



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

# LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES

Escuela Nacional de Estudios Superiores, Unidad  
Morelia

ESCENARIOS DE IMPLEMENTACIÓN DE  
ECOTECNOLOGÍAS EN MÉXICO

# TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

P R E S E N T A

OSVALDO URIEL PACHECO FLORES

DIRECTOR(A) DE TESIS: M.C. ALFREDO FERNANDO FUENTES GUTIÉRREZ

MORELIA, MICHOACÁN

ENERO, 2022



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



ESCUELA  
NACIONAL  
DE ESTUDIOS  
SUPERIORES  
UNIDAD MORELIA

10  
años  
(2011-2021)

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES UNIDAD MORELIA  
SECRETARÍA GENERAL  
SERVICIOS ESCOLARES

**MTRA. IVONNE RAMÍREZ WENCE**

DIRECTORA

DIRECCIÓN GENERAL DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR

**P R E S E N T E**

Por medio de la presente me permito informar a usted que en la **sesión ordinaria 08** del **Comité Académico** de la Licenciatura en Ciencias Ambientales de la Escuela Nacional de Estudios Superiores (ENES) Unidad Morelia celebrada el día **20 de septiembre del 2021**, se acordó poner a su consideración el siguiente jurado para la presentación del Trabajo Profesional del alumno **Osvaldo Uriel Pacheco Flores** de la Licenciatura en **Ciencias Ambientales**, con número de cuenta **314207953**, con el trabajo titulado: **“Escenarios de implementación de ecotecnologías en México”**, bajo la dirección del Mtro. Alfredo Fernando Fuentes Gutiérrez como **tutor** y de la Lic. Ana Laura Morales García como **co-tutora**.

El jurado queda integrado de la siguiente manera:

**Presidente:** Dr. Carlos Alberto García Bustamante

**Vocal:** Dr. Francisco Mora Ardila

**Secretario:** Lic. Ana Laura Morales García

**Suplente:** Dr. Víctor Manuel Berrueta Soriano

**Suplente:** Mtra. Carolina Tapia Torres

Sin otro particular, quedo de usted.

Atentamente  
“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”  
Morelia, Michoacán a 27 de enero de 2022.



**DRA. YESENIA ARREDONDO LEÓN**  
SECRETARIA GENERAL

---

**CAMPUS MORELIA**

Antigua Carretera a Pátzcuaro N° 8701, Col. Ex Hacienda de San José de la Huerta  
58190, Morelia, Michoacán, México. Tel: (443)689.3500 y (55)5623.7300, Extensión Red UNAM: 80614

[www.enesmorelia.unam.mx](http://www.enesmorelia.unam.mx)



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

# LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES

Escuela Nacional de Estudios Superiores, Unidad  
Morelia

ESCENARIOS DE IMPLEMENTACIÓN DE  
ECOTECNOLOGÍAS EN MÉXICO

# TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

P R E S E N T A

OSVALDO URIEL PACHECO FLORES

DIRECTOR(A) DE TESIS: M.C. ALFREDO FERNANDO FUENTES GUTIÉRREZ

MORELIA, MICHOACÁN

ENERO, 2022



# COORDINACIÓN DE LA LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CAMPUS MORELIA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



## COMITÉ ACADÉMICO

No. de Oficio: CA 08/080/2021 <sup>3</sup>

ASUNTO: Dictamen de Asignación de Sinodales.

**LIC. ALEJANDRO REBOLLAR VILLAGÓMEZ**  
**JEFE DEL DEPARTAMENTO DE SERVICIOS ESCOLARES**  
**ENES, Unidad Morelia**  
**P R E S E N T E**

Por medio de la presente me permito informar a usted que en la **8a. Sesión Ordinaria del Comité Académico** de la Licenciatura en Ciencias Ambientales de la Escuela Nacional de Estudios Superiores (ENES), Unidad Morelia celebrada el día **20 de septiembre del 2021**, se acordó **APROBAR** la solicitud del Jurado para el examen profesional del alumno **Oswaldo Uriel Pacheco Flores** con número de cuenta **314207953**, quien desarrolla el trabajo titulado: **“Escenarios de implementación de ecotecnologías en México”** bajo la dirección como Tutor del **Mtro. Alfredo Fernando Fuentes Gutiérrez** y como Co Tutora a la **Lic. Ana Laura Morales García**.

El jurado queda integrado de la siguiente manera:

**Presidente:** Dr. Carlos Alberto García Bustamante.

**Vocal:** Dr. Francisco Mora Ardila.

**Secretario:** Lic. Ana Laura Morales García.

**Suplente1:** Dr. Víctor Manuel Berrueta Soriano.

**Suplente2:** Mtra. Carolina Tapia Torres.

Asimismo, informo a usted y a los honorables miembros del jurado, que el Comité Académico aprobó un plazo de hasta 30 días hábiles para recibir la revisión del manuscrito de tesis, y en su caso, el voto aprobatorio.

Sin más por el momento, me despido y aprovecho para enviarle un cordial saludo.

**A T E N T A M E N T E**

**“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”**

Morelia, Michoacán, a 28 de septiembre de 2021.

**MTRO. LUIS FERNANDO ALVARADO RAMOS**  
**PRESIDENTE DEL COMITÉ ACADÉMICO**

C.c.p. Alumno  
Tutor  
Archivo

LFAR/jfse

## **AGRADECIMIENTOS INSTITUCIONALES.**

Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México, a todo el personal de la ENES Morelia y la Licenciatura en Ciencias Ambientales y a la comunidad del Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad (IIES), por ofrecerme todas las herramientas intelectuales, conceptuales y tecnológicas para mi desarrollo académico, por enseñarme los caminos hacia otras posibilidades y por darme la oportunidad de convivir con gente tan diversa y maravillosa.

Agradezco el sustento otorgado por el Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica de la Universidad Nacional Autónoma de México (PAPIIT, proyectos IT100818 y AG101121) para el desarrollo de esta investigación.

Les agradezco a mis asesores y al jurado integrado por Alfredo Fuentes, Ana Morales, Carlos García, Francisco Mora, Carolina Tapia y Víctor Berrueta por aceptar formar parte de este reto, por su tiempo, esfuerzo, por sus valiosas aportaciones que enriquecieron este trabajo y por todos los consejos y apoyo. Le agradezco a Alfredo y Anita por todo el apoyo, ayuda y tiempo, por todas las veces que acudí a ustedes con preguntas y dudas que con paciencia supieron resolver, por entender y ser tan comprensivo con todas mis confusiones mentales, y por su apoyo.

Agradezco a todos mis profesores de la carrera quienes con su esfuerzo, dedicación, inteligencia y cariño me formaron y *re*-formaron, me humanizaron, cambiaron mis paradigmas y me mostraron que existe una forma distinta de ver y vivir la vida.

## **AGRADECIMIENTOS PERSONALES.**

Les agradezco a mis padres por brindarme su amor incondicional, por apoyarme en todas mis decisiones, por creer en mí y en lo que podría realizar. Gracias por demostrarme que la dedicación, el esfuerzo y la perseverancia en la vida rinden frutos satisfactorios, por enseñarme a luchar sin miedo, con dignidad y realismo. Porque gracias a ustedes soy una persona que va a seguir luchando por llegar a una meta, ser feliz.

Le agradezco a mi familia conformada por mis padres, mis hermanos (Oscar, Yuleni, Omar y Brandon), mi tío Alejandro y a mis abuelitos Mary y Victor por dedicarme tiempo, por apoyarme siempre de todas las maneras posibles, por su alegría que se contagia y crea sinergia, por enseñarme el valor de los detalles, por depositar tu confianza en mí, por estar cuando más los necesitaba y motivarme a seguir adelante y superarme, por demostrar que con la ambición de la buena se logra lo que sea.

Les agradezco a mis amig@s: Andrea Medina, Osmar Ramírez, Cecilia Reyes, Ivonne Delgado, Cristian Restrepo, René Ponce, Andrea Pimentel, Carmen Trasviña y Hugo Alba por todas las vivencias, aventuras y aprendizajes que tuvimos a lo largo de este tiempo, a pesar que algunos estén lejos y alguno falleciera, siempre los llevaré en el corazón y en la mente.

Les agradezco a Pacho y a Bernardo Sosa por apoyarme con mi tesis en temas relacionados con la metodología y su desarrollo, no tengo como agradecerles su ayuda.

Por último, pero no por ello menos importante, quiero agradecerle a Karen Paredes, porque si no te hubiese conocido no sería la persona que soy hoy, ni estaría cumpliendo las metas que me propuse. Gracias por existir y estar ahí cuando lo necesite, por todas las aventuras y viajes que vivimos juntos que me hicieron sentirme pleno. Gracias por tu amor y por lo que aprendí a tu lado.

## CONTENIDO.

<b>RESUMEN.</b>	6
<b>1. INTRODUCCIÓN.</b>	8
1.1. ESCENARIOS.	10
1.2. MÉXICO: EL IPCC Y LA AGENDA 2030 (ODS).	10
<b>2. OBJETIVOS.</b>	13
2.1. General:	13
2.2. Específicos:	13
<b>3. METODOLOGÍA Y MÉTODOS.</b>	13
3.1. DEFINICIÓN DE ÁREA DE ESTUDIO.	14
3.2. CONSULTA BIBLIOGRÁFICA.	16
3.3. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.	16
3.4. ANÁLISIS DE VIABILIDAD.	19
3.4.1. Análisis y determinación de agrupamientos.	20
3.4.3. Creación del índice de viabilidad de implementación de cada ecotecnología.	20
3.4.4. Interpretación del índice de viabilidad de implementación de cada ecotecnología.	21
3.5. CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS.	22
3.5.1. Elaboración de escenarios ideales.	23
3.5.2. Elaboración de escenarios porcentuales (1%, 3% y 5% anual).	23
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.</b>	24
4.1. DEFINICIÓN DE ECOTECNOLOGÍAS POTENCIALES.	24
A) Aerogeneradores domésticos.	26
B) Módulos fotovoltaicos domésticos.	27
C) Estufas ahorradoras de leña.	29
D) Estufas solares parabólicas.	30
E) Biodigestores.	31
F) Calentadores solares de agua.	33
G) Sistemas de Captación de Agua de Lluvia (SCALL's).	34
H) Sanitarios ecológicos secos.	35
4.2. IMPACTOS AMBIENTALES Y SOCIALES (ANUALES).	36
4.2. ANÁLISIS DE VIABILIDAD	37
4.2.1. IMPACTOS AMBIENTALES Y SOCIALES (ANUALES) CONSIDERANDO LA VIABILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN.	39

A) Aerogeneradores domésticos.	39
B) Módulos fotovoltaicos domésticos.	41
C) Estufas ahorradoras de leña.	44
D) Estufa solares parabólicas.	46
E) Biodigestores.	48
F) Calentadores solares de agua.	50
G) Sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL's).	53
H) Sanitarios ecológicos secos.	55
4.3. CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS.	57
<b>I. Emisiones de GEL.</b>	57
<b>II. Ahorro de electricidad.</b>	58
<b>III. Ahorro de leña.</b>	59
<b>IV. Mitigación de emisiones PM 2.5 y CO.</b>	61
<b>V. Ahorro de gas L.P.</b>	63
<b>VI. Ahorro de fertilizante químico.</b>	64
<b>VII. Captación de agua.</b>	65
4.4. RECOMENDACIONES.	66
4.4. RELACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS).	67
<b>5. CONCLUSIONES.</b>	70
<b>6. BILIOGRAFÍA.</b>	71
<b>7. ANEXOS.</b>	76

## RESUMEN.

El modelo de desarrollo en el que nos basamos actualmente en México, se encuentra en un momento crítico dado que no tiene la capacidad de satisfacer las necesidades de todos sus habitantes, lo anterior hace que la disponibilidad de los recursos a los que podrán acceder generaciones futuras se vea amenazada. Añadido a esto, la dependencia de combustibles fósiles y la desigualdad social, han generado impactos ambientales y sociales tales como el cambio climático, la degradación y sobreexplotación de servicios ecosistémicos, pérdida de biodiversidad, marginación, afectaciones en la salud, escasez de recursos y servicios básicos dentro de la viviendas, lo que deja a una gran parte de la población vulnerable ante estos fenómenos.

Actualmente en México, el 19% de la población tiene por lo menos 3 carencias de servicios básicos dentro de la vivienda, y una gran parte de estas no cuentan con la tecnología adecuada para satisfacerlos. Aunado a esto, existe influencia del grado de marginación y/o ruralidad en cada comunidad en el país que deriva en que para la obtención de servicios como electricidad, agua apta para el consumo humano, dispositivos eficientes para cocción de alimentos, etc., se realice una mayor inversión de recursos económicos y tiempo para acceder a ellos.

Es por ello que, en la búsqueda de la mitigación de impactos sociales y ambientales, se propone una transición tecnológica nacional orientada a sustituir la tecnología ineficiente y contaminante por alternativas sociales y de bajo impacto ambiental y/o el uso de fuentes renovables de energía, siendo una alternativa el uso de las llamadas "Ecotecnologías".

La metodología consistió en la búsqueda bibliográfica de información y datos nacionales, los cuales permitieran la definición de atributos y puntos críticos, para la selección de 8 diversas ecotecnologías que pudiesen abordar los mismos. A partir de ello, se crearon diversas ecuaciones a fines de los impactos sociales y ambientales que mitigarían dichas ecotecnologías (anualmente), para posteriormente ser evaluadas en un modelo de viabilidad (tecnológica, ambiental y social), con el fin de definir que ecotecnologías podrían ser establecidas en cada entidad federativa de México. Posteriormente, se generaron 4 distintos escenarios (1, 3, 5 y 100%) los cuales mostrarán como se desarrollarían estos impactos positivos en un lapso de 20 años.

Los resultados muestran que la implementación de ecotecnologías podría mitigar hasta 181 millones de toneladas de emisiones de CO<sub>2eq</sub>, 684 mil GWh de electricidad, 124 millones de toneladas de leña, 43 millones de toneladas de Gas L.P., 5.9 millones de toneladas de fertilizante químico y cosechar hasta 791 millones de m<sup>3</sup> de agua, en un lapso de 20 años; lo cual podría ser utilizada por los gobiernos para mejorar las condiciones sociales, energéticas, económicas y ambientales. Además, la implementación de estas 8 ecotecnologías colaborará en el cumplimiento de gran parte de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), metas y ejes de acción adquiridos por México desde el año 2016.

## **ABSTRACT.**

The model of development on which we are currently basing ourselves in Mexico is at a critical moment because it does not have the capacity to meet the needs of all its inhabitants, This poses a threat to the availability of resources available to future generations. Added to this, dependence on fossil fuels and social inequality have generated environmental and social impacts such as climate change, the degradation and overexploitation of ecosystem services, loss of biodiversity, marginalization, health impacts, scarcity of resources and basic services in housing, leaving a large part of the population vulnerable to these phenomena.

Currently in Mexico, 19 per cent of the population has at least three basic services deficiencies in housing, and a large part of them do not have the appropriate technology to satisfy them. In addition to this, the degree of marginalization and/or rurality in each community in the country is influenced by the fact that for obtaining services such as electricity, water suitable for human consumption, efficient devices for cooking food, etc., greater investment of economic resources and time to access them.

That is why, in the search for the mitigation of social and environmental impacts, A national technological transition is proposed aimed at replacing inefficient and polluting technology with social and low environmental impact alternatives and/or the use of renewable energy sources, an alternative being the use of the so-called "Ecotechnologies".

The methodology consisted of the bibliographic search for national information and data, which allowed the definition of attributes and critical points, for the selection of 8 different ecotechnologies that could address them. Based on this, various equations were created for the purposes of social and environmental impacts that would mitigate such ecotechnologies (annually), to be later evaluated in a feasibility model (technological, environmental and social), in order to define which ecotechnologies could be established in each federal entity in Mexico. Subsequently, 4 different scenarios were generated (1, 3, 5 and 100%) which will show how these positive impacts would develop in a span of 20 years.

The results show that the implementation of eco-technologies could mitigate up to 181 million tons of CO<sub>2</sub>e emissions, 684 thousand GWh of electricity, 124 million tons of firewood, 43 million tons of Gas L.P., 5.9 million tons of chemical fertilizer and harvest up to 791 million m<sup>3</sup> of water, within 20 years; which could be used by governments to improve social, energy, economic and environmental conditions. In addition, the implementation of these 8 ecotechnologies will collaborate in the fulfillment of a large part of the sustainable development goals (SDGs), goals and axes of action acquired by Mexico since 2016.

## 1. INTRODUCCIÓN.

Actualmente, la Tierra alberga a más de siete mil millones de habitantes (Kunzig, 2011; UNFPA, 2011) y para la mitad del siglo XXI la cifra podría ascender a los nueve mil millones (Cohen, 2003); en este contexto, el modelo de desarrollo dominante es claramente insostenible ya que ha mostrado su incapacidad de satisfacer las necesidades humanas actuales sin comprometer las necesidades de las generaciones futuras (Fernández, 2010; Ortiz *et al.*, 2014).

Aproximadamente el 60% de los servicios ecosistémicos examinados en la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (agua dulce, calidad del aire, regulación microclimática, entre otros) se encuentran degradados o han sido aprovechados de manera insostenible (MEA, 2005). En este sentido, la pérdida de biodiversidad, las alteraciones de los ciclos biogeoquímicos globales y el cambio climático han ocasionado que se rebasen los umbrales críticos que el sistema terrestre puede amortiguar (Rockström *et al.*, 2009), en consecuencia, se están generando y acelerando transformaciones sustanciales en los ecosistemas terrestres (Vitousek *et al.*, 1997).

Los impactos ambientales relacionados al modelo de desarrollo actual, han influido socialmente, teniendo efectos negativos en la salud de la población, en los medios de vida (alimentos, agua y materias primas), la desigualdad social, entre otras (Corredor, 2006). Es por esta razón, y por la magnitud que representan las transformaciones realizadas por la actividad humana, que se ha llegado a hablar de una nueva era geológica: el “antropoceno”, llamado también “tecnoceno” (Fernández, 2010; Ortiz *et al.*, 2014).

En esta tesitura, la desigualdad social es un factor que definirá el grado de vulnerabilidad que tendrá la población ante impactos ambientales (Morton, 2007); previéndose que el cambio climático global impactará más gravemente a los países en vías de desarrollo (IPCC, 2007; Mendelsohn *et al.*, 2006).

Siendo México un país en vías de desarrollo y con niveles de desigualdad definidos por el grado alto de marginación, ruralidad y las carencias que padece la población (vivienda, servicios básicos, fuentes de ingresos, etc.), participa en los objetivos propuestos en la Agenda 2030 en combate al cambio climático y a la desigualdad social (ONU, 2015; JOP, 2019). Es por ello que, este estudio propone reducir la marginación social, específicamente en las carencias por servicios básicos en las viviendas del país, y con ello, contribuir a los ODS y a la mitigación del cambio climático.

En México la carencia por acceso a los servicios básicos de la vivienda se mide en: 1) Electricidad (obtenida del servicio público, planta particular, panel solar o de otra fuente); 2) Combustible para cocinar o calentar agua (solar, gas LP, gas natural, electricidad, y si es leña o carbón, que la cocina cuente con chimenea); 3) Agua entubada (dentro o fuera de la vivienda, pero dentro del terreno); 4) Drenaje (conectado a la red pública o a una fosa séptica) (CONEVAL, 2018; INEGI, 2016).

Actualmente en el país, el 19% de la población tiene por lo menos 3 carencias de servicios básicos en la vivienda y una gran parte de estas no cuentan con tecnologías para la vivienda adecuadas o de bajo impacto ambiental (CONEVAL, 2018; INEGI, 2016). El 1.16% de las viviendas (326,799) no

cuentan con acceso a electricidad; el 19% de las viviendas cocinan con carbón o leña, es decir, 7.9 millones de viviendas no cocina con tecnologías adecuadas, como la estufa de gas, debido al costo o disponibilidad del combustible fósil; el 40% de las viviendas (12.7 millones viviendas) no dispone de abastecimiento de agua adecuado y el 5% de las viviendas (1.7 millones viviendas) no tienen acceso a agua potable de distribución pública, por lo que tienen que obtener el recurso a través de llaves comunitarias, otras viviendas, pipas, pozos, ríos, arroyos, lagos o la recolección de agua de lluvia; es por ello que la disponibilidad de agua no es constante o conlleva esfuerzo y tiempo (ibíd).

Además, el 23% de las viviendas no cuentan con drenaje público, es decir, 6.2 millones de viviendas descargan sus desechos en fosas sépticas, tanques sépticos, barranca, grietas, ríos, lagos o mares. Por otra parte, a pesar que el 96.7% viviendas cuentan con el servicio de sanitario, el 22.5% no cuentan con agua constante para descargarla, es decir, el 25.8% de las viviendas en México no cuentan con agua de distribución pública suficiente para la descarga de sus desechos (ibíd).

Para lograr la cobertura total de servicios básicos en viviendas, se ha promovido una transición tecnológica orientada a sustituir la tecnología ineficiente y contaminante por alternativas sociales y de bajo impacto ambiental y/o el uso de fuentes renovables de energía por el uso de las llamadas "Ecotecnologías". Las ecotecnologías, definidas como: "Dispositivos, métodos y procesos que propician una relación armónica con el ambiente y buscan brindar beneficios sociales y económicos tangibles a sus usuarios, con referencia a un contexto socio-ecológico específico" (Ortiz et al. 2014), han sido una alternativa para satisfacer necesidades básicas y/o mejorar la calidad de vida de los usuarios en condiciones de pobreza y marginación en México, y en distintos países del Sur Global (ej. Colombia, Venezuela, Argentina, etc.)

La implementación y uso de ecotecnologías como parte de un desarrollo tecnológico, se asume como clave para reducir la in-sustentabilidad planetaria, ya que no son pocos los casos que muestran cómo la tecnología convencional también puede tener otros efectos, tales como: a) No ser accesible para todos; b) Contaminantes por la manera en que se producen y los recursos requeridos para su fabricación a gran escala; c) Controvertida (ej. Contaminación de combustibles fósiles). El escalamiento de los proyectos ecotecnológicos pretende entonces, por un lado, tratar de cubrir las necesidades básicas de la población, y por otro, mediante proyectos validados, contribuir en la mitigación de los impactos ambientales y sociales generados por el uso de tecnologías convencionales o tradicionales, o derivados de imitaciones malas de los modelos urbanos que son totalmente inadecuadas a las condiciones rurales, según el caso (OECD, 2013; IPCC, 2018; CEPAL, 2018; Carvajal, 2017).

Este tipo de proyectos, tendrían que generarse a partir de antecedentes que justificaran o dieran noción del impacto que podría tener la implementación de ecotecnologías en los espacios de interés. Por lo que la construcción de escenarios a mediano plazo, basados en la viabilidad, posibilidad, oportunidad y realismo, podrán fungir como una premisa a lo propuesto o lo esperado en un futuro; en los casos donde se opte por la implementación de ecotecnologías en México.

Actualmente en México, no existe una propuesta nacional (por entidades federativas) de potenciales de implementación de ecotecnologías, entendiéndose como la "posibilidad cuantitativa de

implementar o instalar dispositivos ecotecnológicos para la mitigación de emisiones de GEI, disminuir las necesidades por servicios básicos en la vivienda, mejorar el uso de recursos, etc.”, con la que se aborden factores generales como: 1) Diversidad geográfico-ambiental; 2) Viabilidad de implementación de ecotecnologías; 3) Emisiones evitadas por sustitución de tecnologías convencionales por ecotecnologías; 4) Reducción en el uso de recursos por sustitución de la tecnología actual; 5) Beneficios directos e indirectos por la implementación de ecotecnologías. Por lo que, crear un escenario nacional basado en la viabilidad de implementación de ecotecnologías, que muestre el potencial que tendrían estas en la mejora de la calidad de vida de sus usuarios podría servir como un elemento a considerar para su aplicación en las distintas escalas cuantitativas y espaciales de México.

### 1.1. ESCENARIOS.

En este estudio se considera como “escenario” a las posibles alternativas del futuro que focalizan las acciones del presente en la dirección hacia donde se pretende evolucionar, basado en la lógica racional de los futuros posibles, probables y/o preferibles (Cruz, *et al.*, 2015; Börjeson, *et al.*, 2006). Por otro lado, la planeación basada en escenarios se considera como parte de una planeación estratégica, la cual se relaciona con las herramientas y tecnologías para manejar la incertidumbre sobre el futuro (Lindgren, *et al.*, 2003; Godet, 2003; Schmalbach, *et al.*, 2010).

Existen ventajas de la creación de escenarios para la planeación estratégica, las cuales según David Banister y Dominic Stead son (Banister *et al.*, 1999):

- Proveer bases firmes para la toma de decisiones.
- Identificar amenazas y oportunidades.
- Sugerir una variedad de enfoques diferentes.
- Ayudar a evaluar políticas y acciones alternativas.
- Incrementar la creatividad y la elección en la toma de decisiones.

### 1.2. MÉXICO: EL IPCC Y LA AGENDA 2030 (ODS).

Frente a los desafíos que enfrenta el mundo actual, 193 países miembros de las Naciones Unidas, junto actores de la sociedad civil, el sector académico y privado, entablaron un proceso de negociación abierto, democrático y participativo, que tuvo como resultado la promulgación de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, en Septiembre de 2015. Esta agenda, presenta una visión ambiciosa del desarrollo sostenible e integra sus dimensiones económica, social y ambiental; generando un compromiso y alianza internacional, entre los participantes, que toma en cuenta los

medios de implementación para realizar el cambio y la prevención de desastres naturales extremos, así como la mitigación y adaptación al cambio climático (ONU, 2015; CEPAL, 2018).

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, es la agenda que definió las prioridades a las cuales se están dirigiendo los esfuerzos globales. Entre las prioridades acordadas, se diseñaron 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (con sus metas específicas cada uno), entre los cuales se encuentran:



Imagen 10: Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Fuente: CEPAL, 2018.

- 1) “Poner fin a la pobreza en todas sus formas en todo el mundo”.
- 3) “Garantizar una vida sana y promover el bienestar de todos a todas las edades”.
- 6) “Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos”.
- 7) “Garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos”.
- 8) “Promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos”.
- 9) “Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación”.
- 10) “Reducir la desigualdad en los países y entre ellos”.
- 11) “Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles”.
- 12) “Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles”.
- 15) “Proteger, restablecer y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y detener la pérdida de biodiversidad”.

Aunque los ODS proponen la acción colectiva en torno a objetivos comunes y la formulación de políticas públicas, la composición de las mismas son complejas y persisten limitaciones técnicas, sociales, económicas y políticas, que han acotado los resultados previstos de tener un planeta mejor para las generaciones futuras (ibíd).

México, como parte de los países miembros de la ONU, adoptó la Agenda 2030 como un compromiso nacional con el cual se orienta al país, generando una Estrategia Nacional con una visión a largo plazo, multisectorial y multi-actor, que tendrá que llevar al país hacia el pleno cumplimiento de los ODS, bajo la orientación de los principios de la Agenda 2030. Como parte de dicha estrategia, se postularon diversos ejes de acción, los cuales son los siguientes (JOP, 2019):

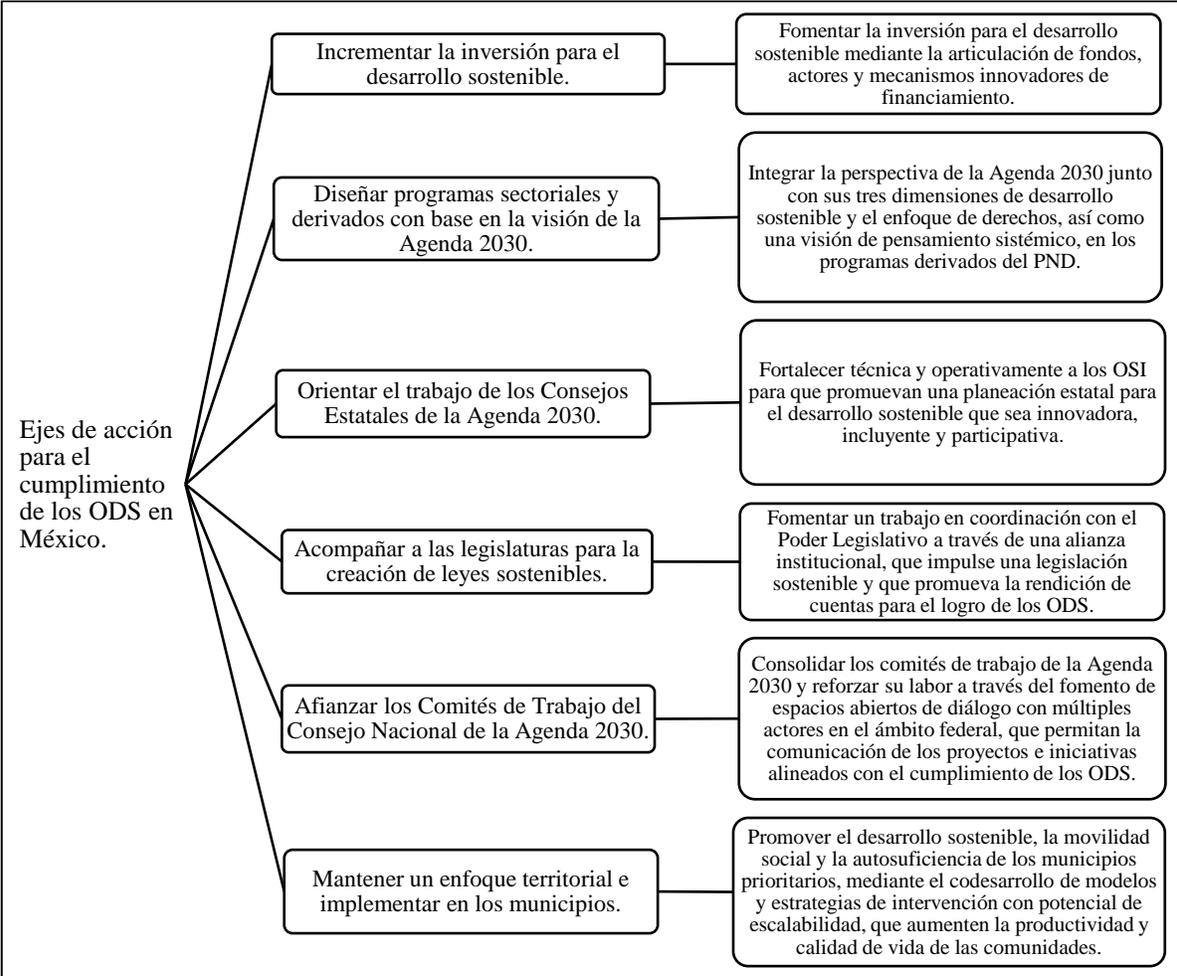


Diagrama 1. Ejes de acción para el cumplimiento de los ODS en México. Elaborado a partir de la Estrategia Nacional para la implementación de la agenda 2030 (JOP, 2019).

## **2. OBJETIVOS.**

### 2.1. General:

- Analizar el potencial de implementación de ecotecnologías en México.

### 2.2. Específicos:

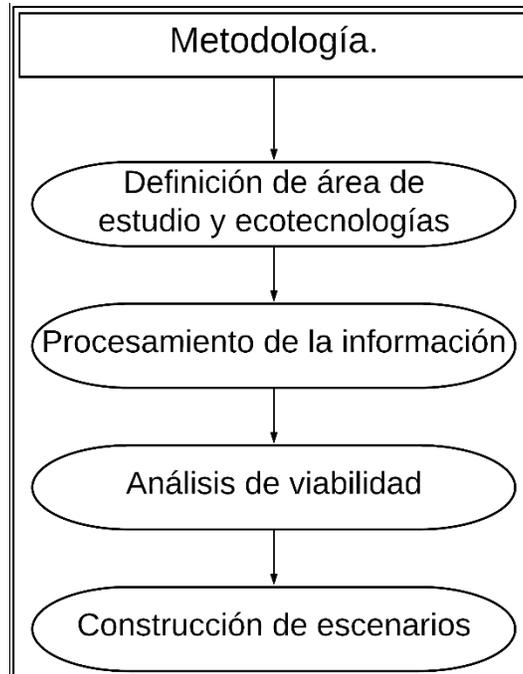
- Identificar las ecotecnologías con mayor potencial de implementación en cada entidad federativa de México.
- Construir escenarios a partir del cálculo de los impactos sociales y ambientales que generaría la implementación de ecotecnologías en cada entidad federativa de México.
- Relacionar los impactos socio-ambientales de la implementación de ecotecnologías en México con los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

## **3. METODOLOGÍA Y MÉTODOS.**

La metodología mixta (cualitativa y cuantitativa) de escenarios fue planteada basada en los principios generales para la construcción de escenarios establecidos por Leney *et al.*, (2004), Schmalbach *et al.*, (2010), Cruz *et al.*, (2015) y Glenn *et al.*, (2003), los cuales son:

- Definición del espacio del escenario.
- Recolección de datos.
- Desarrollo de escenarios.
- Elaboración de descripciones de cada escenario.
- Diseño de material de presentación.
- Propuestas y sugerencias de acciones y/o políticas.

Basado en el orden de las ideas generales planteadas por dichos autores, se estableció una metodología basada en los límites de acceso a la información, temporal y metodológico, como se muestra en el Diagrama 2 y como se abordará en los siguientes apartados.



*Diagrama 2: Metodología.*

### 3.1. DEFINICIÓN DE ÁREA DE ESTUDIO.

El estudio de escenarios en esta investigación, comenzó con la definición del campo de interés, esto es la implementación de ecotecnologías para la mitigación de impactos socio-ambientales en la República Mexicana.

A lo largo del territorio mexicano, existen una diversidad de climas (cálido húmedo, cálido subhúmedo, frío, seco desértico, seco y semi-seco, templado húmedo y templado subhúmedo) y contextos socio-ambientales diversos (Imagen 11), de acuerdo con la ubicación geográfica, los cuales resultan benefactores en diferente gama para la implementación de diversas ecotecnologías, según las condiciones específicas de cada sitio específico.

Las condiciones sociales de cada sitio (según su marginación y ruralidad) podrían influir en la implementación de las ecotecnologías por iniciativa privada, por lo que se sugiere a partir de la iniciativa pública la creación de programas que evalúen, promuevan, apoyen, capaciten y monitoreen el uso de ecotecnologías en viviendas, como se muestra en la Imagen 12.

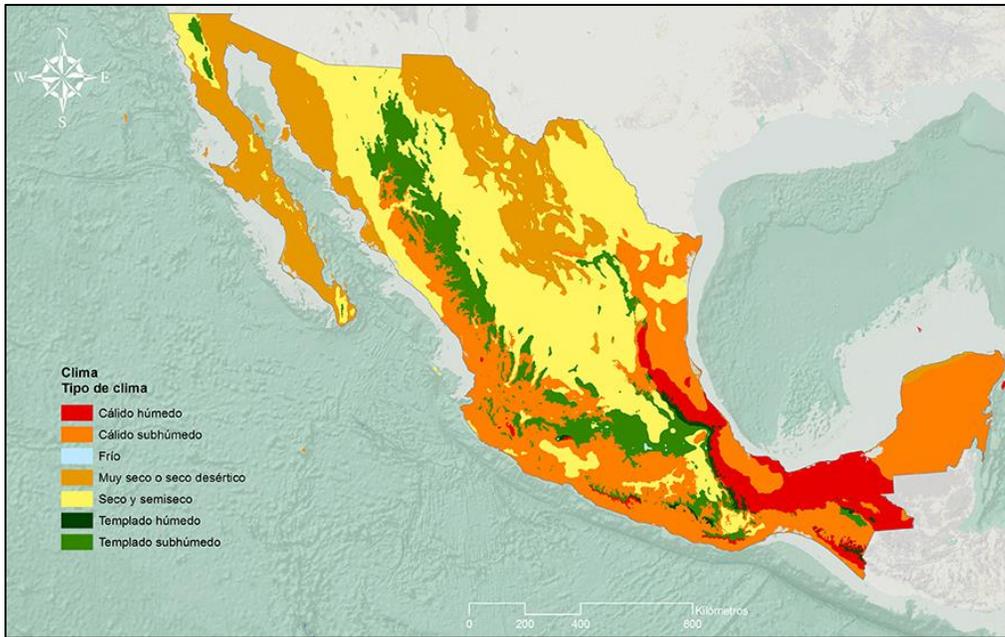


Imagen 11: Mapa de la República mexicana y climas.  
Fuente: SEMARNAT: Atlas digital geográfico.

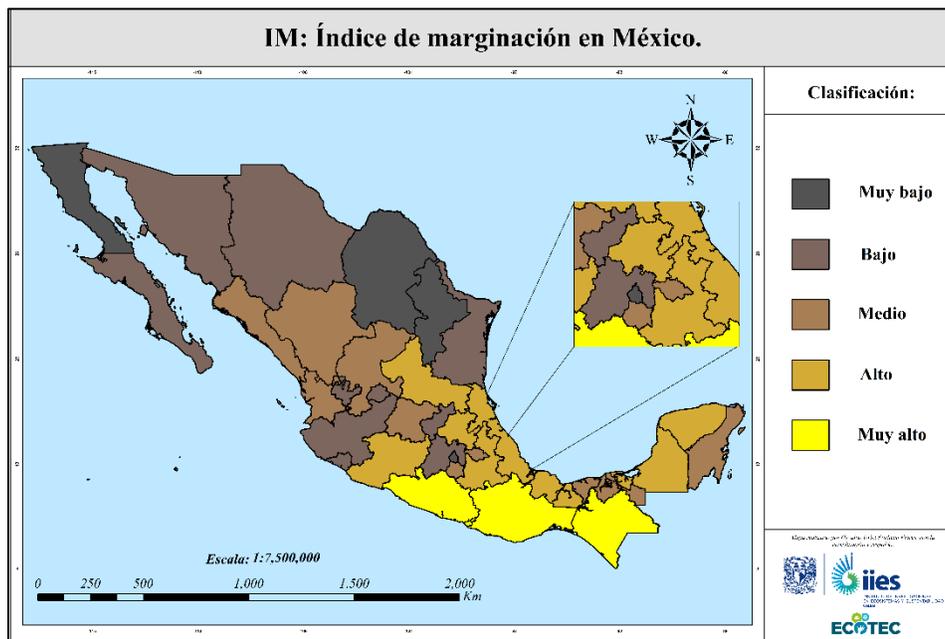


Imagen 12: Mapa del índice de marginación en México (elaboración propia).

Este estudio se realizó a escala nacional, basándose en datos sociales y climatológicos con respaldo gubernamental e institucional de las distintas entidades federativas, que aunque su precisión no es exacta, son los datos disponibles en el país ([Anexo 1](#)).

