región.

De lo anterior existe una coyuntura de procesos regionales que responden a las necesidades del capital y que se vinculan con los elementos determinantes de las zonas de sacrificio, por ejemplo la creación de ciudades dormitorio, la conexión de la región con las grandes arterias del territorio nacional, la adición a una metrópoli extendida que sitúa a la RTVM en receptora de actividades peligrosas, la amplificación de los polígonos industriales que mantienen un proceso de desterritorialización.

Discusión general

El estudio de las problemáticas ambientales a través de la cartografía participativa en la RTVM demuestra la importancia del uso de metodologías participativas para comprender procesos complejos, desde la perspectiva de las comunidades afectadas. Este análisis no solo permite una representación espacial de las problemáticas ambientales, si no que conlleva una co-construcción del conocimiento, incorporando saberes locales con herramientas y enfoques interdisciplinarios para un estudio más profundo.

Algunos estudios (Mustonen y Shadrin, 2021; Rodríguez-Robayo *et al.*, 2020; Osorno-Acosta y Corrales-Roa, 2018; Vélez y Varela, 2012; Bryan *et al.*, 2010), apuntalan que esta articulación puede llegar a complementar el análisis de los SSE desde los propios actores locales, teniendo como resultados una amplia información de lo que ocurre con los nexos entre sistemas naturales y sociales. Esto es relevante no solo para caracterizar el SSE, si no para la comprensión entre el origen, perturbación e impacto, logrando dimensionar efectos sobre los componentes del SSE, por ejemplo, la degradación de la biodiversidad, la extracción de los recursos y su flujo, cambios en los modos de vida de la población, entre otros.

Por ello, para representar el estado actual de los componentes del SSE y sus cambios, es necesario la creación de indicadores que cuantifiquen la magnitud de las problemáticas ambientales y sus características, como por ejemplo las sustancias emitidas a la atmosfera, las descargas de aguas residuales urbanas e industriales y las tasas de cambio de usos de suelo, por mencionar algunas. No obstante, el estudio del SSE debe de incluir procesos participativos que permitan delimitar los elementos con relación a los aspectos significativos de las personas que viven en los territorios. Por ello los instrumentos como los diagnósticos ambientales enfocados en una perspectiva comunitaria, resultan ser un componente articulador para comprender las configuraciones territoriales y los procesos sociales-naturales que se presentan en los lugares donde se resiste a los embates de la contaminación, la ausencia del estado y los atropellos del capital, como la RTVM.

Estudios con este enfoque participativo (González, 2020; Sampedro *et al.*, 2014) tienen una perspectiva de análisis que ha permitido integrar narrativas sobre hechos históricos que han alterado el SSE, algunos desde un significado identitario debido a las propias

experiencias de vida de las personas y saberes comunitarios. En la región de estudio, la sistematización de estas experiencias y trabajo de rapport previo, permitieron involucrar a los actores locales en el diseño de la investigación, pues la demarcación de los componentes del SSE se elaboraron desde un enfoque comunitario que retoma las características que son consideradas clave para reconocer las problemáticas ambientales de la región.

La aplicación de cuatro ejercicios de DAC y CP, permitieron registrar e identificar elementos geográficos que comparten contigüidad con los territorios de la RTVM, como los ríos Tula y Salado, en donde se dan los principales procesos de contaminación del agua, además de infraestructura que conlleva impactos en las comunidades, como el T.E.O. que encausa en estos ríos, además en la presa Requena, Endhó y la PTAR. Los parques industriales son otro elemento que impacta en la contaminación del aire, pues las sustancias y olores emitidos a la atmosfera no solo se quedan en el origen, estos son trasladados por los vientos en un primer rango de afectación de 5 kilómetros de las instalaciones. Por otro lado, las zonas de extracción son un elemento que se presentan en diversos puntos del territorio, por lo que los polvos emitidos por esta actividad son una constante que se tiene desde principios del siglo XX, con la instalación de las primeras cementeras y caleras.

Ante estos procesos intensos de contaminación, la CP y el DAC son una herramienta para el empoderamiento comunitario que permite a los habitantes y actores locales generar información propia para exigir respuestas a las autoridades e instituciones encargadas de regular y normar los procesos de contaminación extrema y degradación del ambiente, esto se puede reafirmar con los casos latinoamericanos (Vélez *et al.*, 2012; Sampedro *et al.*, 2014; González-Pacheco *et al.*, 2019; González, 2020), pues su aplicación ha generado políticas públicas, monitoreos de recursos e incluso emancipación del Estado y empoderamiento por parte de las comunidades afectadas, para resolver los conflictos y escenarios futuros. Por otra parte, los diagnósticos ambientales poseen un componente articulador para comprender las propias configuraciones territoriales y procesos sociales-naturales.

Sin embargo, esta técnica de análisis es subestimada por su proceso lúdico y de comunicación, ya que los saberes locales pueden ser interpretados con diferentes narrativas y enfoques de análisis. A pesar de esto, el consenso colectivo es una forma de validación sobre la información, pues mientras que en los grupos focales pueden existir diversas

narrativas, la comunicación y discusión entre ellos es lo que permite consensar, delinear y categorizar los elementos de análisis del fenómeno.

Lo anterior, permite que a pesar de que se tengan diversas categorías de un solo fenómeno de análisis, estas pueden ser sintetizadas a través de los grupos de participantes, llegando a validar sus propias narrativas y recategorizar los elementos. Un ejemplo de esto es el caso de las problemáticas ambientales, ya que pueden analizarse desde la cuestión regional, y en este caso las problemáticas pueden ser simplificadas si se clasifican en los elementos donde se encuentran estas, como por ejemplo, agua, aire y suelo. De esta manera, las categorías que se generan en el DAC y CP se integran dentro de estas grandes clasificaciones.

Es por esto por lo que el uso de la CP para el análisis de las problemáticas ambientales tiene una aplicabilidad altamente viable para los grupos de investigación transdisciplinarios que buscan profundizar en la comprensión de las dinámicas socioterritoriales, pues una visión holística del fenómeno puede llegar a ser comprendida si se involucra a los actores y habitantes locales, pues son estos quienes conocen el territorio y tienen el poder de cambiar su realidad.

Los resultados de esta investigación corroboran un panorama de crisis ambiental en la RTVM vinculado principalmente a la industrialización y urbanización, sin una adecuada planeación y gestión de los recursos. Esta degradación se ha dado en las últimas cuatro décadas de manera intensa, generando cambios en la configuración territorial y afectando los ecosistemas. A esto se le suma el aumento de las enfermedades crónicas relacionadas a la exposición de diferentes fuentes contaminantes como: cementeras, caleras, parques industriales, basureros, plantas de tratamiento de aguas residuales, caudales que reciben las externalidades de centros urbanos: canales de riego de agua residual, uso intensivo de agrotóxicos en parcelas de riego y complejos alejados de la metrópoli, como la refinería Miguel Hidalgo y la termoeléctrica Francisco Pérez Ríos.

La respuesta actual del Estado y las agencias encargadas de intervenir en la región en materia ambiental y de salud, se han orientado en la formulación de propuestas que se han traslapado en el tiempo sin un avance concreto, como ocurre con las *declaratorias* de emergencia ambiental. Estas propuestas han quedado detenidas y, en su lugar, se optado por la ejecución de planes de *justicia ambiental* que contemplan la articulación de proyectos

nacionales prioritarios. Dichos proyectos terminan superponiéndose a la remediación de las problemáticas socioecológicas reales, desplazando los esfuerzos colectivos hacia ejercicios de participación orientados principalmente a la aprobación de estas iniciativas.

Por lo anterior, es importante que en esta nueva pauta de estudios socioterritoriales y propuestas de intervención se involucren este tipo de análisis, pues la perspectiva técnica debe de retroalimentarse previamente de una comprensión profunda de la realidad que se aborda. Desde una perspectiva comunitaria, siempre se busca contribuir al cambio de la realidad, es por ello por lo que las visiones colectivas deben ser consideradas en la construcción del conocimiento y en las propuestas de intervención, ya que esto es fundamental para tomar acción en la búsqueda de soluciones para mitigar la crisis socioecológica global en la que nos encontramos.

Conclusiones

A través de la cartografía participativa se pueden generar diversas aplicaciones para profundizar sobre los temas que involucran los análisis de las problemáticas ambientales, como las afectaciones que se presentan en las poblaciones y territorios de las zonas de sacrificio, además de las disrupciones generadas por procesos antropogénicos en los SSE. Con la finalidad de formular una propuesta propia para el análisis de las problemáticas, la investigación incorporo una revisión de estudios e investigaciones previas en los tópicos de los SSE y cartografía participativa. Esta revisión, permitió identificar fundamentos teóricos, metodológicos y categorías de análisis empleadas en diversos casos de estudio en el contexto global, latinoamericano y nacional, los cuales sirvieron como base para delimitar la propuesta desarrollada en esta investigación.

Respecto a las causas principales de estas problemáticas ambientales en los municipios de la Región Tula del Valle del Mezquital, la investigación plantea tres dimensiones de análisis que permiten identificar cuáles son estas fuentes.

En agua, se relacionan las descargas de cuatro líneas de conducción hacia la región como principales causas de los momentos críticos que han modificado el SSE de la región con emergencias sanitarias en la presa Endhó y Requena, inundaciones, desplazamiento de especies y pérdida barreras naturales en la ribera del río Tula. A esto se le suma el estrés hídrico por el aumento de proyectos de vivienda en la región como Real de Castilla y la ciudad Bicentenario la Toscana, además de la infraestructura proyectada en el Plan Nacional Hídrico (PNH) como la red de pozos de Actopan-Ajacuba (123 pozos) y de Tequixquiac (19), así como la potabilizadora el Mezquital y la línea de conducción Actopan-Valle de Chalco.

En aire, se relacionan las emisiones de las diferentes actividades industriales, mineras, agropecuarias e incluso elementos hídricos que se suman a este rubro, como los olores de los canales de riego que atraviesan la RTVM, los ríos Tula y Salado, así como las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) regionales y paraestatales. De estas fuentes, las principales actividades percibidas son de la minería a cielo abierto y de la industria petroquímica, la primera generando polvos en el proceso de extracción que se visualizan a dos kilómetros de la fuente y a tres de municipio, y la segunda con el humo de los procesos

de la refinera y la termoeléctrica visibles percibidos hasta a cinco kilómetros y visibles a diez.

En suelo, se relacionan los cambios de sus usos, los proyectos industriales, energéticos y de vivienda, además de la gestión de residuos y extracción como principales causas de modificación del SSE. Los primeros obedecen a configuraciones estructurales en el territorio que se relacionan con el predominio de actividades, en este caso de las industriales que conducen al crecimiento de los parques dedicados a este rubro junto con modificaciones en los aprovechamientos de recursos y suelo. A esto se le suma, el crecimiento urbano como una causa de la atracción de polos de inversión por los consorcios privados, teniendo ciudades dormitorio para los trabajadores y proyectos de vivienda que se implementan en las periferias.

Si bien el análisis por dimensiones abarca los elementos por separado para desagregar los componentes, los procesos están vinculados al mismo SSE. Esto establece una relación con los elementos geográficos, poblaciones, territorio y recursos que conforman la región, pues en conjunto están vinculados con los procesos externos de una metrópoli extendida como la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), además poseen procesos internos en la RTVM iniciados por una configuración extractiva de lucro nacional y privado, causantes de originar problemáticas ambientales en la región.

Por otra parte, la investigación aportó elementos teórico conceptuales sobre el SSE, que al partir de un enfoque comunitario basado en la IAP, posibilitó la cocreación colectiva de dimensiones de análisis de elementos significativos para examinar las problemáticas ambientales. Al mismo tiempo, la cartografía participativa permitió delinear componentes del SSE vinculados con las problemáticas ambientales, así como características que se presentan en las zonas de sacrificio.

Estos aportes contribuyen a los estudios sobre socioterritoriales sobre problemáticas ambientales, zonas de sacrificio y los SSE, los cuales desde un marco de análisis enfocado al diagnóstico ambiental comunitario, permiten implementar técnicas combinadas como la cartografía participativa, diagnósticos ambientales, matrices de registro documental y cartografía técnica. Por ello, es importante mencionar que esta metodología se puede utilizar en otras zonas con características sociales y ambientales similares.

Las estrategias metodológicas para profundizar sobre las problemáticas ambientales e implementación de técnicas de trabajo transdisciplinario comunitario, que si bien pueden ser amplios en su ejecución, tienen un componente de transformación y empoderamiento social para el mejoramiento de las condiciones de la realidad. Para representar el estado actual de los componentes del SSE, es necesario incluir procesos participativos que permitan delimitar los elementos con relación a los aspectos significativos de las personas que viven en los territorios. Es por esto por lo que los diagnósticos ambientales, encaminados en una perspectiva comunitaria, resultan ser un componente articulador para comprender sobre las configuraciones territoriales, procesos sociales-naturales, que se presentan en los lugares donde se resiste a los embates de la contaminación, la ausencia del estado y los atropellos del capital.