### 3.2. CONSULTA BIBLIOGRÁFICA.

Se realizó una consulta de información, en temas relacionados con: 1) Viviendas en México; 2) Diversidad climática; 3) Disponibilidad de recursos; 4) Ecotecnologías disponibles; identificando literatura relevante, pertinente, confiable, viable y necesaria, principalmente en libros, artículos de divulgación o de investigación científica, tesis, informes energéticos, censos nacionales, reportes técnicos, normas y bases de datos con respaldo institucional; como se muestra en el [Anexo 1](#).

Posteriormente, se realizó la organización sistemática de la información en “Mendeley” y hojas de cálculo (tablas de datos). Además, se organizó por relevancia, para obtener una estructura o diagrama que permite identificar los pilares del tema estudiado y la cantidad de datos que incluyeron en éste (autores, fuentes, año, etc).

Después, se realizó un análisis de la información organizada, el cual consistió en indagar y elegir cuáles eran los documentos más útiles para el tema de estudio. En este proceso se realizó un análisis acerca de la información necesaria, faltante o sustituible, y de manera cíclica se repitió la metodología mencionada hasta obtener los datos necesarios o alcanzables, manteniendo los principios de confiabilidad, relevancia, pertinencia y viabilidad.

Por último, se clasificó las fuentes bibliográficas seleccionadas en una tabla para un mayor control y organización de la información, basada en:

- 1) Atributo (Carencias en servicios de la vivienda en México).
- 2) Institución o autor y año.
- 3) Tema o subtema.
- 4) Título del documento.
- 5) Procedencia (Nacional o Extranjera).

### 3.3. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.

A partir de la información obtenida, se realizó el procesamiento de los datos para la generación de indicadores y ecuaciones, tomando en cuenta los elementos metodológicos de Schuschny (2009), CONEVAL (2013) y Masera et al. (2000), como se muestra a continuación:

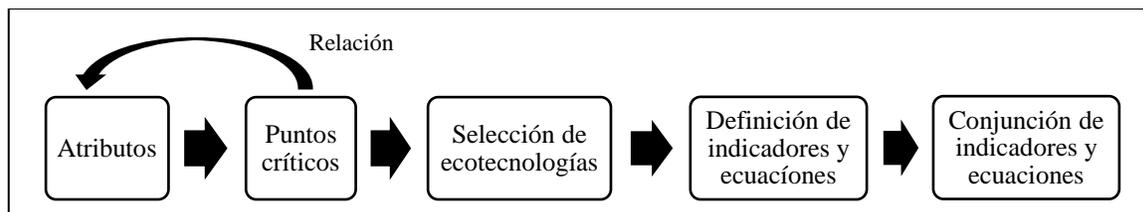
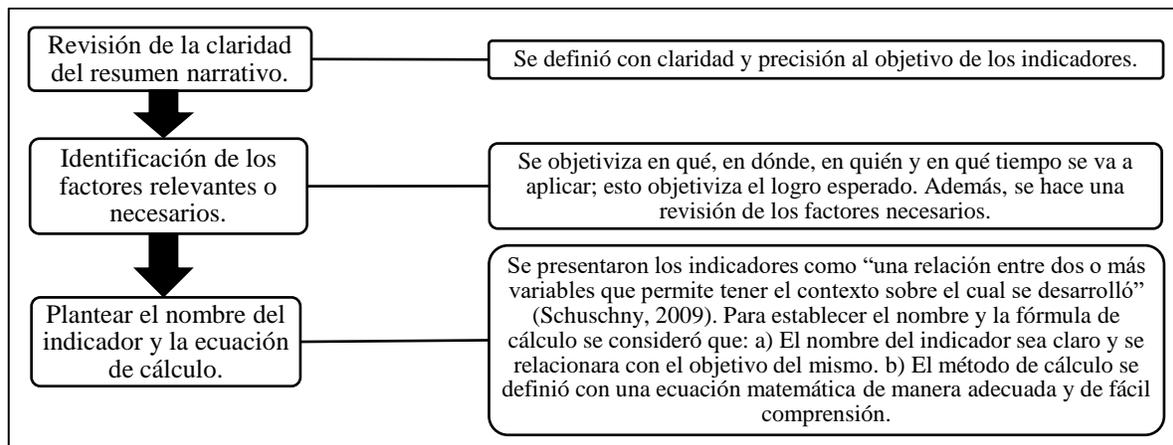


Diagrama 3. Procesamiento de los datos para la generación de indicadores y ecuaciones.

Una vez definidos los **atributos** con base en las carencias de servicios en las viviendas en México (electricidad, agua, eliminación de aguas residuales o drenaje, calentamiento de agua y cocción de alimentos), se identificaron los **puntos críticos de cada atributo**, es decir, aspectos o procesos que limitan o fortalecen la capacidad de sostenerse en el tiempo, como se muestra en la [Tabla 2](#).

Posteriormente, se realizó la **selección de ecotecnologías de diagnóstico**, basado en las ecotecnologías propuestas para México por Ortiz et al., (2014) y consultas con expertos en el tema. Esto para realizar un análisis y la selección de ecotecnologías tentativas a implementar en nuestro país, que mitiguen tales carencias en servicios de la vivienda y sus impactos socio-ambientales; tomando en cuenta los elementos metodológicos de Gómez et al. (2014).

A continuación, se realizó la **definición de indicadores**, entendiéndose como indicador a “una herramienta cuantitativa o cualitativa que muestra indicios o señales de una situación, actividad o resultado” (CONEVAL, 2013). Para la definición de indicadores se realizó esta serie de pasos:



*Diagrama 4. Pasos para la definición de indicadores y su forma de cálculo.*

La propuesta de indicadores, ecuaciones matemáticas y datos utilizados, se valen de ciertas consideraciones o principios generales, los cuales por la naturaleza y complejidad de los datos generan un grado de sesgo que es poco práctico y viable de minimizar, como se muestra a continuación:

Tabla A. Consideraciones en la información.

<b>CONSIDERACIONES EN LA INFORMACIÓN.</b>				
<i>Datos tecnológicos</i>		<i>Datos ambientales / climatológicas</i>	<i>Datos sociales / censales</i>	
La precipitación media anual es captada por los SCALL's de manera no sobresaturada, es decir, el agua es captada sin saturar al sistema.	El aerogenerador base con el que se generaron los cálculos tiene una potencia nominal de 600W, con una potencia de arranque de 3.5 m/s.	Las unidades de producción de ganado (ovino, porcino y bovino con uso de tecnología) son consideradas como una oportunidad de producción de biogás y biol, a través de la implementación de biodigestores.	El clima se mantendrá constante como en los últimos 10 años.	Los resultados de los censos nacionales consideran las condiciones de la totalidad de la población nacional y se considerarán sus resultados en un periodo de 20 años.
Las ecotecnologías son de interés y de accesibilidad pública, gubernamental y empresarial.	Las celdas fotovoltaicas base con el que se generaron los cálculos tienen una potencia nominal de 319W, con una potencia de arranque de 3.5 m/s.	Se considera que las unidades de producción de ganado con uso de tecnología, no practican el pastoreo y tienen disponibilidad de agua.	La precipitación media y velocidad del viento es medida y monitoreada de manera correcta y se generaliza para cada entidad federativa.	La media y per cápita son unidades estandarizadas que representan a todos los habitantes del país o entidad federativa.
Las ecotecnologías serán implementadas, monitoreadas, mantenidas y usadas de manera eficaz, adecuada, y correctamente en el periodo establecido.	Se considera que la implementación de ecotecnologías se realizará en viviendas cuyos servicios necesarios en la vivienda no sean disponibles o satisfechos de manera eficiente por la tecnología utilizada: 1) Viviendas sin aerogeneradores domésticos en zonas rurales (no existen objetos que obstruyan las corrientes de viento); 2) Viviendas sin módulos fotovoltaicos; 3) Viviendas que cocinan con leña y carbón en dispositivos ineficientes; 4) Viviendas que no cuentan con calentadores solares de agua (disponibilidad de agua de red pública); 4) Viviendas que no cuentan con el servicio de agua de red pública; 5) Viviendas que no cuentan con servicio de drenaje de red pública.	Los biodigestores base con el que se generaron los cálculos son los del Sistema 20 de Biobolsa, debido a que es un tamaño promedio de los dispositivos.	Los factores de emisión de gases de efecto invernadero son iguales sin importar la zona geográfica en México.	Se consideraron dimensiones promedio de viviendas de interés social en México como una medida mínima para la instalación de ecotecnologías; considerando que se pueden instalar 4 celdas fotovoltaicas en cada vivienda.
En este estudio no se consideran modificaciones en las estructuras físicas para la implementación de ecotecnologías, ni riesgos por su operación.		La estufa ahorradora de leña y la estufa solar son un complemento para la cocción de alimentos:  ○ El 70% de las tareas a cumplir en la cocción de alimentos se podrán realizar con el uso de estufas ahorradoras de leña.  El 30% de las tareas a cumplir en la cocción de alimentos se podrán realizar con el uso de estufas solares parabólicas.	Se consideró la fuerza de viento promedio anual mínima de 3.5 m/s a una altura de 10 metros.	Este estudio se considera como referencia el agua promedio necesaria reportada por CONAGUA (2015).
Los SCALL's base con el que se generaron los cálculos son los de 50 m2 del colector, debido a que es el tamaño mínimo.			La precipitación se consideró como un factor negativo para la instalación de módulos fotovoltaicos, estufas solares parabólicas y calentadores solares de agua.	Este estudio se considera que cada persona descarga el agua del WC 5 veces en promedio al día.
			Se considera que el funcionamiento de biodigestores se realizará en meses cuya temperatura promedio supere los 23°C.	Este estudio se considera la marginación y la ruralidad como factores de rezago social.

Posteriormente se realizó la **unión de indicadores**, en el [Anexo 2](#) se encuentra la lista de los indicadores con su respectivo método de cálculo. Por último, se aplicaron las ecuaciones matemáticas correspondientes a dichos indicadores anuales en cada entidad federativa, tomando en cuenta datos recopilados en el periodo de 2010-2018; posteriormente se clasificó la información en una base de datos por tipo de ecotecnología, indicadores y entidad federativa; como se muestra en el [Anexo 2](#).

### 3.4. ANÁLISIS DE VIABILIDAD.

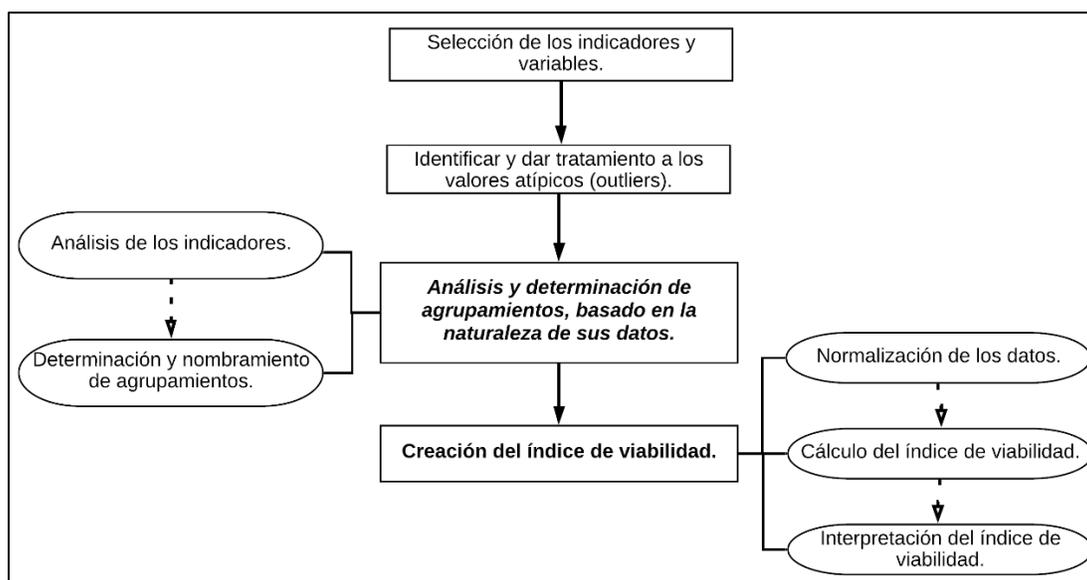


Diagrama 5. Metodología: Análisis de viabilidad.

Para este estudio, el modelo de viabilidad de implementación de ecotecnologías, se considera como un conjunto de proposiciones matemáticas (representación aritmética) que toma en cuenta la viabilidad como un parámetro para la implementación o descarte de las ecotecnologías (por individual) en cada entidad federativa.

La metodología utilizada se describe a continuación:

En primera instancia se realizó la selección de los indicadores y variables que se integraron en el método de determinación de agrupamientos ([Anexo 2](#)); para la selección fueron considerados los criterios conceptuales y estadísticos (resumen narrativo, factores relevantes o necesarios, redundancia en los datos, etc.), la naturaleza de los datos y la relación que tenían entre ellos.

Posteriormente, se identificó y dio tratamiento a los valores atípicos (outliers). El tratamiento de valores atípicos se realizó para la normalizar los datos para un análisis en conjunto de los mismos.

*Valores atípicos: Se denominan a aquellos datos con características diferentes de los demás y que actúan como valores extremos; esto genera una problemática debido a que dichos valores pueden distorsionar seriamente el comportamiento de los contrastes estadísticos (Ocaña, 2011).*

El umbral para la designación de caso atípico, consistió en la identificación de outliers mediante el cálculo de puntuaciones tipificadas, es decir, se examinó la distribución de valores para cada variable, calculando los límites inferiores y superiores a partir de la metodología por cuartiles con  $g'$  ( $g=2.2$ ). A partir de los cálculos, se seleccionaron como casos atípicos aquellos donde los valores cayeron fuera de los rangos de la distribución (límite inferior y superior) y se modificaron los valores por el del límite más cercano (Moreno, 2012).

A partir de la selección de indicadores y el tratamiento de outliers, se realizó un método analítico para la identificación y determinación de grupos de indicadores el cual se describe a continuación:

#### *3.4.1. Análisis y determinación de agrupamientos.*

Este método consistió en generar diversos agrupamientos de indicadores que compartieran características similares, basándose en el resumen narrativo de los indicadores (definición, características y cualidades) y su naturaleza de los datos contenidos por indicador; con el objetivo de reducir la incertidumbre por redundancia de la información. El método realizado tomó en cuenta la metodología de Schuschny (2009) y Nardo et al., (2005), para su planteamiento y ejecución.

Este proceso consistió en:

- a) Análisis de los indicadores: El análisis de los indicadores consistió en la revisión del resumen narrativo de cada indicador (definición, características y cualidades), asimismo, la naturaleza de los datos contenidos por cada indicador. Es decir, se identificaron los objetivos, datos y características de cada indicador.
- b) Determinación y nombramiento de agrupamientos (indicadores multivariados): A partir del análisis de los indicadores, se realizó una clasificación de los mismos, agrupándolos en distintas categorías o componentes. Estos agrupamientos sirvieron como una premisa de agrupación para generar indicadores multivariados, por lo que se les asignó un nombre basado en algún elemento explicativo de viabilidad en la implementación de ecotecnologías, tal como se muestra en el [Anexo 3](#).

#### *3.4.3. Creación del índice de viabilidad de implementación de cada ecotecnología.*

Posterior a la determinación de agrupamientos (indicadores multivariados), se realizó un índice que explicó de manera conjunta la viabilidad de implementación de cada ecotecnología en México, tomando en cuenta los métodos para la generación de índices y recomendaciones de Schuschny (2009). En este estudio se define al “índice” como una medida compuesta y compleja que combina y

sintetiza más de un indicador multivariado, los cuales se ponderan de acuerdo a diferentes métodos (ibíd).

La metodología para construir el índice se basó en la definición de indicadores multivariados de viabilidad (sustitución tecnológica, climatológica, y social) que en conjunto, conformarán un índice de viabilidad para la implementación de cada ecotecnología en cada entidad federativa de México.

Dicho proceso consistió en:

- a) Normalización de los datos: Posterior a los resultados obtenidos del agrupamiento de indicadores, se realizó un procesamiento de la información a partir de una normalización. Dicha estandarización fue resultado de la ejecución de la función “decostand”, con el método “range”, que estandariza los valores en el rango 0-1.
- b) Cálculo del índice de viabilidad: Con base a la normalización de los datos, se calculó el valor en conjunto para cada indicador de viabilidad, como se muestra en el [Anexo 4](#); dicho procedimiento se realizó para disminuir la redundancia de la información en cada indicador multivariado, y así reducir la incertidumbre por la cantidad de valores (normalizados) considerados en el índice de viabilidad de implementación de cada ecotecnología.

A partir del valor obtenido para cada indicador multivariado (sustitución tecnológica, variables climáticas y sociales), se asignó un porcentaje de explicación a cada uno, los cuales a partir de la multiplicación por su fracción asignada se obtendría, en conjunto el 100% de cada en el índice de viabilidad para cada ecotecnología, estos fraccionamientos se muestran en el [Anexo 4](#). Dichos porcentajes se definieron y calcularon de manera equivalente debido a que se pretende dar el mismo peso a cada uno de los elementos de viabilidad.

Después, se realizó una suma de los valores obtenidos, teniendo como producto el índice de viabilidad en la implementación de cada ecotecnología.

#### *3.4.4. Interpretación del índice de viabilidad de implementación de cada ecotecnología.*

Con base a los índices de viabilidad, se realizó una ponderación y asignación de los valores obtenidos en rangos equivalentes para las distintas 4 categorías establecidas (nula viabilidad [25%], poca viabilidad [26-50%], viable [50-75%] y muy viable [76-100%]), basados en los límites inferior y superior para su cálculo.

Posteriormente, se realizó un análisis de la información obtenida, generando una explicación de los resultados de acuerdo a las condiciones tecnológicas, climatológicas y sociales que determinaron los resultados; clasificando así las entidades federativas que serían viables para implementar algún tipo

de ecotecnología en específico (viable y muy viable) y descartando las que no (nula viabilidad y poca viabilidad).

### 3.5. CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS.

Se realizó el planteamiento y cálculo de escenarios ideales y porcentuales de implementación de ecotecnologías en México, para un lapso de 20 años. Para ello, se basó en la viabilidad y en los beneficios anuales de la implementación de ecotecnologías en México, como: 1) Mitigación de necesidades en la vivienda; 2) Disminución en el uso de recursos; 3) Aprovechamiento o sustitución de la ecotecnología; 4) Evitar emisiones de GEI.

Asumiendo lo anterior mencionado, se realizó una selección de indicadores que podrían mostrar variabilidad cuantitativa en los resultados y que reforzaran los objetivos del estudio, como se muestra en la [Tabla 1](#).

*Tabla 1. Indicadores considerados para el modelaje.*

<b>INDICADORES CONSIDERADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS</b>	
<i>Ecotecnología</i>	<i>Indicadores</i>
A) Aerogeneradores.	A1: Potencial de implementación de aerogeneradores domésticos.
	A2: Potencial de generación eólica.
	A3: Emisiones de CO <sub>2</sub> eq evitadas por la implementación de la tecnología.
B) Módulos fotovoltaicos.	B1: Potencial de implementación de celdas fotovoltaicas domésticas.
	B2: Potencial de generación solar.
	B4: Emisiones de CO <sub>2</sub> eq evitadas por la implementación de la tecnología.
C) Estufas ahorradoras de leña.	C1: Potencial de implementación de estufas ahorradoras de leña.
	C2: Emisiones de CO <sub>2</sub> eq evitadas por la implementación de la tecnología.
	C3: Reducción de uso de leña por uso de la tecnología.
	C4: Reducción de horas de recolección de leña por uso de la tecnología.
	C5: Emisiones de PM 2.5 evitadas por la implementación de la tecnología.
	C6: Emisiones de CO evitadas por la implementación de la tecnología.
D) Estufas solares parabólicas.	D1: Potencial de implementación de estufas solares parabólicas.
	D2: Emisiones de CO <sub>2</sub> eq evitadas por la implementación de estufas solares parabólicas.
	D3: Reducción en el consumo de leña por uso de estufas solares parabólicas.
	D4: Reducción de horas utilizadas en la recolección de leña por uso de estufas solares parabólicas.
	D5: Emisiones de PM 2.5 evitadas por la implementación de estufas solares parabólicas.
	D6: Emisiones de CO evitadas por la implementación de estufas solares parabólicas.
E) Biodigestores.	E1: Potencial de implementación de biodigestores.
	E5: Emisiones de CO <sub>2</sub> eq evitadas por el uso de biogás.
	E6: Reducción de uso de gas LP por uso de tecnología.
	E7: Reducción de uso de fertilizante por uso de tecnología.
F) Calentadores solares de agua.	F1: Potencial de implementación de calentadores solares de agua.
	F2: Emisiones de CO <sub>2</sub> eq evitadas por la implementación de la tecnología.
	F3: Reducción de uso de gas LP por uso de la tecnología.
G) SCALL's.	G1: Potencial de implementación de SCALL's.

	G2: Potencial de agua captada por uso de la tecnología.
	G4: Emisiones de CO <sub>2</sub> eq evitadas por la implementación de la tecnología.
H) Sanitarios ecológicos secos.	H1: Potencial de implementación de sanitarios ecológicos secos.
	H4: Emisiones de CO <sub>2</sub> eq evitadas por la implementación de la tecnología.

### 3.5.1. Elaboración de escenarios ideales.

Para este estudio, los escenarios ideales de la implementación de ecotecnologías, serán considerados como un conjunto de proposiciones matemáticas (representación aritmética), basada en el potencial de implementación de ecotecnologías en México (analizada a partir de la viabilidad) y los beneficios acumulativos en un periodo de 20 años (Carvajal, 2015).

A partir del análisis combinado de la información y con base en los resultados anuales de los indicadores (beneficios de la implementación de ecotecnologías), sin el tratamiento de valores atípicos, se realizó una modelación a partir de la suma anual de los resultados de los indicadores en un lapso de 20 años. Dichos escenarios atenderán a la necesidad de transición tecnológica presentada en el IPCC (2018), a los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) y a la mitigación de necesidades en las viviendas en México.

Los escenarios ideales serán utilizados para dar un panorama simple de lo que se podría obtener como beneficio por la implementación de las distintas ecotecnologías en México. Siendo ideal, debido a que considerará que las ecotecnologías: a) Serán implementadas al 100 por ciento en un año en específico; b) Estarán funcionando adecuadamente; c) Serán utilizadas correctamente en cada entidad federativa de México, durante el periodo establecido.

### 3.5.2. Elaboración de escenarios porcentuales (1%, 3% y 5% anual).

Los escenarios son considerados “estudios relacionados con la visualización del futuro de algo (personas, sociedades, empresas, regiones, naciones) que están encaminados a explorar eventos posibles, probables y/o preferibles, basado en una lógica racional” (Schmalbach *et al.*, 2010).

A partir de los resultados de los escenarios ideales, se construyeron escenarios basados en un porcentaje anual de implementación de ecotecnologías en cada entidad federativa; esto se debe a que en aspectos de aplicabilidad y practicidad económico-temporal no es realista implementar las ecotecnologías en un 100% en un año específico, por lo tanto, se propone la implementación en 3 distintos porcentajes anuales, los cuales son: 1%, 3% y 5%. Estos porcentajes se determinaron con base a los resultados porcentuales de implementación de ecotecnologías en el lapso de 20 años, instalando el 20, 60 y 100% de las tecnologías.

Este proceso consistió en realizar proyecciones del desarrollo de los indicadores (beneficios de la implementación de ecotecnologías) y su suma acumulativa en el periodo establecido; lo cual responde a la necesidad de mitigación de impactos socio-ambientales y necesidad de transición tecnológica, abordado por el IPCC (2018), a los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) y a la mitigación de necesidades en las viviendas en México.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

### 4.1. DEFINICIÓN DE ECOTECNOLOGÍAS POTENCIALES.

En este estudio se proponen las siguientes ecotecnologías que pretenden potencialmente disminuir las necesidades por servicios en las viviendas rurales y/o urbanas de México; basándose en los atributos o servicios necesarios en las viviendas y en los impactos asociados a su instalación, como se muestra a continuación:

Tabla 2. Atributos, puntos críticos y ecotecnologías de diagnóstico (propuestas).

<b>ECOTECNOLOGÍAS PROPUESTAS PARA DISMINUIR LAS NECESIDADES POR SERVICIOS EN LAS VIVIENDAS DE MÉXICO.</b>					
<i>Atributos</i>	<i>Puntos críticos</i>	<b>Tecnología convencional o utilizada.</b>	<b>Ecotecnología propuesta.</b>	<b>Impactos por ecotecnologías propuestas.</b>	<b>Espacio aplicable</b>
Electricidad.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Carencia de acceso al sistema interconectado de distribución de electricidad pública.</li> <li>• Dependencia a combustibles fósiles en la generación.</li> <li>• Emisiones de CO<sub>2</sub>eq por la generación de electricidad.</li> <li>• Acceso a recursos naturales para la generación eléctrica.</li> </ul>	Plantas termoeléctricas basadas en combustibles fósiles o de fisión.	A) Aerogeneradores	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contribuyen a la mitigación de gases de efecto invernadero (GEI).</li> <li>• Permiten llevar energía eléctrica a lugares remotos.</li> <li>• Tienen el potencial de reducir el consumo de energía eléctrica proveniente de la red pública y reducir así el costo (\$) aunado a esto.</li> <li>• Representan una alternativa para contribuir a la seguridad y balance energético en México.</li> <li>• Se requiere una inversión costosa para su implementación.</li> <li>• Potencial de generación de empleos y nuevas empresas locales.</li> <li>• Las baterías y las celdas fotovoltaicas contaminan al final de su vida útil.</li> </ul>	Rural.
			B) Módulos fotovoltaicos		Rural y urbano.

Cocción de alimentos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumo desmedido de leña, carbón y Gas L.P. para la cocción de alimentos.</li> <li>• Emisiones de CO<sub>2</sub>eq por la cocción de alimentos.</li> <li>• Acceso a recursos naturales para la cocción de alimentos.</li> </ul>	Fogón o parrilla, basadas en el uso de leña o carbón.	C) Estufas ahorradoras de leña.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contribuye a la mitigación de GEI.</li> <li>• Permite llevar un método de cocción de alimentos a lugares donde la obtención de otros tipos de combustibles es complicada.</li> <li>• Puede reducir el consumo de leña y el gasto, esfuerzo o tiempo aunado a su obtención.</li> <li>• Disminuye las afectaciones a la salud de los usuarios.</li> <li>• Representa una alternativa para poder contribuir a la seguridad energética en México.</li> <li>• Son accesibles.</li> <li>• Puede generar empleos y propiciar la generación de nuevas empresas.</li> </ul>	Rural.
		Estufa basada en el uso de gas L.P.	D) Estufas solares parabólicas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contribuye a la mitigación de GEI.</li> <li>• Permite llevar un método de cocción de alimentos a lugares donde la obtención de otros tipos de combustibles es complicada.</li> <li>• Puede reducir el consumo de leña y el gasto, esfuerzo o tiempo aunado a su obtención.</li> <li>• Representa una alternativa para poder contribuir a la seguridad energética en México.</li> <li>• Disminuye las afectaciones a la salud de los usuarios.</li> <li>• Su aplicación es limitada.</li> <li>• Son económicamente accesibles.</li> <li>• Puede generar empleos y propiciar la generación de nuevas empresas locales.</li> </ul>	Rural.
			E) Biogás (biodigestores).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Producen biogás, el cual es una alternativa al gas L.P. a bajo costo.</li> <li>• Su implementación reduce la contaminación ambiental al convertir excretas de origen animal en biogás y biol.</li> <li>• Mejora las condiciones de salubridad.</li> <li>• Contribuyen a reducir los niveles de deforestación, por el menor uso de leña con fines energéticos.</li> <li>• Reduce la cantidad de trabajo relacionado con la recolección de leña para cocinar.</li> <li>• Altos costos de implementación.</li> <li>• Existe un riesgo de explosión por su manejo inadecuado o incorrecto.</li> <li>• Puede generar empleos y propiciar la generación de nuevas empresas.</li> </ul>	Rural.
Calentamiento de agua.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dependencia a combustibles fósiles para calentar agua.</li> <li>• Emisiones de CO<sub>2</sub>eq por calentamiento de agua.</li> <li>• Acceso a recursos naturales para el calentamiento de agua.</li> <li>• Acceso a agua potable.</li> </ul>	Calentadores de agua basados en gas L.P.	F) Calentadores solares de agua.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contribuyen a la mitigación de GEI.</li> <li>• Ahorro energético y económico del consumo de gas L.P.</li> <li>• Son accesibles.</li> <li>• Representan una alternativa para poder contribuir a la seguridad energética en México.</li> <li>• Puede generar empleos y propiciar la generación de nuevas empresas.</li> <li>• Pueden ser implementados en ciudades y en zonas rurales.</li> </ul>	Rural y urbano.
Agua.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Carencia de agua potable.</li> <li>• Emisiones de CO<sub>2</sub>eq por el tratamiento, potabilización y eliminación de agua residuales.</li> <li>• Temporadas de precipitación.</li> <li>• Acceso a agua potable.</li> </ul>	Tratamiento, y potabilización de agua.	G) Sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL's).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminuyen la necesidad de explotación de recursos hídricos.</li> <li>• Minimizan la carencia de agua al captar agua de lluvia.</li> <li>• Disminución en el uso de energía y las emisiones generadas por la potabilización, distribución y drenaje de agua.</li> <li>• Ahorro económico, debido a que el agua pluvial no tiene costo.</li> <li>• Pueden ser implementados en ciudades y en zonas rurales.</li> <li>• Son accesibles.</li> <li>• Puede generar empleos y propiciar la generación de empresas locales.</li> </ul>	Rural y urbano.

Eliminación de aguas residuales o drenaje.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Carencia de drenaje público.</li> <li>• Emisiones de CO<sub>2</sub>eq por el tratamiento, potabilización y eliminación de agua residuales.</li> <li>• Acceso a agua potable y drenaje.</li> </ul>	Drenaje público y WC convencional.	H) Sanitarios ecológicos secos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contribuyen a la mitigación de GEI.</li> <li>• Ahorro de agua.</li> <li>• Contribuye al saneamiento público.</li> <li>• Disminuyen la contaminación del suelo y del agua.</li> <li>• Si las cámaras se construyen de manera adecuada, reducen el riesgo de infiltraciones y evita la contaminación de los mantos acuíferos.</li> <li>• Son económicamente accesibles.</li> <li>• Generan abono y este puede reducir el consumo de fertilizantes químicos.</li> <li>• Si no hay un mantenimiento adecuado podría generar la proliferación de roedores e insectos.</li> <li>• Su construcción puede generar empleos y propiciar la generación de empresas locales.</li> </ul>	Rural y urbano.
--	--	------------------------------------	---------------------------------	--	-----------------

A continuación se presentarán las características particulares de cada una de las ecotecnologías propuestas para implementar en México:

#### A) Aerogeneradores domésticos.

Las turbinas eólicas o aerogeneradores son máquinas que se utilizan para transformar la energía cinética del viento en energía mecánica que al ser aprovechada puede tener dos usos: 1) ser usada para el funcionamiento de un generador eléctrico y producir electricidad; 2) ser utilizada directamente por aeromotores para el accionamiento de una máquina (Quaschnig, 2005).

En Europa esta tecnología fue utilizada desde la década de los años 80 's para el aprovechamiento del viento en la generación de electricidad, pero no fue hasta el año 2,000 que se impulsó su instalación masiva debido al auge que se le dio a las energías renovables. Los aerogeneradores han sido considerados como una alternativa de abastecimiento de electricidad para comunidades donde la distribución del recurso es limitada, costosa o carente. Además, hay reportes que aseguran que contribuye a la mitigación de impactos ambientales asociados a la generación eléctrica (Cobreiro & Jiménez, 2014).

La clasificación de las máquinas eólicas puede realizarse atendiendo a los siguientes aspectos (Quaschnig, 2005): A) Posición del eje de rotor (eje vertical u horizontal); B) Usos; C) Altura; D) Potencias de turbina; E) Número de palas; F) Velocidades de trabajo.



*Imagen 2: Aerogenerador bipala "Bornay 600".*

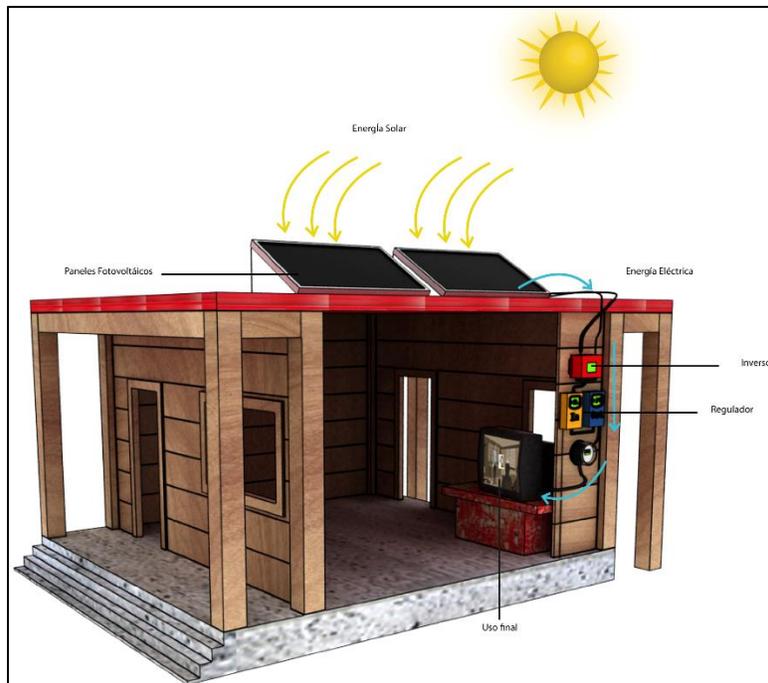
*Fuente: Bornay, (s.f.).*

Para este estudio se tomará como referencia el aerogenerador modelo "Bornay 600", debido a que: 1) su eje de rotor es horizontal (aprovecha más el viento); 2) es un aerogenerador de uso doméstico; 3) su altura de 2 metros y peso de 38 kg lo hace accesible de colocar en viviendas rurales; 4) la potencia nominal de turbina que ofrece es de 600 watts, lo cual permitiría un mejor aprovechamiento del viento; 5) funciona con 2 palas; 6) usa una velocidad de arranque de 3.5 m/s y un frenado automático de 13 m/s, lo cual optimiza el aprovechamiento del viento de baja y altas potencias; 7) es una marca recomendada por su experiencia, eficiencia y calidad de productos (Bornay, s.f.).

Otro motivo por el que se selecciona este aerogenerador, es que la tecnología es indicada para zonas rurales con carencia o flujo intermitente de electricidad o para usuarios interesados por el ahorro en el consumo de electricidad de red pública; atendiendo a la instalación y uso eficiente y correcto de la tecnología.

### *B) Módulos fotovoltaicos domésticos.*

Las celdas fotovoltaicas son dispositivos tecnológicos formados por algunos tipos de metales (principalmente silicio) que tienen mayor sensibilidad a la energía lumínica y producen un efecto fotoeléctrico, es decir, que las celdas fotovoltaicas al ser incididas por la radiación solar, absorben fotones de luz y emiten electrones, que al ser capturados pueden ser utilizados como electricidad (ibíd).



*Imagen 3: Módulos fotovoltaicos y su funcionamiento.  
Fuente: Unidad de Ecotecnologías (IIES), 2020.*

Las células fotovoltaicas se dividen en 3 tipos:

- Monocristalinas: Se componen de secciones de un único cristal de silicio.
- Policristalinas: Se forman a partir de pequeñas partículas cristalizadas.
- Amorfas: Se crean en base a silicio que aún no se ha cristalizado.

Las células más utilizadas en el mundo son las de silicio monocristalino y silicio policristalino, debido a que tienen una mayor eficiencia, a la presente abundancia de Silicio en el planeta (en comparación a otros metales semi-conductores) y en el conocimiento previo que se tiene del Silicio (ibíd).

Las celdas fotovoltaicas funcionan por conjunto, es decir, en módulos fotovoltaicos, que a partir de la generación de electricidad han podido ser una alternativa eléctrica para viviendas o empresas. La aplicación de módulos fotovoltaicos en viviendas es considerada una estrategia en México para la satisfacción del servicio público de electricidad a partir de una generación alternativa a las convencionales (PROMÉXICO, 2017).

Estos dispositivos han permitido obtener ciertos beneficios, como: 1) obtener o aumentar la constancia en el servicio de electricidad; 2) ahorrar dinero para la adquisición de energía eléctrica; 2) mitigar el impacto por extracción de combustibles para la generación de electricidad; 3) mitigar el impacto ambiental por la emisión de GEI por la producción, transmisión y uso de la electricidad (Alonso *et al.*, 2002; Martínez, 2013).

Está tecnología es indicada para todas las viviendas rurales y/o urbanas cuyo recurso solar sea ventajosamente aprovechable en el espacio de instalación y en espacio geográfico o para usuarios

interesados por la producción de energía eléctrica alternativa. Por lo que esta tecnología es propuesta en México en sus diversos modelos tecnológicos, atendiendo a los tipos de celdas recomendables por su eficiencia, características domésticas y al uso eficiente y correcto de la tecnología. No obstante, para este estudio se toma como referencia al modelo “ASP325HM6L-60 (Alpha Solar Planet), debido a sus dimensiones, potencia, materiales, eficiencia y durabilidad.

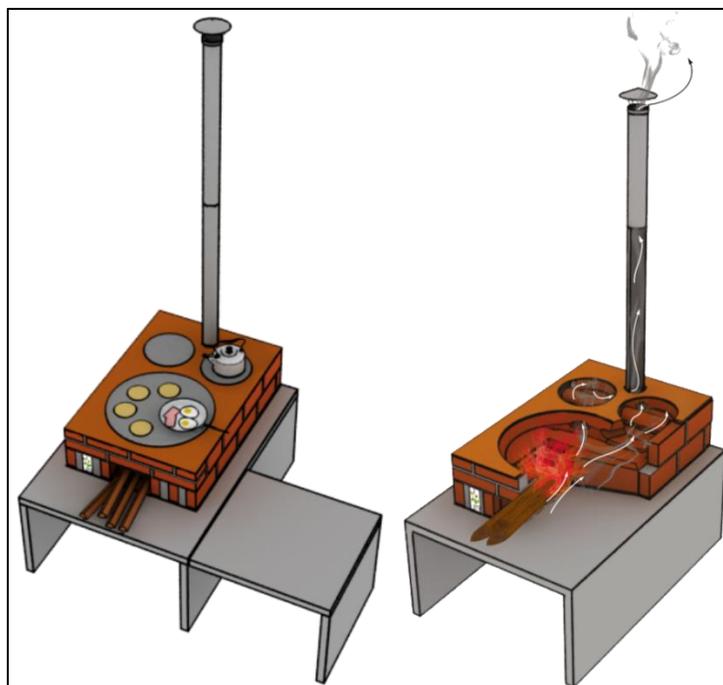
### *C) Estufas ahorradoras de leña.*

Desde tiempos ancestrales hasta hoy en día, existen comunidades en México que cocinan sus alimentos a partir de la leña combustionada generalmente en un fogón abierto, estos dispositivos que en su proceso de combustión son poco eficientes (por lo que su uso requiere mayor combustible), contaminantes, dañinos para la salud y con impacto en la economía familiar por el gasto económico que representa la cantidad de leña consumida (CONAFOR, 2008; Díaz *et al.*, 2011; Orozco *et al.*, 2012).