Dicho esto, la complementariedad entre disciplinas puede generar estudios que logran ampliar el panorama de las problemáticas ambientales, lo que permite analizar nociones como el sufrimiento ambiental y las zonas de sacrificio. Esto involucra una coparticipación con las personas que viven en estos territorios, además de la formulación de estrategias dirigidas a extender sus propios conocimientos sobre la situación ambiental, en algunos casos para tomar acción hacia la denuncia de las problemáticas, además de su participación significativa en la integración de políticas públicas.

A partir de los hallazgos de la investigación, se afirma que se cumplió con el objetivo planteado y la hipótesis establecida, puesto que se identificaron las principales problemáticas ambientales vigentes con relación a las tres dimensiones de disrupción en el SSE (agua, aire y suelo), así como la identificación de patrones e incidencias en la configuración actual del SSE y la zona de sacrificio.

De esta forma, el estudio demuestra que las estrategias metodológicas para el análisis de las problemáticas ambientales pueden articularse con marcos que vinculen nociones teóricas como los SSE y las perspectivas de análisis participativas aplicados al diagnóstico ambiental, lo que posibilita crear *cartografías*¹⁵ de los territorios devastados por actividades intensivas que se encuentran en las zonas de sacrificio, además de identificar las problemáticas que generan la crisis socioambiental.

¹⁵ Hace referencia al proceso de crear cartografías sociales con métodos no tradicionales (técnicos), como por ejemplo la representación de manera lúdica de la información sobre un mapa base o rotafolio en blanco.

Se recomienda complementar los estudios de las problemáticas ambientales con enfoques de análisis que integren a la ecología política, epidemiología, geografía histórica y del paisaje, así como diagnósticos de seguridad hídrica (SH) y de Monitoreo de Biodiversidad Comunitaria (MBC). Estos encuadres son clave para generar propuestas orientadas a reducir la degradación ambiental y promover una transición justa, siendo relevante debido a que la RTVM se encuentra en un punto de transformación, marcado por sus distintas disrupciones ecosistémicas que han fragmentado de una manera grave los sistemas naturales y sociales.

Referencias

- Adams H., Adger W.N., Ahmad S., Ahmed A., Begum D., Matthews Z., Rahman M.M., Nilsen K., Gurney G.G. y Streatfield P.K. (2020). Multidimensional well-being associated with economic dependence on ecosystem services in deltaic social-ecological systems of Bangladesh. *Reg Environ Chang*, 20(2), 42. <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01620-x>
- Allan, A., Barbour, E., Nicholls, R. J., Hutton, C., Lim, M., Salehin, M., y Rahman, Md. M. (2022). Developing socio-ecological scenarios: A participatory process for engaging stakeholders. *Science of The Total Environment*, 807, 150512. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150512>
- Alberich N., T. (2008). IAP, redes y mapas sociales: desde la investigación a la intervención social. *Portularia*, 8 (1), 131-151. <http://hdl.handle.net/10272/2178>
- Alvarez Orozco, S.E. (2017). *Migración y desplazamiento forzado interno por desastres industriales a la luz de la seguridad humana: Corredor industrial Tula-Vito Apaxco*. [Tesis Doctoral, Universidad Autónoma Metropolitana]. <http://ilitia.cua.uam.mx:8080/jspui/handle/123456789/256>
- Andrade, H. y Santamaría, G. (1997). Cartografía Social para la planeación participativa. En: Memorias del Curso: Participación Comunitaria y Medio Ambiente. Proyecto de capacitación para profesiones del Sector Ambiental. *Ministerio del Medio Ambiente e Instituto Colombiano para la Evaluación de la Educación (ICFES)*.
- Andrade, H. (2001). La cartografía social para la planeación participativa: experiencias de planeación con grupos étnicos en Colombia. *Universidad del Valle*. http://beu.extension.unicen.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/123456789/354/Andrade_CARTOGRAFIA_SOCIAL_PARTICIPATIVA.pdf
- Arias-Arévalo, P., Gómez-Baggethun, E., Martín-López, B. y Pérez-Rincón, M. (2018). Widening the evaluative space for ecosystem services: A taxonomy of plural values and valuation methods. *Environmental Values*, 27(1), 29-53. <https://doi.org/10.3197/096327118X15144698637513>
- Arias-Arévalo, P., y Pacheco-Valdés, N. (2023). Implementación de pagos por servicios ambientales en la Cuenca del río Cali, Colombia: una mirada desde los sistemas

- socioecológicos. *Revista De Economía E Sociología Rural*, 61(2).
<https://doi.org/10.1590/1806-9479.2021.256251>
- Aristóteles. (1949). *Analytica Priora*. Ross.
- Arribas-García, M., Aránguez Gilarranz, J., Ordoñez Iriarte, J.M. y Aránguez Ruiz, E. (2012). Salud y Territorio. Aplicaciones prácticas de los Sistemas de Información Geográfica para la Salud Ambiental. *Sociedad Española de Sanidad Ambiental*, 2. https://salud-ambiental.com/wp-content/uploads/2012/10/LIBRO_SESA_21.pdf
- Astudillo Pizarro, F. S., Sandoval Díaz, J., y Bravo Ferretti, C. (2024). Zonas de sacrificio en Chile. *Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, 28(2). <https://doi.org/10.1344/sn2024.28.41966>
- Balbi S., Alvarez-Rodriguez U., Latora V., Antonioni, A. y Villa F. (2020). A game theory model to explore the role of cooperation and diversity in community food security: the case of Southern Malawi. *Reg Environ Chang*, 20(2), 63. <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01642-5>
- Balvanera, P. y Cotler, H. (2007). Acercamientos al estudio de los servicios ecosistémicos. *Gaceta Ecológica*, (84-85), 8-15.
- Balvanera, P., Uriarte, M., Almeida-Leñero, L., Altesor, A., DeClerck, F., Gardner, T... Vallejos, M. (2012). Ecosystem services research in Latin America: The state of the art. *Ecosystem Services*, 2, 56-70. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.09.006>
- Balcazar, F. E., (2003). Investigación acción participativa (IAP): Aspectos conceptuales y dificultades de implementación. *Fundamentos en Humanidades*, 4 (7-8), 59-77.
- Barbrook-Johnson, P., y Penn, A. S. (2021). Participatory systems mapping for complex energy policy evaluation. *Evaluation*, 27(1), 57-79. <https://doi.org/10.1177/1356389020976153>
- Barragán, D. F. y Amador, J. C. (2014). La cartografía social-pedagógica: Una oportunidad para producir conocimiento y repensar la educación. *Itinerario Educativo*. 28 (64), 127-141. <https://doi.org/10.21500/01212753.1422>
- Barragán, D.F. (2016). Cartografía social pedagógica: entre teoría y metodología. *Revista Colombiana de Educación*. (70), 247-285. <https://doi.org/10.17227/01203916.70rce247.285>

- Barreda, A. (2020). Toxitour México: Un registro geográfico de la devastación socioambiental. *Diálogos Ambientales*, 35-40. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/538900/13_ToxitourD.pdf
- Batisani, N., y Yarnal, B. (2009). Urban expansion in Centre Country, Pennsylvania: Spatial dynamics and landscape transformations. *Applied Geography*, 29(2), 235-249. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2008.08.007>
- Bertalanffy, L.von. (1987). *Teoría general de sistemas*. Herder.
- Betancurth Loaiza, D.P., Vélez Álvarez, C. y Sánchez Palacio, N. (2020). Cartografía social: construyendo territorio a partir de los activos comunitarios en salud. *Entramado*. 16 (1), 138-151. <http://dx.doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.1.6081>
- Buckley, W. (1968). Society as a complex adaptive system. *Modern Systems Research for the Behavioral Scientist*. Aldine Publishing Company. 490–513.
- Bjørn-Sletto, J.B., Wagner, A. y Hale, C. (2020). Radical Cartographies: Participatory Mapmaking from Latin America. *University of Texas Press*, 1. <https://doi.org/10.1111/jlca.12553>
- Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I., y Wisner, B. (1994). *At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability, and Disasters*. Routledge.
- Botero, P. (2012). Investigación y acción colectiva "IAC". Una experiencia de investigación militante. *Utopía y Praxis Latinoamericana*, 17(57), 31-47.
- Bourgoin, J. (2012). Sharpening the understanding of socio-ecological landscapes in participatory land-use planning. A case study in Lao PDR. *Applied Geography*, 34, 99-110. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.11.003>
- Boyd, J. y Banzhaf, S. (2007). What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units. *Ecological Economics*, 63(2-3), 616-626. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.01.002>
- Bravo, E. (2021). Zonas de sacrificio en América Latina. Vulneración de derechos humanos y de la naturaleza. *Action Solidarité Tiers Monde (ASTM), Fundación Pro Defensa de la Naturaleza y sus Derechos (Naturaleza con derechos) y Acción Ecológica (Ecuador)*. <https://bit.ly/4b2IsvD>

- Bravo, E. (2023). No más zonas de sacrificio. Investigaciones comunitarias sobre derechos de la naturaleza. *Action Solidarité Tiers Monde (ASTM), ...y Eusko Jaurlaritza (Gobierno Vasco)*. (5). <https://bit.ly/3wj2tyE>
- Braceras, I. (2012). *Cartografía participativa: herramienta de empoderamiento y participación por el derecho al territorio*. [Trabajo Fin de Máster, Universidad de País Vasco]. <https://publicaciones.hegoa.ehu.es/es/publications/461>
- Bryan, B. A., Raymond, C. M., Crossman, N. D., y Macdonald, D. H. (2010). Targeting the management of ecosystem services based on social values: Where, what, and how? *Landscape And Urban Planning*, 97 (2), 111-122. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.05.002>
- Caballero, J., Toledo, V., Argueta, A., Aguirre, E., Rojas, P. y Viccon, J. (1978). Estudio botánico y ecológico de la región del río Uxpanapa, Veracruz. *Biótica*, 3 (8), 103–144.
- Camacho-Valdez, V. y Ruiz-Luna, A. (2012). Marco conceptual y clasificación de los servicios ecosistémicos. *Revista Bio Ciencias*, 1(4). <https://doi.org/10.15741/revbio.01.04.02>
- Cámara Nacional del Cemento [CANACEM]. (s.f.). Plantas y ubicaciones. <https://canacem.org.mx/>
- Castán-Broto, V. y Sanzana-Calvet, M. (2020). Zonas de sacrificio y construcción de paisajes energéticos urbanos en Concepción, Chile. *Revista de Ecología Política*, 27 (1). 279-299. <https://doi.org/10.2458/v27i1.23059>
- Carrasco-Gallegos, B.V., Montenegro Martínez, A.R., Martínez Jiménez, E., Villar Nieto, C., Mártir Mendoza, J.A., Lara Ponce, E., Cazares Aboytes, P., Morales Sierra, J.E., Vargas Juvera, J.T., Muñoz Dorado, C.L., Mina Ramos, A., Loba Noriega, Y., Martínez Salomón, E., Cong Hermida, M., Santana Verduzco, J.L., Gutiérrez Cedillo, J.G., Morales Méndez, C.C., Antonio Nemiga, X., Balderas Plata, M.A., Alonso Serna, L., Olmos Bolaños, R.A., Flores Cruz, R., Cerrillo Garnica, O., Mendonça, C., y Sebastiano De Melo, T. (2017a). Respuestas comunitarias ante conflictos territoriales. Casos de estudio en México y Latinoamérica. *Universidad Autónoma del Estado de México*, 1. México.

- Carrasco-Gallegos, B.V. (2017b). Participación ciudadana por la defensa del territorio y la salud; Movimientos sociales urbanos en contra de la industria cementera: México y España. *Proyección*, 22 (11). <https://bdigital.uncu.edu.ar/12598>.
- Carrasco, B., Anaya, A., Cadena, E., Campos, J., Calderón, A., Esteller, M.V., Estrada, Y., Expósito, J.L., García, E., Hernández, O., Hernández, R., Hernández, I., Hinojosa, R., Juárez, L., Lara, M., Martínez R., y Paredes, J. (2021). Diseño de una metodología para el monitoreo de toxicidad por contaminación industrial y urbana, como herramienta de empoderamiento social. REA norte del Estado de México y Zona Tula, Hidalgo. Informe Técnico de Proyecto 309113, CONACyT.
- Cerón Hernández, V. A., Fernández Vargas, G., Figueroa, A., y Restrepo, I. (2019). El Enfoque De Sistemas Socioecológicos en Las Ciencias Ambientales. *Investigación y Desarrollo*, 27(2), 85–109. <https://doi.org/10.14482/indes.27.2.301>
- Challenger, A., Bocco, G., Equihua, M., Chavero, E. L. y Maass, M. (2014). La aplicación del concepto del sistema socio-ecológico: alcances, posibilidades y limitaciones en la gestión ambiental de México. *Investigación Ambiental, Ciencia y Política Pública*, 6, 1–21.
- Challenger, A. (2016). La aplicación del enfoque ecosistémico en la política ecológica: bases conceptuales para una gestión ambiental fundamentada en el manejo sustentable de socio-ecosistemas en México. [Tesis Doctoral, Universidad Nacional Autónoma de México]. <https://hdl.handle.net/20.500.14330/TES01000745889>
- Chambers, R. (1994). Participatory rural appraisal (PRA): Analysis of experience. *World Development*, 22 (9), 1253-1268. [https://doi.org/10.1016/0305-750X\(94\)90003-5](https://doi.org/10.1016/0305-750X(94)90003-5)
- Chambers, R. (2006). El mapeo participativo y los sistemas de información geográfica: ¿De quién son los mapas? ¿Quién se empodera y quién se desempodera? ¿Quién gana y quién pierde?. *The Electronic Journal on Information Systems in Developing Countries (EJISDC)*, 25 (2), 1-12.
- Chan, K. M. A., Satterfield, T., y Goldstein, J. (2012). Rethinking ecosystem services to better address and navigate cultural values. *Ecological Economics*, 74, 8-18. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.11.011>

- Comisión Ambiental de la Megalópolis [CAME]. (2020). Calidad del Aire en la Cuenca Atmosférica de Tula. *Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales*. <https://bit.ly/3XoegFp>
- Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (2015). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Costa de Hermosillo (2619), Estado de Sonora. *CONAGUA*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/104312/DR_2619.pdf
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO]. (2019). *Índice de sustentabilidad de capital natural (ISCN)*. <http://geoportal.conabio.gob.mx/#!1=iscngw>
- Conant, J. y Fadem, P. (2011). *Guía comunitaria para la salud ambiental*. Hesperian.
- Costanza, R., De Groot, R., Braat, L., Kubiszewski, I., Fioramonti, L., Sutton, P. C., Färber, S., y Grasso, M. (2017). Twenty years of ecosystem services: How far have we come and how far do we still need to go?. *Ecosystem Services*, 28, 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.09.008>
- Cowen, D. (1990). *Unit 1 - What is GIS?* En M. F. Goodchild & K. K. Kemp (Eds.), *NCGIA Core Curriculum in GIS*. <https://escholarship.org/uc/item/71p6229c>
- Cruz, C. M. E., Delgado C., J.A. y Muñoz, M. V. (2000). *Observaciones oceanográficas en la laguna el Tobari, Sonora*. En *Resúmenes del XII Congreso Nacional de Oceanografía* (22 al 26 de mayo, Huatulco, Oaxaca, México).
- Cruz-Jiménez, O. (2011). *La Nave de Molinos de la Antigua Planta de Cementos "La Tolteca" Proyecto de reutilización CEMEX G.R.E.E.N.* [Tesis para obtener el grado de Maestro en Arquitectura, Universidad Autónoma Metropolitana]. <https://repositorio.xoc.uam.mx/jspui/handle/123456789/26636>
- Cumming, G. S. (2011). Spatial resilience in social-ecological systems. *Springer*. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-0307-0>
- Daltabuit, M. C., Licón, L., Lozano, L. y Ricco, A. (1988). Ecología humana en una comunidad de Morelos. *Universidad Nacional Autónoma de México*.
- Davis, M. (2003). *Dead Cities: And Other Tales*. *New Press*.
- Davis, M. (1993). The Dead West: Ecocide in Marlboro Country. *New Left Review*, 1(200), 1-20.

- De Bruyn, B. (2023). Introducción: más allá de la zona de sacrificio. *Textual Practice*, 37 (10), 1475–1498. <https://doi.org/10.1080/0950236X.2023.2264675>
- De la Peña Consuegra, G., y Velázquez Ávila, R. M. (2018). Algunas reflexiones sobre la teoría general de sistemas y el enfoque sistémico en las investigaciones científicas. *Revista Cubana de Educación Superior*, 37 (2), 31-44. <https://revistas.uh.cu/rces/article/view/3074>
- De La Torre V., H. C., y Moreno V., J. L. (2019). Resiliencia del Sistema Socio-Ecológico en la región subcuenca baja Río Sonora. Estudios Sociales. *Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 29(53). <https://doi.org/10.24836/es.v29i53.698>
- Díaz-Álvarez, C.J. (2014). Metabolismo urbano: herramienta para la sustentabilidad de las ciudades. *Interdisciplina*, 2(2), 51-70. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485705e.2014.2.46524>
- Diez Tetamanti, J. M., Escudero, H. B., Rocha, E., Vázquez, A. D., Chanampa, M. E., et al. (2014). *Hacia una geografía comunitaria: abordajes desde cartografía social y sistemas de información geográfica*. Universidad Nacional de la Patagonia "San Juan Bosco". <http://hdl.handle.net/11336/187320>
- Dredge, D. (1995). Sustainable rapid urban expansion: The case of Xalapa, México. *Habitat International*, 19(3), 317-329. [https://doi.org/10.1016/0197-3975\(94\)00077-F](https://doi.org/10.1016/0197-3975(94)00077-F)
- Donoso, M. (2017). In México: Time to end ‘sacrifice zones’. Zero Waste Europe. <https://zerowasteurope.eu/2017/12/in-México-time-to-end-sacrifice-zones/>
- Durand, L., Figueroa, F., y Guzmán, M. (2015). La naturaleza en contexto: Hacia una ecología política. *Universidad Nacional Autónoma de México*. <http://www.librosoa.unam.mx/handle/123456789/1777>
- El Colegio de Sonora [COLSON]. (s.f.). Observatorio Río Sonora. <https://www.colson.edu.mx/>
- Environmental Justice Atlas [EJ Atlas]. (s.f.). Atlas de Justicia Ambiental. Instituto de Ciencia y Tecnología Ambientales (ICTA) de la Universidad Autónoma de Barcelona. España.
- Esri Ecuador. (2021). ¿Que son los SIG? Un marco para organizar, comunicar y comprender la ciencia de nuestro mundo. <https://www.esri.co/es-ec/nosotros/sobre-esri/que-son-los-sig>

- Evans, K. y Guariguata, M. (2008). Monitoreo Participativo para el Manejo Forestal en el Tropico: Una Revisión de Herramientas, Conceptos y Lecciones Aprendidas. *Centro para la Investigación Forestal Internacional* (CIFOR). <https://doi.org/10.17528/cifor/002525>
- Faber, D. (2008). Capitalizing on Environmental Justice: The Polluter-Industrial Complex in the Age of Globalization. *Rowman & Littlefield*.
- Farhad, S. (2012). Los sistemas socio-ecológicos. Una aproximación conceptual y metodológica. *Universidad Pablo de Olavide*, XIII Jornadas de economía crítica. 265-280.
- Fernández, M.E., Ávila, A.P. y Taylor, H.L. (2011). SIG-P y Experiencias de Cartografía Social en la ciudad de Bogotá (COLOMBIA). *Universidad Nacional de Colombia*.
- Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola [FIDA]. (2009). Buenas prácticas en cartografía participativa.
- Fondo de Población de Naciones Unidas [UNFPA]. (2007). Ciudad, espacio y población: el proceso de urbanización en Colombia. Bogotá, *Universidad Externado de Colombia*.
- Gain, A. K., Giupponi, C., Renaud, F. G., y Vafeidis, A. T. (2020). Sustainability of complex social-ecological systems: methods, tools, and approaches. *Regional Environmental Change*, 20(3). <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01692-9>
- Ganter, R., Sandoval, D., García, D. y De la Fuente, H. (2015). Topofilia y cartografías participativas en el sur de Chile. La experiencia comparada en las ciudades de Temuco Padre las Casas, Valdivia y el Gran Concepción. *Prisma Social*. 15, 440-491. https://www.isdfundacion.org/publicaciones/revista/numeros/15/secciones/abierta/a_01_topofilia-cartografias.html
- Gallopín, G. (2006). Los indicadores de desarrollo sostenible: Aspectos conceptuales y metodológicos [Ponencia]. En Seminario de expertos sobre indicadores de sostenibilidad en la formulación y seguimiento de políticas, 4–6 de octubre de 2006, Santiago, Chile. Memorias. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). https://archivo.cepal.org/pdfs/ebooks/gallopín_ids.pdf
- Gell-Mann, M. (1994). The Quark and the Jaguar: Adventures in the Simple and the Complex. *W.H. Freeman*. <https://doi.org/10.1063/1.2808634>
- Geocomunes. (s/f, -a). Mapas estáticos (en formato imagen). <http://geocomunes.org/>

- Geocomunes. (s/f, -b). Visualizadores: Península de Yucatán. <https://geocomunes.org/Visualizadores/PeninsulaYucatan/>
- Giesen, E. (2012). Incineración de residuos en hornos de cemento. *Coordinación latinoamericana GAIA*.
- González, C. A. (2020). Cartografía social y planeación territorial en Robles, Colombia. En J. B. Bjørn-Sletto, A. Wagner, & C. Hale (Eds.), *Radical cartographies: Participatory mapmaking from Latin America* (pp. 129–142). University of Texas Press.
- González-Pacheco, M., Santos, R., Tapia Tosetti, A., y Passos de Oliveira, L. (2019). Participatory mapping as an analysis tool for spaces affected by natural phenomena in agricultural areas, Atacama. *Mercator*, 18. <https://doi.org/10.4215/rm2019.e18016>
- Gowdy, J. y Erickson, J. (2005). Ecological economics at a crossroads. *Ecological Economics*, 53(1), 17-20. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.01.010>
- Greenwood, D. J. (2007). Pragmatic Action Research. *International Journal of Action Research*, 3, 131-148. <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssoar-412899>
- Grimm, N. B., Grove, J. M., Pickett, S. T. A., & Redman, C. L. (2000). Integrated approaches to long-term studies of urban ecological systems. *BioScience*, 50(7), 571–584. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2000\)050\[0571:IATLTO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2000)050[0571:IATLTO]2.0.CO;2)
- Gunderson, L. H. y Holling C. S. (2002). Panarchy: Understanding Transformations in Human and Natural Systems. *Island Press*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63768-0.00695-8>
- Harvey, D. (1996). Justice, nature and the geography of difference. *Blackwell Publishers*.
- Hernández, A. J., Urcelay, A. y Pastor Piñeiro, J. (2002). Evaluación de la resiliencia en ecosistemas terrestres degradados encaminada a la restauración ecológica. En II Reunión Española de Ciencia de Sistemas (RECS II), 2002 (pp. 1–8). Universidad de Valencia. <http://hdl.handle.net/10261/53881>
- Hossain M.S., Ramirez J., Szabo S., Eigenbrod F., Johnson F.A., Speranza C.I., Dearing J.A. (2020) Participatory modelling for conceptualizing social-ecological system dynamics in the Bangladesh delta. *Reg Environ Chang*, 20(1), 28. <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01599-5>
- Holland, J.H. (2006). Studying Complex Adaptive Systems. *Journal of Systems Science and Complexity*, 19 (1), 1–8. <https://doi.org/10.1007/s11424-006-0001-z>

- Holland, J. H. (1992). *Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence*. *The MIT Press*. <https://doi.org/10.7551/mitpress/1090.001.0001>
- Holling, C.S. (2001). Understanding the Complexity of Economic, Ecological and Social Systems. *Ecosystems*, 4 (5), 390–405. <https://doi.org/10.1007/s10021-001-0101-5>
- Ingold, T., (1980). *Hunters, pastoralists and ranchers: reindeer economies and their transformations*. *Cambridge University Press*. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511558047>
- Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal [INAFED]. (2010). *Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México*.
- Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud [ISTAS]. 2002. Posibles afecciones y riesgos ambientales derivados de las emisiones procedentes de los hornos cementeros. *ISTAS*.
- Jiménez-Jiménez, V., Ortega-Argueta, A., Tejeda-Cruz, C., y Monzón-Alvarado, C. (2022). Gestión adaptativa en sistemas socioecológicos: Un estudio de caso de las palmas camedor (*Chamaedorea quezalteca*) en la Reserva de la Biosfera La Sepultura, Chiapas, México. *Revista de Ciencias Ambientales*, 56(2), 81-103. <https://dx.doi.org/10.15359/rca.56/2.5>
- Johnsen, K. I., Westerveld, L., Persson, A.M., Stenberg, J., y Juntti, K.J. (2024). Participatory topological mapping: A novel approach for exploring and communicating situated knowledge of complex socio-ecological systems. *Methodological Innovations*, 17(4), 215-228. <https://doi.org/10.1177/20597991241287113>
- Karimi, A., y Raymond, C. M. (2022). Assessing the diversity and evenness of ecosystem services as perceived by residents using participatory mapping. *Applied Geography*, 138, 102624. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2021.102624>
- Koschke, L., Lorz, C., Fürst, C., Lehmann, T., y Makeschin, F. (2014). Assessing hydrological and provisioning ecosystem services in a case study in Western Central Brazil. *Ecological Processes*, 3(1), 2. <https://doi.org/10.1186/2192-1709-3-2>
- Lamberti, María Julieta (2018), Derrame de 40 millones de litros de solución de cobre acidulado a los ríos Bacánuchi y Sonora provenientes de las instalaciones de la mina Buenavista del Cobre, S.A. de C.V., Subsidiaria de Grupo México. [Informe para el Relator Especial sobre las obligaciones de derechos humanos relacionadas con la