La leña tiene diversas ventajas como fuente energética debido a que es un combustible disponible localmente, accesible y renovable. No obstante, el uso común en fogones abiertos de la manera cotidiana representa riesgos tanto para las familias que los usan, como para los ecosistemas forestales cuando no existe un manejo adecuado del recurso leña. Además, la combustión ineficiente de la leña genera emisiones de GEI que contribuyen al cambio climático global (ibíd).

Ante las problemáticas mencionadas, a partir de la década de los años 70, se comenzaron a desarrollar diversos modelos y diseños de estufas ahorradoras, eficientes o mejoradas de leña, las cuales tendrían como objetivos eficientizar la combustión de la leña en los dispositivos, usar materiales aislantes, poseer elevada transferencia de calor, con adecuado diseño geométrico y correcto flujo de aire (ibíd).

Estas mejoras han permitido obtener beneficios como disminución en el gasto económico por la adquisición del combustible, reducción de emisiones de GEI derivado de una mejora en la eficiencia de combustión en la leña, reducción del riesgo de contraer diversas enfermedades respiratorias (Blanco *et al.*, 2012) y una disminución de la cantidad de combustible utilizada a tasas de hasta el 50%. Es por ello que el uso de estufas ahorradoras de leña es considerada como una alternativa para todas las viviendas cuyo combustible para la cocción de alimentos sea leña o carbón o para usuarios interesados en la cocción de alimentos con leña (ibíd).



*Imagen 4: Estufa ahorradora de leña y su funcionamiento.*

*Fuente: Unidad de Ecotecnologías (IIES), 2020.*

Por lo que la tecnología es propuesta en sus diversos modelos tecnológicos, atendiendo a la capacidad de carga, necesidades, construcción y uso eficiente y correcto de la estufa; aunque para este estudio se toma como referencia al modelo de estufa “Patsari”, debido a su eficiencia, durabilidad, accesibilidad y utilidad en México. Además, es considerado una tecnología complementaria junto con la estufa solar, tomando un porcentaje de tareas de cocción a realizar de hasta un 70%.

#### *D) Estufas solares parabólicas.*

México es un país en el cual un importante porcentaje de las viviendas cocinan con biomasa, esto ha desembocado en una serie de riesgos como se abordó en el apartado anterior; es por ello que se ha planteado usar la energía calorífica del Sol como combustible para la cocción de algunos alimentos; tomando en consideración que México es un país con potencial de radiación solar beneficiosamente aprovechable. Estos dispositivos son llamados cocinas de concentración solar o estufas solares parabólicas, las cuales a partir de una pared parabólica, acumulan y concentran la energía calorífica de sol en una olla o recipiente resistente al calor, cocinando los alimentos contenidos en un lapso de tiempo definido por la exposición, espacio geográfico y tiempo climático (Daza *et al.*, 2015; Flores, 2008).

Estos dispositivos han permitido obtener ciertos beneficios, como: 1) ahorrar dinero o tiempo para la adquisición del combustible para la cocción de alimentos; 2) mitigar el impacto en áreas forestales

por la extracción de leña; 3) son versátiles y adaptables a diferentes materiales y diseños; 4) realizar otras actividades mientras se cocina (ibíd).



*Imagen 5: Estufa solar parabólica.*

*Fuente: Rodríguez, et al., 2015.*

Esta tecnología es indicada para todas las viviendas con espacio suficiente para el dispositivo, zonas rurales, hogares cuyo combustible para la cocción de alimentos sea leña o carbón o para usuarios interesados en la cocción de alimentos con energía solar. Por lo que la tecnología es propuesta en sus diversos modelos tecnológicos, atendiendo a la capacidad de carga, necesidades, construcción y uso eficiente y correcto de la estufa. Además, es considerada una tecnología complementaria junto con la estufa ahorradora de leña, tomando un porcentaje de tareas de cocción a realizar de un 30%, debido a sus limitantes por exposición al sol o tiempo de cocción de los alimentos.

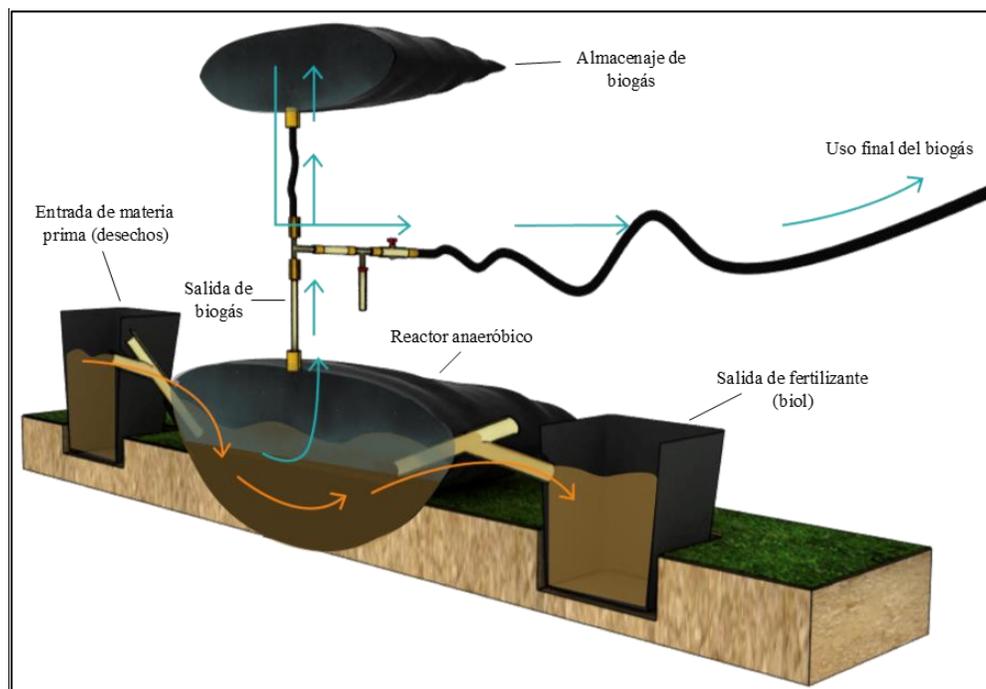
#### *E) Biodigestores.*

Los biodigestores son sistemas tecnológicos diseñados para producir y optimizar la generación de biogás a partir de desechos agrícolas, estiércol o efluentes industriales (orgánicos); los cuales a partir de un proceso anaeróbico de hidratación, fermentación y descomposición de la materia orgánica, produce biogás, el cual es una energía renovable limpia y de bajo costo. Además, el aprovechamiento del biogás reduce la emisión de metano (CH<sub>4</sub>), un gas de efecto invernadero (GEI) con un potencial de calentamiento global 23 veces mayor que el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (Corona, 2007; Rivas, *et al.*, 2010; FAO, 2011; FAO, 2019).

Añadido a esto, el funcionamiento óptimo de la tecnología, genera a su vez un biofertilizante llamado “biol”, un abono el cual brinda nutrientes al suelo capaz de acondicionar sus propiedades para la producción de plantas ornamentales o de alimentos (ibíd).

El biogás se ha utilizado como combustible para automotores, sin embargo, en países como Costa Rica y México, el uso del biogás se ha visto acotado al espacio donde se produce, siendo empleado para su combustión con motivos de cocción, calentamiento de agua, electricidad, iluminación o alimentar motores de combustión interna que generan fuerza motriz o eléctrica (Corona, 2007; Rivas *et al.*, 2010).

Esta tecnología es propuesta para zonas rurales de México, donde se disponga de grandes cantidades de desechos orgánicos, con buena disponibilidad de agua y espacio para su instalación, además el potencial usuario debe tener interés en disminuir su uso de Gas LP para la cocción de alimentos, es decir, en sitios considerados como unidades de producción o uso de ganado; dichas unidades de producción podrían generar biogás para su uso doméstico en la cocción de alimentos y biol para su uso como fertilizante.



*Imagen 6: Biodigestor y su funcionamiento.  
Fuente: Unidad de Ecotecnologías (IIES), 2020.*

La tecnología es propuesta a unidades de producción de ganado, atendiendo a la capacidad de carga, construcción y uso eficiente del biodigestor. En nuestro país, los modelos de biodigestor más difundidos son los propuestos por el “Sistema Biobolsa”, debido a que han sido útiles en distintos países de Latinoamérica, debido a su durabilidad, sus componentes prefabricados, variedad en tamaños, su adaptabilidad y fácil operación y mantenimiento (Sistema Biobolsa, s.f.). Es por ello que, para este estudio se utilizó como referencia el biodigestor “Sistema 20” de Biobolsa, siendo un sistema de tamaño promedio para su uso en México.

### F) Calentadores solares de agua.

Un calentador solar es una tecnología basada en un sistema fototérmico que utiliza únicamente la energía térmica del sol para el calentamiento de agua, es decir, la energía solar se convierte en calor al entrar en contacto con la placa térmica colectora y ésta transmite y conserva el calor en el sistema de circulación de agua, calentando así el agua, y por medio de un fenómeno físico de termosifón, el agua circula por la diferencia de temperaturas (Carvajal, 2011; Torres, 2014; Barrientos, 2017).

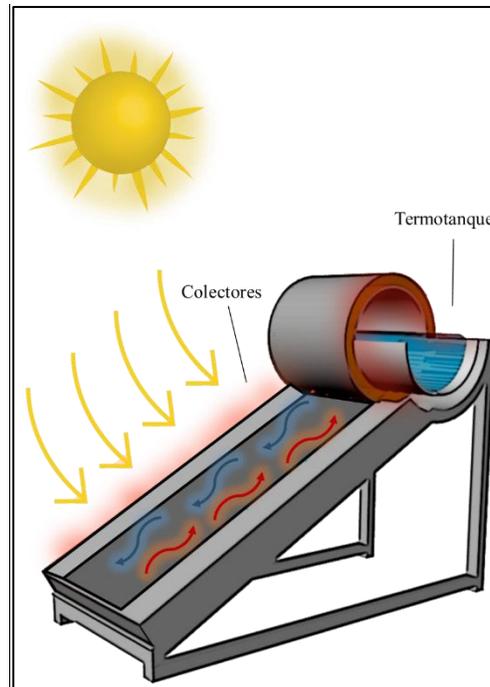


Imagen 7: Calentador solar de agua y su funcionamiento.  
Fuente: Unidad de Ecotecnologías (IIES), 2020.

Los tipos de colectores fototérmicos planos o calentadores solares de agua, están definidos por el uso de la tecnología, actualmente están divididos en tres clases (ibíd):

- De baja temperatura: generan temperaturas menores a 65° C. Son ideales para calentar piscinas, uso doméstico de agua y actividades industriales en las que el calor del proceso no sea mayor a 60° C (pasteurización, lavado, etc.).
- De temperatura media: generan temperaturas de entre 100 °C y 300 °C.
- De alta temperatura: generan temperaturas mayores a 500°C, la cual se puede usar para generar electricidad y transmitirla a la red eléctrica; se instalan en regiones donde la posibilidad de días nublados es remota.

La implementación de calentadores solares de agua en México es considerada estratégica en México para la satisfacción de necesidades referentes al uso de Gas LP para el calentamiento de agua en las viviendas (rurales y urbanas), disminuyendo así el uso del combustible fósil y con ello las emisiones de GEI por su producción, transporte y uso (ibíd).

Esta tecnología es indicada para todas las viviendas cuyo recurso solar sea aprovechable, con sistema de agua potable por tubería o para usuarios interesados por el ahorro de gas LP. Por lo que esta tecnología es propuesta en México en sus diversos modelos tecnológicos, atendiendo a la construcción, uso eficiente y correcto de la tecnología, y a la capacidad necesaria.

### G) Sistemas de Captación de Agua de Lluvia (SCALL's).

Los SCALL's son sistemas que a partir de la lluvia recolectan, potabilizan y almacenan el agua para su posterior uso. Existen diversos modelos o técnicas para la captación de agua de lluvia, los cuales van en función del uso, escala y espacio donde se instale (Salinas, 2015; Pedroza *et al.*, 2014; Becerril, 2020).

En la captación del agua de lluvia con fines domésticos, se acostumbra utilizar la superficie del techo de las viviendas como espacio para la captación, conociéndose a este modelo como SCAPT (sistema de captación de agua pluvial en techos). En este modelo las pendientes en el techo conducen el agua hacia un sistema de canaletas o tuberías, las cuales concentran y dirigen el agua hacia un interceptor de primeras lluvias o un filtro de agua (los cuales mejoran la calidad del agua), para posteriormente ser almacenada y desinfectada para su consumo humano. En varios sitios del mundo, los SCALL's son considerados una tecnología de abastecimiento de agua, debido a su simplicidad y eficacia (ibíd).

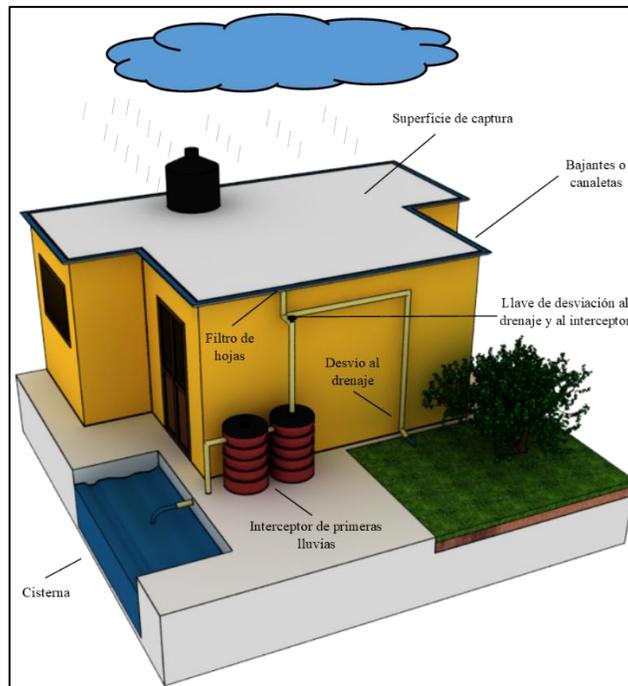


Imagen 8: Sistema de captación de agua de lluvia (SCALL) y sus elementos.

Fuente: Unidad de Ecotecnologías (IIES), 2020.

Estos dispositivos han permitido obtener ciertos beneficios, como: 1) obtener o aumentar la constancia en el servicio de agua potable; 2) ahorrar dinero para la adquisición de agua potable pública; 2) mitigar el impacto por la potabilización y distribución del agua potable pública; 3) mitigar el impacto ambiental por la emisión de GEI por la potabilización y distribución del agua potable pública; 4) reducir el tiempo de recolección de agua (ibíd).

Esta tecnología es indicada para todas las viviendas cuyo recurso pluvial sea ventajosamente aprovechable en el espacio de instalación y en espacio geográfico o para usuarios interesados por la captación de agua de lluvia. Por lo que esta tecnología es propuesta en México en sus diversos modelos tecnológicos, debido a las diversas condiciones y características de las viviendas en el país, tomando como prioridad al uso eficiente y correcto de la tecnología. No obstante, se recomiendan los métodos y sistemas que utilizan el techo como espacio de captación. Es por ello que en este estudio se toma como referencia al modelo más pequeño propuesto por Isla Urbana (50 metros de área de captación), debido a su funcionamiento, materiales y durabilidad.

#### H) Sanitarios ecológicos secos.

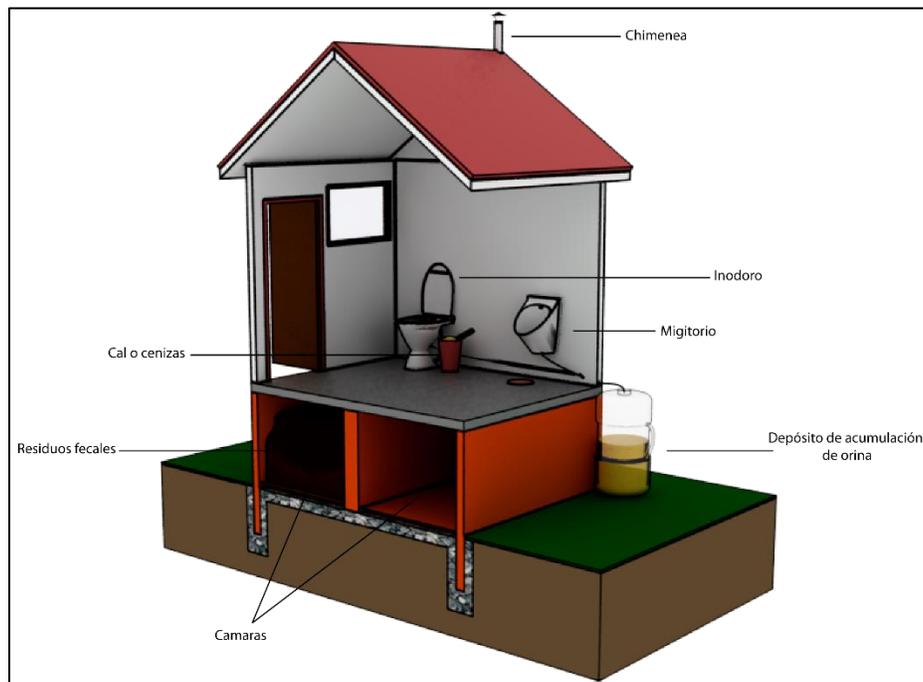


Imagen 9: Sanitario ecológico seco y sus elementos.

Fuente: Unidad de Ecotecnologías (IIES), 2020.

El sanitario ecológico seco es un sistema de disposición de desechos humanos que es amigable con el ambiente, ya que recupera y recicla nutrientes y materia orgánica para las plantas. Se ha caracterizado por tener un inodoro separador, que separa las heces de la orina y, posteriormente las heces son deshidratadas por una cubierta de aserrín, tierra, ceniza o cal (colocada por el usuario) que

evita la propagación de patógenos, enfermedades, malos olores y la contaminación de cuerpos de agua. En la actualidad, los países en vías de desarrollo descargan directamente el 90 % de las aguas negras al ambiente sin tratamiento previo, siendo la causa principal de contaminación del agua (Guerrero *et al.*, 2006; CONAFOR, 2012) y este sistema representa una alternativa de saneamiento que puede contribuir en la disminución del problema que representa la contaminación de cuerpos de agua por heces fecales. Además, estas excretas humanas al deshidratarse (en un periodo de 6-12 meses) pueden utilizarse como abono, siendo de utilidad para comunidades rurales que tienen cultivos de traspatio.

Esta tecnología es indicada para zonas con poca disponibilidad de agua o con carencias de servicio de drenaje público, con cuerpos de agua cercanos o para usuarios interesados por el ahorro de agua. Por lo que esta tecnología es propuesta en México en sus diversos modelos tecnológicos, además existen estudios de caso donde esta ha probado ser una tecnología confiable en aspectos técnicos y sociales (ibíd).

#### 4.2. IMPACTOS AMBIENTALES Y SOCIALES (ANUALES).

Basado en las ecuaciones propuestas para cada una de las ecotecnologías, en el presente apartado se presentan los resultados anuales de los impactos asociados a la implementación de ecotecnologías en la República Mexicana.

Como se observa en la Tabla 4, los impactos asociados a la implementación de las 8 ecotecnologías propuestas contribuyen a la mitigación de carencias por servicios básicos en la vivienda, de igual manera que contribuyen a las metas propuestas por México para abordar los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Sin embargo, estos resultados pueden errar al no considerar una evaluación previa en la cual se consideren si realmente es viable implementar cada tipo de ecotecnología en cada uno de los territorios; por lo que en el siguiente se presentará esta evaluación.

Tabla 4. Resultados anuales de los impactos asociados a la implementación de ecotecnologías en México (elaboración propia).

RESULTADOS ANUALES DE LOS IMPACTOS ASOCIADOS A LA IMPLEMENTACIÓN DE ECOTECNOLOGÍAS EN MÉXICO								
Entidad Federativa	Potencial de generación eléctrica (GWh)	Reducción de leña por uso de estufas (miles de toneladas)	Emisiones de PM 2.5 evitadas (kg/m <sup>3</sup> )	Emisiones de CO evitadas (kg/m <sup>3</sup> )	Reducción de uso de gas LP (miles de toneladas)	Reducción en el uso de fertilizante químico (toneladas)	Potencial de agua captada (miles de m <sup>3</sup> )	Emisiones evitadas (miles de tCO <sub>2</sub> eq)
Aguascalientes	925	12	129	2	73	953	93	19
Baja California	2,882	15	162	2	182	8,480	257	56
Baja California Sur	654	13	141	2	40	3,968	171	32

Campeche	687	105	1,165	14	50	33,446	1,035	220
Coahuila	2,262	27	297	4	167	22,567	322	70
Colima	586	26	284	3	40	13,764	200	41
Chiapas	2,851	1,190	13,152	161	289	1,842	13,965	1,783
Chihuahua	2,969	110	1,219	15	195	16,293	1,113	178
Ciudad de México	6,340	0	0	0	301	0	1,014	44
Durango	1,304	101	1,116	14	96	17,038	342	164
Guanajuato	3,979	265	2,932	36	329	2,569	2,096	440
Guerrero	2,629	688	7,611	93	194	52,696	7,409	1,056
Hidalgo	1,786	297	3,279	40	160	829	1,393	462
Jalisco	5,818	1,403	15,514	190	435	54,119	1,938	1,944
México	11,513	4,372	48,334	592	553	0	7,878	6,084
Michoacán	3,309	447	4,938	60	252	8,172	2,286	679
Morelos	1,442	93	1,027	13	105	3,126	2,617	181
Nayarit	966	64	712	9	67	28,029	853	123
Nuevo León	3,467	462	5,111	63	287	10,462	700	649
Oaxaca	2,793	871	9,627	118	220	32,386	8,651	1,355
Puebla	3,858	697	7,701	94	212	0	6,546	1,034
Querétaro	1,422	82	904	11	113	1,531	546	143
Quintana Roo	1,246	87	966	12	83	5,959	745	158
San Luis Potosí	1,889	290	3,210	39	150	26,830	2,377	462
Sinaloa	2,395	107	1,183	14	166	58,252	1,145	187
Sonora	2,487	64	705	9	158	66,946	749	118
Tabasco	1,635	279	3,081	38	133	19,675	6,498	476
Tamaulipas	2,430	77	856	10	192	55,680	1,046	133
Tlaxcala	750	57	631	8	43	0	149	85
Veracruz	4,986	1,017	11,243	138	451	105,947	21,804	1,628
Yucatán	1,601	290	3,210	39	116	8,003	542	571
Zacatecas	1,178	64	710	9	54	0	375	109

## 4.2. ANÁLISIS DE VIABILIDAD

A partir de la generación del “índice de viabilidad de implementación de ecotecnologías en México”, se realizó una ponderación y asignación en 4 categorías: a) nula viabilidad [**Rojo**]; b) poca viabilidad [**Amarillo**]; c) viable [**Verde claro**]; d) muy viable [**Verde**]; como se muestra a continuación en la [Tabla 5](#).

Tabla 5. Viabilidad en la implementación de diversas ecotecnologías en México (elaboración propia).

VIABILIDAD EN LA IMPLEMENTACIÓN DE ECOTECNOLOGÍAS EN MÉXICO.								
Entidad Federativa	Aerogeneradores domésticos	Módulos fotovoltaicos domésticos	Estufas ahorradoras de leña	Estufas solares parabólicas	Biodigestores	Calentadores solares de agua	SCALL's	Sanitarios ecológicos secos
Aguascalientes	Red	Verde	Red	Amarillo	Red	Verde	Red	Red
Baja California	Verde	Verde	Red	Verde	Amarillo	Verde	Red	Red
Baja California Sur	Amarillo	Verde	Red	Verde	Amarillo	Verde	Red	Red
Campeche	Red	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Verde	Red	Amarillo	Amarillo
Coahuila	Amarillo	Verde	Red	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Red	Red
Colima	Red	Red	Red	Red	Verde	Red	Amarillo	Red
Chiapas	Amarillo	Amarillo	Verde	Verde	Verde	Amarillo	Verde	Verde
Chihuahua	Amarillo	Verde	Red	Verde	Amarillo	Verde	Red	Red
Ciudad de México	Red	Verde	Red	Red	Red	Verde	Red	Red
Durango	Red	Verde	Amarillo	Verde	Amarillo	Verde	Red	Red
Guanajuato	Amarillo	Verde	Amarillo	Verde	Verde	Verde	Amarillo	Amarillo
Guerrero	Amarillo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Hidalgo	Amarillo	Amarillo	Verde	Verde	Verde	Verde	Amarillo	Amarillo
Jalisco	Red	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Amarillo	Red
México	Red	Verde	Verde	Verde	Red	Verde	Verde	Verde
Michoacán	Red	Verde	Verde	Verde	Amarillo	Verde	Amarillo	Amarillo
Morelos	Red	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Verde	Amarillo
Nayarit	Red	Verde	Amarillo	Verde	Verde	Amarillo	Amarillo	Amarillo
Nuevo León	Verde	Verde	Red	Red	Amarillo	Amarillo	Red	Red
Oaxaca	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Puebla	Amarillo	Verde	Verde	Verde	Amarillo	Verde	Verde	Verde
Querétaro	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Red	Red
Quintana Roo	Red	Verde	Amarillo	Red	Verde	Red	Amarillo	Red
San Luis Potosí	Amarillo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Amarillo	Amarillo
Sinaloa	Red	Verde	Amarillo	Verde	Verde	Verde	Amarillo	Amarillo
Sonora	Red	Verde	Red	Verde	Verde	Verde	Red	Red
Tabasco	Red	Red	Verde	Red	Verde	Red	Verde	Verde
Tamaulipas	Verde	Amarillo	Red	Red	Verde	Red	Amarillo	Red
Tlaxcala	Red	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Red	Verde	Amarillo	Red
Veracruz	Amarillo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Yucatán	Red	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Verde	Amarillo	Amarillo	Verde
Zacatecas	Amarillo	Verde	Amarillo	Verde	Amarillo	Verde	Amarillo	Red

Como se observa en la [Tabla 4](#), la viabilidad de implementación de las diversas ecotecnologías corresponde a sus particularidades tecnológicas, climatológicas y sociales. De esta manera y con base en los resultados, la aplicabilidad de cada tecnología tenderá a satisfacer, en cierto porcentaje, las necesidades de servicios en las viviendas, siendo una alternativa a dicho propósito y, a su vez a la disminución de impactos ambientales.

Por ejemplo, la viabilidad de implementación de aerogeneradores, en viviendas sin acceso a electricidad, se podría desarrollar en entidades federativas como: 1) Baja California: **Viable**; 2) Coahuila: **Viable**; 3) Nuevo León: **Viable**; 4) Oaxaca: **Muy viable**; 5) Tamaulipas: **Muy viable**. Esta clasificación se debe a que estas entidades federativas son espacios que presentan condiciones climatológicas aprovechables tecnológicamente, con viviendas sin acceso a electricidad y con condiciones sociales desfavorables para la población.

#### 4.2.1. IMPACTOS AMBIENTALES Y SOCIALES (ANUALES) CONSIDERANDO LA VIABILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN.

##### A) Aerogeneradores domésticos.

En el mapa 3, se observa el potencial de implementación de aerogeneradores domésticos en México, es decir, la cantidad de aerogeneradores domésticos que se podrían instalar en zonas rurales de cada entidad federativa, tomando en cuenta las restricciones de instalación-operación para los dispositivos.

Entidades federativas como Baja California (74,117 disp. / **Viable**), Baja California Sur (28,969 disp. / **Poco viable**), Coahuila (80,959 disp. / **Viable**), Nuevo León (74,056 disp. / **Viable**), Oaxaca (549,389 disp. / **Muy viable**) y Tamaulipas (120,455 disp. / **Muy viable**), según este estudio, son los únicos territorios que podrían obtener beneficios por la implementación de aerogeneradores domésticos. A pesar de ello, bajo el análisis de viabilidad, Baja California Sur sería el único territorio de los 6 que se encuentra en la categoría de “**Poco viable**”, por lo que se descartó en los escenarios posteriores; esto se debe a que la entidad federativa no cuenta con un número considerable de viviendas rurales en las cuales implementar la ecotecnología y sus condiciones de rezago social son bajas. Sin embargo, no se descarta que un estudio con escala menor podría presentar resultados distintos.



aprovechables. Por ejemplo, Oaxaca es el territorio con mayor viabilidad para implementar aerogeneradores domésticos y con una marginación muy alta, la ejecución de esta propuesta podría ser una gran alternativa para mitigar este tipo de carencia social. Además, siendo pertinente en cuanto a la normativa (Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica), que le permite al sector privado participar en la auto-generación de energía con el beneficio de seguir interconectado a CFE.

Se recomienda interconectar a la red de Comisión Federal de Electricidad (CFE), debido a que este tipo de ecotecnología no es una fuente constante de energía (depende de las corrientes de aire), esto permitiría que las viviendas pudieran satisfacer el servicio de electricidad sin necesidad de independizarse de la corriente eléctrica de CFE. Otra alternativa es instalarse de manera independiente en comunidades sin acceso a electricidad, que por medio de baterías, se podría destinar la electricidad generada a dispositivos específicos.

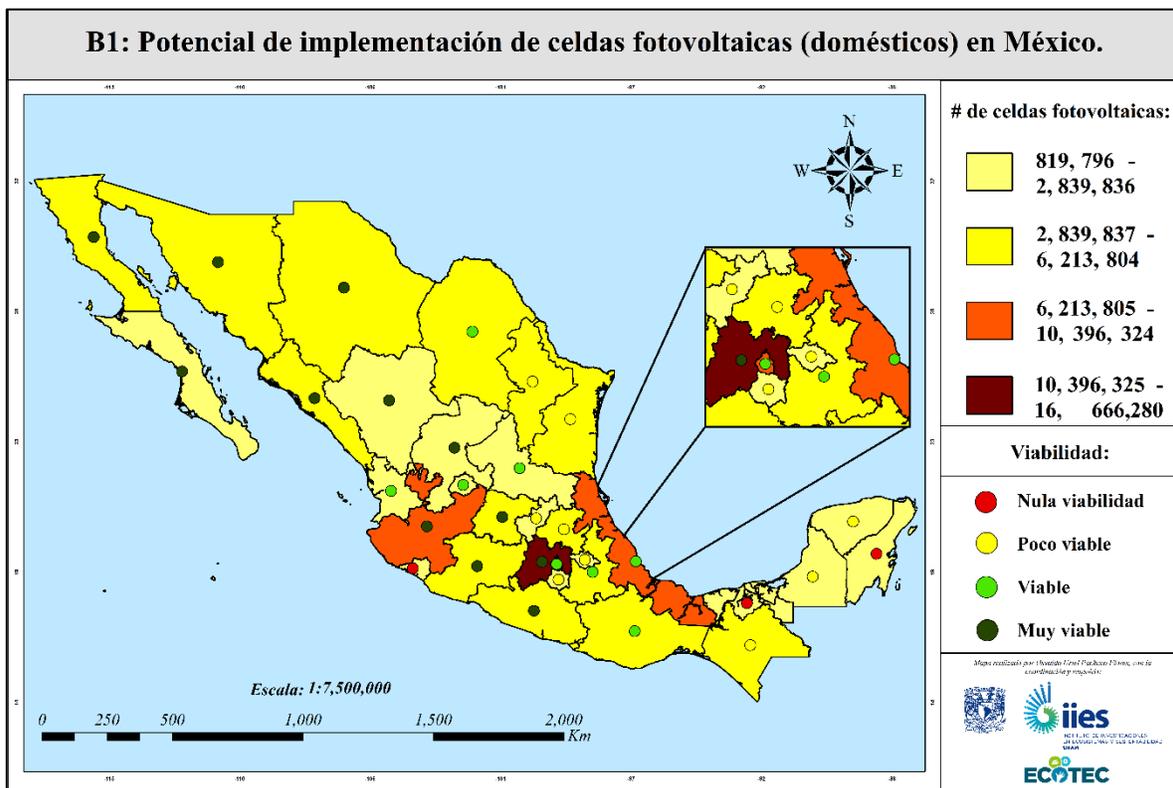
Además, existen otros beneficios sociales y económicos adicionales, tales como: 1) Aumento de la eficiencia de la red eléctrica (si la energía se genera cerca de punto de consumo, las pérdidas en la red eléctrica disminuyen); 2) Menores costes de servicio (después de su inversión inicial, la factura mensual se verá reducida); 3) Seguridad de suministro (independencia eléctrica por medio de baterías). Estos beneficios podrían incentivar a la población a añadir a su vivienda aerogeneradores domésticos con los cuales podrían satisfacer o mitigar una necesidad por electricidad.

Cabe destacar que esta ecotecnología no es una solución ante las problemáticas relacionadas al suministro de electricidad en México, únicamente es una medida para mitigar el desabastecimiento y aprovechamiento del recurso eólico, por ello, en este trabajo se proponen otras opciones como los módulos fotovoltaicos para mitigar algunos impactos sociales y ambientales basados en el acceso al servicio básico de electricidad en México.

## **B) Módulos fotovoltaicos domésticos.**

En el mapa 6, se observa el potencial de implementación de celdas fotovoltaicas domésticas en México, es decir, la cantidad de celdas fotovoltaicas domésticas que se podrían instalar en zonas rurales y urbanas por entidad federativa, tomando en cuenta las restricciones de instalación-operación para los dispositivos y el dimensionamiento mínimo de viviendas en México (casas de interés social).

Según este estudio, todos los territorios estatales de México tienen potencial de implementación de celdas fotovoltaicas domésticas. No obstante, bajo el análisis de viabilidad, son 20 las entidades federativas con un número considerable de viviendas en las cuales implementar la ecotecnología, las condiciones climatológicas aprovechables y su urgencia ante condiciones de rezago social, y por ello, podrían obtener beneficios por la implementación de celdas fotovoltaicas domésticas, como se muestra a continuación en el [Mapa 6](#) y [Tabla 6](#). Siendo así, estas entidades federativas las que podrían tener mayores impactos positivos por la implementación de celdas fotovoltaicas domésticas, los cuales se mencionan en la [Tabla 2](#).



Mapa 6. Potencial de implementación de celdas fotovoltaicas domésticas en México / Viabilidad de implementación (elaboración propia).

Tabla 6. Impactos anuales generados a partir de la instalación del 100% de celdas fotovoltaicas en México.

<b>IMPACTOS ANUALES GENERADOS A PARTIR DE LA INSTALACIÓN DEL 100% DE CELDAS FOTOVOLTAICAS EN MÉXICO.</b>					
<i>Entidad Federativa</i>	<i>Viabilidad de implementación</i>	<i># de celdas fotovoltaicas (millones)</i>	<i>Potencial de generación solar (GWh)</i>	<i>Porcentaje de electricidad satisfecha por Entidad Federativa (%)</i>	<i>Emisiones evitadas (tCO<sub>2</sub>eq)</i>
Aguascalientes	Viable	1.3	925	56	0.54
Baja California	Muy viable	3.8	2,857	57	1.66
Baja California Sur	Muy viable	0.8	646	61	0.38
Coahuila	Viable	3.2	2,236	54	1.3
Chihuahua	Muy viable	4.1	2,969	57	1.73
Ciudad de México	Viable	10.4	6,340	45	3.69
Durango	Muy viable	1.8	1,304	62	0.76
Guanajuato	Muy viable	5.8	3,979	59	2.32
Guerrero	Muy viable	3.6	2,629	68	1.53
Jalisco	Muy viable	8.2	5,818	56	3.39
México	Muy viable	16.7	11,513	54	6.7
Michoacán	Muy viable	4.8	3,309	60	1.93

Nayarit	Viable	1.3	966	63	0.56
Oaxaca	Viable	4.2	2,403	57	1.4
Puebla	Viable	6.2	3,858	53	2.25
San Luis Potosí	Viable	2.8	1,889	59	1.1
Sinaloa	Muy viable	3.2	2,395	63	1.39
Sonora	Muy viable	3.3	2,486	61	1.45
Veracruz	Viable	9.0	4,986	50	2.9
Zacatecas	Muy viable	1.7	1,177	64	0.69

Lo que se observa en la Tabla 6, es que la mayoría de las entidades federativas tendrían beneficios con la instalación de celdas fotovoltaicas domésticas (96.3 millones de viviendas), debido a que México se encuentra en una privilegiada radiación solar en la mayoría de su territorio, debido a su ubicación geográfica. Además que, la instalación de la ecotecnología permitiría que un porcentaje de electricidad, considerable, podría ser satisfecha por el uso de la ecotecnología; cubriendo por lo menos el 50% de la electricidad consumida por el sector doméstico en cada Estado. Siendo benéfico para miles de viviendas que no cuentan con el servicio básico o que el suministro no es el correcto.

De igual manera, estas entidades federativas son las que tienen mayor potencial de mitigar emisiones de CO<sub>2</sub>eq por la generación y distribución de electricidad en su territorio, debido a que con la implementación del 100% de las celdas fotovoltaicas domésticas y el funcionamiento correcto de los dispositivos, se reduciría la generación eléctrica de manera convencional; lo cual contribuye a los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) a los cuales se ha comprometido México.