- gestión y eliminación ecológicamente racionales de las sustancias y los desechos peligrosos]. Comités Cuenca Río Sonora (CCRS) y ProjectPODER. <https://poderlatam.org/wp-content/uploads/2020/01/informepararelator-DT.pdf>
- Lambin, É. F., Turner, B. L., Geist, H., Agbola, S. B., Angelsen, A., Bruce, J. W., Coomes, O. T., Dirzo, R., Fischer, G., Folke, C., George, P., Homewood, K., Imbernon, J., Leemans, R., Li, X., Morán, E. F., Mortimore, M., Ramakrishnan, P. S., Richards, J. F., . . . Xu, J. (2001). The causes of land-use and land-cover change: Moving beyond the myths. *Global Environmental Change*, 11(4), 261-269. [https://doi.org/10.1016/s0959-3780\(01\)00007-3](https://doi.org/10.1016/s0959-3780(01)00007-3)
- Lampis, A. (2013). Ciudades Intermedias, Dinámicas Sociales y Ordenamiento del Territorio en Colombia: Retos y Reflexiones. *Cuadernos de Vivienda y Urbanismo*, 247. <http://revistas.javeriana.edu.co/index.php/cvyu/article/view/7065>
- Larrazábal, A., L. F. Gopar-Merino y A. Vieyra. (2014). Expansión Urbana y fragmentación de la cubierta del suelo en el periurbano de Morelia. En A. Larrazábal & A. Vieyra (Eds.), *Urbanización, sociedad y ambiente. Experiencias en ciudades medias*. 89-120. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. <https://doi.org/10.22201/ciga.9786070244032p.2014>
- Latour, B. (2014). Algunas ventajas de la noción de “zona crítica” para la geopolítica. *Procedia Earth and Planetary Science*, (10) 3-6.
- Ledwith, M. (2011). Community development (second edition): A critical approach (REV- Revised, 2). *Bristol University Press*. <https://doi.org/10.2307/j.ctt1t892fd>
- Lerner, S. (2010). Sacrifice Zones: The Front Lines of Toxic Chemical Exposure in the United States. *The MIT Press*. <http://www.jstor.org/stable/j.ctt5hhkv7>
- Laboratorio de Investigación en Desarrollo Comunitario y Sustentabilidad [LIDECS]. (2016). Diagnóstico ambiental comunitario de los municipios de Atitalaquia, Atotonilco de Tula y Apaxco.
- Leoncio-Antole, M., Hernández-Heredia, R., y del Toro-Bergondo, L. (2016). El Mapa Verde como una vía para el desarrollo de la educación ambiental. *EduSol*, 16(57), 30-39.

- Little, P.C. (2017). On the micropolitics and edges of survival in a technocapital sacrifice zone. *Capitalism Nature Socialism*, 28(4).
<https://doi.org/10.1080/10455752.2016.1257037>
- Lopes de Souza, M. (2020). ‘Sacrifice zone’: The environment–territory–place of disposable lives. *Community Development Journal*, 56 (2), 220–243.
<https://doi.org/10.1093/cdj/bsaa042>
- Luhmann, N. (1998). Sistemas sociales. Lineamientos para una teoría general. *Anthropos*, Universidad Iberoamericana, Pontificia Universidad Javeriana.
- Lundy, L., y Wade, R. (2011). Integrating Sciences to sustain Urban Ecosystem Services. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 35(5), 653–669.
<https://doi.org/10.1177/0309133311422464>
- Maass, M. (2019). Los sistemas socio-ecológicos (SSE) desde el enfoque socioecosistémico (SES). En V. S. Ávila Foucat y M. Perevochtchikova (Eds.), *Sistemas socio-ecológicos: Marcos analíticos y estudios de caso en Oaxaca, México*. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Económicas.
<https://doi.org/10.22201/iiec.001b.2022>
- McCall, M.K. y Álvarez Larrain, A. (2020). *Mapeando con la Gente: Buenas prácticas en cartografía participativa, lineamientos y aplicación*. Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Morelia.
- McCauley, D. J. (2006). Selling out on nature. *Nature*, 443(7107), 27-28.
<http://doi.org/10.1038/443027>
- McGinnis, M.D. y Ostrom, E. (2014). Social–ecological system framework: Initial changes and continuing challenges. *Ecology and Society*, 19(2), 30.
<http://dx.doi.org/10.5751/ES-06387-190230>
- Martínez-Alier, J. (2004). El ecologismo de los pobres. Conflictos ambientales y lenguajes de valoración. *Edward Ekgar*.
- Martínez-Jiménez, E. (2018). *Visualizador web de la incidencia de cáncer en el Valle del Mezquital, México y su relación con la contaminación de industrias cementeras*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de México].
<http://hdl.handle.net/20.500.11799/98853>

- Martínez-Rico, R. (2018). *Análisis espacial de la criminalización hacia los activistas ambientales en México*. [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma del Estado de México]. Repositorio Institucional - Universidad Autónoma del Estado de México.
- Maya-Rivera, J. (2022). *Conflictos ambientales en sistemas socio-ecológicos. Los dilemas de la gobernanza y la participación comunitaria en la gestión del recurso hídrico en las microcuencas Motilón y Carrizo, Laguna de la Cocha. Nariño*. [Tesis de Maestría, Pontificia Universidad Javeriana]. <https://doi.org/10.11144/javeriana.10554.43214>
- Meza, I.A. (2022, 19 de mayo). Nace el observatorio de Emergencias Socio-Ecológicas. *Libera Radio*. <https://liberaradio.com/nace-el-observatorio-de-emergencias-socio-ecologicas/>
- Millennium Ecosystem Assessment [MEA]. (2005). Evaluación de los ecosistemas del milenio. *Millennium Ecosystem Assessment*. <https://www.millenniumassessment.org/es/About.html>
- Moreno R., M.E. (2019). Teoría de sistemas sociales e historia: un acercamiento interdisciplinario para la investigación científica. *Relaciones. Estudios de historia y sociedad*, 40(159), 171-192. <https://doi.org/10.24901/rehs.v40i159.425>
- Montenegro Martínez, M. (2014). La investigación acción participativa. Psicología comunitaria y bienestar social. *Fundación para la Universitat Oberta de Catalunya*. <https://openaccess.uoc.edu/server/api/core/bitstreams/2bf4d9f3-31ad-4314-b082-6352fdb0d61e/content>
- Montes Gallego, C. A., Jaimes Parada, Y. P., Ayala Nieto, Á. P., Rodríguez Brito, Y., Llanos Redondo, A., Ascanio, J., Blanco, K. P., Villa, F., Hincapie, P. A., Mejía, S., Pérez, K., Torres, A. P., Portilla Portilla, E. M., Soto Cespedes, J. C., & Rivera Capacho, E. E. (2015). Determinantes sociales en salud: Construcción de conocimiento a través de la cartografía social. *Signos Fónicos*, 1(3), 1-74. <https://doi.org/10.24054/01204211.v3.n3.2015.1888>
- Montero, M. (1982). La psicología comunitaria: orígenes, principios y fundamentos teóricos. *Boletín de la AVEPSO*, 5 (1), 15-22.
- Montero, M. (1984). Ideología, alienación e identidad nacional. EBUC.
- Muñoz-Gual, R. (2008). El diagnóstico participativo. *Editorial Universidad Estatal a Distancia* (EUNED).

- Muñoz, V. M. X. B. (2021). Territorios de sacrificio. Un dispositivo biopolítico de control para la apropiación y degradación de la vida en México. *Ecología Política*, 61, 62–66. <https://www.jstor.org/stable/27120359>
- Muraca, B. (2016). Relational values: A Whiteheadian alternative for environmental philosophy and global environmental justice. *Balkan Journal of Philosophy*, 8(1), 19-38. <https://www.ceeol.com/search/article-detail?id=341645>
- Mustonen, T., y Shadrin, V. (2021). The River Alazeya: Shifting Socio-Ecological Systems Connected to a Northeastern Siberian River. *Arctic*, 74(1), 67-86. <https://doi.org/10.14430/arctic72238>
- Niemelä, J., Breuste, J. H., y Guntenspergen, G. (Eds.). (2011). *Urban ecology: Patterns, processes, and applications*. Oxford University Press.
- Niessen, S. (2020). Fashion, its Sacrifice Zone, and Sustainability. *Fashion Theory: The Journal of Dress, Body & Culture*, 24(6), 859–877. <https://doi.org/10.1080/1362704X.2020.1800984>
- Núñez Pardo, P. J. & Jorge Ibarra, M. 2020. El diagnóstico ambiental participativo para la identificación de los problemas ambientales de la comunidad. *Monteverdia*, 13 (1), 12-20. <https://revistas.reduc.edu.cu/index.php/monteverdia/3359>
- Norberg, J. y Cumming G. S. (2008). Complexity Theory for a Sustainable Future. *Columbia University Press*.
- Observatorio de Emergencias Socio-ecológicas [OES]. (2024). Diagnóstico ambiental comunitario y cartografía participativa en la Región Tula del Valle del Mezquital. Observatorio de Emergencias Socio-ecológicas, México. www.odesemx.com
- Osorno-Acosta, V. y Corrales-Roa, E. (2018). La microcuenca de la quebrada San Cristóbal. Un sistema socioecológico en crisis. *Bitácora Urbano Territorial*, 28(3), 111-120. <https://doi.org/10.15446/bitacora.v28n3.66158>
- Ostrom, E. (2009). A General Framework for Analyzing Sustainability of Social–Ecological Systems. *Science*, 325 (5939), 419–422. <https://doi.org/10.1126/science.1172133>
- Organización de las Naciones Unidas [ONU]. (2017). Directrices para emergencias ambientales. 2. Unidad Conjunta de la ONU-Medio Ambiente/OCHA.
- Ortega, D. (2012). Mapeo colectivo de conflictos ambientales. *El Ecologista*, (72), 60-62. <https://www.ecologistasenaccion.org>

- Ortiz-Espejel, B. (2020). Región Atitalaquia-Tula-Apaxco: Hacia un modelo de restauración ecológica. *Diálogos Ambientales*, 79-82. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Gobierno de México. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/538909/22_TulaD.pdf
- Pájaro, D. y Tello, E. (2014). Fundamentos epistemológicos para la cartografía participativa. *Revista Etnoecología*. 10 (1), 1-20.
- Palang, H., Spek, T., y Stenseke, M. (2011). Digging in the past. New conceptual models in landscape history and their relevance in peri-urban landscapes. *Landscape and Urban Planning*, 100(4), 344-346. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.01.012>
- Palerm, Á. (1989). Antropología y marxismo. *Nueva Imagen*.
- Pickett, S. T. A., Cadenasso, M. L., Grove, J. M., Nilon, C. H., Pouyat, R. V., Zipperer, W. C., y Costanza, R. (2001). Urban ecological systems: Linking terrestrial ecological, physical, and socioeconomic components of metropolitan areas. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 32(1), 127–157. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.32.081501.114012>
- Prieto-Barboza, E. A. (2013). Resiliencia y panarquía: claves para enfrentar la adversidad en sistemas sociales. *Multiciencias*, 13(1), 23-29.
- Proyecto PODER (2020). Río Sonora 6 años de promesas incumplidas: Voces de los Comités de Cuenca Río Sonora. PODER.
- Ramírez, É. (2017). “Zona de sacrificio” de Apaxco, entre las peores del mundo. *Contralínea*, 541. <https://bit.ly/3TbdsCD>
- Ramírez-Hernández, A. (2009). Análisis de los conflictos ambientales en interfases urbano-rurales. *Revista NODO*, 3(6). <https://revistas.uan.edu.co/index.php/nodo/article/view/27>
- Ramírez-Morales, F.J. y Gualdrón G., L.D. (2018). La cartografía social y el uso de los sistemas de información geográfica S.I.G. como estrategia para la enseñanza de la geografía en la UPEL- IPRGR. *FACE: Revista de Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales*, 18 (1). <https://doi.org/10.24054/01204211.v1.n1.2018.3222>
- Ramos-Viera., A. (2007). *La investigación cartográfica participativa como herramienta para la conservación ambiental en comunidades Tének de la Huasteca potosina*,

- México. [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de San Luis Potosí].
<https://repositorioinstitucional.uaslp.mx/xmlui/handle/i/1808>
- Ranzinkov, O. (1980). Diccionario de filosofía, *Progreso*.
- Rappaport, R. A. (1977). Adaptation and Maladaptation in Social Systems. Chapel Hill, *The Ethical Basis of Economic Freedom*, 39–82.
- Raufflet, E. (2000). Berkes, F., and C. Folke, editors. 1998. Linking social and ecological systems: Management practices and social mechanisms for building resilience. Cambridge University Press, New York. *Conservation Ecology*, 4(2).
<https://doi.org/10.5751/es-00202-040205>
- República Dominicana [DOM], Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2018). Diagnóstico ambiental participativo: Identificación y priorización de los problemas ambientales de las provincias que componen la división política administrativa del territorio de la República Dominicana. *Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales*. <https://bvearmb.do/handle/123456789/1513>
- Rincón-Ruiz, A., Echeverry-Duque, M., Piñeros, A. M., Tapia, C. H., David, A., Arias-Arévalo, P. y Zuluaga, P. A. (2014). Valoración integral de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos: aspectos conceptuales y metodológicos. *Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt*.
<http://hdl.handle.net/20.500.11761/32547>
- Ribadeneira Zapata, C.N., Fuentes S., L., Fuentes G., H. y Montoya R., J. (2019). *La investigación científica de avanzada: El proceso de la investigación científica en su diversidad*. Universidad Estatal de Bolívar.
- Rival, L. y Muradian, R. (2012). Ecosystem services and environmental governance: Some concluding remarks. En L. Rival y R. Muradian (Eds.), *Governing the provision of ecosystem services* (pp. 465-481). Springer.
- Rivas, S.G. (2013). *Enfoque sistémico: una introducción a la psicoterapia familiar (2ª ed.)*. El Manual Moderno.
- Rodríguez-Robayo, K. J., Méndez-López, M. E., Juárez-Téllez, L., y Peralta-Blanco, R. M. (2020). Configuración de los sistemas socio-ecológicos en zonas metropolitanas. La experiencia en Mérida, Yucatán, México. *Quivera Revista de Estudios Territoriales*, 22(1), 97-126.

- Román-López Dollinger, A. E. (2016). El diagnóstico participativo: Instrumento metodológico para el desarrollo local. En A. Román-López & M. Castro (Eds.), *Amazonía boliviana: Visibilizando la diversidad de los pueblos de tierras bajas* (pp. 93–109). ISEAT.
- Sacco, J., y Hedges, C. (2012). Days of Destruction, Days of Revolt. *PublicAffairs*.
- Sampedro, M.L., Juárez, A.L., y Rosas, J. L. (2014). Diagnóstico ambiental de tres comunidades Mayo del municipio de Benito Juárez, Sonora. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 1(3), 175-181. <http://ri.uagro.mx/handle/uagro/611>
- Salas-Zapata, W. A., Ríos-Osorio, L. A., y Álvarez-Del Castillo, J. (2011). Bases conceptuales para una clasificación de los sistemas socioecológicos de la investigación en sostenibilidad. *Revista Lasallista de Investigación*, 8(2), 136–142. <https://hdl.handle.net/2117/15398>
- Selener, D. (1997). Participatory action research and social change. *Cornell University Participatory Action Research Network*.
- Sagoff, M. (2009). The economic value of ecosystem services. *Bioscience*, 59(6), 461. <http://doi.org/10.1525/bio.2009.59.6.18>
- Salguero, M. (2018). *Yo te nombro: El mapa de los feminicidios en México*. Blogspot. <http://mapafeminicidios.blogspot.com/>
- Sassen, S. (2010). Las ciudades: el centro de nuestro futuro ambiental. *Revista de Ingeniería de la Universidad de Los Andes*. 1(31), 72-83. <https://doi.org/10.16924/revinge.31.8>
- Schröter, M., van der Zanden, E.H., van Oudenhoven, A.P.E., Remme, R.P., Serna-Chavez, H.M., de Groot, R.S. y Opdam, P. (2014), Ecosystem services as a contested concept: A synthesis of critique and counter-arguments. *Conservation Letters*, 7(6), 514-523. <https://doi.org/10.1111/conl.12091>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. (2020). *Avanza SEMARNAT en Programa de Restauración Ecológica para la región de Tula-Atitalaquia-Apaxco* (Comunicado de prensa, No. 41/20. Gobierno de México.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. (2023). *Caracterización y Diagnóstico de la Calidad del Aire en la Cuenca Atmosférica de Tula y su Relación con Otros Problemas Ambientales en la Zona*. Gobierno de México.

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/1046572/3_CHARACTERIZACION_TULA_vFINAL_compressed_1.pdf

- Senado de la República. (2013). *Dictamen de la tercera comisión por el que se solicita a la SEMARNAT, a la PROFEPA, a la SSA y a la CONAGUA, diversos informes y acciones respecto a la explosión ocurrida en la empresa ATC Agroquímicos, en el poblado de Tlamaco, municipio de Atitalaquia, Hidalgo. Gaceta LXII/ISPR-29/42944*. Gobierno de México. https://www.senado.gob.mx/64/gaceta_del_senado/documento/42944
- Soja, E. (1996). *The trialectics of spatiality, en Thirdspace*. Blackwell Publishers.
- Terradas, J., Franquesa, T., Parés, M. y Chaparro, L. (2011). *Ecología urbana*. Investigación y Ciencia.
- Toledo-Manzur, V. (2019, junio 30). Infiernos ambientales en México. *La Jornada*. <https://www.jornada.com.mx/2019/07/30/opinion/016a1pol>
- Torregroza Fuentes, E., Llamas Chávez, J., y Borja Barrera, F. (2014). Diferencias entre actores sociales en el conocimiento y la percepción de la vegetación de la cuenca de la Ciénaga de la Virgen (Cartagena de Indias, Colombia). *Ecología Aplicada*, 13(1-2), 97-108. <https://doi.org/10.21704/rea.v13i1-2.460>
- Uribe-Lotero, C.P., Donoso-Figueiredo, D. y Ramírez-Raymond, A. (2017). De la cartografía social a la comprensión de los contextos socioeducativos. *Aletheia*. 9(2), 74-93. <https://doi.org/10.11600/21450366.9.2aletheia.74.93>
- Urquiza-Gómez, A. y Cadenas, H. (2015). Sistemas socio-ecológicos: elementos teóricos y conceptuales para la discusión en torno a vulnerabilidad hídrica. *L'Ordinaire des Amériques*, 218. <https://doi.org/10.4000/orde.1774>
- Vadineanu, A. (2007). The ecosystem approach applied to the management of the coastal socio-ecological systems. En I. E. Gonenc, V. G. Koutitonsky, B. Rashleigh, R. B. Ambrose, y J. P. Wolflin (Eds.), *Assessment of the fate and effects of toxic agents on water resources* (pp. 149–170). NATO Security through Science Series. Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5528-7_9
- Valderrama, H.R. (2013). Diagnóstico participativo con cartografía social. Innovaciones en metodología Investigación-Acción Participativa (IAP). *Anduli: Revista Andaluza de Ciencias Sociales*, 12, 53-65.

- Vargas, J.T. (2022, mayo 19). *Nace el observatorio de Emergencias Socio-Ecológicas. Libera Radio*. <https://liberaradio.com/nace-el-observatorio-de-emergencias-socio-ecologicas/>
- Velázquez-Quesada, S.I., Deniau Y., Pérez-Macias, L.F., y Martínez-Zazueta, I.A. (2019). Visualizador cartográfico y construcción de bases de información sobre infraestructura eléctrica en Centroamérica. *Terra Digitalis*, 3(1), 1–10. <https://doi.org/10.22201/igg.25940694.2019.1.57>
- Vélez T.I., Rátiva G.S. y Varela C. D. (2012). Cartografía social como metodología participativa y colaborativa de investigación en el territorio afrodescendiente de la cuenca alta del río Cauca. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 21(2), 59–73. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v21n2.25774>
- Vilardy, S. (2009). *Estructura y dinámica de la ecorregión Ciénaga Grande de Santa Marta: una aproximación desde el marco conceptual de los sistemas socio-ecológicos complejos y la teoría de la resiliencia*. [Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Madrid]. <http://hdl.handle.net/10486/4035>
- Villamor, G. B., Palomo, I., Santiago, C. A. L., Oteros-Rozas, E., y Hill, J. (2014). Assessing stakeholders' perceptions and values towards social-ecological systems using participatory methods. *Ecological Processes*, 3(1), 22. <https://doi.org/10.1186/s13717-014-0022-9>
- Warner, C. (2015). *Participatory mapping: A literature review of community-based research and participatory planning*. Social Hub for Community Housing, Faculty of Architecture and Town Planning Technion. Massachusetts Institute of Technology.
- Wilson, S., Pearson, L. J., Kashima, Y., Lusher, D. & Pearson, C. (2013). Separating adaptive maintenance (Resilience) and transformative capacity of social-ecological systems. *Ecology and Society*, 18(1). <http://doi.org/10.5751/ES-05100-180122>
- Wolf, E. (1982). Europe and the people without history. *University of California Press*.
- Woźniak, G., Sierka, E., y Wheeler, A. (2018). Urban and industrial habitats: How important they are for ecosystem services. En L. Hufnagel (Ed.), *Ecosystem services and global ecology*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.75723>
- Yepes, C. E. y Marín, Y. A. (2018). Desafíos del análisis de la situación de salud en Colombia. *Biomédica*. 38, (2), 162-172. <https://doi.org/10.7705/biomedica.v38i0.3594>

Zapata, F., y Rondán, V, (2016). La Investigación Acción Participativa: Guía conceptual y metodológica del Instituto de Montaña. *Instituto de Montaña*.

Anexos

A1. Glosario de indicadores y emergencias socioambientales.

ID contenido	Indicador	Descripción	Calculo
Tabla 21	Qmed_Dom	<p>Para el indicador de <i>gasto medio de aguas residuales domiciliarias (Qmed_Dom)</i>, se tomó en cuenta el cálculo para el suministro y distribución de agua potable de 150 Lts/hab/día para un edificio (INFIFED, 2022), la estimación de agua consumida de 180 lts por día de una persona (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados) y el Gasto de Aportación de Alcantarillado Sanitario (GASS), que establece un 75% de dotación de agua potable considerando un 25% de pérdida o consumo (IMTA, 1993).</p> <p>Con estos parámetros se calculó <i>Qmed_Dom</i> donde:</p> <p>$Pcd = \text{Población con cobertura de drenaje periodo 2020}$ $P = \text{Población total del municipio}$ $86\ 400 = \text{Segundos en un día}$</p>	$Qmed(\text{diario}) = \frac{(Pcd) * P}{86\ 400} / 1\ 000$
Tabla 21	Qmed_S1	<p>Para el cálculo de este indicador se tomó en cuenta la cantidad media aguas residuales domiciliarias (Qmed_Dom) para la región hídrica de Aguas del Valle de México (XIII) que incluye municipios tanto de Ciudad de México y Estado de México, esto en relación a que la Planta Atotonilco de Tula trata 31,716 litros por segundo (lps) de aguas residuales provenientes del Valle de México (19,029.6 lps de la Ciudad de México y 12,686.4 lps provenientes del Estado de México), según datos de CONAGUA (2023).</p> <p>Tomando en cuenta lo anterior, se calculó Qmed_S1 donde:</p> <p>$Qmed_{dom}[Cdmx] = \text{Gasto medio de aguas residuales domiciliarias RHA XII} - Cdmx$ $Qmed_{dom}[EdoMex] = \text{Gasto medio de aguas residuales domiciliarias RHA XII} - EdoMex$</p>	$Qmed[S1] = \left(\begin{matrix} Qmed_{dom}[Cdmx] \\ + \\ Qmed_{dom}[EdoMex] \end{matrix} \right)$
Tabla 21	Qan_PI	<p>Para el cálculo de este indicador se tomaron en cuenta los <i>volúmenes de descarga por giro industrial</i> de las actividades inscritas en el DENUE (2024) de la RTVM. La estimación de los volúmenes de cada giro tomó de referencia los valores de los compendios de SEMARNAT referentes al <i>volumen de descarga de aguas residuales industriales y municipales</i>, teniendo en cuenta que los registros posteriores a 2003 no incluyen este dato debido a que la fuente no publica las descargas.</p>	$Qan[PI] = \sum n (Vol.Di * An)$