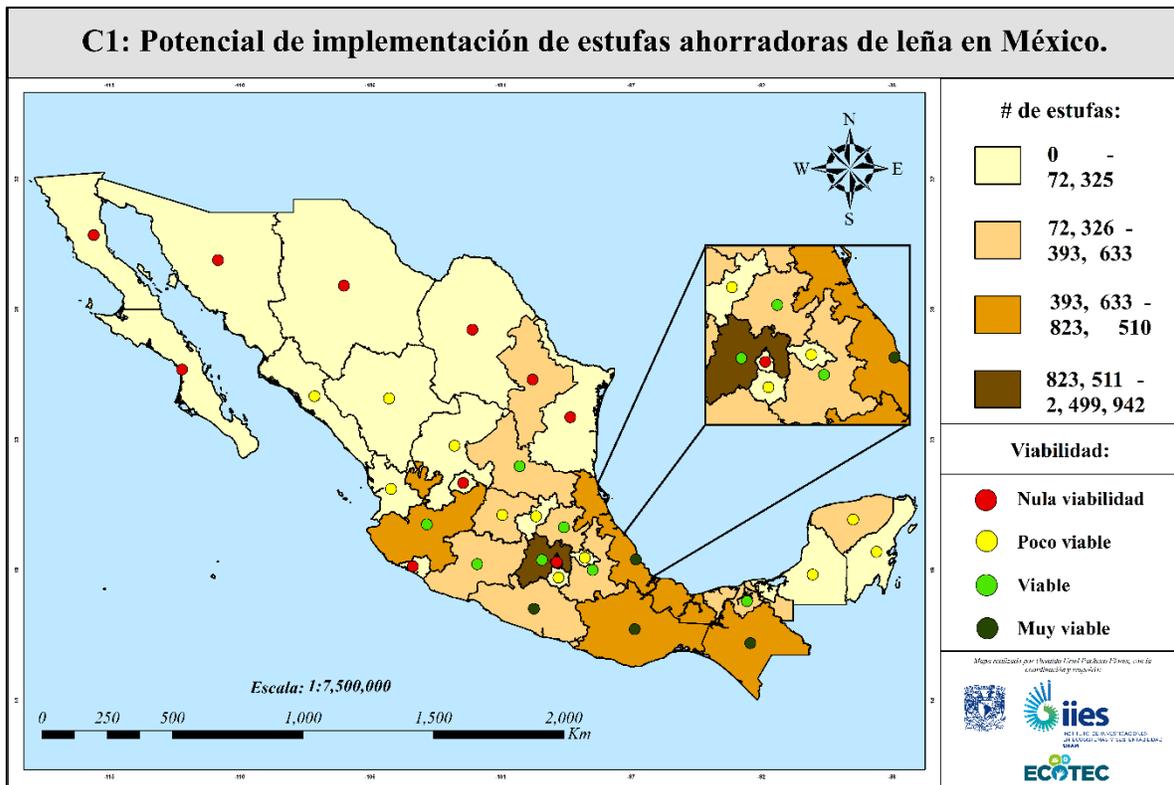
Por ejemplo, el Estado de México es el territorio con mayores consumos de electricidad y con mayor viabilidad para implementar celdas fotovoltaicas domésticas en el país, por lo que, al instalar la ecotecnología para satisfacer o mitigar la demanda de energía, se podría reducir hasta el 54% de la electricidad consumida (doméstica) en el territorio estatal. Además, siendo pertinente en cuanto a la normativa (Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica), que le permite al sector privado participar en la auto-generación de energía con el beneficio de seguir interconectado a CFE.

Al igual que para los aerogeneradores, se recomienda interconectar las celdas fotovoltaicas a la red de Comisión Federal de Electricidad (CFE), debido a que este tipo de ecotecnología no es una fuente constante de energía (depende de la radiación solar), esto permitiría que las viviendas pudieran satisfacer el servicio de electricidad sin necesidad de independizarse de la corriente eléctrica de CFE, teniendo electricidad todo el día y garantizando que CFE les compensará la energía extra que generen. Esta alternativa es la más económica, debido a que no se requieren baterías cada 2 años.

Por otra parte, actualmente, este tipo de ecotecnología se postula como una alternativa potencial para el problema de electrificación rural, ya que tienen un periodo de vida de 20 a 25 años, las inversiones iniciales son recuperables en un menor tiempo, son instalables en cualquier sitio con una superficie firme y plana, y su energía es almacenable en baterías. Además, la implementación correcta de las celdas fotovoltaicas garantiza una disminución en los costos por el servicio y un aumento eficiencia del sistema eléctrico (aproximadamente el 40% de pérdidas por suministro).

Una de las limitantes podría ser que la mayoría de los espacios abiertos, en las viviendas de México, son utilizados para el secado de ropa o para hábitat de mascotas, sin embargo, actualmente existen alternativas en las cuales se pueden desarrollar estructuras que utilicen a las celdas fotovoltaicas como sombra y celdas transparentes que no limiten las actividades de secado.

### C) Estufas ahorradoras de leña.



Mapa 11. Potencial de implementación de estufas ahorradoras de leña en México / Viabilidad de implementación (elaboración propia).

En el mapa 11, se observa el potencial de implementación de estufas ahorradoras de leña en México, es decir, la cantidad de estufas ahorradoras de leña que se podrían instalar en viviendas cuyo combustible para la cocción de sus alimentos sea carbón o leña de cada entidad federativa, tomando en cuenta las restricciones de instalación-operación para los dispositivos y el porcentaje de actividades a realizar con el dispositivo (70% de las actividades de cocción de alimentos).

Según este estudio, la mayoría de los territorios estatales de México tienen potencial de implementación de estufas ahorradoras de leña, exceptuando la Ciudad de México. No obstante, bajo el análisis de viabilidad, son 11 las entidades federativas que tienen un número considerable de viviendas en las cuales podría implementarse esta ecotecnología y su urgencia ante condiciones de rezago social e inclusive de salud, relacionadas con el virus de COVID-19 (Maser *et al.*, 2020) y por

ello, podrían obtener beneficios por la implementación de estufas ahorradoras de leña, como se muestra a continuación en el [Mapa 11](#) y [Tabla 7](#). Siendo así, estas entidades federativas las que podrían tener mayores impactos positivos por la implementación de estufas ahorradoras de leña, los cuales se mencionan en la [Tabla 2](#).

*Tabla 7. Impactos anuales generados a partir de la instalación del 100% de estufas ahorradoras de leña en México.*

<b>IMPACTOS ANUALES GENERADOS A PARTIR DE LA INSTALACIÓN DEL 100% DE ESTUFAS AHORRADORAS DE LEÑA EN MÉXICO.</b>							
<i>Entidad Federativa</i>	<i>Viabilidad de implementación</i>	<i># de estufas ahorradoras de leña (miles)</i>	<i>Reducción en el uso de leña (miles de toneladas)</i>	<i>Reducción de horas de recolección de leña (millones de horas acumuladas)</i>	<i>Emisiones evitadas (miles de tCO<sub>2</sub>eq)</i>	<i>Emisiones evitadas de PM 2.5 (miles de kg/m<sup>3</sup>)</i>	<i>Emisiones evitadas de CO (kg/m<sup>3</sup>)</i>
Chiapas	Muy viable	632	484	46	655	9.1	108.9
Guerrero	Muy viable	394	280	29	379	5.3	63
Hidalgo	Viable	174	121	13	163	2.2	27.1
Jalisco	Viable	824	571	60	773	10.8	128.4
México	Viable	2,500	1,779	182	2,407	33.7	400.1
Michoacán	Viable	262	182	19	246	3.4	40.9
Oaxaca	Muy viable	511	354	37	480	6.7	79.7
Puebla	Viable	388	284	28	384	5.3	63.8
San Luis Potosí	Viable	170	118	12	160	2.2	26.6
Tabasco	Viable	168	113	12	153	2.1	25.5
Veracruz	Muy viable	630	414	46	560	7.8	93.1

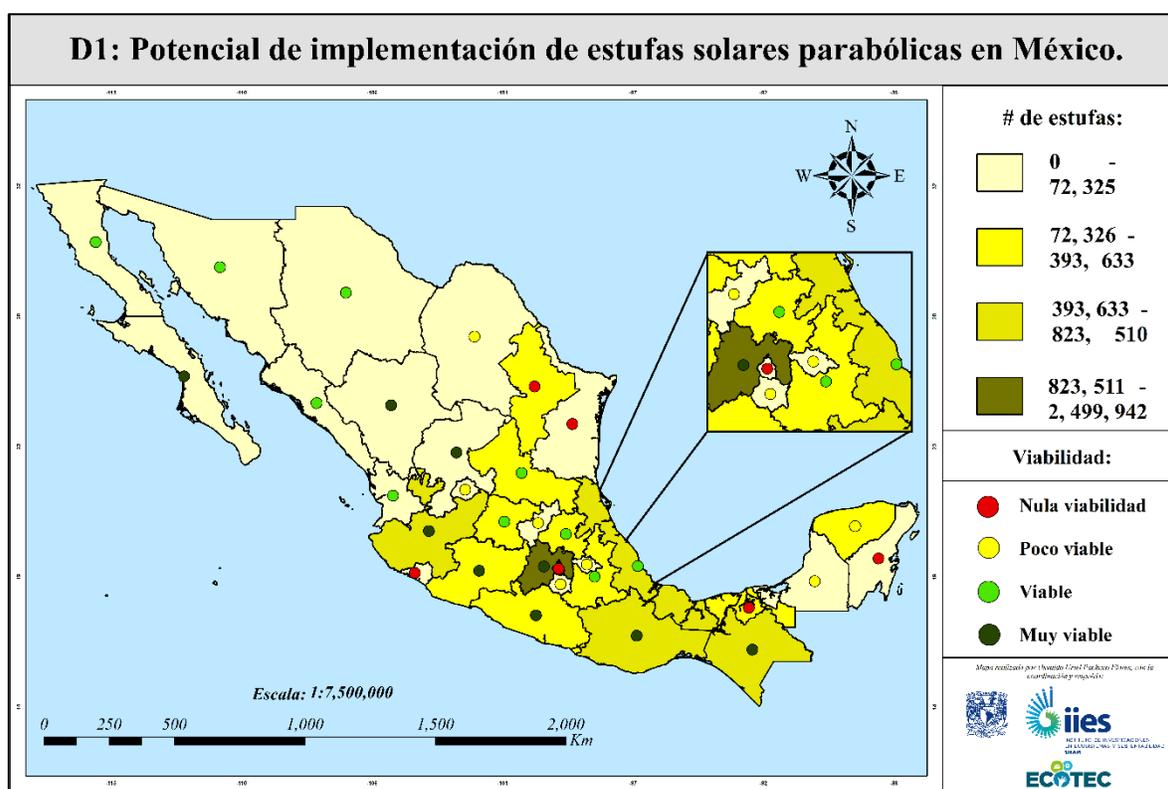
Lo que se observa en la Tabla 7, es que la implementación de estufas ahorradoras de leña podría tener beneficios para 6.6 millones de viviendas marginadas y/o rurales en México, reduciendo el uso de leña para fines de cocción de alimentos domésticos, y de igual manera, el esfuerzo o gasto por su adquisición. Además que, dicha reducción reducirá la presión sobre los ecosistemas con recursos madereros y la tasa de deforestación local.

Por ejemplo, el Estado de México es el territorio con mayores consumos de leña para la cocción de alimentos y con mayor viabilidad para implementar esta ecotecnología, por lo que, al instalar el 100% de las estufas se podría reducir el consumo de leña local hasta un 30%. Además, siendo pertinente en cuanto a la normativa mexicana (NMX-Q-001-NORMEX-2018), que establece y regula los requerimientos necesarios para la instalación y funcionamiento de los dispositivos.

De igual manera, la combustión controlada por parte de las estufas, pretende mejorar la calidad del aire en el interior de las viviendas, debido a que las constantes emisiones de humo son inhaladas por los usuarios, lo cual puede afectar y causar enfermedades de vías respiratorias. De igual manera, estas entidades federativas son las que tienen mayor potencial de mitigar emisiones de CO<sub>2</sub>, PM 2.5 y CO por la cocción de alimentos en viviendas que usan leña o carbón como combustible.

Por otra parte, este tipo de ecotecnología se postula como una alternativa accesible en su adquisición, debido a que los materiales con los que se realiza no son costosos y pueden ser de origen local. No obstante, al ser una tecnología que no cumple al mismo tiempo con el 100% de las tareas múltiples en la cocina, y entendiendo que las viviendas utilizan estrategias de uso múltiple de tecnologías para la cocción de sus alimentos, se recomienda el uso combinado con la estufa solar, lo que al combinarlas pretende cumplir con las funciones de un fogón tradicional.

#### D) Estufa solares parabólicas.



Mapa 17. Potencial de implementación de estufas solares parabólicas en México / Viabilidad de implementación (elaboración propia).

En el mapa 17, se observa el potencial de implementación de estufas solares parabólicas en México, es decir, la cantidad de estufas solares parabólicas que se podrían instalar en viviendas cuyo combustible para la cocción de sus alimentos sea carbón o leña de cada entidad federativa, tomando en cuenta las restricciones de instalación-operación para los dispositivos y el porcentaje de actividades a realizar con el dispositivo (30% de las actividades de cocción de alimentos).

Según este estudio, la mayoría de los territorios estatales de México tienen potencial de implementación de estufas solares parabólicas, exceptuando la Ciudad de México. No obstante, bajo

el análisis de viabilidad, son 19 las entidades federativas que tienen un número considerable de viviendas en las cuales implementar la ecotecnología, condiciones climatológicas aprovechables y su urgencia ante condiciones de rezago social, y por ello, podrían obtener beneficios por la implementación de estufas solares parabólicas, como se muestra a continuación en el [Mapa 17](#) y [Tabla 8](#). Siendo así, estas entidades federativas las que podrían tener mayores impactos positivos por la implementación de estufas solares parabólicas, los cuales se mencionan en la [Tabla 2](#).

Tabla 8. Impactos anuales generados a partir de la instalación del 100% de estufas solares parabólicas en México.

<b>IMPACTOS ANUALES GENERADOS A PARTIR DE LA INSTALACIÓN DEL 100% DE ESTUFAS SOLARES PARABÓLICAS EN MÉXICO.</b>							
<i>Entidad Federativa</i>	<i>Viabilidad de implementación</i>	<i># de estufas ahorradoras de leña (miles)</i>	<i>Reducción en el uso de leña (miles de toneladas de leña)</i>	<i>Reducción de horas de recolección de leña (millones de horas acumuladas)</i>	<i>Emisiones evitadas (miles de tCO<sub>2</sub>eq)</i>	<i>Emisiones evitadas de PM<sub>2.5</sub> (kg/m<sup>3</sup>)</i>	<i>Emisiones evitadas de CO (kg/m<sup>3</sup>)</i>
Baja California	Viable	10	9	0.9	12	49	0.6
Baja California Sur	Muy viable	8	7	0.8	10	43	0.6
Chiapas	Muy viable	632	705	59	955	3,971	52.1
Chihuahua	Viable	72	65	6.8	88	368	4.8
Durango	Muy viable	59	60	5.6	81	337	4.4
Guanajuato	Viable	144	157	13.5	213	885	11.6
Guerrero	Muy viable	394	408	37	552	2,298	30.2
Hidalgo	Viable	174	176	16	238	990	13.0
Jalisco	Muy viable	824	832	77	1,126	4,684	61.5
México	Muy viable	2,500	2,593	235	3,508	14,594	191.5
Michoacán	Muy viable	262	265	25	358	1,491	19.6
Nayarit	Viable	40	38	3.7	52	215	2.8
Oaxaca	Muy viable	511	516	48	699	2,907	38.1
Puebla	Viable	388	413	36.5	559	2,325	30.5
San Luis Potosí	Viable	170	172	16	233	969	12.7
Sinaloa	Viable	64	63	6.1	86	357	4.7
Sonora	Viable	41	38	3.8	51	213	2.8
Veracruz	Viable	630	603	59	816	3,395	44.6
Zacatecas	Muy viable	38	38	3.5	52	214	2.8

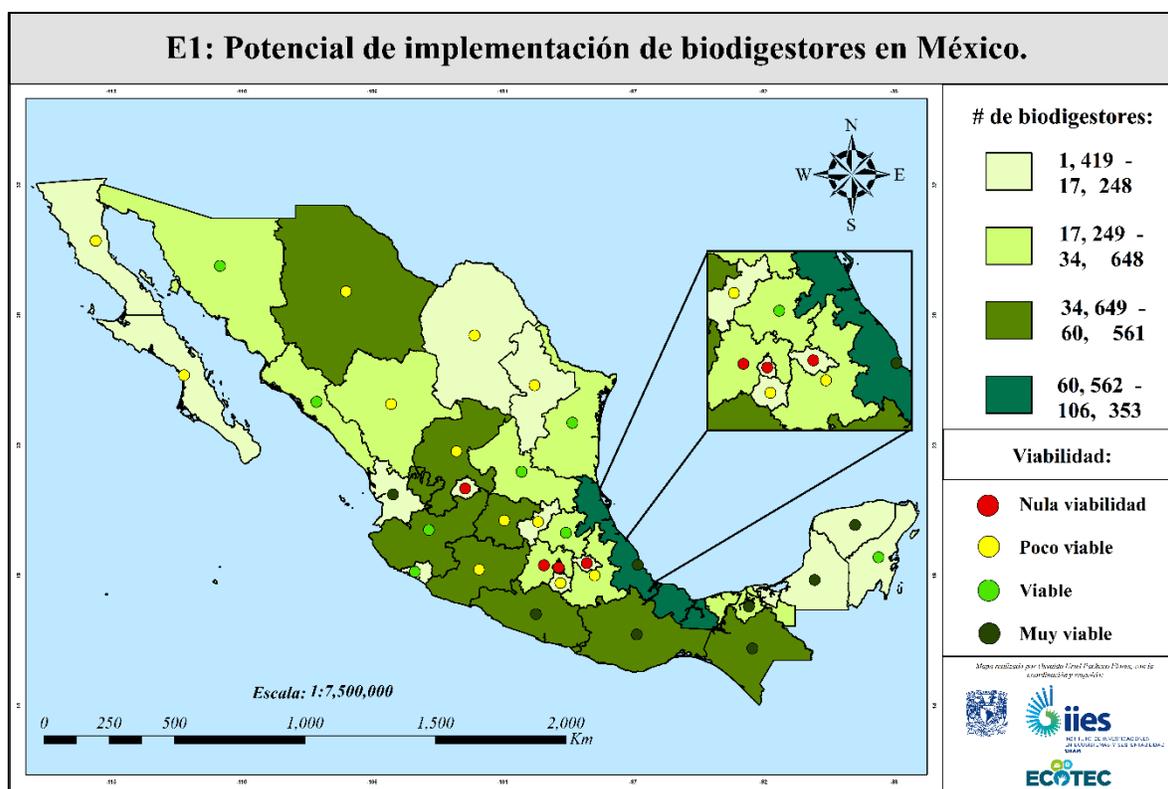
Lo que se observa en la Tabla 8, es que la implementación de estufas solares, como tecnología complementaria a las estufas ahorradoras de leña, podrían generar beneficios para 6.9 millones de viviendas marginadas y/o rurales en México, reduciendo el uso de leña en un 100% en las tareas realizables, debido a que su combustible es el sol. Teniendo beneficios similares a los de la tecnología complementaria, como se describe en el anterior apartado.

Por ejemplo, el Estado de México es el territorio con mayores consumos de leña para la cocción de alimentos, condiciones de radiación aprovechables y mayor viabilidad para implementar esta ecotecnología, por lo que, al instalar el 100% de las estufas se podría reducir el consumo de leña local

hasta un 30%, que al combinarse con estufas ahorradoras podría llegar a generar un ahorro de hasta el 60% de leña consumida en la cocción de alimentos. No obstante, aún no existe una normativa en México que establezca y regule los requerimientos necesarios para la instalación y funcionamiento de los dispositivos, siendo una desventaja en su implementación y funcionamiento ideal.

Por otra parte, al no realizar procesos de combustión no se afecta la calidad del aire y esto reduciría las constantes emisiones de humo (PM2.5 y CO) en el interior de las viviendas, lo cual pretende disminuir las enfermedades de vías respiratorias.

### E) Biodigestores.



Mapa 23. Potencial de implementación de biodigestores en México / Viabilidad de implementación (elaboración propia).

En el mapa 23, se observa el potencial de implementación de biodigestores en México, es decir, la cantidad de biodigestores que se podrían instalar en unidades de producción de ganado (ovino, porcino y bovino con uso de tecnología) de cada entidad federativa, tomando en cuenta las restricciones de instalación-operación para los dispositivos.

Según este estudio, todos los territorios estatales de México tienen potencial de implementación de biodigestores. No obstante, bajo el análisis de viabilidad, son 16 las entidades federativas que tienen

un número considerable de unidades de producción de ganado en las cuales implementar la ecotecnología y su urgencia ante condiciones de rezago social, y por ello, podrían obtener beneficios por la implementación de biodigestores, como se muestra a continuación en el [Mapa 23](#) y [Tabla 9](#). Siendo así, estas entidades federativas las que podrían tener mayores impactos positivos por la implementación de biodigestores, los cuales se mencionan en la [Tabla 2](#).

*Tabla 9. Impactos anuales generados a partir de la instalación del 100% de biodigestores en México.*

<b>IMPACTOS ANUALES GENERADOS A PARTIR DE LA INSTALACIÓN DEL 100% DE BIODIGESTORES EN MÉXICO.</b>							
<i>Entidad Federativa</i>	<i>Viabilidad de implementación</i>	<i># de biodigestores (miles)</i>	<i>Potencial de generación de biogás (millones de m<sup>3</sup>)</i>	<i>Reducción en el uso de gas L.P. (miles de m<sup>3</sup>)</i>	<i>Reducción en el uso de fertilizante químico (miles de toneladas)</i>	<i>Porcentaje de fertilizante químico sustituido por biol (%)</i>	<i>Emisiones evitadas (tCO<sub>2</sub>eq)</i>
Campeche	Muy viable	15	53	36	33	100	173
Colima	Viable	5	20	29	14	12	137
Chiapas	Muy viable	61	118	208	2	100	996
Guerrero	Muy viable	51	79	139	53	74	668
Hidalgo	Viable	28	1	115	1	3	551
Jalisco	Viable	57	81	313	54	37	1,498
Nayarit	Muy viable	17	51	48	28	100	229
Oaxaca	Muy viable	41	50	158	32	47	759
Quintana Roo	Viable	4	9	60	6	49	287
San Luis Potosí	Viable	32	41	108	27	69	517
Sinaloa	Viable	25	87	119	58	46	571
Sonora	Viable	22	99	114	67	98	545
Tabasco	Muy viable	35	111	96	20	100	458
Tamaulipas	Viable	23	83	138	56	56	661
Veracruz	Muy viable	106	158	324	106	87	1,551
Yucatán	Muy viable	14	40	83	8	100	400

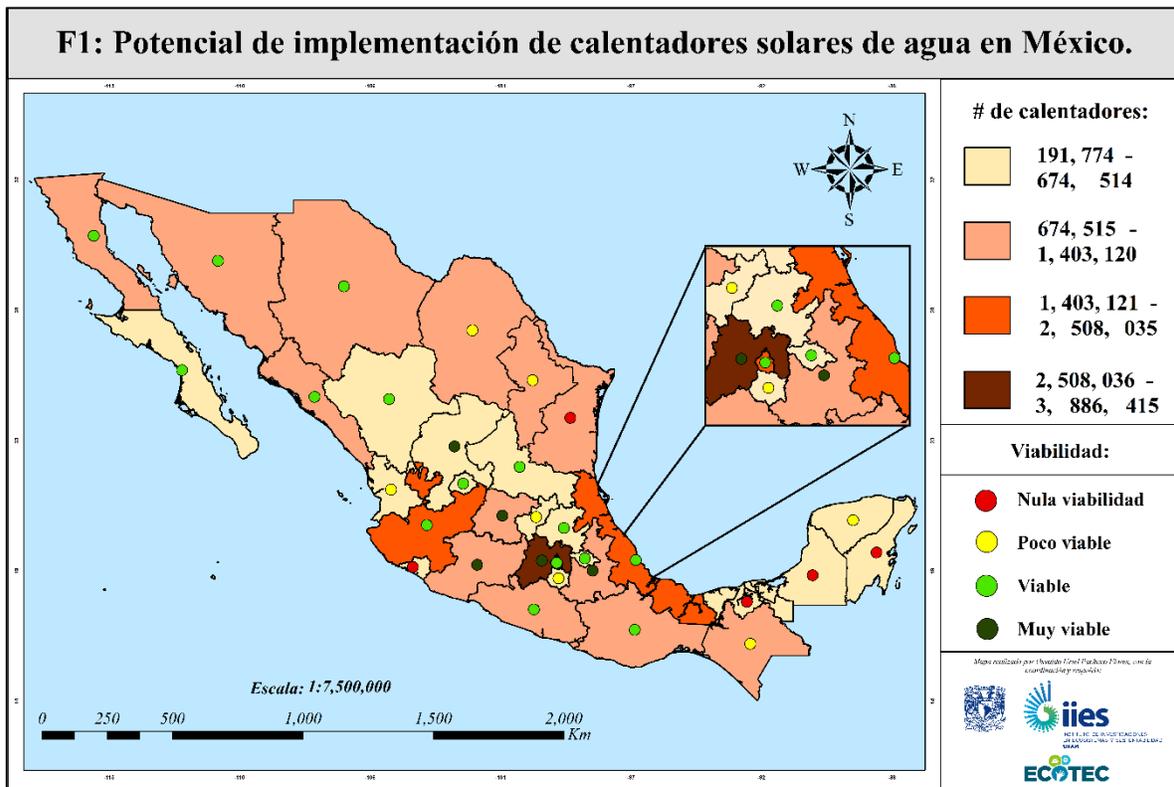
Lo que se observa en la Tabla 9, es que la implementación de biodigestores podría tener beneficios para 537 mil unidades de producción de ganado (ovino, bovino o porcino) en México, que al generar biogás por medio de la ecotecnología podría abastecerse el 100% del gas utilizado para cocinar en las viviendas de estas entidades federativas, sustituyendo al gas LP. No obstante, esta estrategia para abastecer con biogás las viviendas aún no existe, por lo que estos resultados muestran un potencial de aprovechamiento que aún no ha sido explorado y explotado, y que bajo las condiciones, regulaciones y normativas correctas, se podría disminuir considerablemente el consumo de este combustible fósil, y con ello, las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por su uso y las emisiones de NH<sub>4</sub> que se emiten por la crianza de ganado.

Otro de los beneficios que podría generar la ecotecnología es la generación de biofertilizante (biol) para la agricultura en México, lo cual pretende disminuir el uso de fertilizantes químicos que son perjudiciales para la salud, contaminantes y costosos. El biol al ser generado a partir de excretas de

ganado podría ser una alternativa para la nutrición de cultivos, debido a que puede aumentar la producción en un 30-50%, además, permite mejorar la estructura del suelos, soportar con mayor eficacia ataques de plagas, enfermedades y los efectos adversos del clima,

Además, el uso del biol mitiga impactos ambientales como la contaminación de cuerpos de agua por nitratos, eutrofización, acidificación y ensalitramiento de suelos, emisión de gases de efecto invernadero generada por la fertilización química de cultivos; la cual genera problemas en la salud, principalmente, de quienes aplican estas sustancias y los que rodean las zonas de cultivo, debido a que se lixivian los fertilizantes químicos provocando contaminación de aguas subterráneas (Oliva, 2017).

**F) Calentadores solares de agua.**



Mapa 29. Potencial de implementación de calentadores solares de agua en México / Viabilidad de implementación (elaboración propia).

En el mapa 29, se observa el potencial de implementación de calentadores solares de agua en México, es decir, la cantidad de calentadores solares de agua que se podrían instalar en zonas rurales y urbanas de cada entidad federativa, tomando en cuenta las restricciones de instalación-operación para los dispositivos y el dimensionamiento mínimo de viviendas en México (casas de interés social).

Según este estudio, todos los territorios estatales de México tienen potencial de implementación de calentadores solares de agua. No obstante, bajo el análisis de viabilidad, son 20 las entidades federativas que tienen un número considerable de viviendas en las cuales implementar y ser útil la ecotecnología (por la temperatura ambiente), las condiciones climatológicas aprovechables y su urgencia ante condiciones de rezago social, y por ello, podrían obtener beneficios por la implementación de calentadores solares de agua, como se muestra a continuación en el [Mapa 29](#) y [Tabla 10](#). Siendo así, estas entidades federativas las que podrían tener mayores impactos positivos por la implementación de calentadores solares de agua, los cuales se mencionan en la [Tabla 2](#).

*Tabla 10. Impactos anuales generados a partir de la instalación del 100% de calentadores solares de agua en México.*

<b>IMPACTOS ANUALES GENERADOS A PARTIR DE LA INSTALACIÓN DEL 100% DE CALENTADORES SOLARES DE AGUA EN MÉXICO.</b>				
<i>Entidad Federativa</i>	<i>Viabilidad de implementación</i>	<i># de calentadores solares de agua (miles)</i>	<i>Reducción en el uso de gas L.P. (millones de toneladas)</i>	<i>Emisiones evitadas (tCO<sub>2</sub>eq)</i>
Aguascalientes	Viable	278	44	133
Baja California	Viable	908	111	334
Baja California Sur	Viable	192	24	73
Chihuahua	Viable	960	120	359
Ciudad de México	Viable	2,508	301	902
Durango	Viable	417	59	177
Guanajuato	Muy viable	1,281	201	604
Guerrero	Viable	754	119	356
Hidalgo	Viable	675	98	294
Jalisco	Viable	1,804	266	799
México	Muy viable	3,886	553	1,659
Michoacán	Muy viable	1,050	154	462
Oaxaca	Viable	886	135	405
Puebla	Muy viable	1,403	212	635
San Luis Potosí	Viable	614	92	276
Sinaloa	Viable	775	101	304
Sonora	Viable	781	97	290
Tlaxcala	Viable	290	43	130
Veracruz	Viable	1,942	276	827
Zacatecas	Muy viable	350	54	163

Lo que se observa en la Tabla 10, es que la mayoría de las entidades federativas tendrían beneficios con la instalación de calentadores solares de agua, debido a que México se encuentra en una privilegiada radiación solar en la mayoría de su territorio, debido a su ubicación geográfica. Además que, la instalación de la ecotecnología permitiría que se ahorren 3 millones de toneladas de Gas L.P. que se utilizan para calentar agua en las 21.7 millones de viviendas que se propone implementar.

De igual manera, este ahorro sería una gran ventaja económica para las viviendas mexicanas, debido a que el precio del Gas L.P. cada día aumenta y que aproximadamente el 50% de este combustible se destina al calentamiento de agua. Además que, se podría mitigar hasta 9 mil toneladas de CO<sub>2</sub> que cada año se emiten por el calentamiento de agua en viviendas de México.

Por ejemplo, el Estado de México es el territorio con mayores consumos de Gas L.P. para el calentamiento de agua y con mayor viabilidad para implementar esta ecotecnología, por lo que, al instalar el 100% de los calentadores se podría reducir el consumo de 553 millones de toneladas. Además, siendo pertinente en cuanto a la normativa mexicana (NOM-027-ENER/SCFI-2018), que establece y regula los requerimientos necesarios para la instalación, seguridad y funcionamiento de los dispositivos.

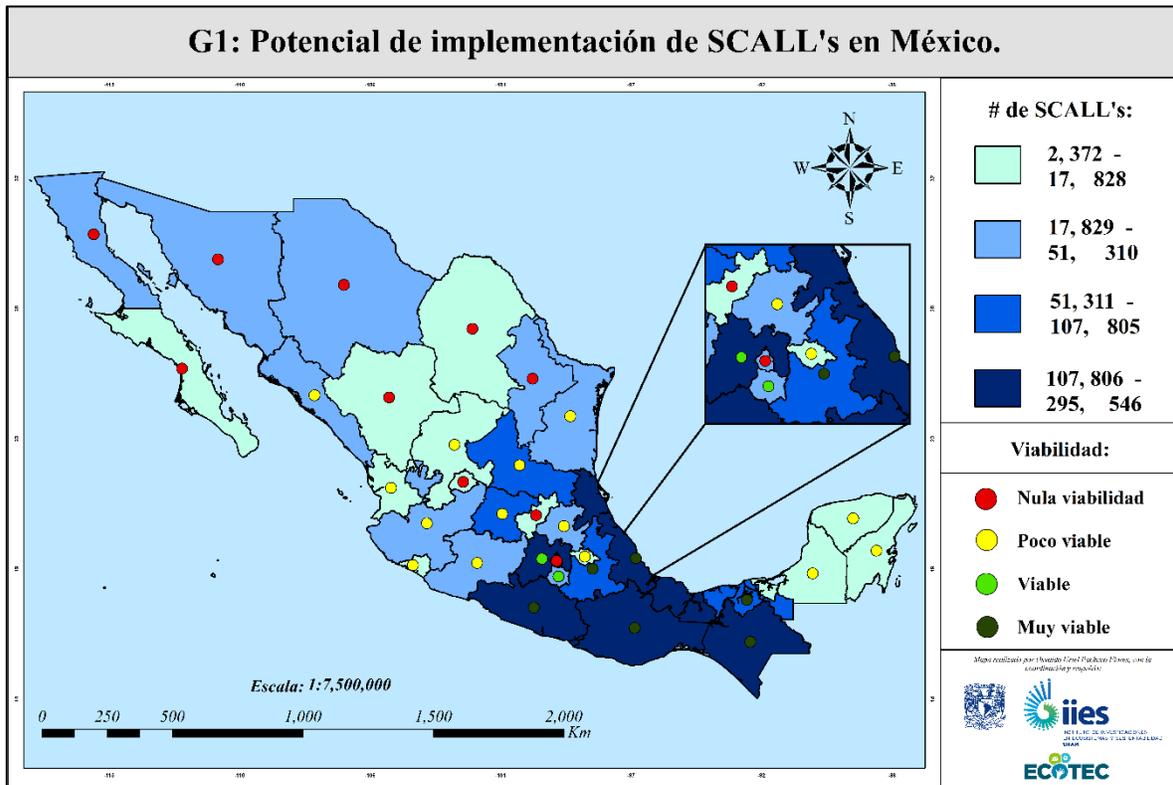
En México, la década pasada entró en vigor un programa de promoción de calentadores solares en México encabezado por “PROCASOL”, el cual tuvo como objetivos (CONUUE *et al.*, 2006):

- 1) Impulsar en los sectores residencial, comercial, industrial y de agronegocios de México, el aprovechamiento de la energía solar para el calentamiento de agua, a través de fortalecimiento de los mecanismos actualmente en operación y del diseño e implementación de esquemas nuevos e innovadores que lleven a este objetivo.
- 2) Garantizar que el crecimiento del mercado del calentamiento solar se lleve a cabo con un nivel de calidad adecuado en los productos y servicios asociados.
- 3) Favorecer el desarrollo de la industria nacional, entendida como la que está integrada por fabricantes, diseñadores de sistemas, distribuidores e instaladores de equipos.
- 4) Promover la adopción de tecnología desarrollada por los centros de investigación nacionales.

Dicho programa fue considerado la iniciativa de difusión de la ecotecnología con más impacto a nivel nacional, debido a que “PROCASOL” tuvo líneas de acción bien definidas, abarcando la regulación, financiamiento e incentivos económicos, capacitación, promoción y difusión, y gestión; entre lo que se elaboraron: normas y establecimiento de requisitos de instalación, métodos de prueba y comparación térmica, la incorporación del uso de la ecotecnología en reglamentos de construcción, entre otras acciones (Ortiz *et al.*, 2014).

No obstante, los esfuerzos abarcados en ese periodo se enfocaron en las viviendas nuevas, por lo que las viviendas que no cuentan con los dispositivos no fueron tomadas en consideración (ibíd). Es por ello que, esta investigación en apoyo y retomando este programa, podrían incentivar la implementación de calentadores solares de agua en viviendas que no cuenten con la ecotecnología.

## G) Sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL's).



Mapa 32. Potencial de implementación de SCALL's en México / Viabilidad de implementación (elaboración propia).

En el mapa 32, se observa el potencial de implementación de sistema de captación de agua de lluvia (SCALL's) en México, es decir, la cantidad de SCALL's que se podrían instalar en viviendas en zonas rurales y urbanas que no cuenten con el servicio de agua potable de red pública de cada entidad federativa, tomando en cuenta las restricciones de instalación-operación para los dispositivos y el dimensionamiento mínimo de viviendas en México (casas de interés social).

Según este estudio, todos los territorios estatales de México tienen potencial de implementación de SCALL's. No obstante, bajo el análisis de viabilidad, son 8 las entidades federativas que tienen un número considerable de viviendas en las cuales implementar la ecotecnología, las condiciones climatológicas aprovechables y su urgencia ante condiciones de rezago social, y por ello, podrían obtener beneficios por la implementación de SCALL's, como se muestra a continuación en el [Mapa 32](#) y [Tabla 11](#). Siendo así, estas entidades federativas las que podrían tener mayores impactos positivos por la implementación de sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL's), los cuales se mencionan en la [Tabla 2](#).

Tabla 11. Impactos anuales generados a partir de la instalación del 100% de SCALL's en México.

<b>IMPACTOS ANUALES GENERADOS A PARTIR DE LA INSTALACIÓN DEL 100% DE SCALL'S EN MÉXICO.</b>					
<i>Entidad Federativa</i>	<i>Viabilidad de implementación</i>	<i># de SCALL's (miles)</i>	<i>Potencial de agua a captar (millones de m<sup>3</sup>)</i>	<i>Porcentaje de agua satisfecha (%)</i>	<i>Emisiones evitadas (tCO<sub>2</sub>eq)</i>
Chiapas	Muy viable	158	13.9	15.1	19.9
Guerrero	Muy viable	137	7.4	10	10.6
México	Viable	172	7.8	8.5	11.2
Morelos	Viable	30	2.6	17.5	3.7
Oaxaca	Muy viable	151	8.6	10.9	12.3
Puebla	Muy viable	108	6.5	10.9	9.3
Tabasco	Muy viable	65	6.4	19.6	9.3
Veracruz	Muy viable	296	21.8	14.8	31.1

Lo que se observa en la Tabla 11, es que la implementación de SCALL's podría generar beneficios para un millón de viviendas marginadas y/o rurales en México, capaz de captar hasta 75 millones de m<sup>3</sup> de agua al año; lo que podría disminuir la carencia del recurso y ser utilizada en las diversas tareas de cada vivienda, principalmente, en periodos de lluvias. En inclusive, para viviendas en las cuales el suministro de agua potable (red pública) no es eficaz y constante, podría ser una alternativa como proveedora del recurso carente.

Por ejemplo, Veracruz es un territorio con un potencial precipitaciones aprovechables y una mayor cantidad de viviendas sin acceso al servicio de agua potable (red pública), por lo que, se postula como uno de los estados con mayor viabilidad para implementar esta ecotecnología; satisfaciendo hasta el 14% del consumo anual de cada vivienda. Además, siendo pertinente en cuanto a las normativas mexicanas (ej. NOM-127- SSA1-1994,), que establecen y regulan los requerimientos necesarios para la instalación y funcionamiento de los dispositivos, además, de las propiedades fisicoquímicas del recurso captado.

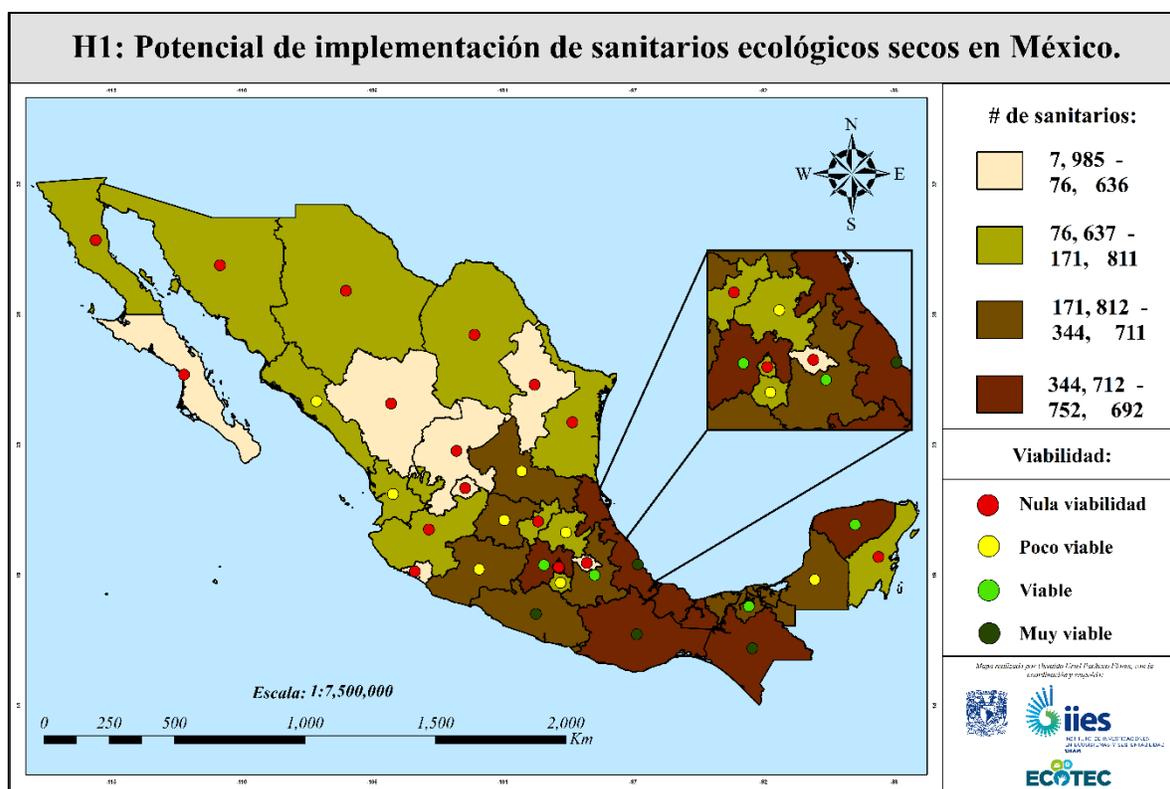
Un ejemplo de políticas públicas relacionadas con esta ecotecnología, es el programa “Cosecha de lluvia” implementado en la Ciudad de México por el periodo del 2018-2024. Este programa ha tenido como objetivo el mejorar el abasto de agua de las personas que viven en colonias de bajos ingresos, a través de la instalación de, mínimo, 10 mil SCALL's en la CDMX; contribuyendo así a garantizar los derechos al agua, a una vida digna, a la ciudad y a la infraestructura social (SEDEMA, 2020).

Además, el como parte de las actividades del programa se capacita a las personas beneficiarias sobre los beneficios, uso y mantenimiento del SCALL's, mediante reuniones comunitarias, visitas técnicas y de instalación, así como visitas o llamadas de monitoreo. Hasta el año 2020, con el programa se había llevado la instalación de 10,109 dispositivos, sin embargo su vigencia y funcionamiento seguirá hasta el 2024 (ibíd).

La existencia de diversas normas mexicanas para la regulación de los SCALL's son una ventaja importante para garantizar la calidad del recurso (potable) y su uso en diversas actividades domésticas. Por otra parte, el uso de agua de lluvia tendría el potencial de reducir el consumo de agua subterránea en zonas rurales, y reducir inundaciones y la erosión del suelo.

Sin embargo, cabe destacar que esta tecnología no es una solución ante la problemática del agua en México, únicamente es una medida para mitigar el desabastecimiento, pero deben existir mayores propuestas para satisfacer la demanda de agua potable para uso doméstico de México.

## H) Sanitarios ecológicos secos.



*Mapa 37. Potencial de implementación de sanitarios ecológicos secos en México / Viabilidad de implementación (elaboración propia).*

En el mapa 37, se observa el potencial de implementación de sanitarios ecológicos secos en México, es decir, la cantidad de sanitarios ecológicos secos que se podrían instalar en zonas rurales y urbanas de cada entidad federativa, tomando en cuenta las restricciones de instalación-operación para los dispositivos y el dimensionamiento mínimo de viviendas en México (casas de interés social).

Según este estudio, de todos los territorios estatales de México con potencial de implementación de sanitarios ecológicos secos, 20 las entidades federativas que tienen un número

considerable de viviendas en las cuales implementar y ser útil la ecotecnología (por la temperatura ambiente), las condiciones climatológicas aprovechables y su urgencia ante condiciones de rezago social, y por ello, podrían obtener beneficios por la implementación de sanitarios ecológicos secos, como se muestra a continuación en el [Mapa 37](#) y [Tabla 12](#). Siendo así, estas entidades federativas las que podrían tener mayores impactos positivos por la implementación de sanitarios ecológicos secos, los cuales se mencionan en la [Tabla 2](#).

*Tabla 12. Impactos anuales generados a partir de la instalación del 100% de sanitarios ecológicos secos en México.*

<b>IMPACTOS ANUALES GENERADOS A PARTIR DE LA INSTALACIÓN DEL 100% DE SANITARIOS ECOLÓGICOS SECOS EN MÉXICO.</b>			
<i>Entidad Federativa</i>	<i>Viabilidad de implementación</i>	<i># de sanitarios ecológicos secos (miles)</i>	<i>Emisiones evitadas (miles de tCO<sub>2</sub>eq)</i>
Chiapas	Muy viable	444	171.5
Guerrero	Muy viable	345	123.6
México	Viable	457	163.8
Oaxaca	Muy viable	503	175.6
Puebla	Viable	244	89.9
Tabasco	Viable	289	98.2
Veracruz	Muy viable	753	249.2
Yucatán	Viable	521	177.1

Lo que se observa en la Tabla 12, es que la implementación de sanitarios ecológicos secos podría generar beneficios para 3.5 millones de viviendas marginadas y/o rurales en México, que no cuentan con el servicio de drenaje público; debido que el grado de aceptación y adopción de la ecotecnología podría ser mayor en viviendas que no cuentan con el servicio, en comparación a los que podrían sustituir el W.C. convencional. De igual manera, estas entidades federativas son las que tienen mayor potencial de mitigar emisiones de GEI, principalmente metano (NH<sub>3</sub>), debido a que la deposición de excretas humanas en un depósito con funciones deshidratantes (durante 6-12 meses) provoca que no se emitan estos gases a la atmosfera, llegando a mitigar hasta 1.2 millones de tCO<sub>2</sub> anuales.

Por ejemplo, Veracruz es un territorio con una mayor cantidad de viviendas sin acceso al servicio de drenaje público, por lo que, se postula como uno de los estados con mayor viabilidad para implementar esta ecotecnología; proveyendo de mejores condiciones salubres a las viviendas que no cuentan con acceso a drenaje público o con carencias de agua para drenar sus excretas. Además, siendo pertinente en cuanto a la normativa mexicana (PROY-NOM-002-CONAGUA-2015), que establece y regula los requerimientos necesarios para la instalación y funcionamiento de los dispositivos.

Es indispensable la regulación de la ecotecnología en México al relacionarse con temas de higiene, sanidad y salubridad, de igual manera, que impartir capacitaciones acerca de su uso y mantenimiento. El sanitario ecológico seco es una alternativa potencial para mitigar la carencia de drenaje, e inclusive, una forma de mitigar la contaminación de agua y suelo (no produce aguas residuales y reduce riesgo

de infiltraciones), no obstante, su instalación y/o uso incorrecto podría generar impactos negativos como la generación de fauna nociva (roedores e insectos) y la contaminación de mantos acuíferos.

De igual manera, este tipo de sanitarios podría ser una alternativa para viviendas que no cuenten con un flujo de agua constante, debido a que no utilizan agua y esto provocaría que el gasto por el recurso disminuya o sea dirigido a otras tareas en la vivienda. Además que, la mitigación en el uso del recurso disminuye el consumo de electricidad que conlleva la potabilización y transporte del mismo.

Un reto importante es la falta de difusión acerca de los beneficios que podría conllevar la implementación de esta ecotecnología, debido a que aún existen prejuicios, hábitos y costumbres en la sociedad que dificultan su adopción.

#### 4.3. CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS.

Basándose en la viabilidad de implementación de ecotecnologías en México, se elaboraron los escenarios ideales y porcentuales (1, 2 y 3%) de implementación de ecotecnologías en México, para un lapso de 20 años. Los resultados se muestran a continuación:

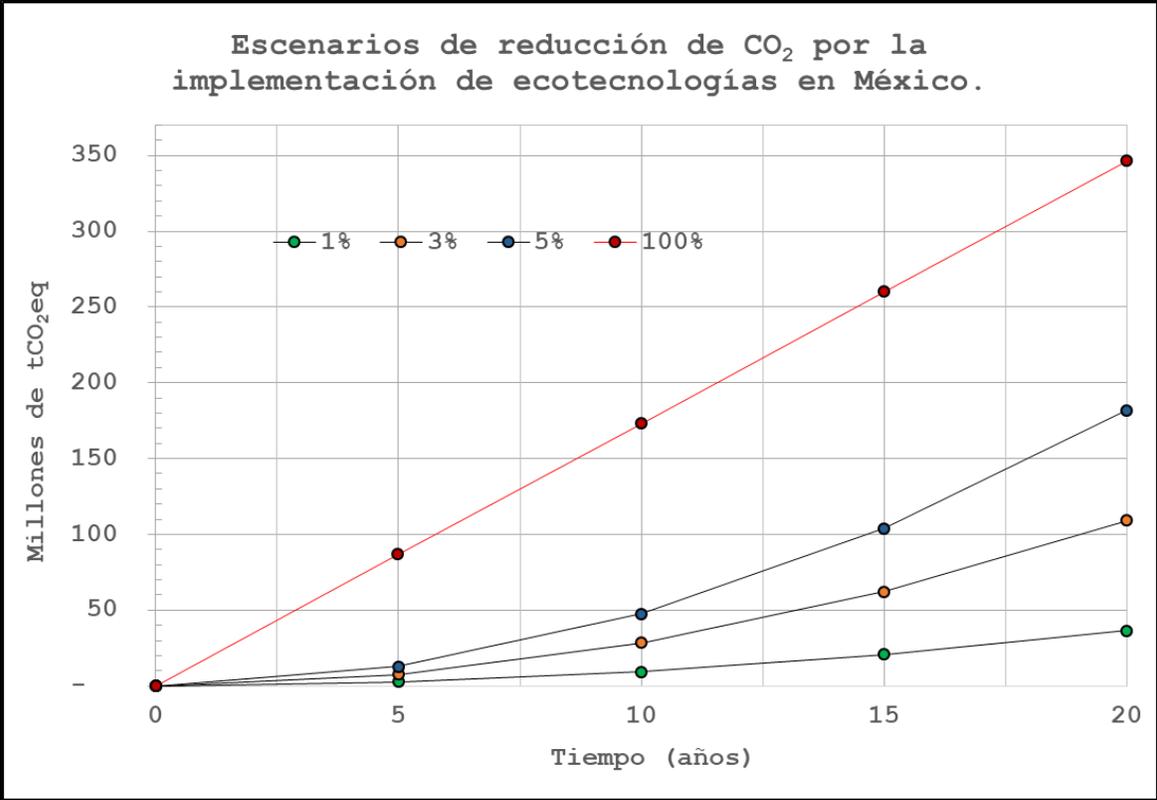
##### *1. Emisiones de GEI.*

En la gráfica 1, se observan los resultados de la reducción de CO<sub>2</sub> por la implementación de las 8 diversas ecotecnologías (en conjunto), a partir de los 4 distintos escenarios propuestos. La elección de alguno de los escenarios repercutirá en los resultados probables alcanzados, lo que se define en cuestión del número de dispositivos instalados anuales y en el uso que le den a las ecotecnologías. Lo que se visualiza es que con la implementación del 100% de las ecotecnologías (en un año), se podría mitigar hasta 346 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> (acumulativo de 20 años); siendo el menos realista en cuestiones de la capacidad y disponibilidad de aplicación tecnológica, y practicidad, en términos económico-temporales.

Por otra parte, las otras 3 propuestas de implementación (escenarios) pueden ser alternativas con un mayor realismo, debido a que la dinámica puede ser paulatina, lo cual daría un lapso más amplio de tiempo y dinero para la ejecución de programas o iniciativas de implementación de las ecotecnologías por parte del sector gubernamental y privado.

El escenario de implementación del 5 % (anual), podría mitigar hasta 181 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> (acumulativo de 20 años). De igual manera, el escenario de implementación del 3 % (anual), podría mitigar hasta 109 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> (acumulativo de 20 años). Por último,

el escenario de implementación del 1 % (anual), podría mitigar hasta 36 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> (acumulativo de 20 años).



Gráfica 1. Escenario de reducción de CO<sub>2</sub> por la implementación de ecotecnologías en México (elaboración propia).

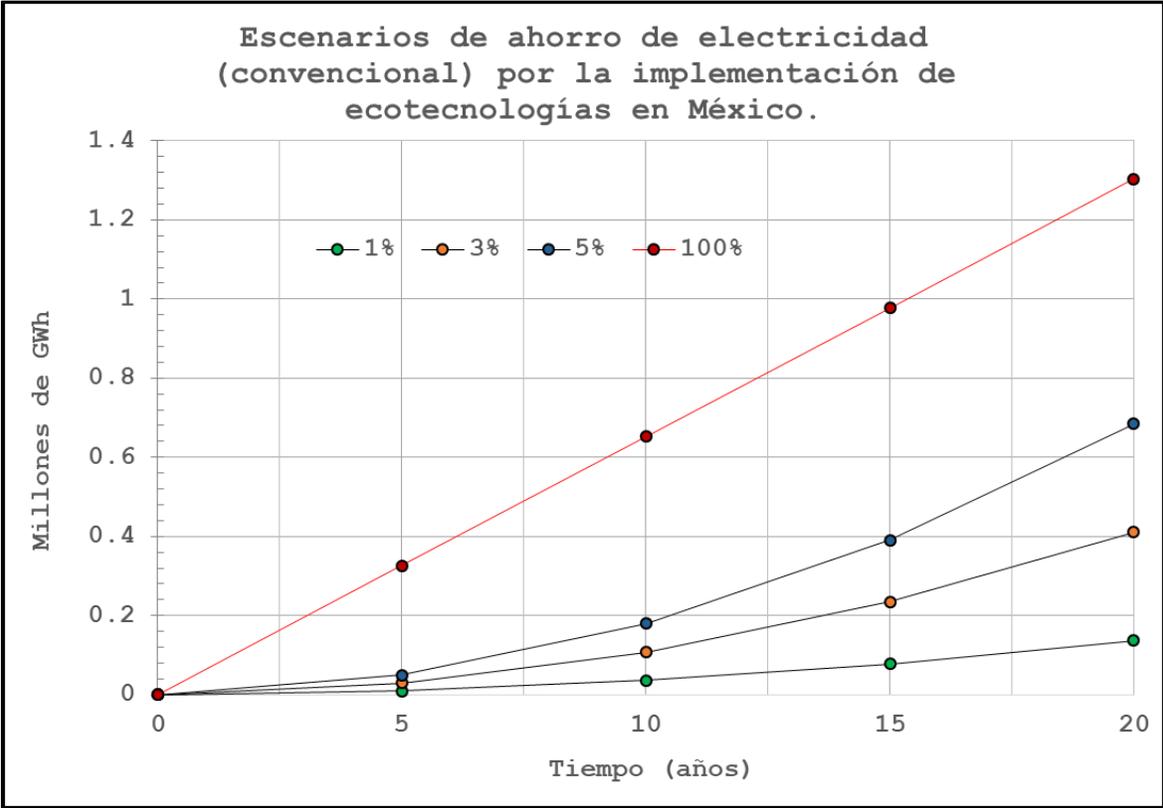
**II. Ahorro de electricidad.**

En la gráfica 2, se observan los resultados del ahorro de electricidad (convencional) por la implementación de aerogeneradores y módulos fotovoltaicos domésticos (ecotecnologías), a partir de los 4 distintos escenarios propuestos. Lo que se visualiza es que con la implementación del 100% de las 2 ecotecnologías (en un año), se podría mitigar hasta 1.3 millones de GWh (acumulativo de 20 años); siendo el menos realista en cuestiones de la capacidad y disponibilidad de aplicación tecnológica, y practicidad, en términos económico-temporales.

Por otra parte, las otras 3 propuestas de implementación (escenarios) pueden ser alternativas con un mayor realismo, debido a que la dinámica puede ser paulatina, lo cual daría un lapso más amplio de tiempo y dinero para la ejecución de programas o iniciativas de implementación de las ecotecnologías por parte del sector gubernamental y privado.

El escenario de implementación del 5 % (anual), podría mitigar hasta 684 mil GWh (acumulativo de 20 años). De igual manera, el escenario de implementación del 3 % (anual), podría mitigar hasta 410 mil GWh (acumulativo de 20 años). Por último, el escenario de implementación del 1 % (anual), podría mitigar hasta 136 mil GWh (acumulativo de 20 años).

La instalación y uso de aerogeneradores y módulos fotovoltaicos domésticos en México, sería participe del cumplimiento de los compromisos adquiridos con el Acuerdo de París, enfáticamente, el generar el 43% de la energía eléctrica a partir de fuentes limpias para el 2030 (Gobierno de la República, 2015).



Gráfica 2. Escenario de ahorro de electricidad (convencional) por la implementación de ecotecnologías en México (elaboración propia).

**III. Ahorro de leña.**

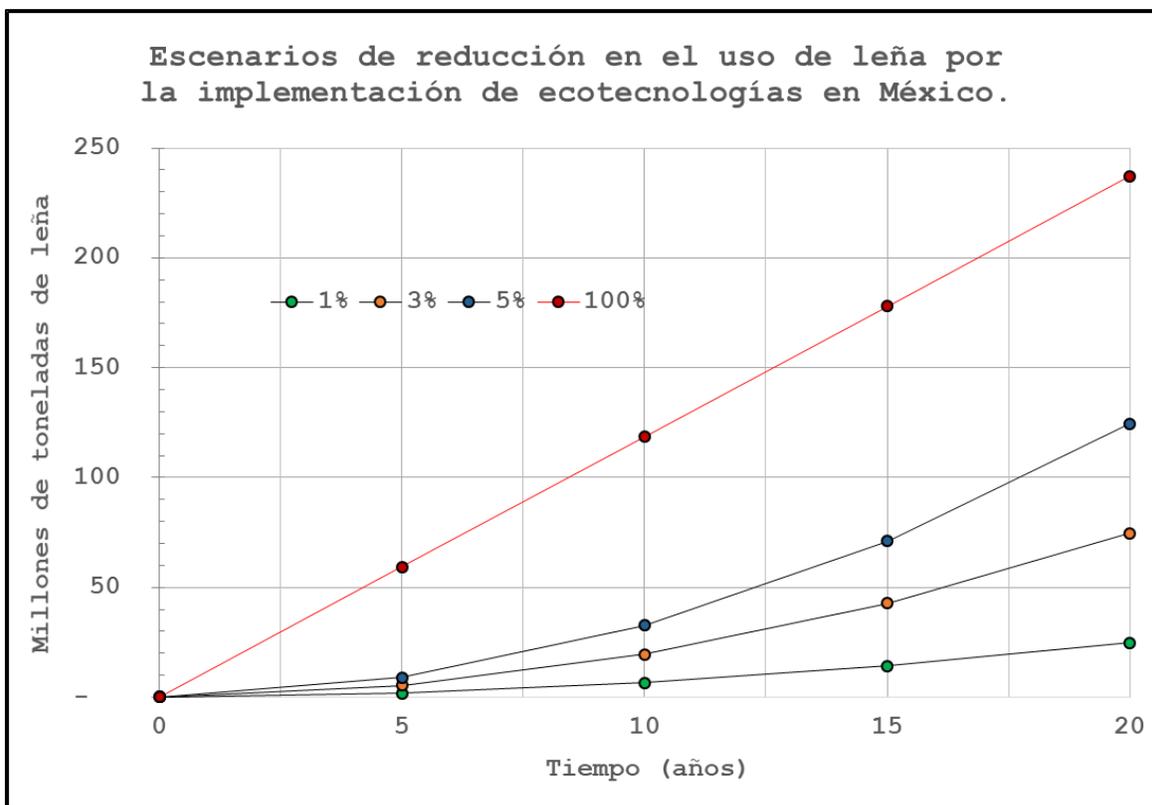
En la gráfica 3, se observan los resultados de la reducción en el uso de leña por la implementación de estufas ahorradoras de leña y solares parabólicas (ecotecnologías), a partir de los 4 distintos escenarios propuestos. Lo que se visualiza es que con la implementación del 100% de las ecotecnologías (en un año), se podría mitigar el uso de hasta 337 millones de toneladas de leña

(acumulativo de 20 años); siendo el menos realista en cuestiones de la capacidad y disponibilidad de aplicación tecnológica, y practicidad, en términos económico-temporales.

Por otra parte, las otras 3 propuestas de implementación (escenarios) pueden ser alternativas con un mayor realismo, debido a que la dinámica puede ser paulatina, lo cual daría un lapso más amplio de tiempo y dinero para la ejecución de programas o iniciativas de implementación de las ecotecnologías por parte del sector gubernamental y privado.

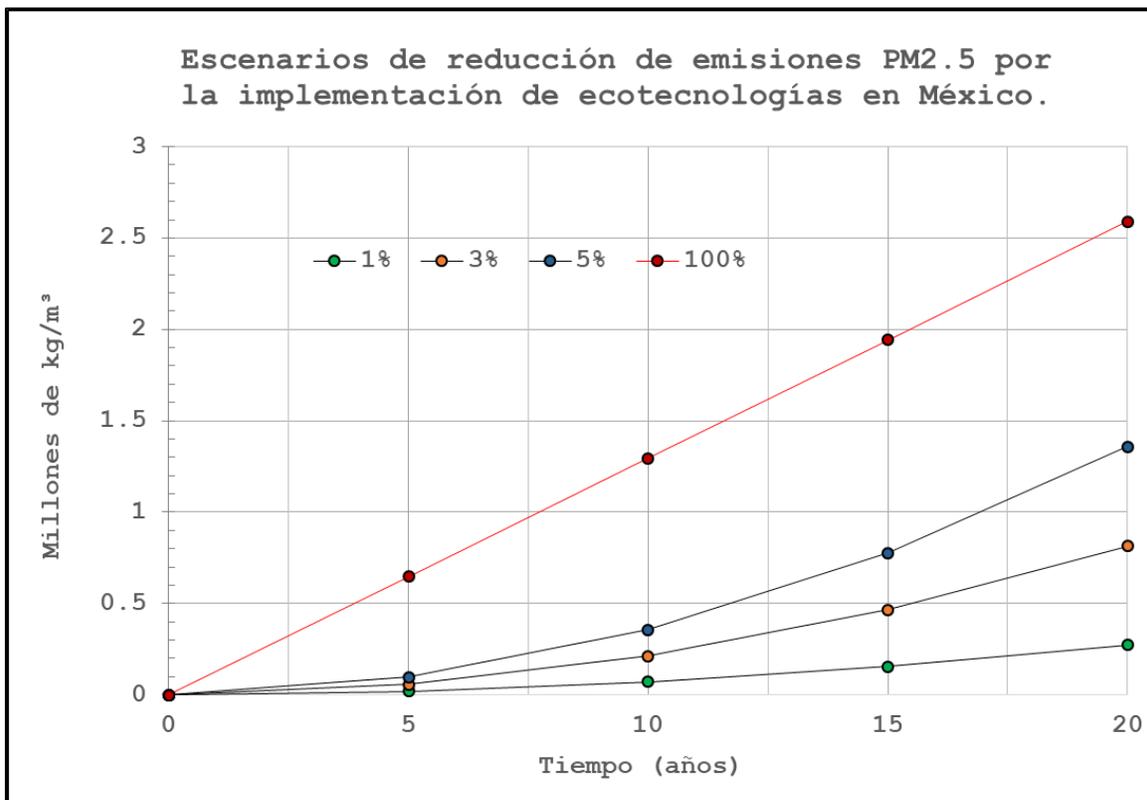
El escenario de implementación del 5 % (anual), se podría mitigar el uso de hasta 124 millones de toneladas de leña (acumulativo de 20 años). De igual manera, el escenario de implementación del 3 % (anual), se podría mitigar el uso de hasta 74 millones de toneladas de leña (acumulativo de 20 años). Por último, el escenario de implementación del 1 % (anual), se podría mitigar el uso de hasta 24 millones de toneladas de leña (acumulativo de 20 años).

La instalación y uso de estufas ahorradoras de leña y solares parabólicas en México, sería participe de los compromisos adquiridos con el Acuerdo de París, enfáticamente, el mejorar el manejo forestal y disminuir la tasa de deforestación para el 2030 (Gobierno de la República, 2015).



Gráfica 3. Escenario de reducción en el uso de leña por la implementación de ecotecnologías en México (elaboración propia).

#### IV. Mitigación de emisiones PM 2.5 y CO.

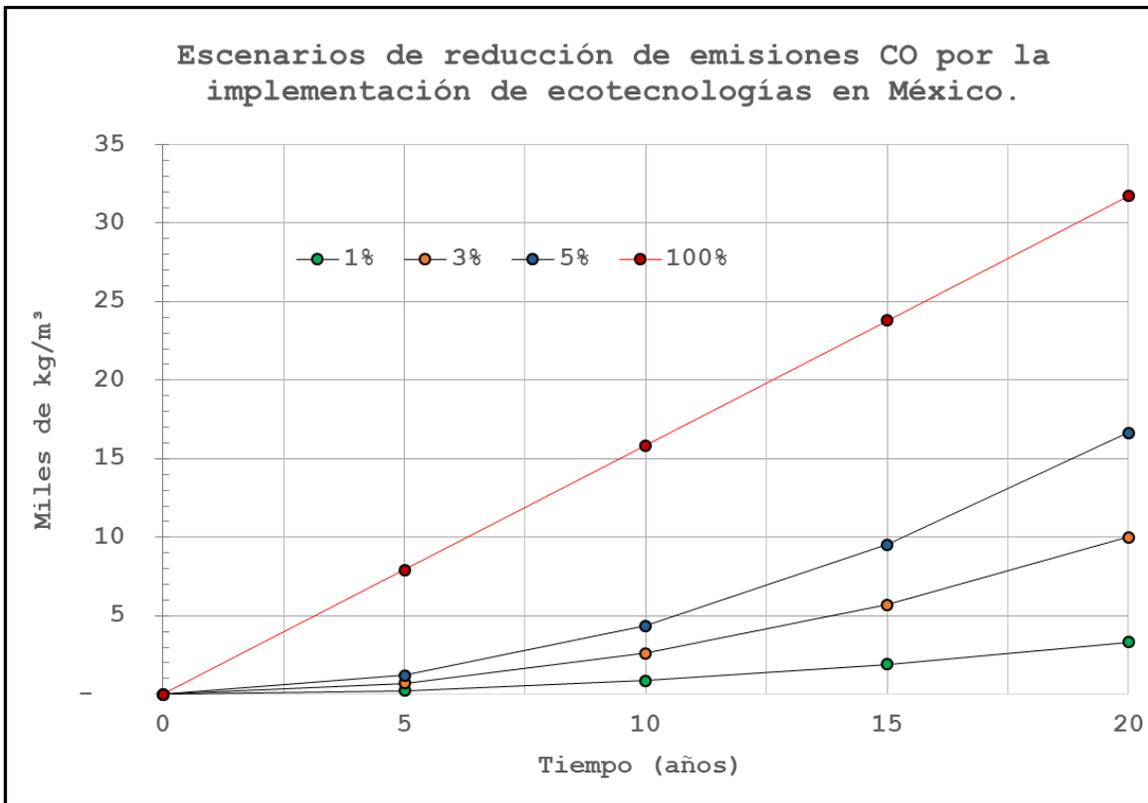


Gráfica 4. Escenario de reducción de emisiones PM 2.5 por la implementación de ecotecnologías en México (elaboración propia).

En la gráfica 4, se observan los resultados de la reducción de emisiones PM 2.5 por la implementación de estufas ahorradoras de leña y solares parabólicas (ecotecnologías), a partir de los 4 distintos escenarios propuestos. Lo que se visualiza es que con la implementación del 100% de las ecotecnologías (en un año), se podría mitigar hasta 2.5 millones de kg/m<sup>3</sup> (acumulativo de 20 años); siendo el menos realista en cuestiones de la capacidad y disponibilidad de aplicación tecnológica, y practicidad, en términos económico-temporales.

Por otra parte, las otras 3 propuestas de implementación (escenarios) pueden ser alternativas con un mayor realismo, debido a que la dinámica puede ser paulatina, lo cual daría un lapso más amplio de tiempo y dinero para la ejecución de programas o iniciativas de implementación de las ecotecnologías por parte del sector gubernamental y privado.

El escenario de implementación del 5 % (anual), podría mitigar hasta 1.3 millones de kg/m<sup>3</sup> (acumulativo de 20 años). De igual manera, el escenario de implementación del 3 % (anual), podría mitigar hasta 815 mil kg/m<sup>3</sup> (acumulativo de 20 años). Por último, el escenario de implementación del 1 % (anual), podría mitigar hasta 271 mil kg/m<sup>3</sup> (acumulativo de 20 años).



Gráfica 5. Escenario de reducción de emisiones CO por la implementación de ecotecnologías en México (elaboración propia).

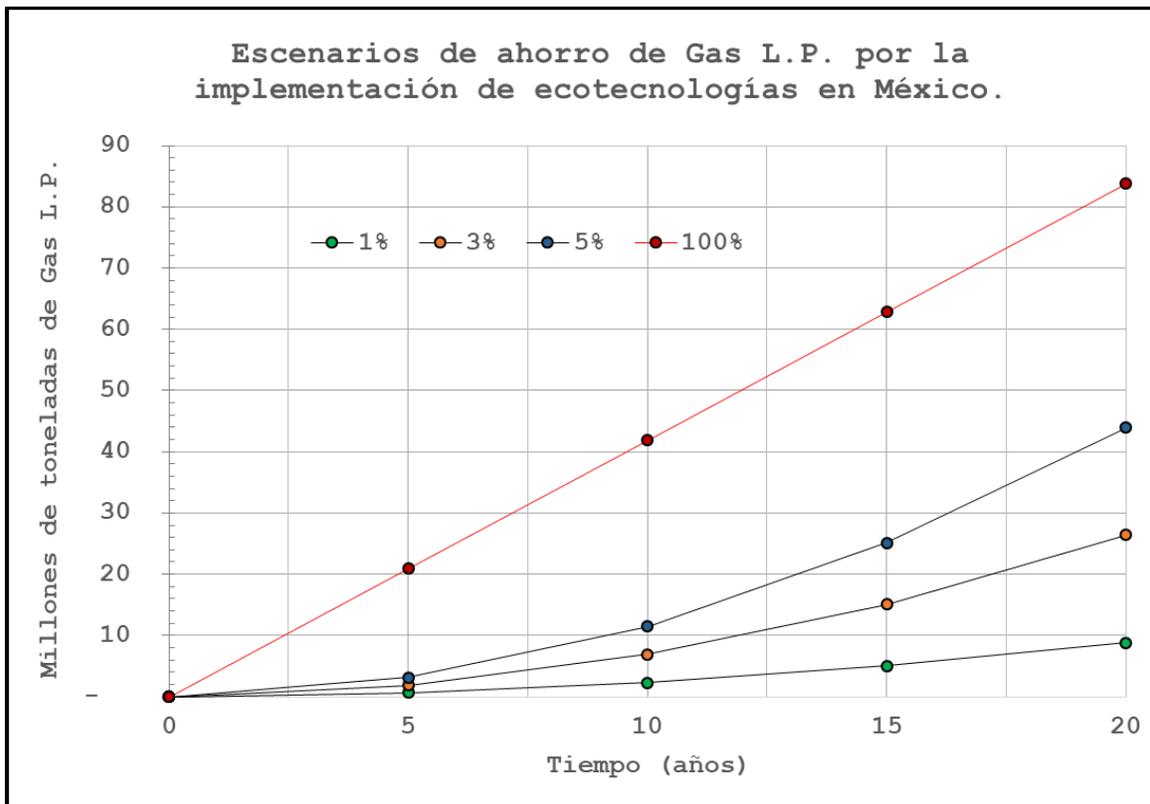
En la gráfica 5, se observan los resultados de la reducción de emisiones CO por la implementación de estufas ahorradoras de leña y solares parabólicas (ecotecnologías), a partir de los 4 distintos escenarios propuestos. Lo que se visualiza es que con la implementación del 100% de las ecotecnologías (en un año), se podría mitigar hasta 31 mil  $\text{kg}/\text{m}^3$  (acumulativo de 20 años); siendo el menos realista en cuestiones de la capacidad y disponibilidad de aplicación tecnológica, y practicidad, en términos económico-temporales.

El escenario de implementación del 5 % (anual), podría mitigar hasta 16 mil  $\text{kg}/\text{m}^3$  (acumulativo de 20 años). De igual manera, el escenario de implementación del 3 % (anual), podría mitigar hasta 9 mil  $\text{kg}/\text{m}^3$  (acumulativo de 20 años). Por último, el escenario de implementación del 1 % (anual), podría mitigar hasta 3 mil  $\text{kg}/\text{m}^3$  (acumulativo de 20 años).

El impacto que tendrían estos escenarios, se resume a la reducción de riesgos en la salud por la exposición a contaminantes tóxicos, debido a que estos gases (CO) y partículas moleculares ( $\text{PM}_{2.5}$ ) emitidas por la combustión de leña se concentran en el interior de las viviendas, teniendo como consecuencia el desarrollo de enfermedades respiratorias en los receptores, causando hasta la muerte (Blanco *et al.*, 2012). Además, en esta época de pandemia por SARS-CoV-2 (COVID-19) puede exacerbar varias de las enfermedades concomitantes, es decir, se incrementa el riesgo de muerte (Masera *et al.*, 2020).

## V. Ahorro de gas L.P.

En la gráfica 6, se observan los resultados del ahorro de Gas L.P. por la implementación de calentadores solares de agua y biodigestores (ecotecnologías), a partir de los 4 distintos escenarios propuestos. Lo que se visualiza es que con la implementación del 100% de las ecotecnologías (en un año), se podría mitigar hasta 83 millones de toneladas de Gas L.P. (acumulativo de 20 años); siendo el menos realista en cuestiones de la capacidad y disponibilidad de aplicación tecnológica, y practicidad, en términos económico-temporales.



Gráfica 6. Escenario de ahorro de gas L.P. por la implementación de ecotecnologías en México (elaboración propia).

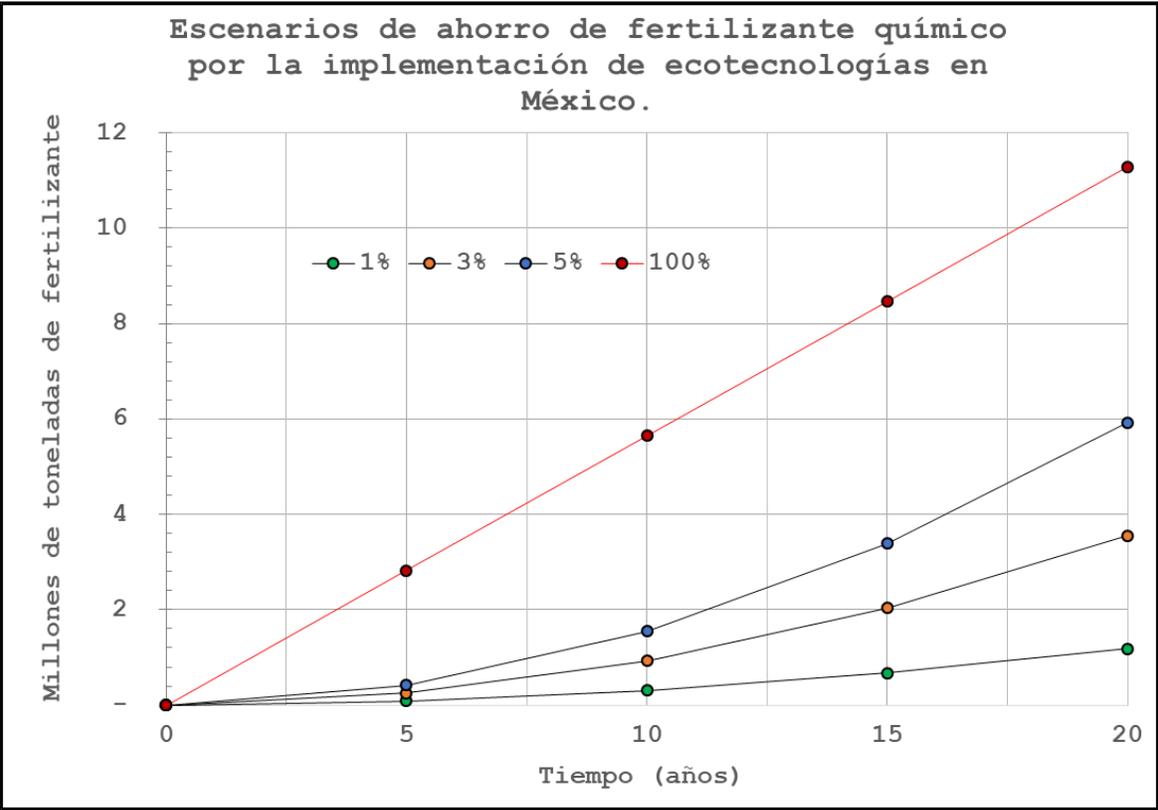
Por otra parte, las otras 3 propuestas de implementación (escenarios), pueden ser alternativas, con un mayor realismo, para la implementación de las ecotecnologías por parte del sector gubernamental y privado.

El escenario de implementación del 5 % (anual), podría mitigar hasta 43 millones de toneladas de Gas L.P. (acumulativo de 20 años). De igual manera, el escenario de implementación del 3 % (anual), podría mitigar hasta 26 millones de toneladas de Gas L.P. (acumulativo de 20 años). Por último, el escenario de implementación del 1 % (anual), podría mitigar hasta 8 millones de toneladas de Gas L.P. (acumulativo de 20 años).

La instalación y uso de biodigestores y calentadores solares de agua en México, sería participe de los compromisos adquiridos con el Acuerdo de París, enfáticamente, en la promoción de biodigestores en granjas agropecuarias y calentadores solares, para el aprovechamiento de gases inflamables y la disminución en el uso de combustibles fósiles para el 2030 (Gobierno de la República, 2015).