		<p>Tomando en cuenta lo anterior, se calculó Qan_PI donde:</p> <p>Vol.Di = Volumen de descarga industrial “x” $\sum n$ = Suma de los volúmenes industriales An = 365 días</p>	
Tabla 22	Ev_Comp_Urb	<p>Para este indicador se tomo en cuenta el cálculo de evolución por competencia de usos del agua desarrollado por Martínez (2023) para la SH. Para este caso en particular se tomó en cuenta únicamente el rubro el aprovechamiento para uso <i>urbano</i> con el fin de identificar variaciones para este. La estimación para este indicador toma en consideración el porcentaje de aprovechamiento del último reporte para el acuífero 1310 (CONAGUA, 2023). Tomando en cuenta lo anterior, se calculó Ev_Comp_Urb donde:</p> <p>Cnp1 = Aprovechamiento público urbano periodo 1 P1 = Población del periodo 1 Cnp2 = Aprovechamiento público urbano periodo 2 P1 = Población del periodo 2</p>	$Ev_Comp_Urb = \left[\frac{Cnp1}{p2} - \frac{Cnp2}{p1} \right] * 1000$
Tabla 26	Emi_veh_Tps	<p>Para el cálculo de este indicador se tomaron en consideración los Inventarios de Emisiones de Contaminantes (SMARNAT, 2020) de la Zona Metropolitana de Tula y Valle de Mexico, específicamente las categorías referentes a transporte pesado (Tps) como <i>Pickup</i> y <i>Veh<3.8Ton</i>, <i>Tractocamiones</i> y <i>Veh>3.8Ton</i>. De estos registros, se calculó el volumen a partir de las toneladas por año de monóxido de carbono (CO) emitidas por estas fuentes de emisión móvil para los municipios de la RTVM. Tomando en cuenta lo anterior, se calculó Emi_veh_Tps donde:</p> <p>\sum = Suma VTps (CO) = Toneladas por año de monóxido de carbono</p>	$Emi_veh_Tps = \sum VTps (CO)$
Tabla 26	Emi_veh_Lcr	<p>Para el cálculo de este indicador se tomaron en consideración los Inventarios de Emisiones de Contaminantes (SMARNAT, 2020) de la Zona Metropolitana de Tula y Valle de Mexico, específicamente las <i>Locomotoras de Recorrido (Lcr)</i>. De estos registros, se calculó el volumen a partir de las toneladas por año de óxidos de nitrógeno (NOX) emitidas por estas fuentes de emisión móvil para los municipios de la RTVM donde:</p> <p>\sum = Suma Lcr (NOX) = Toneladas por año de óxidos de nitrógeno</p>	$Emi_veh_Lcr = \sum Lcr (NOX)$
Tabla 26	Emi_veh_Tp	<p>Para el cálculo de este indicador se tomaron en consideración los Inventarios de Emisiones de Contaminantes (SMARNAT, 2020) de la Zona Metropolitana de Tula y Valle de Mexico,</p>	$Emi_veh_Tp = \sum VTp (CO)$

		<p>específicamente los <i>Automóviles Particulares (Tp)</i>. De estos registros, se calculó el volumen a partir de las toneladas por año de monóxido de carbono (CO) emitidas por estas fuentes de emisión móvil para los municipios de la RTVM donde:</p> <p>Σ = Suma V_{Tp} (CO) = Toneladas por año de monóxido de carbono</p>	
Tabla 28	TS_Cr_Agr	<p>Para el cálculo de este indicador se tomaron en cuenta los valores de las superficies destinadas para el uso de suelo agrícola en un periodo de 15 años (2005 a 2021). Este periodo comprende la serie III y serie VII de los Uso del suelo y vegetación determinados por INEGI y CONABIO. De estos valores se estimó la tasa de cambio para la <i>superficie agrícola</i> para los municipios de la RTVM donde:</p> <p>Sp2 = Superficie año final Sp1 = Superficie del año inicial</p>	$TS_Cr_Agr = \frac{(Sp2 - Sp1)}{Sp2} * 100$
Tabla 28	TS_Cr_Urb	<p>Para el cálculo de este indicador se tomaron en cuenta los valores de las superficies destinadas para el uso de suelo urbano en un periodo de 15 años (2005 a 2021). Este periodo comprende la serie III y serie VII de los Uso del suelo y vegetación determinados por INEGI y CONABIO. De estos valores se estimó la tasa de cambio para la <i>superficie urbana</i> para los municipios de la RTVM donde:</p> <p>Sp2 = Superficie año final Sp1 = Superficie del año inicial</p>	$TS_Cr_Urb = \frac{(Sp2 - Sp1)}{Sp2} * 100$

Fuente. Elaboración propia, 2025.

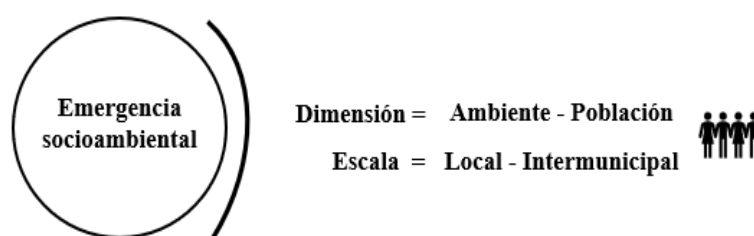
Emergencias-socioambientales

Este glosario está constituido por un compendio de conceptos elaborados a partir de la experiencia acumulada en los procesos de respuesta, monitoreo y divulgación de las emergencias socioecológicas en México, particularmente sobre las emergencias ocurridas en la región de sacrificio de Tula. Este glosario busca sumar a las definiciones del concepto de las emergencias socioecológicas elementos que permitan apoyar su comprensión y la contextualización de las problemáticas ambientales, tomando en cuenta las directrices de los organismos internacionales y agencias nacionales.

Emergencia socioambiental: Las emergencias socioambientales están caracterizadas por tres factores importantes, el primero es la escala en la que esta afecta (dimensión), la segunda es la duración del evento (tiempo), y por último los elementos implicados (personas-

ambiente). Estos factores definen la particularidad de una emergencia socioambiental, ya que las afectaciones pueden durar horas, días, meses e incluso años en un lugar determinado, algunos ejemplos de estas pueden ser los incidentes de origen industrial, así como los provocados por la actividad humana. La escala de las emergencias socioambientales suele ser a nivel local e intermunicipal (véase Figura 16), por lo que las afectaciones de un evento de este tipo impactan el ambiente y las poblaciones de la zona afectada, teniendo consecuencias directas a su salud y a la degradación del entorno.

Figura 16. Elementos de las emergencias socioambientales



Fuente. Elaboración propia, 2025.

Emergencia socioecológica: A diferencia de las emergencias socioambientales, estas se caracterizan por el impacto en los sistemas socioecológicos donde se presenta el suceso, un ejemplo de estas es el caso del río Sonora, en el cual ocurrió un derrame minero que afectó la subcuenca y los diferentes sistemas que la integran. Las emergencias socioecológicas tiene como factor principal que estas se desarrolla a una escala a nivel regional-estatal (véase Figura 17), pues en este tipo de sucesos las afectaciones suelen ser críticas, lo que perjudica una gran parte de poblaciones y territorios en donde se presentan, dejando daños en algunos casos irreparables en los ecosistemas. En estos sucesos se requieren de la intervención tanto de agencias de competencia ambiental, de salud humana, riesgos y del Estado para dar respuesta inmediata a este tipo de eventos. Un precedente de estos intentos de intervención son los planes de justicia ambiental, los cuales son declaratorias del Estado respecto a las estrategias para atender y resarcir los daños, sin embargo tanto la implementación así como la atención inmediata de las afectaciones distan de ser una opción factible para atender las emergencias socioecológicas en el país.

Figura 17. Elementos de las emergencias socioecológicas



Fuente. Elaboración propia, 2025.

Salud ambiental: La salud ambiental tienen dos elementos de análisis relevantes, el primero está enfocado al estado actual del medio físico, y el segundo en la salud de las poblaciones-ambiente. En el caso del medio físico, el análisis se centra en los procesos antrópicos que generan degradación tangible del entorno, dichos procesos generan interacciones ecosistémicas y actúan como agentes transformadores que aumentan la presión sobre los sistemas naturales, algunos ejemplos de esto son la proliferación de plagas en zonas forestales, la introducción o expansión de especies invasoras, además de otros fenómenos que modifican la estructura y funcionalidad de los ecosistemas, como la extracción desmesurada o la desertificación. En el caso del diagnóstico, el análisis se focaliza en los patógenos que generan incidencias sanitarias como los olores, presencia de contaminantes nocivos y enfermedades epidemiológicas. Las afectaciones entre población-ambiente suelen presentar una relación directa, pues la calidad del ambiente influye en la salud de la población, siendo esta la que metaboliza los elementos que se encuentran en este.

A2. Producción asociada al proyecto de investigación

Artículos científicos

1. Martínez Jiménez, E., & Pérez Ramírez, C. A. (2024). Elementos determinantes de las zonas de sacrificio en México. Bajo el volcán. Revista del Posgrado de Sociología. BUAP, 62–93.
<https://doi.org/10.32399/ICSYH.bvbuap.2954-4300.2024.6.11.772>

BAJO EL VOLCÁN. REVISTA DEL POSGRADO DE SOCIOLOGÍA. BUAP
Año 6, Número 11, noviembre 2024 - abril 2025.

ELEMENTOS DETERMINANTES DE LAS ZONAS DE SACRIFICIO EN MÉXICO

DETERMINING ELEMENTS OF SACRIFICE ZONES IN MEXICO

Eber Martínez Jiménez

Facultad de Planeación Urbana y Regional, UAEM
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8128-3775>
geoeber@gmail.com

Carlos Alberto Pérez Ramírez

Facultad de Planeación Urbana y Regional, UAEM
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8074-2391>
caperezr@uaemex.mx

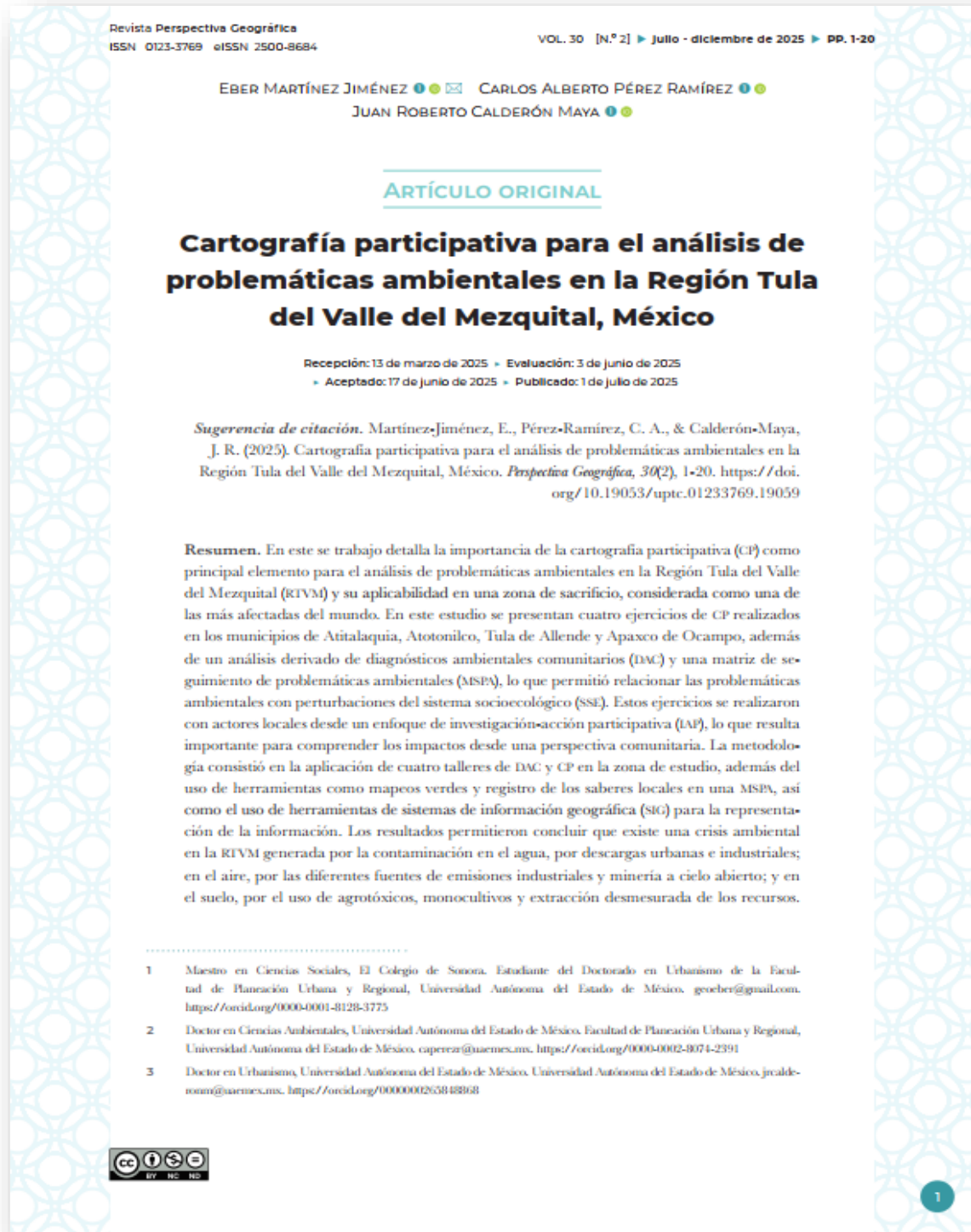
RESUMEN

El trabajo tiene como objetivo delinear los elementos determinantes de las zonas de sacrificio en México para contribuir a su visibilidad y afirmación como objeto de estudio. Para ello, se desarrolló un análisis de información documental, a partir de diversos aportes teóricos, conceptuales y casos de estudio, así como la recuperación de la experiencia empírica, para determinar los elementos que caracterizan dos zonas de sacrificio en México. De esta forma se identificaron 5 ámbitos generales y 12 elementos determinantes de las zonas de sacrificio, que posibilitan su reconocimiento como problema prioritario para la conservación ambiental y el bienestar social de la población, así como un complejo objeto de estudio para diferentes disciplinas científicas.