**VI. Ahorro de fertilizante químico.**

En la gráfica 7, se observan los resultados del ahorro de fertilizante químico por la implementación de biodigestores (ecotecnología), a partir de los 4 distintos escenarios propuestos. Lo que se visualiza es que con la implementación del 100% de las ecotecnologías (en un año), se podría mitigar hasta 11.2 millones de toneladas de fertilizante químico (acumulativo de 20 años); siendo el menos realista en cuestiones de la capacidad y disponibilidad de aplicación tecnológica, y practicidad, en términos económico-temporales.



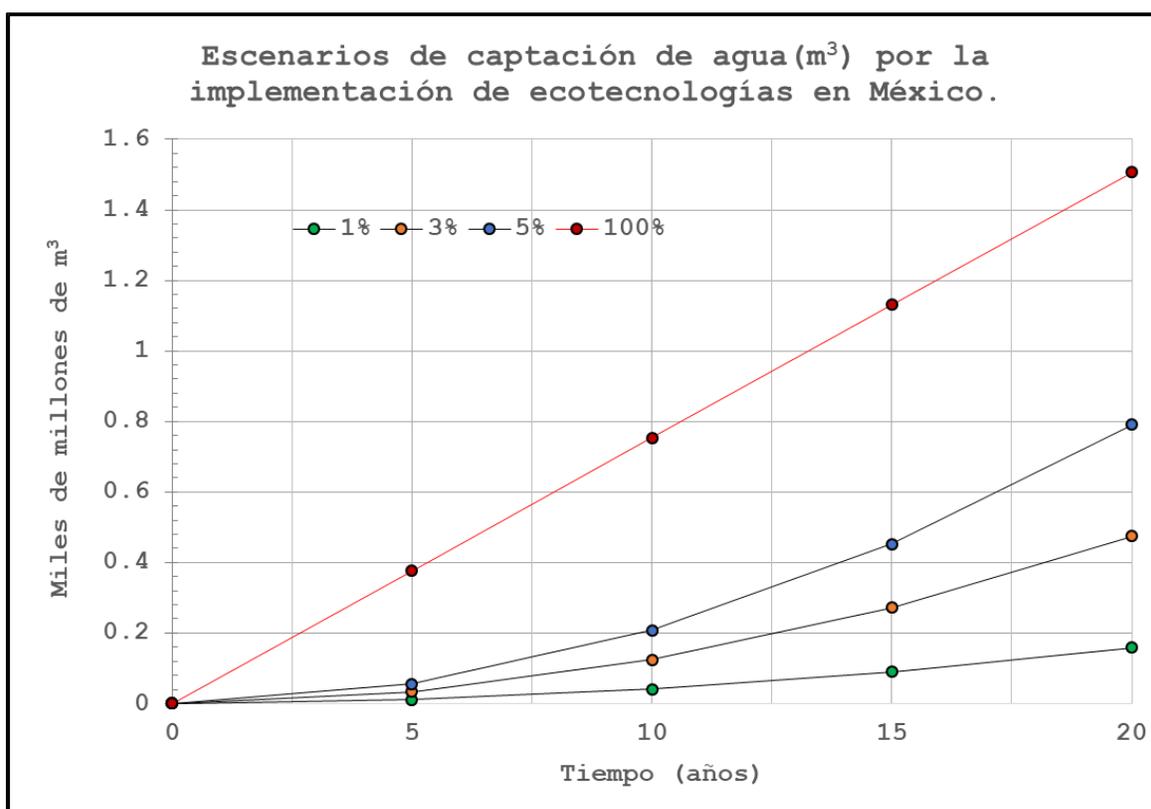
Gráfica 7. Escenario de ahorro de fertilizante químico por la implementación de ecotecnologías en México (elaboración propia).

Por otra parte, las otras 3 propuestas de implementación (escenarios), pueden ser alternativas, con un mayor realismo, para la implementación de las ecotecnologías por parte del sector gubernamental y privado.

El escenario de implementación del 5 % (anual), podría mitigar hasta 5.9 millones de toneladas de fertilizante químico (acumulativo de 20 años). De igual manera, el escenario de implementación del 3 % (anual), podría mitigar hasta 3.5 millones de toneladas de fertilizante químico (acumulativo de 20 años). Por último, el escenario de implementación del 1 % (anual), podría mitigar hasta 1.1 millones de toneladas de fertilizante químico (acumulativo de 20 años).

La instalación y uso de biodigestores en México, sería participe de los compromisos adquiridos con el Acuerdo de París, enfáticamente, en la promoción de biodigestores en granjas agropecuarias, y de igual forma, al impulsar la tecnificación sustentable del campo para el 2030 (Gobierno de la República, 2015).

### VII. Captación de agua.



Gráfica 8. Escenario de captación de agua por la implementación de ecotecnologías en México (elaboración propia).

En la gráfica 8, se observan los resultados del captación de agua de lluvia por la implementación de SCALL's, a partir de los 4 distintos escenarios propuestos. Lo que se visualiza es que con la implementación del 100% de las ecotecnologías (en un año), se podría captar hasta 1,507 millones de

m<sup>3</sup> de agua (acumulativo de 20 años); siendo el menos realista en cuestiones de la capacidad y disponibilidad de aplicación tecnológica, y practicidad, en términos económico-temporales.

Por otra parte, las otras 3 propuestas de implementación (escenarios), pueden ser alternativas, con un mayor realismo, para la implementación de las ecotecnologías por parte del sector gubernamental y privado.

El escenario de implementación del 5 % (anual), podría mitigar hasta 791 millones de m<sup>3</sup> de agua (acumulativo de 20 años). De igual manera, el escenario de implementación del 3 % (anual), podría mitigar hasta 474 millones de m<sup>3</sup> de agua (acumulativo de 20 años). Por último, el escenario de implementación del 1 % (anual), podría mitigar hasta 158 millones de m<sup>3</sup> de agua (acumulativo de 20 años).

La instalación y uso de SCALL's en México, sería participe de los compromisos adquiridos con el Acuerdo de París, enfáticamente, en la gestión integral sostenible de cuencas para garantizar el acceso al agua, lograr el acceso a servicios de saneamiento e higiene adecuados y equitativos para todos y poner fin a la defecación al aire libre para el 2030 (Gobierno de la República, 2015).

#### 4.4. RECOMENDACIONES.

Esta investigación es una propuesta metodológica y operacional en distintos escenarios hipotéticos para la implementación de diversas ecotecnologías en México, de manera que puede ser utilizada (recomendablemente) para la replicación a escalas menores (lo cual resultaría con mayor precisión en sus resultados) o como una premisa para su aplicación en las entidades federativas de la República Mexicana.

Debido a la disponibilidad ecotecnológica e inversión socio-económica que conllevan estos escenarios, es necesaria la iniciativa gubernamental para la generación de tratados comerciales relacionados con la materia, al igual que la generación de normas y programas orientados a (Ortiz et al., 2014):

- ❖ La investigación ecotecnológica en contextos de marginación o ruralidad, para la satisfacción de necesidades por servicios en las viviendas.
- ❖ Regulaciones en la instalación y uso correcto de las ecotecnologías propuestas.
- ❖ Elaboración de normas y establecimiento de requisitos de instalación de ecotecnologías en el marco de la Hipoteca Verde, el sector residencial en general y el sector de servicios.
- ❖ Establecimiento de métodos de prueba y comparación del comportamiento de las ecotecnologías.
- ❖ Propuestas para la incorporación del uso de ecotecnologías en los reglamentos de construcción.
- ❖ Financiamiento y/o incentivos económicos.

- ❖ Establecimiento de un mecanismo de certificación para instaladores de estas ecotecnologías y la impartición de cursos de capacitación.
- ❖ Elaboración de estrategias de difusión y promoción para el sector residencial.
- ❖ Crear un sistema de monitoreo para la instalación, operación, mantenimiento y adopción de los dispositivos.
- ❖ Implementación de ecotecnologías bajo esquemas participativos, integrales, a menor escala y priorizando la adopción ecotecnológica por parte de los integrantes de las viviendas.

Tomando en cuenta la preocupación por las repercusiones del cambio climático (causado por las actividades humanas), y por ello los compromisos adquiridos por México, se propone que una medida realista para obtener resultados próximos sería la **implementación anual del 5% de las ecotecnologías**, debido a que los resultados podrían representar al 52% del escenario ideal.

#### 4.4. RELACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS).

De acuerdo con los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), a las metas y los ejes de acción adquiridos por México desde el año 2016, la implementación de ecotecnologías abordará y colaborará en el cumplimiento de los mismos, como se muestra a continuación en la [Tabla 13](#).

Tabla 14. Abordaje de ODS con la implementación de ecotecnologías.

ABORDAJE DE ODS CON LA IMPLEMENTACIÓN DE ECOTECNOLOGÍAS.																
Ecotecnología	Metas de los ODS abordadas por la implementación de ecotecnologías.															
	1) Fin de la pobreza	3) Salud y bienestar	6) Agua limpia y saneamiento	7) Energía asequible y no contaminante	8) Trabajo decente y crecimiento económico	9) Industria, innovación e infraestructura	10) Reducción de las desigualdades	11) Ciudades y comunidades sostenibles	12) Producción y consumo responsables	13) Producción y consumo responsables	15) Vida de ecosistemas terrestres					
Aerogeneradores domésticos	Meta 1.5 y 1.a			Meta 7.1, 7.2 y 7.3	Meta 8.2	Meta 9.1, 9.2 y 9.4	Meta 10.3	Meta 11.1		Meta 13.1, 13.2 y 13.3						
Módulos fotovoltaicos domésticos																
Estufas ahorradoras de leña		Meta 3.1														Meta 15.1 y 15n.2
Estufas solares parabólicas																
Biodigestores														Meta 12n.1		
Calentadores solares de agua																
SCALL's				Meta 6.1, 6.4 y 6n.1												
Sanitarios ecológicos secos				Meta 6.2, 6.4 y 6n.1												

Dichos objetivos y metas podrían ser abordados de diferente forma según la ecotecnología implementada, como se explica a continuación:

- ❖ La implementación de las diversas ecotecnologías podría ser partícipe del cumplimiento del **primer ODS** (poner fin a la pobreza en todas sus formas y en todo el mundo), dado que al instalar las diversas ecotecnologías se podría fomentar la resiliencia de las personas que se encuentran en situaciones de vulnerabilidad y reducir su exposición y vulnerabilidad a los fenómenos extremos económicos, sociales y ambientales. Además, con la movilización significativa de recursos procedentes de diversas fuentes, se podrían implementar programas y políticas encaminados a poner fin a la pobreza en todas sus dimensiones.
- ❖ En cuanto al **tercer ODS** (garantizar una vida sana y promover el bienestar de todos a todas las edades), se podría reducir la tasa de mortalidad, en específico la materna, debido a que la implementación de estufas ahorradoras de leña y solares parabólicas podría disminuir la exposición a gases de efecto invernadero (GEI) disminuirá la muerte por enfermedades respiratorias.
- ❖ El **sexto ODS** (garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos), con la implementación de SCALL's y sanitarios ecológicos secos, se podría colaborar al aumentar el acceso a agua para uso doméstico, mitigando la carencia por el recurso hídrico en comunidades vulnerables. De igual manera, mitigar la carencia por el acceso a servicios de saneamiento e higiene adecuados, disminuyendo la defecación al aire libre, además de contribuir con asegurar higiene y servicios de salud dignos a mujeres y niñas en condiciones vulnerables.
- ❖ El **séptimo ODS** (garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos), con la implementación de aerogeneradores y módulos fotovoltaicos domésticos, se podría colaborar al mitigar la carencia por el acceso a servicios energéticos asequibles, fiables y modernos. De igual manera, la adopción de estas ecotecnias a pequeña escala podría contribuir con la proporción de energía renovable en el conjunto de fuentes energéticas disponibles en México en pro de mejorar la eficiencia energética por la proximidad de la fuente energética a las viviendas.
- ❖ El **octavo ODS** (promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos), dado que al instalar las diversas ecotecnologías se podría aumentar los niveles de productividad económica mediante la diversificación, la modernización tecnológica y la innovación, entre otras cosas centrándose en los sectores con gran valor añadido y un uso intensivo de la mano de obra al abrir un sector de capacitación de personas especializadas en las diferentes ecotecnias, que pueden recibir un salario por realizar este trabajo.
- ❖ El **noveno ODS** (construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación), dado que al instalar las diversas ecotecnologías se podría desarrollar, modernizar y/o reconvertir infraestructuras fiables, sostenibles, resilientes

y de calidad, para apoyar el desarrollo económico y el bienestar humano; la cual podría aumentar la contribución de la industria al empleo y al producto interno bruto.

- ❖ El **décimo ODS** (reducir la desigualdad en los países y entre ellos), dado que al instalar las diversas ecotecnologías se podría promover la igualdad de oportunidades y reducir la desigualdad de resultados, incluso a partir de la promoción de legislaciones, políticas y medidas adecuadas que aseguren el bienestar de los usuarios.
- ❖ El **décimo primero ODS** (lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles), dado que al instalar las diversas ecotecnologías se podría promover el acceso a servicios básicos adecuados, seguros y asequibles en las viviendas, además, de disminuir las emisiones de GEI contaminantes en su medio,
- ❖ El **décimo segundo ODS** (garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles), con la implementación de biodigestores y sanitarios ecológicos secos, se podría impulsar la economía circular (rediseño de productos para disminuir desechos al final de la vida útil de los mismos y desde una perspectiva de valor compartido), con la generación de biogás y biol.
- ❖ El **décimo tercero ODS** (adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos), con la implementación de las 8 diversas ecotecnologías, se podría fortalecer la resiliencia y la capacidad de adaptación a los riesgos relacionados con el clima e incorporar medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales. Además, se podría incentivar a la mejora de la educación, la sensibilización y la capacidad humana e institucional respecto de la mitigación del cambio climático.
- ❖ El **décimo quinto ODS** (proteger, restablecer y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y detener la pérdida de biodiversidad), con la implementación de estufas ahorradoras de leña y solares parabólicas, se podría promover la gestión y el uso sostenible de los ecosistemas terrestres y los servicios ecosistémicos asociados a ellos.

Aunado a esto, la implementación de las 8 ecotecnologías propuestas contribuiría como una propuesta estratégica para la adaptación y mitigación del cambio climático, colaborando así con la meta de disminuir las emisiones de GEI para no alcanzar un aumento de temperatura global de 1.5°C. Y con ello, mitigar impactos ambientales como: el aumento del nivel del mar, inundaciones, aumento en la temperatura en las zonas terrestres y oceánicas, episodios de calor, precipitaciones intensas, sequía, déficits de precipitación, impactos en la biodiversidad y en los ecosistemas, la pérdida y la extinción de especies (IPCC, 2018).

Además, mitigar impactos sociales como: la afectación a los servicios ecosistémicos, la salud humana, los medios de subsistencia, la seguridad alimentaria, el suministro de agua, la seguridad humana y el crecimiento económico (ibíd).

## 5. CONCLUSIONES.

La falta de estudios que aborden la implementación de ecotecnologías basadas en una metodología de viabilidad ha sido un aspecto que ha hecho que la implementación de dispositivos no llegue a ser satisfactoria. Por lo que en esta investigación se desarrolló una herramienta metodológica y operacional para la implementación de diversas ecotecnologías, basada en un método de análisis de viabilidad (sustitución ecotecnológica, climatológica y social), que atienda a la problemática del cambio climático y las carencias de servicios en la sociedad de cada entidad federativa de México.

Las ecotecnologías seleccionadas fueron: A) Aerogeneradores domésticos; B) Módulos fotovoltaicos domésticos; C) Estufas ahorradoras de leña; D) Estufas solares parabólicas; E) Biodigestores; F) Calentadores solares de agua; G) Sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL); H) Sanitarios ecológicos secos.

Los resultados de esta herramienta, arrojan que son diversos los impactos positivos por la instalación de diversas ecotecnologías en las diferentes entidades federativas de México, acorde a su viabilidad y al escenario seleccionado para su implementación. En este contexto, se propusieron 4 escenarios (100% [ideal], 5%, 3% y 1% anual) de implementación, lo cual brinda un panorama con mayor realismo hacia los impactos que tendría la instalación de cada tecnología en el territorio mexicano.

Sin embargo, se hace hincapié en la implementación anual del 5% de los dispositivos, debido a que los resultados serían más próximos y responderían a favor de los compromisos adquiridos por México (ej. ODS) para abordar las repercusiones del cambio climático. La implementación de este escenario podría mitigar hasta 181 millones de toneladas de emisiones de CO<sub>2eq</sub>, 684 mil GWh de electricidad, 124 millones de toneladas de leña, 43 millones de toneladas de Gas L.P., 5.9 millones de toneladas de fertilizante químico y cosechar hasta 791 millones de m<sup>3</sup> de agua, en un lapso de 20 años; lo cual podría ser utilizada por los gobiernos para mejorar las condiciones sociales, energéticas, económicas y ambientales.

Además, la implementación de estas 8 ecotecnologías colaborará en el cumplimiento de gran parte de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), metas y ejes de acción adquiridos por México desde el año 2016.

No obstante, esta herramienta es propuesta para ser replicada a otras escalas espaciales de menor superficie o específicas (regiones, municipios o localidades), lo cual permitiría incluir otros indicadores (ej. factores económicos) y generaría resultados de mayor precisión. Además, se insiste que es necesaria la iniciativa gubernamental para la generación de tratos comerciales relacionados con la materia, al igual que la generación de normas y programas.

## 6. BILIOGRAFÍA.

ALONSO, J., FERNÁNDEZ, A., JIMÉNEZ, C., LECUONA, A., MELLADO, F., PLAZA, J., RAMOS, V. & SALA, G. (2002). Energía solar fotovoltaica. Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación. Editorial Ibergraphi, España.

BARRIENTOS, C. (2017). Calentador solar de agua para usos domésticos con control de variables y funcionamiento con Arduino.

BECERRIL, E. (2020). Manual para instalar un sistema de captación pluvial en tu vivienda. Cosechar la lluvia. Gobierno de la Ciudad de México.

BLANCO, S., CÁRDENAS, B., MAÍZ, P., BERRUETA, V., MASERA, O., & CRUZ, J. (2012). Estudio comparativo de estufas mejoradas para sustentar un Programa de Intervención Masiva en México. Informe Final. Instituto Nacional de Ecología.

BORNAY. (s.f.). Catalogo tecnológico. Obtenido de: [https://www.monsolar.com/pdf/catalogo\\_aerogeneradores\\_bornay.pdf](https://www.monsolar.com/pdf/catalogo_aerogeneradores_bornay.pdf)

CARVAJAL, B. (2011). Plan de comercio exterior y negocios internacionales de la importación de calentadores de agua solares. Tesis. Escuela Politécnica del Ejército “Héroes del Cenepa”.

CARVAJAL, Á. V. (2015). Teorías y modelos: formas de representación de la realidad.

CARVAJAL, Á. V. (2017). Tecnologías para el desarrollo sostenible. Revista de Filosofía de la Universidad de Costa Rica, 56(144).

CEPAL. (2018). La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: Una oportunidad para América Latina y el Caribe. ONU.

CFE. (2017). Usuarios y consumo de electricidad por municipio. Comisión Federal de Electricidad.

CFPRS. (2017). Normas Oficiales Mexicanas (NOM) de Calidad del Aire Ambiente. Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios.

CIDECALLI-CP. (2007). Diseño de Sistemas de Captación de Agua de Lluvia.

COBREIRO, P. & JIMÉNEZ N. (2014). Aerogeneradores: funcionamiento y marco normativo de prevención de riesgos laborales. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

COHEN, J. E. (2003). Human population: the next half-century. Science, 302 (5648), 1172-1175.

CONAFOR. (2008). Transferencia de tecnología y divulgación sobre técnicas para el desarrollo humano y forestal sustentable: Estufa Ahorradora de Leña.

CONAFOR. (2012). Transferencia de Tecnología y Divulgación sobre Técnicas para el Desarrollo Humano y Forestal Sustentable: Sanitarios ecológicos secos.

- CONAGUA. (2007). Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: Diseño de plantas potabilizadoras tipo de tecnología simplificada. Comisión Nacional del Agua.
- CONAGUA. (2015). Cuidemos y valoremos el agua que mueve a México.
- CONAGUA. (2016). Lineamientos técnicos: sistema de captación de agua de lluvia con fines de abasto de agua potable a nivel vivienda.
- CONAPO. (2015). Índice de marginación 2015.
- CONAPO. (2018). Índice de marginación por entidad federativa y municipio 2015. 11-11-2019.
- CONEVAL. (2013). Manual para el Diseño y la Construcción de Indicadores. Instrumentos principales para el monitoreo de programas sociales de México.
- CONEVAL. (2018). Medición de la pobreza en los Estados Unidos Mexicanos (2008-2018).
- CONUUE., GIZ., ANES. (2011). Programa para la promoción de calentadores solares de agua (Procalso) 2007-2012. Avances 2007-2009 y Plan Operativo 2009-2010.
- CORONA, I. (2007). Biodigestores. Monografía. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- CRE. (2017). Factor de Emisión del Sector Eléctrico Nacional.
- CRE. (2019). Historial de precios promedio al público de gas LP reportados por los distribuidores.
- DAZA, N., JARAMILLO A. & RODRÍGUEZ, R. (2015). Cálculo y diseño de una estufa solar parabólica para la cocción de alimentos.
- DÍAZ, R., BERRUETA, V. & MASERA, O. (2011). Cuaderno temático sobre bioenergía: Estufas de leña. Red Mexicana de Bioenergía, A.C.
- FAO. (2011). Manual del Biogás. Remoción de Barreras para la Electrificación Rural con Energías Renovables. Gobierno de Chile: Ministerio de Energía.
- FAO. (2019). Guía teórico-práctica sobre el biogás y los biodigestores. Colección documentos técnicos N° 12. Buenos Aires. P.104.
- FERRARI, L. (2013). Energías fósiles: diagnóstico, perspectivas e implicaciones económicas. Revista Mexicana de Física, 59 (2), 36-43.
- FERNÁNDEZ, S. S., & JUSMET, J. R. (2010). Agotamiento de los combustibles fósiles y emisiones de CO<sub>2</sub>: Algunos posibles escenarios futuros de emisiones. Revista Galega de Economía, 19(1), 1-19.
- FLORES, V. (2008). Diseño y construcción de una estufa solar CPC de revolución asimétrica. Memorias del 14 congreso internacional anual de la SOMIM.
- GOBIERNO DE LA REPÚBLICA. (2015). Compromisos de mitigación y adaptación ante el cambio climático para el periodo 2020-2030.

GNIAZDOWSKI, Z. (2017). New interpretation of principal components analysis. *Zeszyty Naukowe WWSI*, No 16, Vol. 11.

GÓMEZ, E., NAVAS, F., APONTE, G., BETANCOURT, L. (2014). Metodología para la revisión bibliográfica y la gestión de información de temas científicos, a través de su estructuración y sistematización. *Dyna*, 81 (184), 158-163.

GUERRERO, M., FRITCHE, J., MARTÍNEZ, R. & HERNÁNDEZ, Y. (2006). Diseño y construcción de sanitarios ecológicos secos en áreas rurales. *Revista Cubana de Salud Pública*, vol. 32, núm. 3.

Howard, W. (2003). La cantidad de agua domiciliaria, el nivel del servicio y la salud.

IEA. (2017). *World Energy Balances*.

IIE. (2010). Guía de usuario: Sistemas Fotovoltaicos Interconectados con la Red Aplicaciones de Pequeña Escala. Instituto de Investigaciones Eléctricas.

INECC. (2018). Inventario nacional de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero (INEGYCEI).

INEGI. (2015). Índice de ruralidad en entidades federativas 2015.

INEGI. (2016). Tabulados de la Encuesta Intercensal 2016.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). (2007). Summary for Policymakers. En: PARRY, M. L., CANZIANI, O. F., PALUTIKOF, J. P., VAN DER.

IPCC. (2018). Global warming of 1.5°C. Intergovernmental panel on climate change.

JOP. (2019). Estrategia nacional para la implementación de la agenda 2030. Jefatura de la Oficina de la Presidencia de la República.

Kaiser, H. (1958). The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. *Psychometrika*, 23.

LINDEN, P. J., HANSON, C. E. (eds). (2007). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 7-22. Cambridge.

MARTÍNEZ, J. (2013). Implementación de módulos fotovoltaicos en casa habitación. Tesis de ingeniería. IPN.

MASERA, O., ASTIER, M., LÓPEZ, S. (2000). Sustentabilidad y manejo de recursos naturales: El marco de evaluación MESMIS. GIRA.

MASERA, O., RIOJAS, H., PERÉZ, R., SERRANO, M., SCHILMANN, A., RUIZ, V., DE LA SIERRA, L., BURRUETA, V. (2020). Vulnerabilidad a COVID-19 en poblaciones rurales y periurbanas por el uso doméstico de leña. IIES.

MENDELSON, R., DINAR, A., WILLIAMS, L. (2006). The distributional impact of climate change on rich and poor countries. *Environment and Development Economics*, 11(2), 159-178.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (MEA). (2005). *Ecosystems and Human Well-Being: Our Human Planet: Summary for Decision Makers*. Island Press.

MORENO, J. G. (2012). Método de detección temprana de Outliers.

MORTON, J. F. (2007). The impact of climate change on smallholder and subsistence agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(50), 19680-19685.

NARDO, M., SAISANA, M., SALTELLI, A. y TARANTOLA, S., HOFFMAN, a. y GIOVANNINI, E. (2005). *Handbook on constructing composite indicators: Methodology and user guide*, OECD Statistics Working Paper, STD/DOC (2005).

OCAÑA, F. (2011). *Técnicas estadísticas en Nutrición y Salud. Tratamiento estadístico de outliers y datos faltantes*.

OECD. (2013). *Evaluaciones de la OCDE sobre el desempeño ambiental: México 2013*. OECD Publishing.

Oliva, C. V. (2017). Trabajo fin de grado: problemas ambientales y de salud derivados del uso de fertilizantes nitrogenados.

ONU. (2015). Resolución aprobada por la Asamblea General el 25 de septiembre de 2015. Asamblea General.

OMS. (2005). *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre: Actualización mundial 2005*. Organización Mundial de la Salud.

OROZCO, M., MIRELES, P., JAIMES, S., & GOMORA, B. (2012). La experiencia de las estufas ahorradoras de leña en dos comunidades indígenas del Estado de México. *Ambiente y Desarrollo*, 16 (31), 91-105.

ORTIZ-MORENO, J. A., MASERA-CERUTTI, O., & FUENTES-GUTIÉRREZ, A. F. (2014). *La ecotecnología en México* (Primera ed., p. 126). México, D. F.: Imagia.

PEDROZA, A., CHÁVEZ, J. A., TREJO, R., & RUÍZ, J. (2014). Sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL's) y bioproductividad en comunidades marginadas de zonas áridas. In *Memorias del V Congreso Nacional de Ingenieros Civiles*, AC Torreón, Coah (pp. 1-25).

POPPER, R. (2011). Metodología de la Prospectiva. En: *Manual de Prospectiva Tecnológica. Conceptos y prácticas*. México: Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, p.85-138.

PROMÉXICO. (2017). *La industria solar fotovoltaica y fototérmica en México*.

QUASCHNING, V. (2005). *Understanding Renewable Energy Systems*.

RIVAS, O., FAITH, M. & GUILLÉN, R. (2010). Biodigestores: factores químicos, físicos y biológicos relacionados con su productividad. *Tecnología en Marcha*, Vol. 23, N.º 1, P. 39-46.

ROCKSTRÖM, J., STEFFEN, W., NOONE, K., PERSSON, A., CHAPIN, S. LAMBIN, E. F., LENTON, T. M., SCHEFFER, M., FOLKE, C., SCHE-LLNHUBER, et al., (2009). A safe operating space for humanity. *Nature*, 461(7263), 472-475.

SALINAS, A. (2015). Impacto ambiental, social y económico derivado de la implementación de sistemas de captación y almacenamiento de agua de lluvia en dos estudios de caso en México. Tesis. UNAM.

SCHMALBACH, J. V., HERRERA, T. F., & ÁVILA, F. M. (2010). La planeación por escenarios: Revisión de conceptos y propuestas metodológicas. *Prospectiva*, 8(2), 21-29.

SCHUSCHNY, A. (2009). Guía metodológica Diseño de indicadores compuestos de desarrollo sostenible. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). ONU.

SEDEMA. (2020). Gaceta oficial de la CDMX: Reglas de operación del programa “Cosecha de lluvia”.

SENER. (2012). *Prospectiva del Mercado de Gas Licuado de Petróleo (2012-2026)*.

SENER. (2017). *Demanda de gas L.P. por región y entidad federativa, prospectivas*. Secretaría de Energía.

SENER. (2018 a). *Atlas nacional de zonas con alto potencial de energías limpias*. Secretaría de Energía.

SENER. (2018 b). *Balance Nacional de Energía: Indicadores económicos y energéticos*. Secretaría de Energía.

SIAP. (2018). *Uso de fertilizante en la superficie sembrada por entidad federativa 2018*. SADER.

SISTEMA BIOBOLSA. (s.f). *Manual del biol: No hay desechos sólo recursos*.

SMA. (2008). *Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero en zona Metropolitana del Valle de México*.

TORRES, E. (2014). *Guía de instalación de sistemas de calentamiento solar de agua para vivienda unifamiliar*. GIZ.

UNFPA, R. (2011). *Población: 7,000 millones*. *National Geographic en Español*, 28(1), 2-36.

UNITED NATIONS FOUNDATION (UN). (2011). *Rural Population, Development and de Enviroment 2011*. New York.

UNITED NATIONS FOUNDATION (UN). (2012). *Energy Access Practitioner Network: Towards Achieving Universal Energy Access by 2030*. Washington.

UNITED NATIONS POPULATION FOUND (UNFPA). (2011). *Estado de la población mundial 2011*. Recuperado el 2 de febrero del 2014, de [http://www.unfpa.org/webdav/site/global/shared/documents/publications/2011/SP-SWOP2011\\_Final.pdf](http://www.unfpa.org/webdav/site/global/shared/documents/publications/2011/SP-SWOP2011_Final.pdf).

VILLA. (2015). Optimización del sistema de descarga del inodoro para economizar agua.

VITOUSEK, P. M., MOONEY, H. A., LUBCHENCO, J., MELILLO, J. M. (1997). Human dominated of Earth s ecosystems. Science, 277(5325), 494-499.

WB. (2016). Consumo de Fertilizantes en México. World Bank Group.

WB. (2020). Global Solar Atlas: México. Energy data. World Bank Group.

## 7. ANEXOS.

### Anexo 1. Fuentes de consulta.

<b>FUENTES DE CONSULTA</b>				
<i>Atributo</i>	<i>Institución o autor. (año)</i>	<i>Tema o subtema</i>	<i>Título del documento</i>	<i>Procedencia (nacional o extranjero).</i>
General.	INEGI. (2016).	Censo nacional de viviendas.	Tabulados de la Encuesta Intercensal 2015.	Nacional.
General.	SMA. (2008).	Emisiones de GEI.	Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero en zona Metropolitana del Valle de México.	
General.	INECC. (2014).	Factores de emisión.	Factores de emisión para los diferentes tipos de combustibles fósiles y alternativos que se consumen en México.	
General.	INEGI. (2015).	Censo nacional de viviendas.	Promedio de ocupantes por Entidad federativa y Periodo 2015.	
Cocción de alimentos.	Blanco et. al (2012).	Emisiones de PM.	Estudio comparativo de estufas mejoradas para sustentar un Programa de Intervención Masiva en México.	Nacional.
Cocción de alimentos.	CFPRS. (2017).	Emisiones de PM.	Normas Oficiales Mexicanas (NOM) de Calidad del Aire Ambiente.	
Cocción de alimentos.	Alfredo Fuentes. (2019).	Dispositivos de cocción de alimentos.	Comparación de las emisiones de CO <sub>2</sub> de una olla solar vs dispositivos que funcionan con biomasa.	
Electricidad.	CFE. (2017).	Demanda de electricidad.	Usuarios y consumo de electricidad por municipio.	Nacional.
Electricidad.	CRE. (2017).	Factor de emisión.	Factor de emisión del sector eléctrico nacional.	
Electricidad.	SENER. (2018a).	Potencial de energías limpias.	Atlas nacional de zonas con alto potencial de energías limpias.	
Electricidad.	SENER. (2018b).	Consumo de electricidad per cápita en México	Balance Nacional de Energía: Indicadores económicos y energéticos. Secretaria de Energía.	
Agua.	CIDECALLI-CP. (2007).	Captación de agua de lluvia.	Diseño de Sistemas de Captación de Agua de Lluvia.	

Agua.	CONAGUA. (2015).	CONAGUA: Consumo de agua promedio "México"	Cuidemos y valoremos el agua que mueve a México.	
Agua.	CONAGUA; 2016	Captación de agua de lluvia.	Lineamientos técnicos: sistema de captación de agua de lluvia con fines de abasto de agua potable a nivel vivienda.	
Eliminación de aguas residuales o drenaje	Villa. (2015).	Capacidad media de depositos del WC	Optimización del sistema de descarga del inodoro para economizar agua.	Nacional.
Eliminación de aguas residuales o drenaje	INECC. (2018).	Tratamiento y eliminación de aguas residuales: México	Inventario nacional de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero (INEGYCEI).	
Cocción de alimentos y electricidad.	IIE. (2010).	Horas solares pico.	Guía de usuario: Sistemas Fotovoltaicos Interconectados con la Red Aplicaciones de Pequeña Escala.	Nacional.
Cocción de alimentos y calentamiento de agua.	SENER. (2017).	Demanda de gas L.P.	Demanda de gas L.P. por región y entidad federativa, prospectivas.	
Cocción de alimentos, agua, electricidad y calentamiento de agua	SMN. (2019).	Clima.	Resúmenes mensuales de temperaturas y lluvia.	
Cocción de alimentos y calentamiento de agua.	INEGI. (2007).	Censo nacional agrícola.	Censo agrícola, ganadero y forestal 2007.	Nacional.
Cocción de alimentos y calentamiento de agua.	SENER. (2012).	Consumo gas L.P per cápita en México	Prospectiva del Mercado de Gas Licuado de Petróleo (2012-2026).	
Cocción de alimentos y calentamiento de agua.	Sistema Biobolsa. (s.f).	Relación agua:excretas.	Manual del biol.	
Cocción de alimentos y calentamiento de agua.	SIAP. (2018).	Consumo de fertilizantes,	Uso de fertilizante en la superficie sembrada por entidad federativa 2018.	
Cocción de alimentos y calentamiento de agua.	CRE. (2019).	Precios gas LP.	Historial de precios promedio al público de gas LP reportados por los distribuidores.	
Social.	CONAPO. (2015).	Índice de marginación.	Índice de marginación.	
Social.	INEGI. (2015).	Índice de ruralidad en entidades federativas.	Índice de ruralidad en entidades federativas.	Nacional.
Cocción de alimentos.	OMS. (2005).	Emisiones de PM.	Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre.	Extranjero.
Cocción de alimentos y calentamiento de agua.	FAO. (2011).	Biogás.	Manual del Biogás.	
Cocción de alimentos y calentamiento de agua.	WB. (2016).	Consumo de fertilizantes.	Consumo de Fertilizantes en México.	
Cocción de alimentos, electricidad y calentamiento de agua	WB. (2020).	Radiación solar.	Global Solar Atlas: México.	

Anexo 2. Ecotecnologías, Indicadores y ecuaciones propuestas.

**INDICADORES Y ECUACIONES PROPUESTAS.**

<i>Ecotecnologías propuestas.</i>	<i>Indicadores.</i>	<i>Ecuación.</i>	<i>Elementos de la ecuación.</i>	<i>Unidad de medición.</i>	<i>Definición.</i>
<b>A) AEROGENERADORES.</b>	A1: Potencial de implementación (# aerogeneradores).	$PIA = VR$	VR = Número de viviendas rurales (Ent. Fed.).	# de aerogeneradores	Cantidad de aerogeneradores que se pueden implementar en viviendas rurales.
	A2: Potencial de generación eólica (doméstica).	Sí el viento es mayor a 3.5 m/s en el 50% de sus observaciones, entonces: $PGE = PNA \times PIA \times HVA \times PO$	PNA = Potencia nominal del aerogenerador (600W). PIA = Potencial de implementación. HVA = Horas de viento anuales. PO = Porcentaje de observaciones con un viento mayor a 3.5 m/s.	GWh/año	Potencial de generación de electricidad a partir de las masas de viento captadas por aerogeneradores implementados en viviendas rurales.
	A3: Emisiones de CO <sub>2</sub> evitadas por la implementación de la ecotecnología.	$EEA = ECR \times FEse$	ECR = Energía consumida en viviendas rurales (Ent. Fed.). FEse = Factor de emisión del Sector Eléctrico Nacional.	tCO <sub>2</sub> eq/año	Cantidad de emisiones de CO <sub>2</sub> eq evitables por la implementación de aerogeneradores. Este indicador da una idea de la disminución de impactos en el ambiente por la generación convencional de electricidad.
	A4: Porcentaje de electricidad satisfecha por uso de la ecotecnología.	$PETA = \frac{PGE}{CEP \times MhV} \times 100$ $NtV$	PGE = Potencial de generación eólica. CEP = Consumo de electricidad per cápita en México. MhV = Media de habitantes por vivienda (Ent. Fed.). VR = Número de viviendas rurales (Ent. Fed.).	%/año	Porcentaje de electricidad que podría ser satisfecha por la generación de electricidad por aerogeneradores.
	A5: Energía eléctrica no abastecida.	$EnA = VsE \times MhV \times CEP$	VsE = Número de viviendas sin electricidad (Ent. Fed.). MhV = Media de habitantes por vivienda (Ent. Fed.). CEP = Consumo de electricidad per cápita en México.	GWh/año	Electricidad no suministrada, número de viviendas sin acceso a los servicios públicos de electricidad.
<b>B) MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.</b>	B1: Potencial de implementación (# celdas fotovoltaicas).	$PIF = NtV \times NCF$	NtV = Número total de viviendas (Ent. Fed.). NCF = Número de celdas fotovoltaicas en viviendas de interés social (viviendas más pequeñas en México).	# de celdas fotovoltaicas	Cantidad de celdas fotovoltaicas que se pueden implementar en viviendas rurales y urbanas.
	B2: Potencial de generación solar (doméstico).	$PGS = (PNF \times NCF \times NtV \times HSP)$	PNF = Potencia nominal de la celda fotovoltaica (319W). NCF = Número de celdas fotovoltaicas en viviendas de interés social (viviendas más pequeñas en México). NtV = Número total de viviendas (Ent. Fed.). HSP = Horas solares pico al año (Ent. Fed.).	GWh/año	Potencial de generación de electricidad a partir de la exposición solar captada por celdas fotovoltaicas implementadas en viviendas rurales y urbanas.
	B3: Porcentaje de electricidad satisfecha por uso de la ecotecnología.	$PETM = \frac{PGS \times 100}{CEU + CER}$	PGS = Potencial de generación solar. CEU = Consumo de electricidad en zonas urbanas (Ent. Fed.). CER = Consumo de electricidad en zonas rurales (Ent. Fed.).	%/año	Porcentaje de electricidad que podría ser satisfecha por la generación de electricidad por módulos fotovoltaicos.
	B4: Emisiones de CO <sub>2</sub> evitadas por la implementación de la ecotecnología.	$EEPs = PGS \times FEse$	PGS = Potencial de generación solar. FEse = Factor de emisión del Sector Eléctrico Nacional.	tCO <sub>2</sub> eq/año	Cantidad de emisiones de CO <sub>2</sub> eq evitables por la implementación de módulos fotovoltaicos. Este indicador da una idea de la disminución de impactos en el ambiente por la generación convencional de electricidad.
	B5: Energía eléctrica no abastecida.	$EnA = VsE \times MhV \times CEP$	VsE = Número de viviendas sin electricidad (Ent. Fed.). MhV = Media de habitantes por vivienda (Ent. Fed.). CEP = Consumo de electricidad per cápita en México.	GWh/año	Electricidad no suministrada, número de viviendas sin acceso a los servicios públicos de electricidad.