Palabras clave: zonas de sacrificio, ambiente, territorio, socioecológico, urbano



2. Martínez-Jiménez, E., Pérez-Ramírez, C. A., & Calderón-Maya, J. R. (2025). Cartografía participativa para el análisis de problemáticas ambientales en la Región Tula del Valle del Mezquital, México. *Perspectiva Geográfica*, 30(2). <https://doi.org/10.19053/uptc.01233769.19059>



3. Martínez-Jiménez, E., Pérez-Ramírez, C. A., & García-Fajardo, B. (2026). Sistemas socioecológicos y cartografía participativa. Enfoques para el análisis de problemáticas ambientales. *Intersticios Sociales*, 31.

Resumen del artículo

Sistemas socioecológicos y cartografía participativa. Enfoques para el análisis de problemáticas ambientales

Socio-Ecological Systems and Participatory Cartography. Approaches for the Analysis of Environmental Problems

Eber Martínez Jiménez

Universidad Autónoma del Estado de México, México

geoeber@hotmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-8128-377>

Maestro en Ciencias Sociales por El Colegio de Sonora

Carlos Alberto Pérez Ramírez

Universidad Autónoma del Estado de México. SNII I, México

caperezr@uaemex.mx

<http://orcid.org/0000-0002-8074-2391>

Doctor en Ciencias Ambientales por la Universidad Autónoma del Estado de México

Belina García Fajardo

Universidad Autónoma del Estado de México. SNII I, México

bgarciaf@uaemex.mx

<https://orcid.org/0000-0002-3444-7340>

Doctora en Desarrollo Internacional por University of East Anglia, Norwich, Norfolk, Reino Unido

Recibido: 21 de octubre de 2024

Aprobado: 13 de diciembre de 2025

Resumen

Los complejos problemas ambientales que enfrentan actualmente las ciudades precisan cambios de paradigma en la construcción del conocimiento, por lo que es válido contribuir a la revisión de metodologías que permitan examinar y comprender las nuevas configuraciones territoriales y procesos sociales que se vinculan con el ambiente. Este artículo revisa los enfoques teóricos y metodológicos utilizados en el estudio de problemáticas ambien-



SISTEMAS SOCIOECOLÓGICOS Y CARTOGRAFÍA PARTICIPATIVA. ENFOQUES PARA EL ANÁLISIS DE PROBLEMÁTICAS AMBIENTALES
Eber Martínez Jiménez, Carlos Alberto Pérez Ramírez y Belina García Fajardo

REFLEXIÓN TEÓRICA

31

Intersticios Sociales
El Colegio de Jalisco
marzo-agosto 2026
núm. 31
ISSN 2007-4964

Estancia de investigación

Estancia en el Colegio de Sonora del 16 al 27 de octubre del 2023.



Hermosillo, Sonora 06 de noviembre del 2023

ASUNTO: Estancia en El Colegio de Sonora

Dra. Silvia Valencia Flores

Coordinadora del Doctorado en Urbanismo de la UAEMEX.

PRESENTE

Por medio de la presente, en calidad de responsable de la estancia de investigación en nuestra institución del M. en C.S. Eber Martínez Jiménez, alumno regular del segundo semestre del Doctorado en Urbanismo de la Facultad de Planeación Urbana y Regional de la UAEMéx, con número de cuenta 0812044, quien desarrolla la investigación titulada "Análisis de problemáticas ambientales a través de la cartografía participativa en la zona de sacrificio de la Región Tula del Valle Del Mezquital, Hidalgo", doy constancia del cumplimiento de las actividades realizadas en el reporte que se anexa del periodo del 16 al 27 de octubre del presente año.

Durante su estancia del M. en C.S. Eber Martínez Jimenez desarrollo actividades de vinculación y cooperación académica entre El Colegio de Sonora y la Universidad Autónoma del Estado de Mexico a través de la movilidad académica a nivel posgrado, esto lo llevo a establecer sesiones con diferentes investigadores y colaboradores del cuerpo académico y egresados de El Colegio de Sonora con el objetivo de fortalecer sus conocimientos sobre su tema de investigación.

También realizo trabajo de campo en las localidades de Mazocahui y San Felipe de Jesús, además de otros lugares como: Baviácora, Aconchi, La Aurora II y Molino de Camú. Estas actividades tuvieron como fin colaborar con los integrantes del grupo de trabajo de: Seguridad Hídrica Rural (SHR) en localidades del río Sonora, vinculado con su investigación de posgrado.

Asimismo, reconocemos el compromiso, dedicación y desempeño profesional del M. en C.S. Eber Martínez Jiménez por su participación como instructor del Taller de Cartografía Participativa, que contó con la asistencia de estudiantes de posgrado de El Colegio de Sonora, además de la participación de investigadores y coordinadores de la línea de investigación del Centro de Estudios en Salud y Sociedad.

A petición del interesado y para los fines que considere convenientes, se extiende la presente en la ciudad de Hermosillo, Sonora, a los seis días del mes de noviembre de dos mil veintitrés.

Quedo a sus órdenes para ampliar cualquier información que usted considere pertinente.

ATENTAMENTE

DR. ROLANDO ENRIQUE DÍAZ CARAVANTES
PROFESOR-INVESTIGADOR DE EL COLEGIO DE SONORA

Obregón 54, Centro, 83000, Hermosillo, Sonora, México
Tel: (662) 259-5300, fax: (662)212-5021
<http://www.colson.edu.mx>

Ponencias en eventos académicos

1. Primer seminario de la Etapa 2 del proyecto de investigación Pronaii 318998 de Agentes Tóxicos y Procesos Contaminantes, marzo 2023.



2. Segundo Seminario Internacional de la Red de Estudios e Investigadores sobre el Territorio (REIT), junio de 2023.



3. V Congreso Latinoamericano de Ecología Política, diciembre de 2024.



V Congreso Latinoamericano de Ecología Política

*Ecología política y nuevos horizontes de rebeldía: enraizando saberes,
r-existencias y alternativas*

CONSTANCIA

Eber Martínez Jiménez

Por haber presentado la ponencia titulada: Zonas de sacrificio y problemáticas ambientales: la lucha por la vida en territorios desechables, en la Mesa Temática: Horizontes de vida frente a la subsunción real del capital, disrupción del metabolismo social y la producción de territorios malsanos (1), en el marco del V Congreso Latinoamericano de Ecología Política, llevado a cabo del 4 al 6 de diciembre de 2024 en la Ciudad de México.

Ciudad de México a 6 de diciembre 2024

Por el Comité Organizador

Aida Luz López Gómez
Universidad Autónoma de la Ciudad de México

Mina Lorena Navarro
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla



4. Tercer Seminario Internacional de la Red de Estudios e Investigadores sobre el Territorio (REIT), junio de 2024.

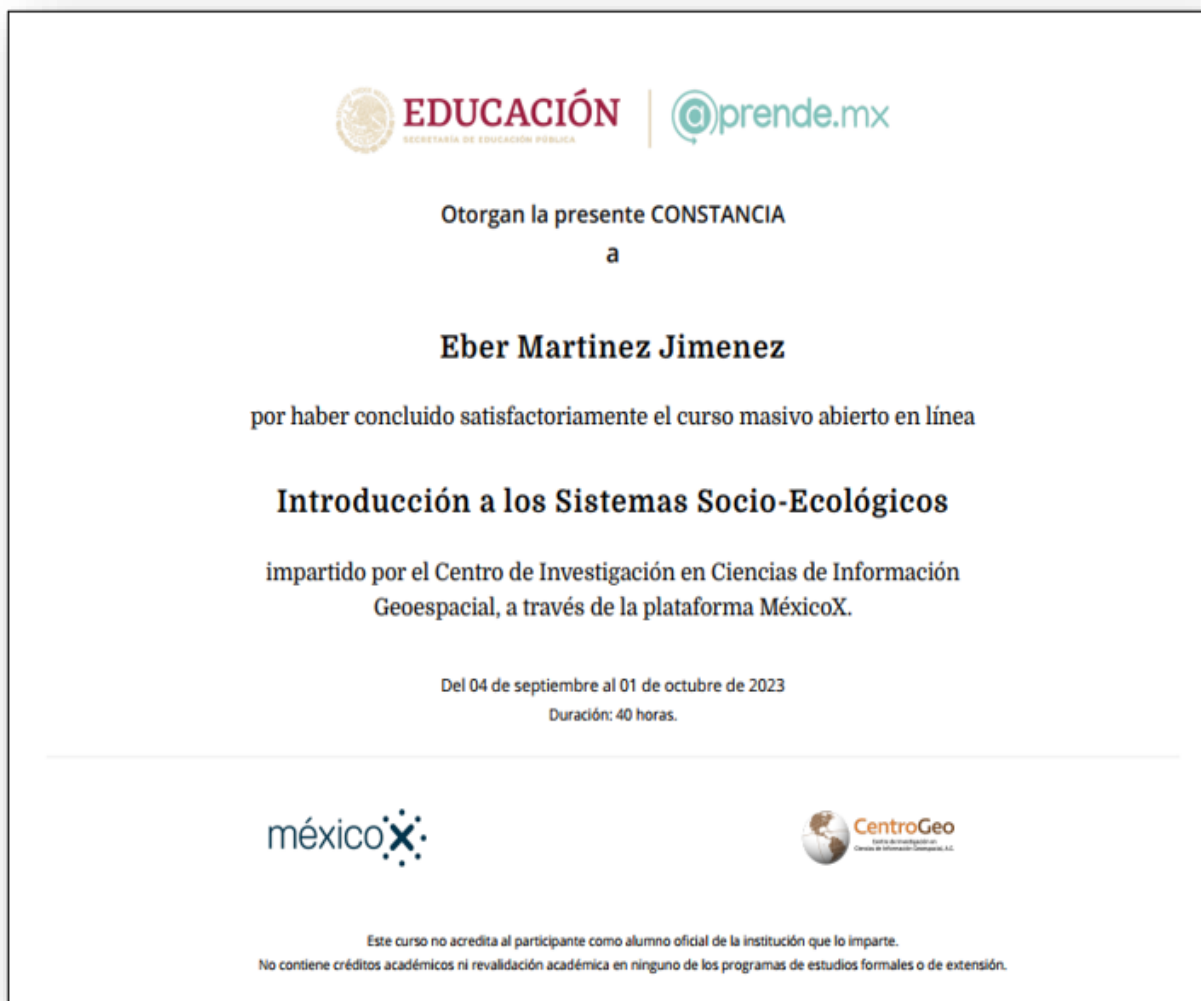


5. Coloquio Internacional Cartografías del sufrimiento socioambiental en América Latina, junio 2025.



Cursos de actualización disciplinaria

1. Curso de Introducción a los Sistemas Socioecológicos, septiembre de 2023.



2. Curso-Taller de Investigación Acción Participativa, marzo de 2024



La Escuela Latinoamericana de Investigación Acción Participativa –ELIAP –
El Centro de Estudios Sociales y Políticos de la Universidad del Sinú en Montería Colombia,
La Fundación del Sinú , La Academia de Ciencias Sociales del Estado de México y
la Red CoPaLa, Construyendo Paz Latinoamericana

Otorgan la presente

Constancia

a

Eber Martínez Jiménez

Por haber concluido de manera satisfactoria el Curso-Taller de **Investigación Acción Participativa**, integrado por
Módulo I “Introducción a la Investigación Acción Participativa”, Módulo II “Procesos metodológicos de la Investigación
Acción Participativa” y Módulo III “La IAP en la comunidad, el aula y la escuela desde la mirada de Paz Integral”
Realizado de manera virtual del 04 de marzo al 14 de junio de 2024,
con duración de 60 horas de trabajo y estudio.