<b>C) ESTUFAS AHORRADORAS DE LEÑA.</b>	C1: Potencial de implementación de estufas ahorradoras de leña.	$PIEA = VL \times NtV$	VL= Porción de viviendas que cocinan sus alimentos con leña o carbón (Ent. Fed.). NtV = Número total de viviendas (Ent. Fed.).	# de estufas ahorradoras de leña	Cantidad de estufas ahorradoras de leña potenciales de implementar en viviendas que utilizan leña o carbón para cocción de alimentos.
	C2: Emisiones de CO <sub>2</sub> evitadas por la implementación de la ecotecnología.	$EEA = EUF - EUE \times (0.7)$	EUF = Emisiones por uso de fogón tradicional (Ent. Fed.). EUE =Emisiones por el uso de estufas ahorradoras de leña (Ent. Fed.). 70% = Porcentaje de tareas asociadas a la cocción de alimentos y/o calefacción que cubre el uso de estufas ahorradoras de leña.	tCO <sub>2</sub> eq/año	Cantidad de emisiones de CO <sub>2</sub> eq evitadas por la implementación de estufas ahorradoras de leña.
	C3: Reducción en el uso de leña por uso de la ecotecnología.	$RCLea = \frac{CLF - CLA}{año} \times PIE \times (0.7)$	CLF= Consumo de leña necesaria para la satisfacción de necesidades (al año), usando fogón tradicional en una vivienda (Ent. Fed.). CLA = Consumo de leña necesaria para la satisfacción de necesidades (al año), usando estufa ahorradora de leña en una vivienda (Ent. Fed.). PIE = Potencial de implementación de estufas ahorradoras de leña (Ent. Fed.). 70% = Porcentaje de tareas asociadas a la cocción de alimentos y/o calefacción que cubre el uso de estufas ahorradoras de leña.	kg de leña/año	Potencial de ahorro de leña por la implementación de estufas ahorradoras de leña.
	C4: Reducción de horas de recolección de leña por uso de la ecotecnología.	$RHR = \frac{HRF - HRE}{año} \times (0.7)$	HRF = Horas de recolección de leña al año para la satisfacción de necesidades de cocción de alimentos y/o calefacción, usando fogón tradicional en una vivienda (Ent. Fed.). HRE = Horas dedicadas a la recolección de leña al año cuando se usa una estufa ahorradora de leña en la vivienda (Ent. Fed.). 70% = Porcentaje de tareas asociadas a la cocción de alimentos y/o calefacción que cubre el uso de estufas ahorradoras de leña.	kg de leña/año	Horas ahorradas en la recolección de leña por la implementación de estufas ahorradoras de leña.
	C5: Emisiones de PM 2.5 evitadas por la implementación de la ecotecnología.	$EPM = Eft - EAl \times (0.7)$	Eft = Emisiones de PM2.5 por uso de fogón tradicional (Ent. Fed.). EAl =Emisiones de PM2.5 por el uso de estufas ahorradoras de leña (Ent. Fed.). 70% = Porcentaje de tareas a cumplir con el uso de estufas ahorradoras de leña.	kg/m <sup>3</sup> /año	Emisiones de PM 2.5 evitadas por la implementación de estufas ahorradoras de leña, en comparación con el uso de fogones.
	C6: Emisiones de CO evitadas por la implementación de la ecotecnología.	$ECO = ECOF - ECEA \times (0.7)$	ECOF = Emisiones de CO por uso de fogón tradicional (Ent. Fed.). ECEA =Emisiones de CO por el uso de estufas ahorradoras de leña (Ent. Fed.). 70% = Porcentaje de tareas asociadas a la cocción de alimentos y/o calefacción que cubre el uso de estufas ahorradoras de leña.	kg/m <sup>3</sup> /año	Cantidad de emisiones de CO evitadas por la implementación de estufas ahorradoras de leña en comparación con el uso de fogones.
	<b>D) ESTUFAS SOLARES PARABÓLICAS.</b>	D1: Potencial de implementación de estufas solares parabólicas.	$PIEs = VClc \times NtV$	VClc = Porcentaje de viviendas que cocinan sus alimentos con leña o carbón (Ent. Fed.). NtV = Número total de viviendas (Ent. Fed.).	# de estufas solares parabólicas
D2: Emisiones de CO <sub>2</sub> eq evitadas por la implementación de estufas solares parabólicas.		$EEs = EUF \times .3$	EUF = Emisiones por uso de fogón tradicional (Ent. Fed.). 30% = Porción de tareas a cumplir con el uso de estufas solares parabólicas.	tCO <sub>2</sub> eq/año	Cantidad de emisiones de CO <sub>2</sub> eq evitadas por la implementación de estufas solares parabólicas.

	D3: Reducción en el uso de leña por uso de estufas solares parabólicas.	$RCL = \frac{CLF}{año} \times PIEs \times (0.3)$	CLF = Consumo de leña necesaria para la cocción de alimentos (al año), usando fogón tradicional en una vivienda (Ent. Fed.). PIEs = Potencial de implementación de estufas solares parabólicas (Ent. Fed.). 30% = Porcentaje de tareas a cumplir con el uso de estufas solares parabólicas.	kg de leña/año	Potencial de ahorro de leña por la implementación de estufas solares parabólicas.
	D4: Reducción de horas utilizadas en la recolección de leña por uso de estufas solares parabólicas.	$RHR = \frac{HRF}{año} \times (0.3)$	HRF = Horas de recolección de leña al año para la satisfacción de necesidades, usando fogón tradicional en una vivienda (Ent. Fed.). 30% = Porcentaje de tareas a cumplir con el uso de estufas solares parabólicas.	kg de leña/año	Potencial de ahorro de horas de recolección de leña por la implementación de estufas solares parabólicas.
	D5: Emisiones de PM 2.5 evitadas por la implementación de estufas solares parabólicas.	$EPMS = EPF \times (0.3)$	EPF = Emisiones de PM2.5 por uso de fogón tradicional (Ent. Fed.). 30% = Porcentaje de tareas a cumplir con el uso de estufas solares parabólicas.	kg/m³/año	Cantidad de emisiones de PM 2.5 evitadas por la implementación de estufas solares parabólicas.
	D6: Emisiones de CO evitadas por la implementación de estufas solares parabólicas.	$ECOs = ECO \times (0.3)$	ECO = Emisiones de CO por uso de fogón tradicional (Ent. Fed.). 30% = Porcentaje de tareas de cocción a cubrir con el uso de estufas solares parabólicas.	kg/m³/año	Cantidad de emisiones de CO evitadas por la implementación de estufas solares parabólicas.
	D7: Potencial de radiación solar	Información obtenida de: WORLD BANK GROUP. (s.f). Global Solar Atlas.		kWh/m²/año	Radiación solar media promedio por cada Ent. Fed.
	D8: Horas solares pico	Información obtenida de: Instituto de Investigaciones Eléctricas. (2010). Guía de usuario: Sistemas Fotovoltaicos Interconectados con la Red Aplicaciones de Pequeña Escala.		# horas	Horas solares pico media promedio por cada Ent. Fed.
	D9: Precipitación	Información consultada en: SMN. (2019). Resúmenes Mensuales de Temperaturas y Lluvia. CONAGUA.		mm	Precipitación media promedio de cada Ent. Fed.
	D10: Meses de lluvia	Información analizada a partir de datos de: SMN. (2019). Resúmenes Mensuales de Temperaturas y Lluvia. CONAGUA.		# meses	Meses de lluvia promedio (2015-2019) en cada Ent. Fed.
<b>E) BIOGÁS (BIODIGESTORES).</b>	E1: Potencial de implementación (# biodigestores).	$PIB = UPO + UPP + UPB$	UPO = Unidades de producción de ganado ovino (Ent. Fed.). UPP = Unidades de producción de ganado porcino (Ent. Fed.). UPB = Unidades de producción de ganado bovino (Ent. Fed.).	# de unidades de producción	Potencial de implementación de biodigestores basada en las unidades de producción de ganado por cada Ent. Fed.
	E2: Potencial de generación de biogás por el uso de la ecotecnología.	$PGB = PGBO + PGBP + PGBB$	PGBO = Potencial de generación de biogás a partir de excretas de ganado ovino (Ent. Fed.). PGBP = Potencial de generación de biogás a partir de excretas de ganado porcino (Ent. Fed.). PGBB = Potencial de generación de biogás a partir de excretas de ganado bovino (Ent. Fed.).	m³/año	Potencial de generación de biogás a partir de la cantidad de excremento de bovinos, ovinos y porcinos, las cuales pueden fermentarse en biodigestores implementados en un sitio específico.

	Biol generado por el uso de la ecotecnología.	$PGB = PGbo + PGbp + PGbb$	PGbo = Potencial de generación de biol a partir de excretas de ganado ovino (Ent. Fed.). PGbp = Potencial de generación de biol a partir de excretas de ganado porcino (Ent. Fed.). PGbb = Potencial de generación de biol a partir de excretas de ganado bovino (Ent. Fed.).	L/año	Potencial de generación de biol o biofertilizante a partir de la cantidad de agua y excremento de bovinos, ovinos y porcinos, las cuales pueden fermentarse en biodigestores implementados en un sitio específico.
	E3: Porcentaje de gas LP sustituido por el uso de la ecotecnología.	$SGB = \frac{PGB \times 100}{CGCC}$	PGB = Potencial de generación de biogás (Ent. Fed.). CGCC= Cantidad de Gas L.P. necesario para la cocción de alimentos.	%/año	El porcentaje de Gas L.P. que podría ser sustituido o suministrado por la generación de biogás con biodigestores.
	E4: Porcentaje de fertilizante químico sustituido por el uso de la ecotecnología.	$PFq = \frac{PGB \times 100}{CFq}$	PGB = Potencial de generación de biol (Ent. Fed.). CFq= Cantidad de fertilizante químico necesario para la fertilización de cultivos.	%/año	El porcentaje de fertilizante químico que podría ser sustituido o suministrado por la generación de biol con biodigestores.
	E5: Emisiones de CO <sub>2</sub> eq evitadas por el uso de biogás.	$EBg = EG - EB$	EG =Emisiones por el uso de gas L.P para cocinar (Ent. Fed.). EB = Emisiones por el uso de biogás para cocinar (Ent. Fed.).	tCO <sub>2</sub> eq/año	Cantidad de emisiones de dióxido de carbono equivalente evitadas por la implementación de biodigestores.
	E6: Reducción de uso de gas LP por uso de ecotecnología.	$RCG = CgC - PGB$	CgC = Consumo de Gas L.P. para cocinar (Ent. Fed.). PGB = Potencial de generación de biogás (Ent. Fed.).	m <sup>3</sup> /año	Potencial de ahorro de Gas L.P. por la implementación de biodigestores y producción de biogás.
	E7: Reducción en el uso de fertilizante químico por el uso de biol generado en biodigestores en México.	$RFq = CFq - PGB$	CFq=Consumo de fertilizante químico para cultivos (Ent. Fed.). PGB = Potencial de generación de biol. (Ent. Fed.).	t/año	Potencial de ahorro de fertilizante químico por la implementación de biodigestores y producción de biol.
	E8: Consumo de agua por el uso de la ecotecnología.	$CAB = (CEB \times RAE) + (CEP \times RAE) + (CEO \times RAE)$	CEB = Cantidad de excretas de ganado bovino (Ent. Fed.). CEP = Cantidad de excretas de ganado porcino (Ent. Fed.). CEO = Cantidad de excretas de ganado ovino (Ent. Fed.). RAE = Relación agua-excretas para el proceso anaerobio.	litros/año	Consumo de agua para el funcionamiento de biodigestores, es decir, para propiciar la fermentación dentro del biodigestor.
<b>F) CALENTADORES SOLARES DE AGUA.</b>	F1: Potencial de implementación (# calentadores solares de agua de agua).	$PIC = VsC - VsA$	VsC = Número de viviendas sin calentadores solares de agua (Ent. Fed.). VsA = Número de viviendas sin acceso a agua potable (Ent. Fed.).	# de calentadores solares de agua	Cantidad de calentadores solares de agua potenciales de ser implementados en viviendas sin calentador solar.
	F2: Emisiones de CO <sub>2</sub> evitadas por la implementación de la ecotecnología.	$EIC = ECG \times EGCA$	ECG = Emisiones generadas por consumo de Gas L.P. EGCA = Porcentaje de emisiones generadas por calentar agua.	tCO <sub>2</sub> eq/año	Emisiones de dióxido de carbono equivalente evitadas por la implementación de calentadores solares de agua.
	F3: Reducción en el uso de gas LP por uso de la ecotecnología.	$RCG = CG \times PCa$	CG = Consumo de Gas L.P. (Ent. Fed.). PCa = Porcentaje de combustible dedicado al calentamiento de agua.	t gas L.P/año	Potencial de ahorro de Gas L.P. por la implementación de calentadores solares de agua para el calentamiento de agua.

	F4: Potencial de radiación solar (RS).	Información obtenida de: WORLD BANK GROUP. (s.f). Global Solar Atlas.		kWh/m2/año	Radiación solar media promedio por cada Ent. Fed.
	F5: Horas solares pico (HSP).	Información obtenida de: Instituto de Investigaciones Eléctricas. (2010). Guía de usuario: Sistemas Fotovoltaicos Interconectados con la Red Aplicaciones de Pequeña Escala.		# horas	Horas solares pico media promedio por cada Ent. Fed.
	F6: Meses de lluvia (ML).	Información consultada en: SMN. (2019). Resúmenes Mensuales de Temperaturas y Lluvia. CONAGUA.		mm	Meses de lluvia promedio (2015-2019) en cada Ent Fed.
	F7: Precipitación media promedio (PMP).	Información analizada a partir de datos de: SMN. (2019). Resúmenes Mensuales de Temperaturas y Lluvia. CONAGUA.		# meses	Precipitación media promedio de cada Ent. Fed.
	F8: Temperatura máxima media (TMM).	Información consultada en: SMN. (2019). Resúmenes Mensuales de Temperaturas y Lluvia. CONAGUA.		°C	Temperatura máxima promedio de cada Ent. Fed.
	F9: Meses de temperatura máxima media (MTMM).	Información analizada a partir de datos de: SMN. (2019). Resúmenes Mensuales de Temperaturas y Lluvia. CONAGUA.		# meses	Meses de temperatura máxima promedio (2015-2019) en cada Ent Fed.
G) SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVÍA (SCALL'S).	G1: Potencial de implementación (# SCALL's).	$PIS = VsA$	VsA = Número de viviendas sin acceso a agua potable (pública).	# de SCALL's	Cantidad de SCALL's de implementar en viviendas sin acceso al servicio público de agua potable.
	G2: Potencial de agua captada por uso de la ecotecnología.	$PCA = TMC \times Pm \times VsA$	TMC = Tamaño mínimo del colector. Dato obtenido de Isla Urbana. Pm = Precipitación media (Ent. Fed.). VsA = Número de viviendas sin acceso a agua potable (pública).	m³/año	Cantidad de agua con potencial de ser con la implementación de SCALL's en viviendas sin acceso a agua potable.
	G3: Porcentaje de agua satisfecha por uso de la ecotecnología.	$PAsS = \frac{PCA \times 100}{CAN}$	PCA = Potencial de captación de agua con SCALL's (Ent. Fed.). CAN = Cantidad de agua necesaria promedio (Ent.Fed.).	%/año	El porcentaje de agua que podrá ser sustituido o suministrado por la captación con SCALL's.
	G4: Emisiones de CO <sub>2</sub> evitadas por la implementación de la ecotecnología.	$EES = PCA \times EPA$	PCA = Potencial de captación de agua con SCALL's (Ent. Fed.). EPA = Emisiones por la potabilización y eliminación de agua (Ent. Fed.).	tCO <sub>2</sub> eq/año	Cantidad de emisiones de CO <sub>2</sub> eq evitables por la implementación de SCALL's. Los cálculos se realizaron basándose en el agua promedio necesaria por persona de acuerdo con la OMS.
	G5: Agua necesaria promedio.	$CAN = (CAP \times MhV \times VsA) \times 365$	CAP = Consumo de agua por persona promedio al día en México. VsA = Número de viviendas sin acceso a agua potable (Ent. Fed.). MhV = Media de habitantes por vivienda (Ent. Fed.).	m³/año	Cantidad de agua necesaria para satisfacer las necesidades de la población carente del servicio, basado en datos de CONAGUA.
	G6: Precipitación	Información consultada en: SMN. (2019). Resúmenes Mensuales de Temperaturas y Lluvia. CONAGUA.		mm	Precipitación media promedio de cada Ent. Fed.
	G7: Meses de lluvia	Información analizada a partir de datos de: SMN. (2019). Resúmenes Mensuales de Temperaturas y Lluvia. CONAGUA.		# meses	Meses de lluvia promedio (2015-2019) en cada Ent Fed.

<b>H) SANITARIOS ECOLÓGICOS SECOS.</b>	H1: Potencial de implementación (# sanitarios ecológicos secos).	$PIB = VsD$	VsD = Número de viviendas sin acceso a drenaje (Ent. Fed.).	# de sanitarios ecológicos secos	Cantidad de sanitarios ecológicos secos potenciales de implementar en viviendas sin acceso a drenaje.
	H3: Viviendas sin agua para el drenaje de desechos.	$VsD = PsD \times NtV$	PsD = Porcentaje de viviendas sin drenaje público (Ent. Fed.). NtV = Número total de viviendas (Ent. Fed.).	# de viviendas	Cantidad de viviendas sin acceso a los servicios públicos de drenaje.
	H4: Emisiones de CO <sub>2</sub> evitadas por la implementación de la ecotecnología.	$EIB = VsD \times MhV \times FEE \times 21$	VsD = Número de viviendas sin acceso a drenaje (Ent. Fed.). MhV = Media de habitantes por vivienda (Ent. Fed.). FEE= Factor de emisión de excretas humanas (kg NH <sub>3</sub> ). 21 = Potencial de calentamiento global del metano en comparación con el CO <sub>2</sub> .	tCO <sub>2</sub> eq/año	Cantidad de emisiones de CO <sub>2</sub> eq generadas en el proceso de potabilización de agua que se evitarían por la implementación de sanitarios ecológicos secos.

*Anexo 3. Indicadores de viabilidad.*

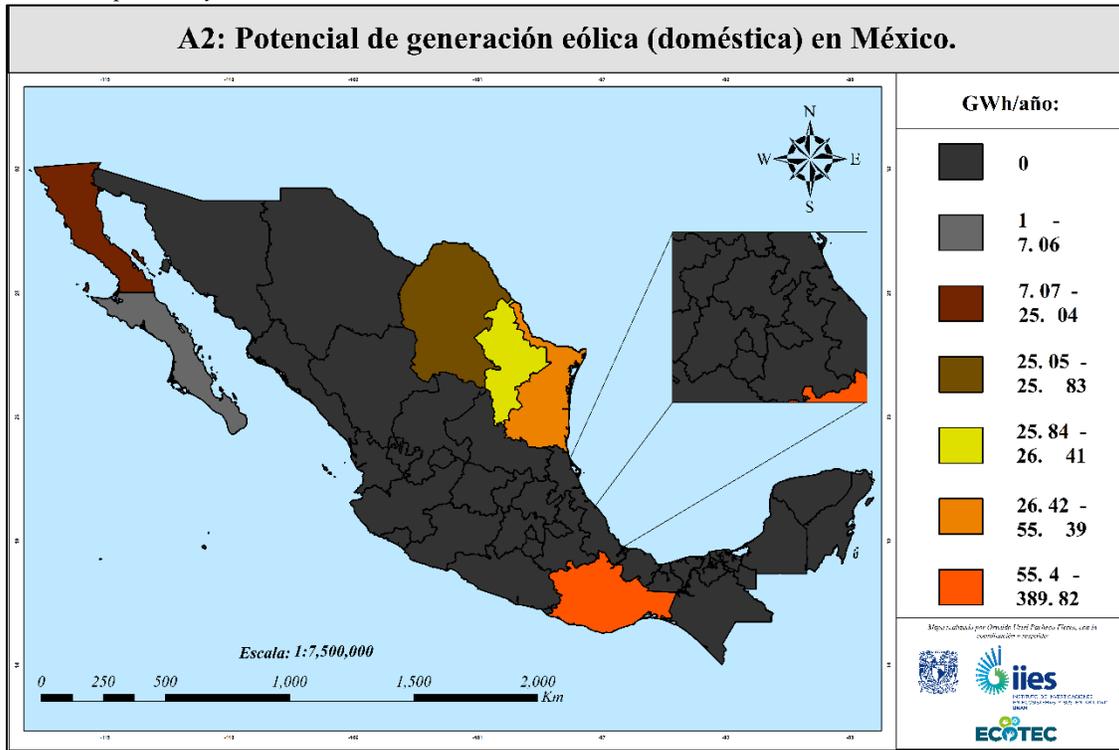
<b>INDICADORES MULTIVARIADOS DE VIABILIDAD</b>		
<b>A) Aerogeneradores</b>		
I. Viabilidad por sustitución tecnológica (I.T.)		I. Viabilidad social (I.S.)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• A1: Potencial de implementación (# aerogeneradores).</li> <li>• A2: Potencial de generación eólica (doméstica).</li> <li>• A3: Emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas por la implementación de la tecnología.</li> <li>• A4: Porcentaje de electricidad satisfecha por uso de la tecnología.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• A5: Energía necesaria.</li> <li>• IM: Índice de marginación.</li> <li>• IR: Índice de ruralidad.</li> </ul>
<b>B) Módulos fotovoltaicos</b>		
I. Viabilidad por sustitución tecnológica (I.T.)	I. Viabilidad climatológica (I.C.)	I. Viabilidad social (I.S.)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• B1: Potencial de implementación (# celdas fotovoltaicas).</li> <li>• B2: Potencial de generación solar (doméstica).</li> <li>• B3: Porcentaje de electricidad satisfecha por uso de la tecnología.</li> <li>• B4: Emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas por la implementación de la tecnología.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• B6: Potencial de radiación solar (RS).</li> <li>• B7: Horas solares pico (HSP).</li> <li>• B8: Precipitación media promedio (PMP).</li> <li>• B9: Meses de lluvia (ML).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• B5: Energía necesaria.</li> <li>• IM: Índice de marginación.</li> <li>• IR: Índice de ruralidad.</li> </ul>
<b>C) Estufas ahorradoras de leña</b>		
I. Viabilidad por sustitución tecnológica (I.T.)		I. Viabilidad social (I.S.)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• C1: Potencial de implementación (# estufas).</li> <li>• C2: Emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas por la implementación de la tecnología.</li> <li>• C3: Reducción en el uso de leña por uso de la tecnología.</li> <li>• C4: Reducción de horas de recolección de leña por uso de la tecnología.</li> <li>• C5: Emisiones de PM 2.5 evitadas por la implementación de la tecnología.</li> <li>• C6: Emisiones de CO evitadas por la implementación de la tecnología.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• IM: Índice de marginación.</li> <li>• IR: Índice de ruralidad.</li> </ul>
<b>D) Estufas solares parabólicas</b>		
I. Viabilidad por sustitución tecnológica (I.T.)	I. Viabilidad climatológica (I.C.)	I. Viabilidad social (I.S.)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• D1: Potencial de implementación (# estufas).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• D7: Potencial de radiación solar (RS).</li> <li>• D8: Horas solares pico (HSP).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• IM: Índice de marginación.</li> <li>• IR: Índice de ruralidad.</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• D2: Emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas por la implementación de la tecnología.</li> <li>• D3: Reducción en el uso de leña por uso de la tecnología.</li> <li>• D4: Reducción de horas de recolección de leña por uso de la tecnología.</li> <li>• D5: Emisiones de PM 2.5 evitadas por la implementación de la tecnología.</li> <li>• D6: Emisiones de CO evitadas por la implementación de la tecnología.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• D9: Precipitación media promedio (PMP).</li> <li>• D10: Meses de lluvia (ML).</li> </ul>	
<b>E) Biodigestores</b>		
I. Viabilidad por sustitución tecnológica (I.T.)		I. Viabilidad social (I.S.)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• E1: Potencial de implementación (# biodigestores).</li> <li>• E2: Potencial de generación de biogás por el uso de la tecnología.</li> <li>• E3: Porcentaje de gas LP sustituido por el uso de la tecnología.</li> <li>• E4: Porcentaje de fertilizante químico sustituido por el uso de la tecnología.</li> <li>• E5: Emisiones de CO<sub>2</sub>eq evitadas por el uso de biogás.</li> <li>• E6: Reducción de uso de gas LP por uso de tecnología.</li> <li>• E7: Reducción de uso de fertilizante por uso de tecnología.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• IM: Índice de marginación.</li> <li>• IR: Índice de ruralidad.</li> </ul>
<b>F) Calentadores solares de agua</b>		
I. Viabilidad por sustitución tecnológica (I.T.)	I. Viabilidad climatológica (I.C.)	I. Viabilidad social (I.S.)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• F1: Potencial de implementación (# calentadores solares de agua).</li> <li>• F2: Emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas por la implementación de la tecnología.</li> <li>• F3: Reducción de uso de gas LP por uso de la tecnología.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• F4: Potencial de radiación solar (RS).</li> <li>• F5: Horas solares pico (HSP).</li> <li>• F6: Meses de lluvia (ML).</li> <li>• F7: Precipitación media promedio (PMP).</li> <li>• F8: Temperatura máxima media (TMM).</li> <li>• F9: Meses de temperatura máxima media (MTMM).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• IM: Índice de marginación.</li> <li>• IR: Índice de ruralidad.</li> </ul>
<b>G) Sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL's)</b>		
I. Viabilidad por sustitución tecnológica (I.T.)	I. Viabilidad climatológica (I.C.)	I. Viabilidad social (I.S.)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• G1: Potencial de implementación (# SCALL's).</li> <li>• G2: Potencial de agua captada por uso de la tecnología.</li> <li>• G3: Porcentaje de agua satisfecha por uso de la tecnología.</li> <li>• G4: Emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas por la implementación de la tecnología.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• G6: Precipitación media promedio (PMP).</li> <li>• G7: Meses de lluvia (ML).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• G5: Agua necesaria promedio.</li> <li>• IM: Índice de marginación.</li> <li>• IR: Índice de ruralidad.</li> </ul>
<b>H) Sanitarios ecológicos secos</b>		
I. Viabilidad por sustitución tecnológica (I.T.)		I. Viabilidad social (I.S.)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• H1: Potencial de implementación (# sanitarios ecológicos secos).</li> <li>• H3: Viviendas sin agua para el drenaje de desechos.</li> <li>• H4: Emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas por la implementación de la tecnología.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• IM: Índice de marginación.</li> <li>• IR: Índice de ruralidad.</li> </ul>

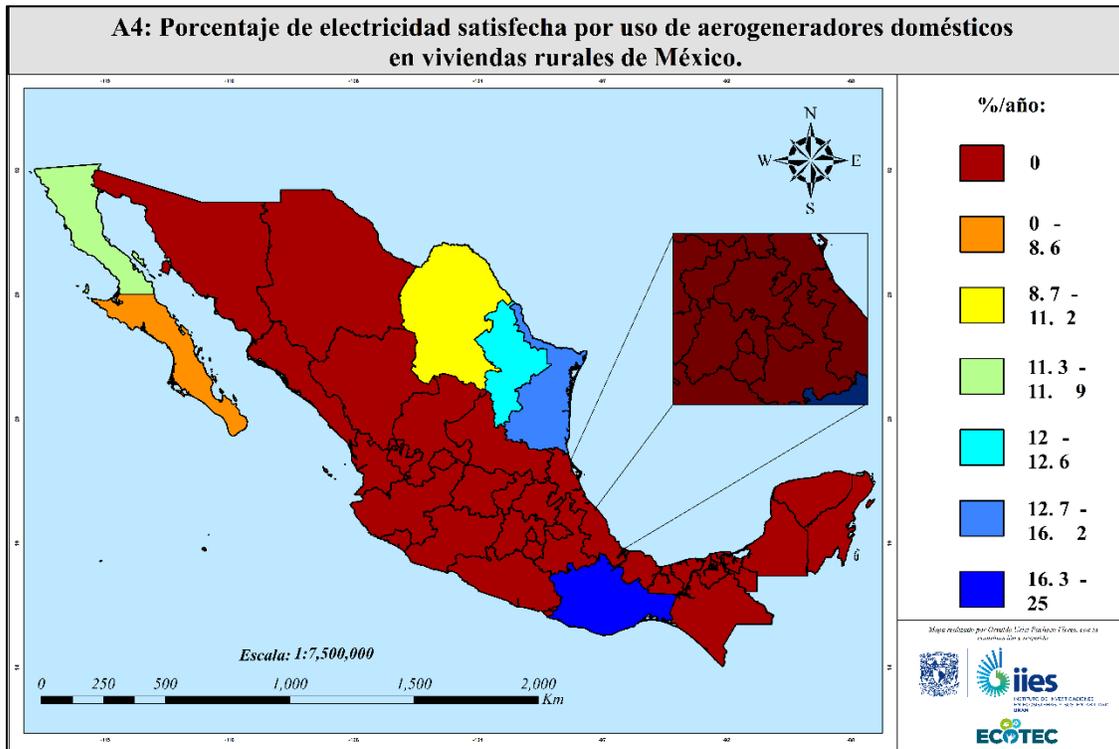
Anexo 4. Indicadores de viabilidad y sus métodos de cálculo.

<b>INDICADORES DE VIABILIDAD: MÉTODOS DE CÁLCULO</b>		
<b>A) Aerogeneradores</b>		
I. Viabilidad por sustitución tecnológica (I.T.)	I. Viabilidad climatológica (I.C.)	I. Viabilidad social (I.S.)
Método de cálculo = Media.	Método de cálculo = Valor único.	Método de cálculo = Media.
% Exp: 33.33%	% Exp: 33.33%	% Exp: 33.33%
<b>B) Módulos fotovoltaicos</b>		
I. Viabilidad por sustitución tecnológica (I.T.)	I. Viabilidad climatológica (I.C.)	I. Viabilidad social (I.S.)
Método de cálculo = Media.	Método de cálculo = $\left(\frac{RS+HSP}{2}\right) - \left(\frac{PMP+ML}{2}\right)$	Método de cálculo = Media.
% Exp: 33.33%	% Exp: 33.33%	% Exp: 33.33%
<b>C) Estufas ahorradoras de leña</b>		
I. Viabilidad por sustitución tecnológica (I.T.)	I. Viabilidad social (I.S.)	
Método de cálculo = Media.	Método de cálculo = Media.	
% Exp: 50%	% Exp: 50%	
<b>D) Estufas solares parabólicas</b>		
I. Viabilidad por sustitución tecnológica (I.T.)	I. Viabilidad climatológica (I.C.)	I. Viabilidad social (I.S.)
Método de cálculo = Media.	Método de cálculo = $\left(\frac{RS+HSP}{2}\right) - \left(\frac{PMP+ML}{2}\right)$	Método de cálculo = Media.
% Exp: 33.33%	% Exp: 33.33%	% Exp: 33.33%
<b>E) Biodigestores</b>		
I. Viabilidad por sustitución tecnológica (I.T.)	I. Viabilidad social (I.S.)	
Método de cálculo = Media.	Método de cálculo = Media.	
% Exp: 50%	% Exp: 50%	
<b>F) Calentadores solares de agua</b>		
I. Viabilidad por sustitución tecnológica (I.T.)	I. Viabilidad climatológica (I.C.)	I. Viabilidad social (I.S.)
Método de cálculo = Media.	Método de cálculo = $\left(\frac{RS+HSP}{2}\right) - \left(\frac{PMP+ML+TMM+MTMM}{4}\right)$	Método de cálculo = Media.
% Exp: 33.33%	% Exp: 33.33%	% Exp: 33.33%
<b>G) Sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL'S)</b>		
I. Viabilidad por sustitución tecnológica (I.T.)	I. Viabilidad climatológica (I.C.)	I. Viabilidad social (I.S.)
Método de cálculo = Media.	Método de cálculo = Media.	Método de cálculo = Media.
% Exp: 33.33%	% Exp: 33.33%	% Exp: 33.33%
<b>H) Sanitarios ecológicos secos</b>		
I. Viabilidad por sustitución tecnológica (I.T.)	I. Viabilidad social (I.S.)	
Método de cálculo = Media.	Método de cálculo = Media.	
% Exp: 50%	% Exp: 50%	

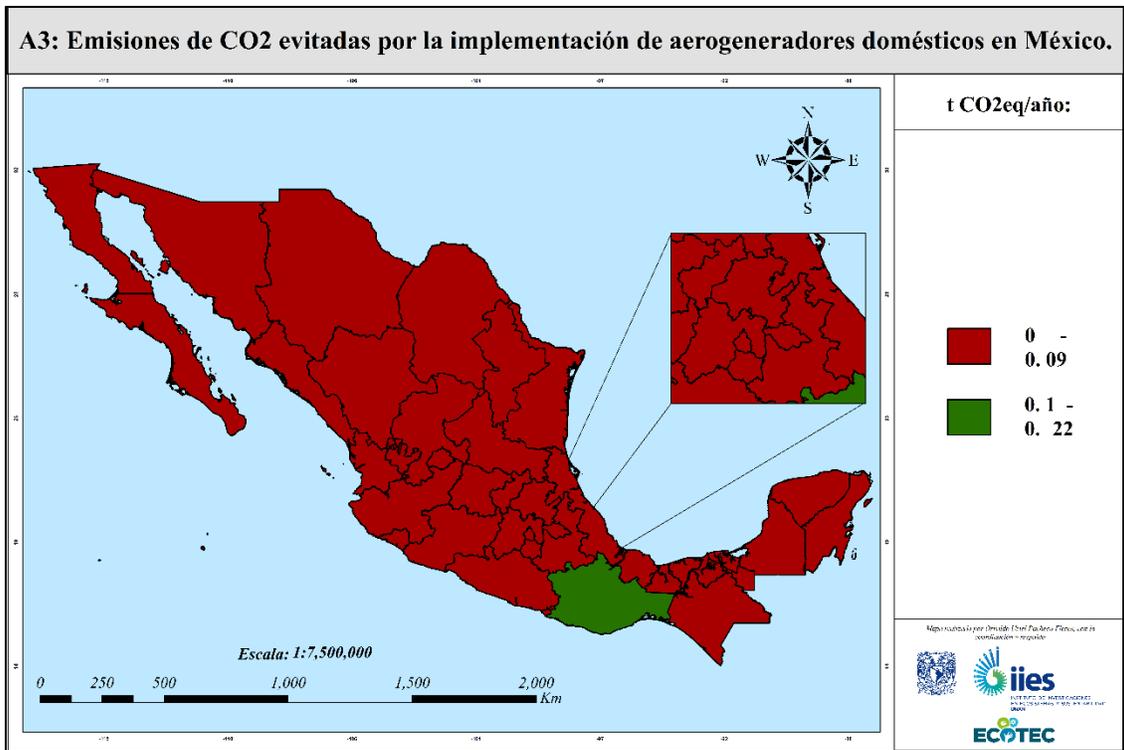
Anexo 5. Mapas 4, 5 y 6.



Mapa 4. Potencial de generación eólica (doméstica) en México.

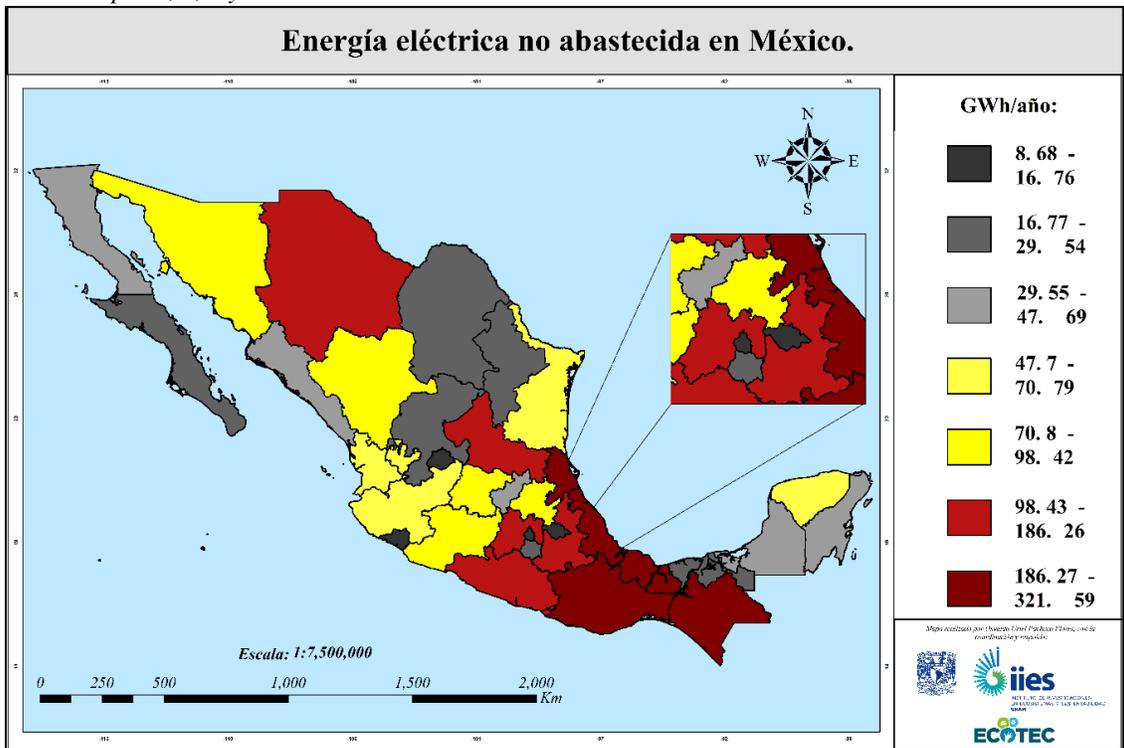


Mapa 5. Porcentaje de electricidad satisfecha por uso de aerogeneradores domésticos de México.