Montería, Colombia, 24-06-2024




Dr. Víctor Manuel Negrete Barrera
Centro de Estudios Sociales y Políticos
Universidad del Sinú en Montería, Colombia
Coordinador de la ELIAP


Dr. Eduardo Andrés Sandoval Forero
Director Red CoPaLa
Coordinador de la ELIAP

3. Taller de monitoreo de desastres ambientales de origen minero, junio de 2024





Actividades de retribución social

1. Actividades de riego forestal | Facultad de Planeación Urbana y Regional, abril de 2023.

 **TOLUCA**
Ayuntamiento
2022 - 2024

"2023. Año del Septuagésimo Aniversario del Sexenio Revolucionario y del Derecho al Voto de las Mujeres en México".

CONSTANCIA DE ACTIVIDADES DE RETRIBUCIÓN SOCIAL

Actividad: Actividades de riego, Facultad de planeación Urbana y Regional.

Descripción de la actividad: Se realizó la actividad de riego de árboles, deshierbe y valoración de ejemplares en el predio de reforestación que se encuentra en el Parque Alameda 2000 a cargo de la Facultad de Planeación Urbana Y Regional, UAEMex, con el objetivo de favorecer la supervivencia y crecimiento de los ejemplares sembrados.

Fecha de inicio: 28/04/2023
Fecha de término: 28/04/2023

Institución en la que se realizó la actividad: Dirección general de medio ambiente Toluca
722 226 44 90 Ing. Jaime Amado López Gómez, M.T.I., M.A.P y Facultad de Planeación Urbana y Regional de la Universidad Autónoma del Estado de México

Nombre del responsable de supervisar la actividad:
Ing. Jaime Amado López Gómez, M.T.I., M.A.P.

Datos de contacto del responsable de la actividad:
Dirección general de medio ambiente Toluca. Ing. Jaime Amado López Gómez, M.T.I., M.A.P. 722 226 44 90

Descripción del impacto social de la actividad: Mantener y cuidar los ejemplares de arbolado reforestado en el Parque Alameda 2000 por la Facultad de planeación Urbana y Regional, para mejorar los beneficios ambientales y la cobertura forestal en la zona suroeste del municipio de Toluca de Lerdo, Estado de México.


Mtro. Eber Martínez Jiménez
CVU: 1036526


Ing. Jaime Amado López Gómez, M.T.I., M.A.P.
Director General de Medio Ambiente

H. AYUNTAMIENTO DE TOLUCA 2022-2024



**DIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL
DEPARTAMENTO DE CONSERVACIÓN DE RECURSOS NATURALES**

 **TOLUCA**
LENS DE VISO

Nigromante 1000 2, Calle 1000, Col. Centro, Toluca México, C.P. 70000
Tel. (722) 226 000 ext. 7300

2. Taller de Cartografía Participativa | El Colegio de Sonora, noviembre de 2023.



**EL COLEGIO
DE SONORA**

17 de noviembre de 2023

CONSTANCIA DE ACTIVIDADES DE RETRIBUCION SOCIAL

Actividad: Taller de Cartografía Participativa

Descripción de actividad: Se impartió un taller de cartografía participativa dirigido a estudiantes de posgrado en Ciencias Sociales de El Colegio de Sonora. Este taller además de contar con la participación de estudiantes de maestría y doctorado en Ciencias Sociales en su mayoría también contó con la presencia de investigadores y coordinadores de la línea de investigación del Centro de Estudios en Salud y Sociedad.

Fecha de inicio: 18/10/2023



Fecha de término: 20/10/2023

Institución en que se realizó la actividad: El Colegio de Sonora, Obregón 54, Centro, 83000, Hermosillo, Sonora, México.

Nombre del responsable de supervisar la actividad: Dra. Ana Isabel Grijalva Díaz, Coordinadora de Posgrado

Datos de contacto del responsable de la actividad: El Colegio de Sonora, Coordinación de Posgrado, Dra. Ana Isabel Grijalva Díaz, agrijalva@colson.edu.mx

Descripción del impacto social de la actividad: Divulgar y difundir el conocimiento de metodologías de investigación cualitativa para el trabajo en comunidad a los estudiantes de maestría y doctorado en Ciencias Sociales de El Colegio de Sonora, además del uso y aplicación en sus estudios relacionados con temas sociales emergentes.

	 <p>EL COLEGIO DE SONORA</p> <p>Coordinación de Posgrado</p>	
<p>M. en C.S. Eber Martínez Jiménez CVU: 1636526</p>		<p>Dra. Ana Isabel Grijalva Díaz Coordinadora de Posgrado El Colegio de Sonora</p>

Obregón 54, Centro, C.P. 83000, Hermosillo, Sonora, México
Tel: 662 259-53-00
www.colson.edu.mx

3. Taller de Basura Cero | Frente Autentico del Trabajo, junio de 2024.



CONSTANCIA DE ACTIVIDADES DE RETRIBUCION SOCIAL

Actividad: Taller de Basura Cero

Descripción de actividad: Se participo como organizador del taller "Basura Cero: Como mecanismo de resistencia al modelo" dirigido al público en general interesado en las alternativas para el manejo adecuado de los residuos. Este taller conto con la participación de colectivos nacionales, enfocados en la temática de residuos, estrategias de incidencia contra la incineraron, y monitoreo de problemáticas ambientales en Mexico.

Fecha de inicio: 22/06/2024


Fecha de término: 22/06/2024


Institución en que se realizó la actividad: Frente Autentico del Trabajo, Godard #20, Col. Guadalupe Victoria II, Del. Gustavo A. Madero, CP. 07790, Ciudad de México.

Nombre del responsable de supervisar la actividad: Eladio Abundiz Guadian, Coordinador del Frente Autentico del Trabajo

Datos de contacto del responsable de la actividad: Frente Autentico del Trabajo (FAT), Coordinación Eladio Abundiz Guadian, fat@telmexmail.com

Descripción del impacto social de la actividad: Divulgar y difundir el conocimiento sobre las alternativas para el manejo de los residuos en contextos locales, además del uso y aplicación de estrategias relacionadas con el modelo basura cero al público en general.


M. en C.S.
Eber Martínez Jiménez
CVU: 1036526


Eladio Abundiz Guadian
Coordinador
Frente Autentico del Trabajo

Godard #20, Guadalupe Victoria II, Gustavo A. Madero,
07790 Ciudad de México, CDMX
fat@telmexmail.com

4. Asesoría técnica | Comité Ejidal de Ocampo, Atotonilco de Tula, octubre de 2024.



**Observatorio de Emergencias
Socio-ecológicas**

CONSTANCIA DE ACTIVIDADES DE RETRIBUCIÓN SOCIAL

Actividad: Asesoría técnica al comité ejidal de Ocampo, Atotonilco de Tula

Descripción de actividad: Se impartió una asesoría técnica dirigida al comité ejidal interesado en las alternativas para el manejo sus recursos de bienes comunales así como estrategias enfocadas a la preservación de especies endémicas de la región. Este taller conto con la participación del presidente ejidal, representantes del ejido, actores comunitarios y encargados administrativos.

Fecha de inicio: 11/10/2024
Fecha de termino: 11/10/2024

Institución en que se realizó la actividad: Frente Auténtico del Trabajo, Godard #20, Col. Guadalupe Victoria II, Del. Gustavo A. Madero, CP. 07790, Ciudad de México.

Nombre del responsable de supervisar la actividad: Biol. Jorge Tadeo Vargas Juvera, Coordinador de Investigación Comunitaria.

Datos de contacto del responsable de la actividad: Observatorio de Emergencias Socio-ecológicas (OES), Coordinación de Investigación Comunitaria, Biol. Jorge Tadeo Vargas Juvera, jthadeo@yahoo.com.mx

Descripción del impacto social de la actividad: Divulgar y difundir el conocimiento sobre las alternativas de gestión de recursos locales, uso y aplicación de estrategias relacionadas con el monitoreo ambiental, preservación de biodiversidad y transición justa, encaminadas al desarrollo comunitario.



M. en C.S.
Eber Martínez Jiménez
CVU: 1036526



Biol. Jorge Tadeo Vargas Juvera
Coordinador de Investigación
Comunitaria
OES

Godard #20, Guadalupe Victoria II, Gustavo A. Madero,
07790 Ciudad de México, CDMX
odese@apoyomitlco.org

5. Conversatorio y Toxittour en la zona de sacrificio de Tula del Valle del Mezquital
| Observatorio de Emergencias Socioambientales, marzo de 2025.



**Observatorio de Emergencias
Socio-ecológicas**

CONSTANCIA DE ACTIVIDADES DE RETRIBUCIÓN SOCIAL

Actividad: Organización-participación en el Conversatorio: "Experiencias comunitarias sobreviviendo en territorios de sacrificio", y Toxittour en la zona de sacrificio de Tula del Valle del Mezquital.

Descripción de actividad: Se realizó un Toxittour por los principales puntos de la zona de sacrificio de Tula del Valle del Mezquital, además de un conversatorio con las comunidades de los municipios de Antibaquia, Atoyacatlaco, Apaxco y Tula de Allende, Estado de Hidalgo, en el marco del rescate de resultados de los talleres de Diagnóstico Ambiental Comunitario llevados a cabo en el mes de agosto de 2024, en dichos municipios.

Fecha de inicio: 19/03/2025


Fecha de término: 19/03/2025


Institución en que se realizó la actividad: Observatorio de Emergencias Socio-Ecológicas (OES), Godard #30, Col. Guadalupe Victoria II, Del. Gustavo A. Madero, CP. 07790, Ciudad de México.

Nombre del responsable de supervisar la actividad: Biol. Jorge Tadeo Vargas Juvera, Coordinador de Investigación Comunitaria.

Datos de contacto del responsable de la actividad: Observatorio de Emergencias Socio-ecológicas (OES), Coordinación de Investigación Comunitaria, Biol. Jorge Tadeo Vargas Juvera, jhtadeo@yahoo.com.mx

Descripción del impacto social de la actividad: Divulgar y difundir el conocimiento sobre las crisis que afectan a las zonas de sacrificio, promoviendo la salud del planeta y de las personas a través de la investigación y activismo, con el objetivo de inspirar acciones hacia un futuro sostenible y equitativo.


M. en C.S.
Eber Martínez Jiménez
CVU: 1036526


Biol. Jorge Tadeo Vargas Juvera
Coordinador de Investigación
Comunitaria
OES

Godard #30, Guadalupe Victoria II, Gustavo A. Madero,
07790 Ciudad de México, CDMX
cdmx@apocomunio.org

6. Organizador del foro virtual “La gestión de los residuos en México” | Frente Auténtico del Trabajo, agosto de 2025.



CONSTANCIA DE ACTIVIDADES DE RETRIBUCION SOCIAL

Actividad: Organizador del foro virtual “La gestión de los residuos en México”

Descripción de actividad: Se participó como organizador del foro virtual “La gestión de los residuos en México” dirigido al público en general interesado en conocer acerca de la situación actual de la basura y los impactos en las comunidades y ecosistemas. Este foro contó con la participación de colectivos nacionales, como Fronteras Comunes, No es Basura (NEB), Asociación Ecológica Santo Tomás, el Laboratorio de Investigación en Desarrollo Comunitario y Sustentabilidad (LIDECIS) y el Observatorio de Emergencias Socioambientales (OES), enfocados en la temática de residuos y monitoreo de problemáticas ambientales en México.

Fecha de inicio: 14/08/2025


Fecha de término: 14/08/2025


Institución en que se realizó la actividad: Frente Auténtico del Trabajo, Godard #38, Col. Guadalupe Victoria II, Del. Gustavo A. Madero, CP. 07790, Ciudad de México.

Nombre del responsable de supervisar la actividad: Eladio Abundis Guadian, Coordinador del Frente Auténtico del Trabajo.

Datos de contacto del responsable de la actividad: Frente Auténtico del Trabajo (FAT), Coordinación Eladio Abundis Guadian, fat@falmsocial.com

Descripción del impacto social de la actividad: Divulgar y difundir el conocimiento al público en general sobre el estado actual de la gestión de los residuos en el contexto nacional, las consecuencias socioambientales y la aplicación de estrategias relacionadas con el cambio de modelo actual.


H. en C.S.
Eber Martínez Jiménez
CYU: 1034536


Eladio Abundis Guadian
Coordinador
Frente Auténtico del Trabajo

Godard #38, Guadalupe Victoria II, Gustavo A. Madero,
07790 Ciudad de México, CDMX
fat@falmsocial.com