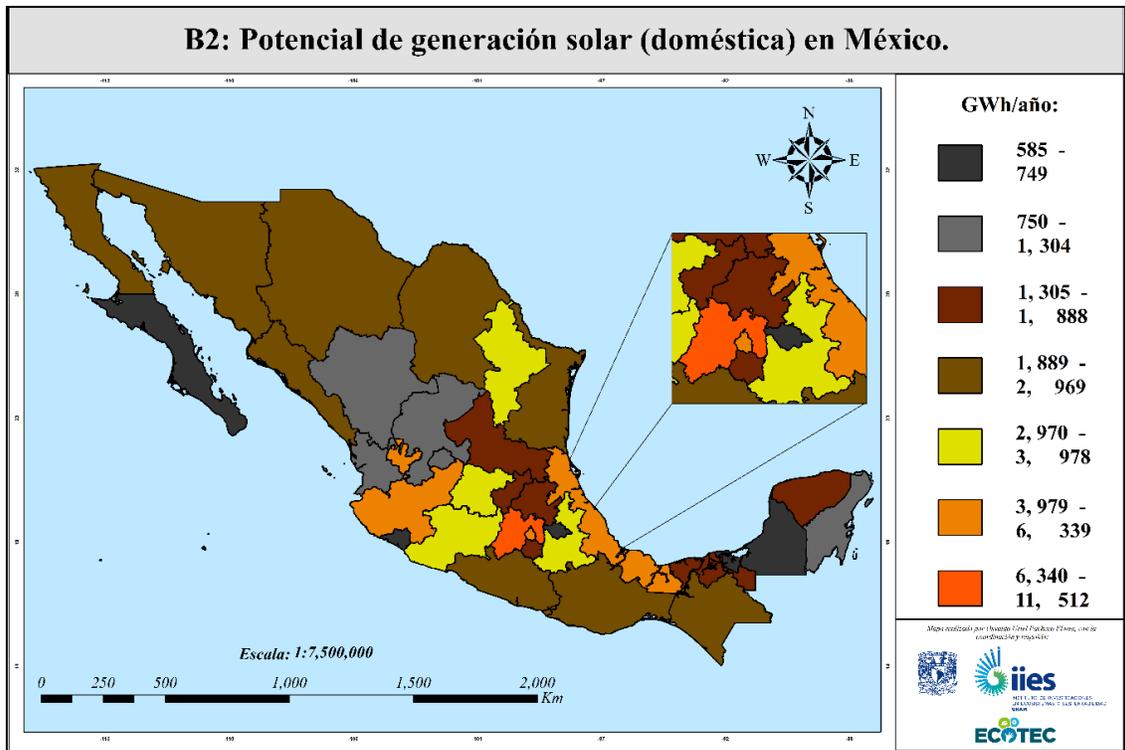


Mapa 6. Emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas por la implementación de aerogeneradores domésticos en México.

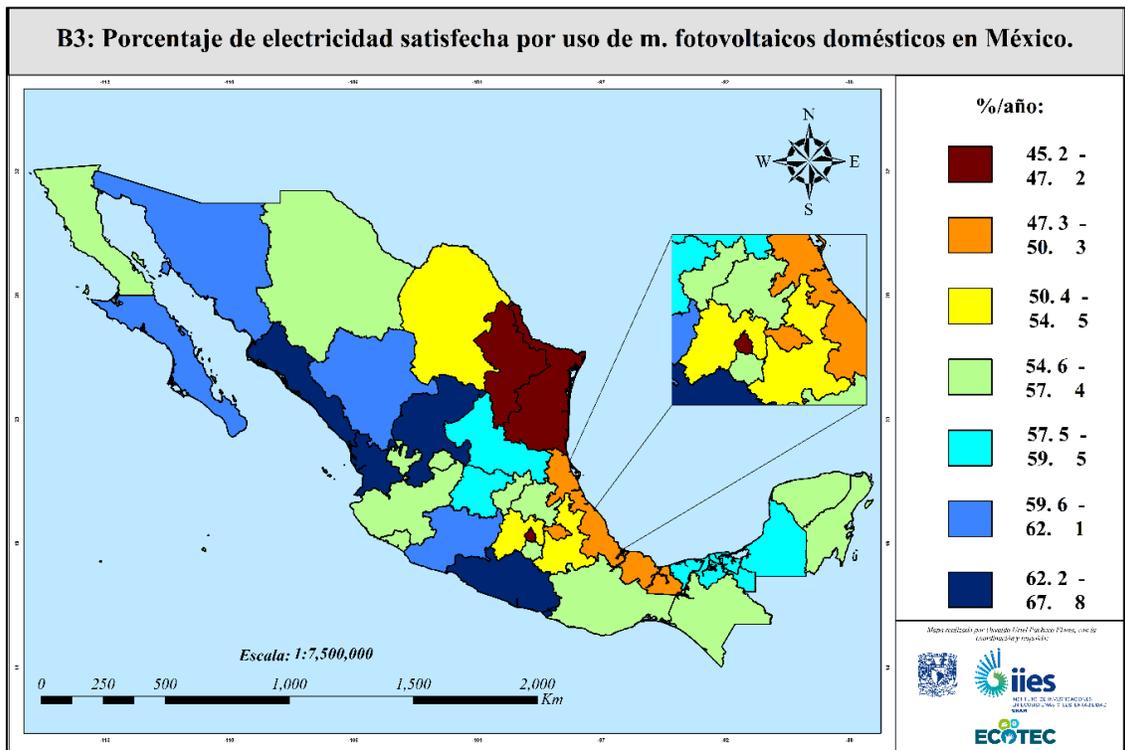
Anexo 6. Mapas 7, 8, 9 y 10.



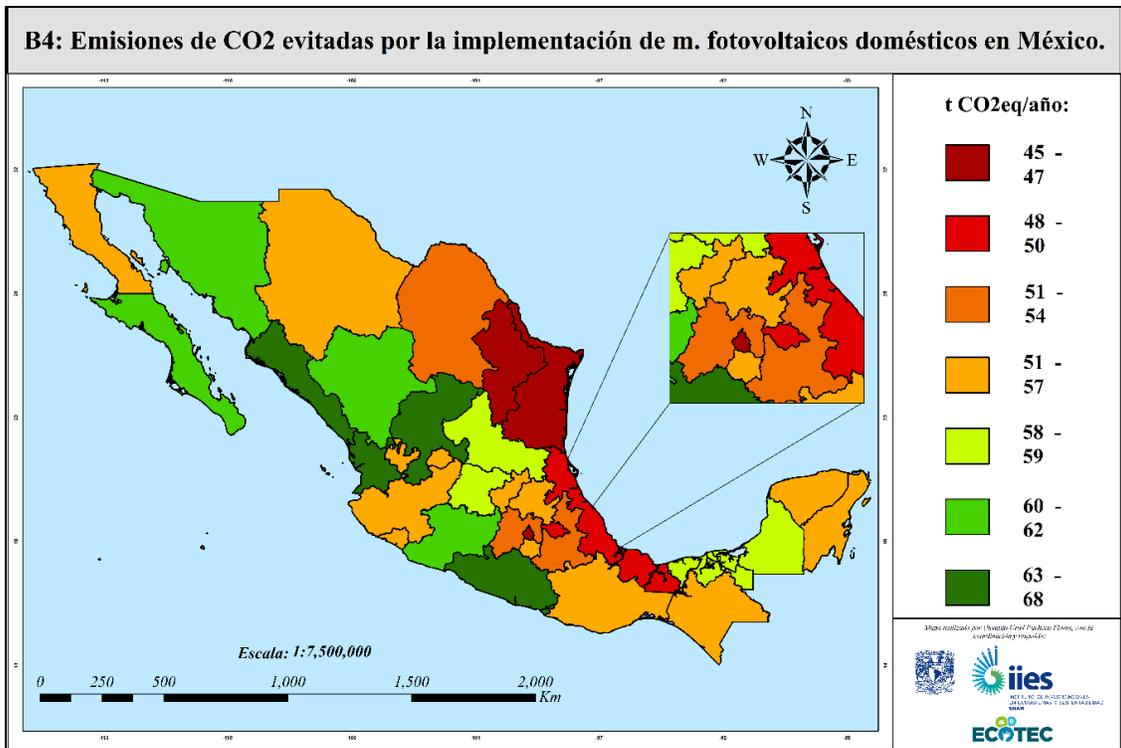
Mapa 7. Energía eléctrica (sector residencial) no abastecida en México.



Mapa 8. Potencial de generación solar (doméstica) en México.

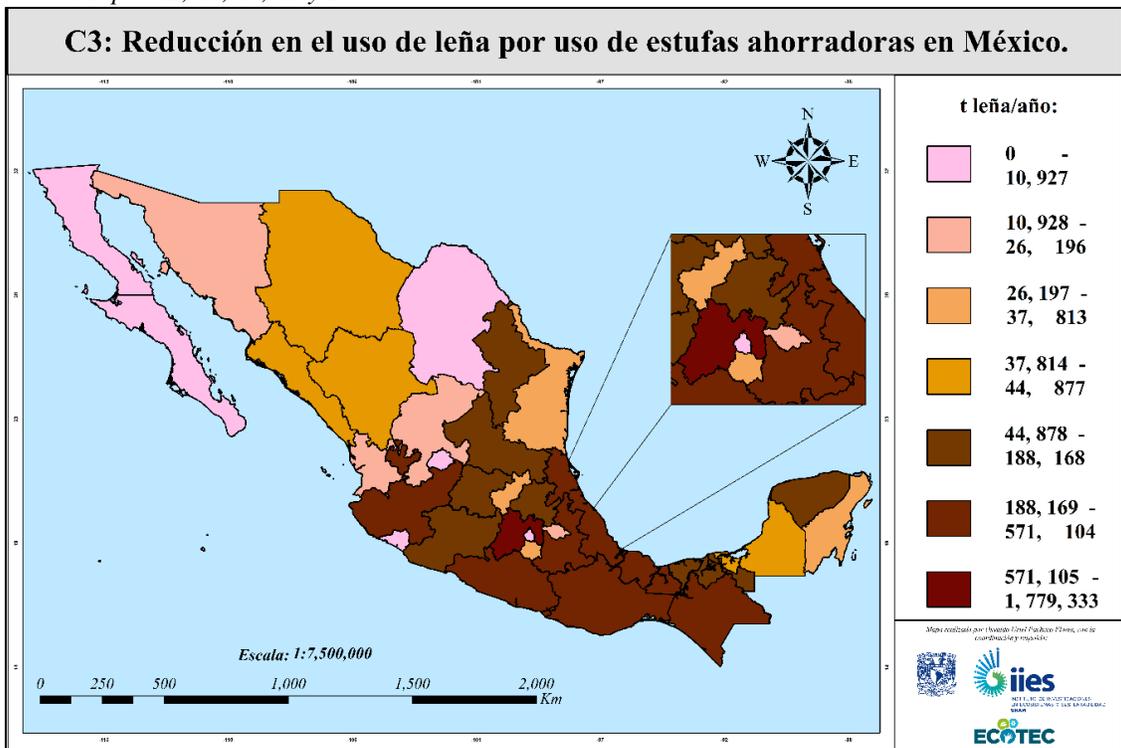


Mapa 8. Porcentaje de electricidad satisfecha por uso de celdas fotovoltaicas domésticas de México (% e.s.).

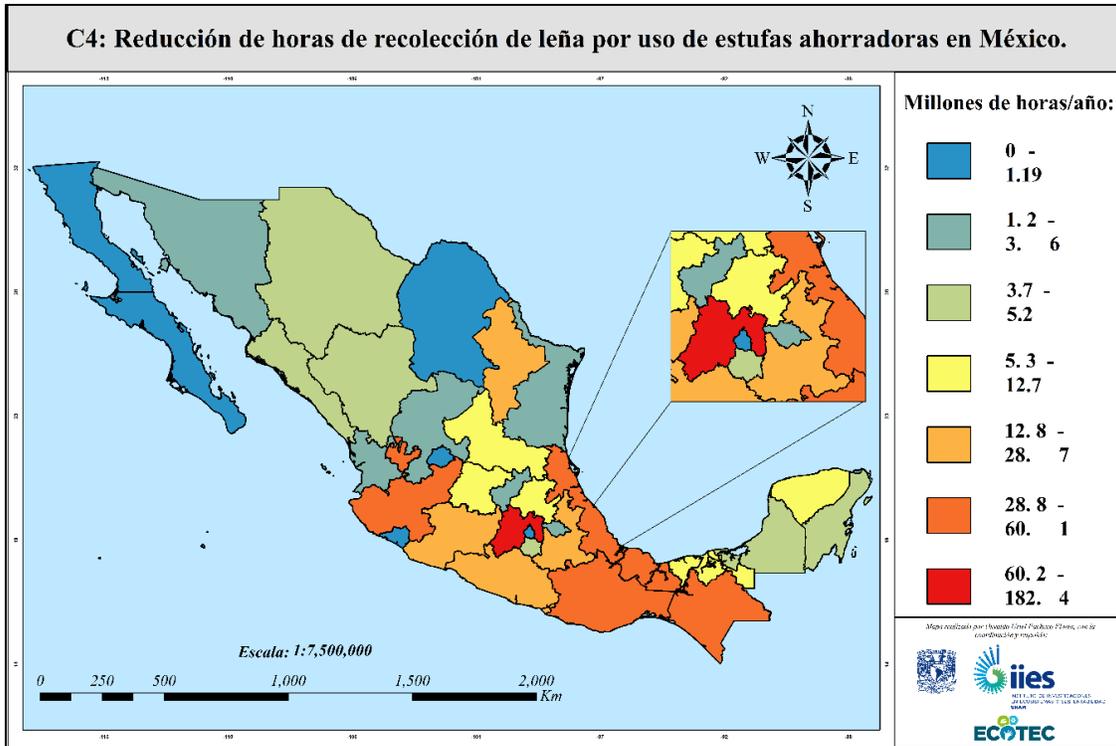


Mapa 10. Emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas por la implementación de celdas fotovoltaicas domésticas en México.

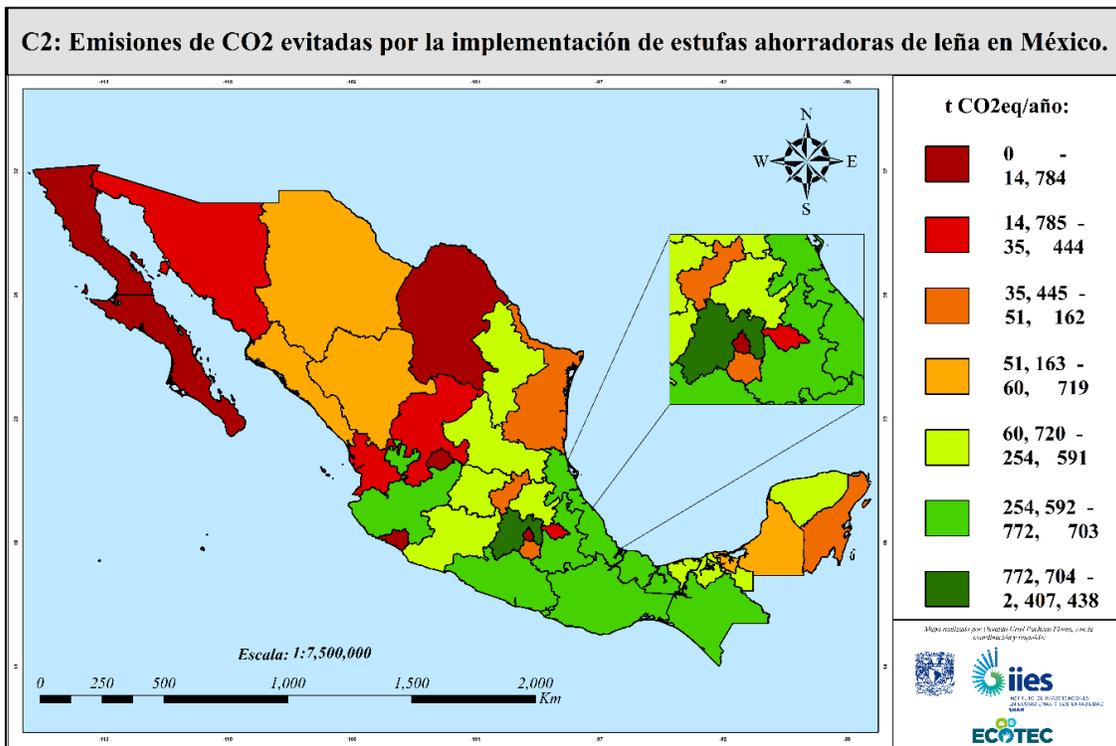
Anexo 7. Mapas 12, 13, 14, 15 y 16.



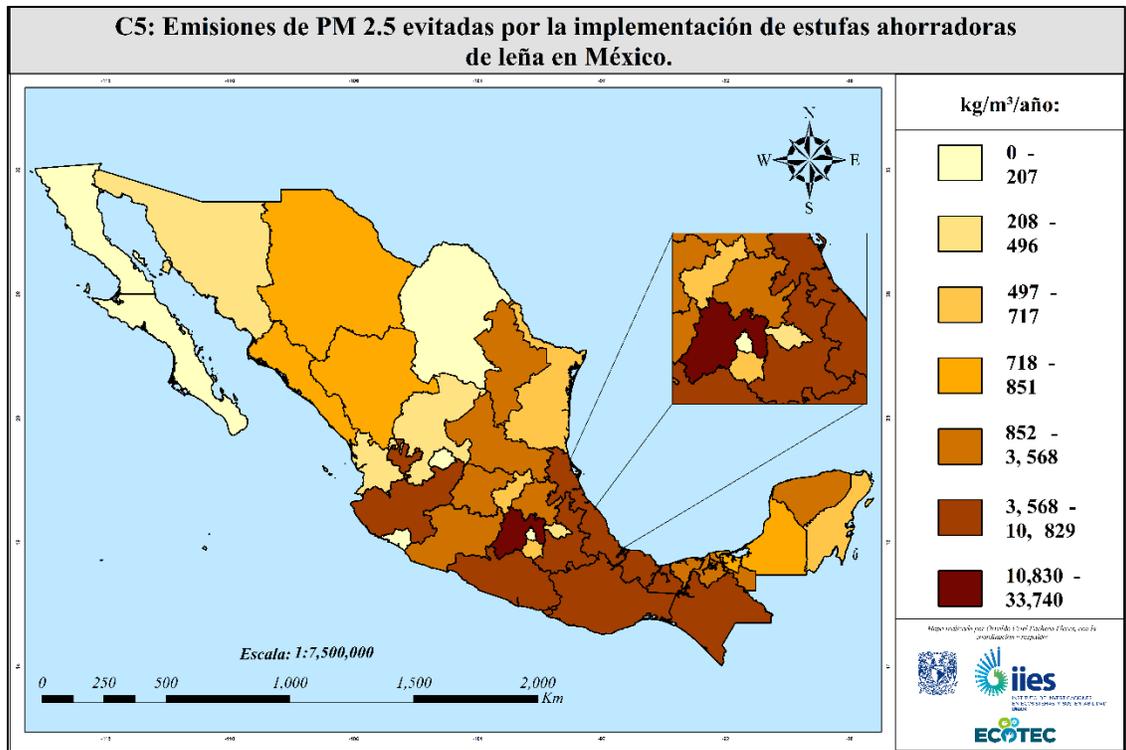
Mapa 12. Reducción en el uso de leña por uso de estufas ahorradoras en México.



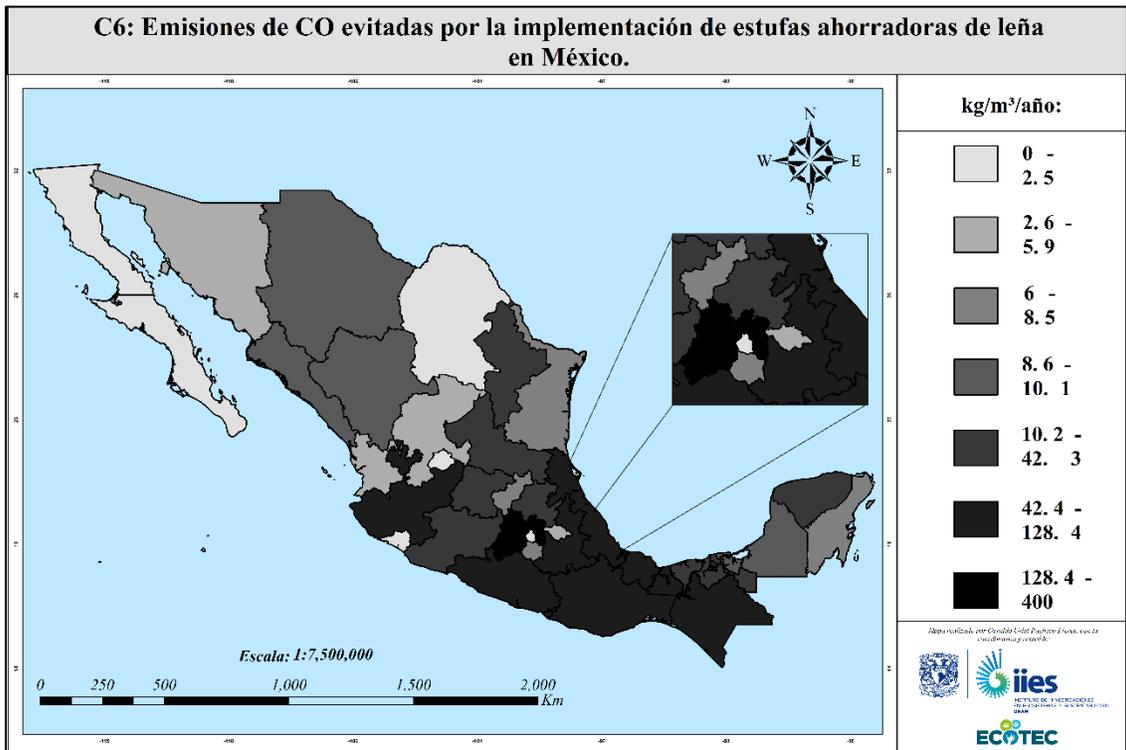
Mapa 13. Reducción de horas de recolección de leña (acumuladas) por uso de estufas ahorradoras en México.



Mapa 14. Emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas por la implementación de estufas ahorradoras de leña en México.

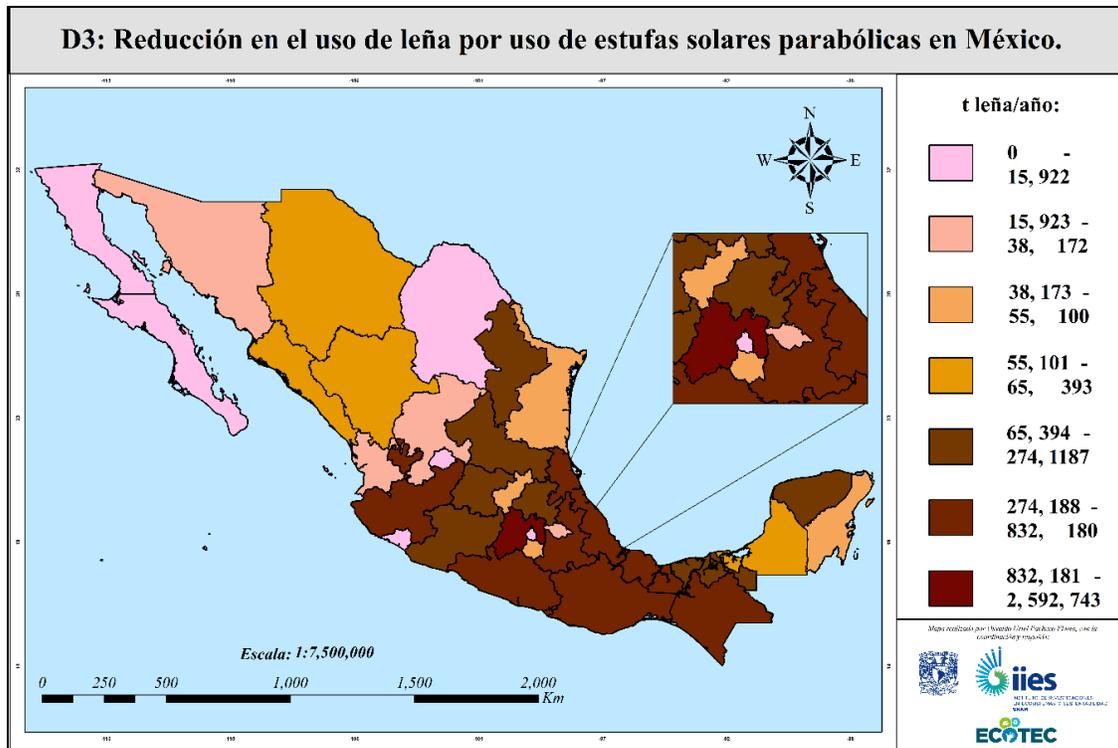


*Mapa 15. Emisiones de PM 2.5 evitadas por la implementación de estufas ahorradoras de leña en México.*

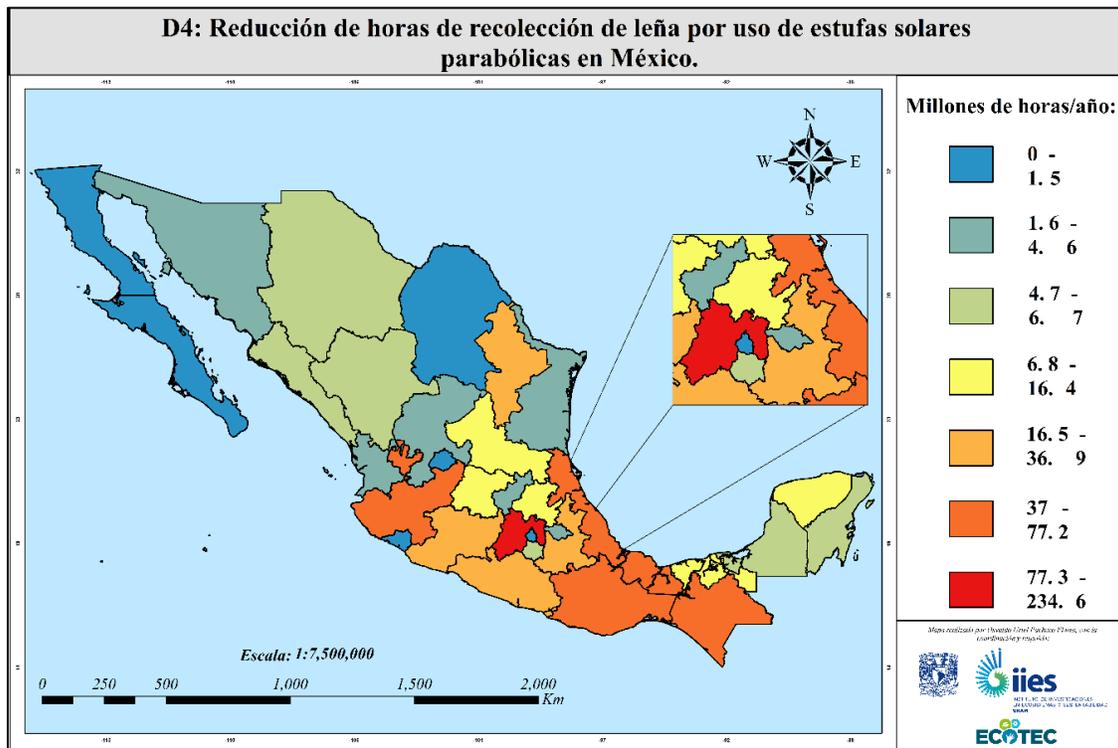


*Mapa 16. Emisiones de CO evitadas por la implementación de estufas ahorradoras de leña en México.*

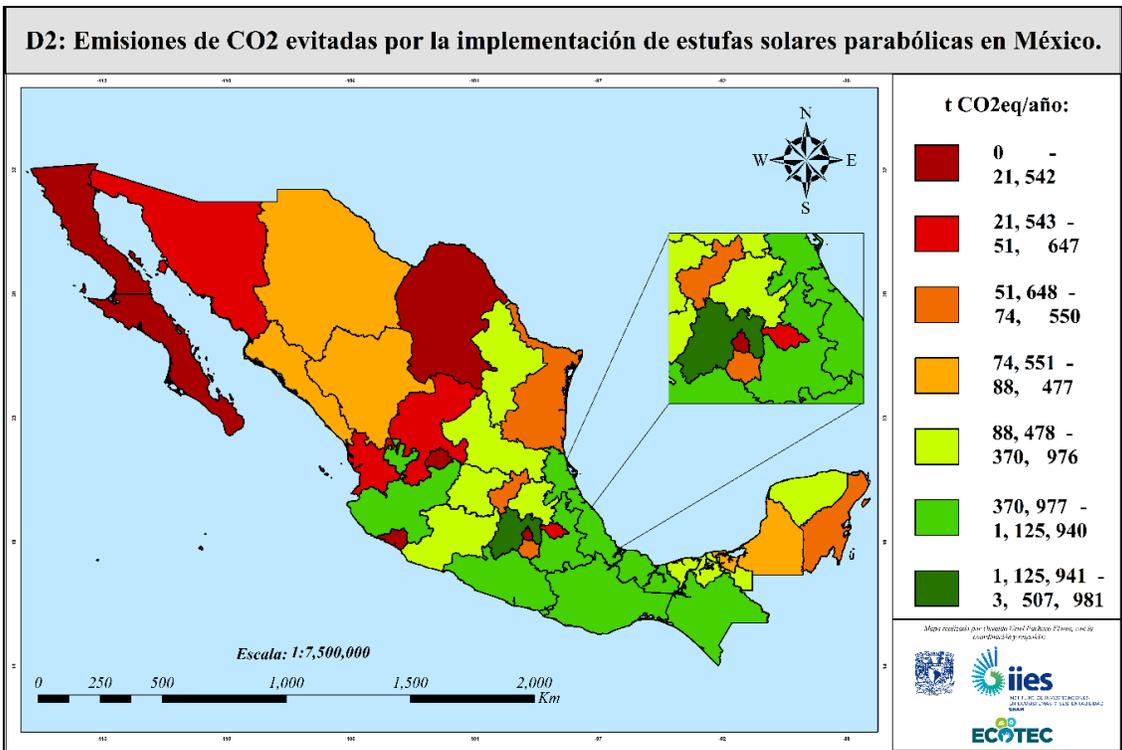
Anexo 8. Mapas 18, 19, 20, 21 y 22.



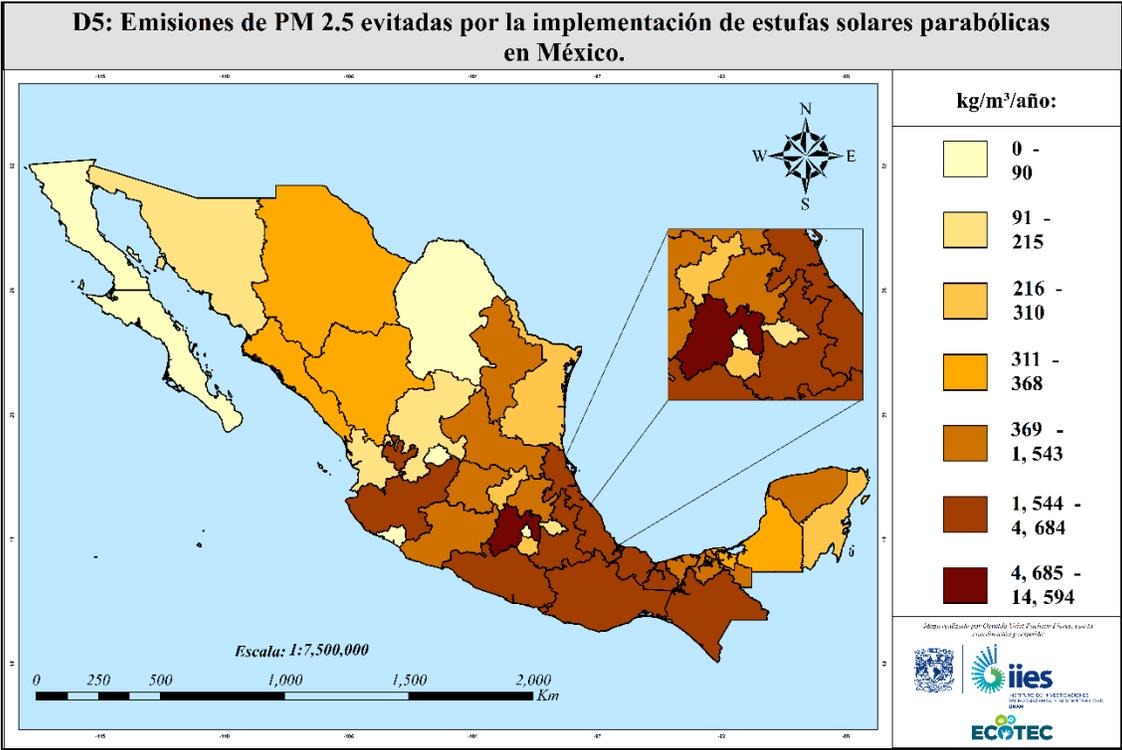
Mapa 18. Reducción en el uso de leña por uso de estufas solares parabólicas en México.



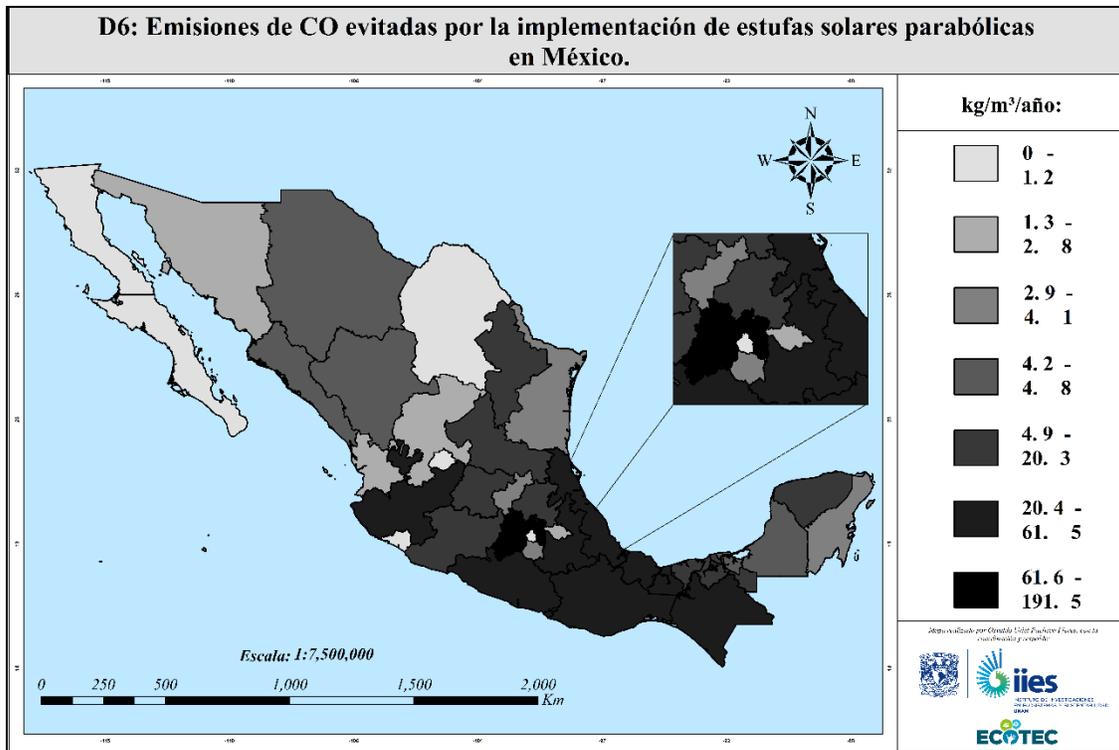
Mapa 19. Reducción de horas de recolección de leña (acumuladas) por uso de estufas solares parabólicas en México.



Mapa 20. Emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas por la implementación de estufas solares parabólicas en México.

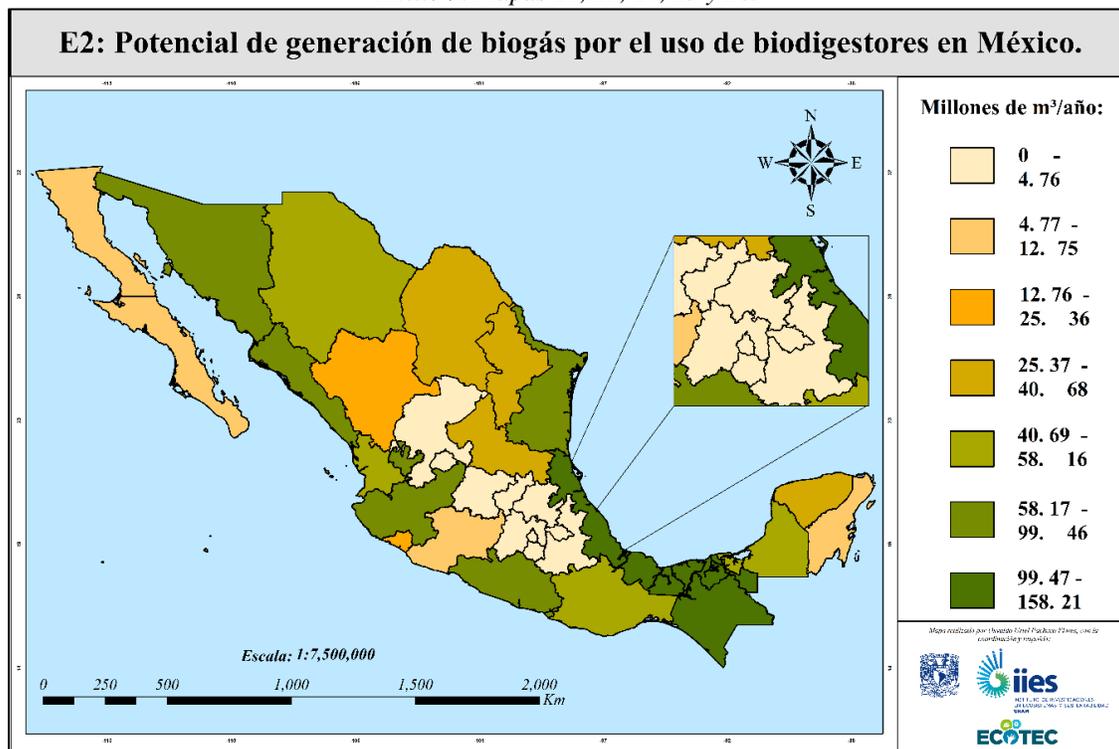


Mapa 21. Emisiones de PM 2.5 evitadas por la implementación de estufas solares parabólicas en México.

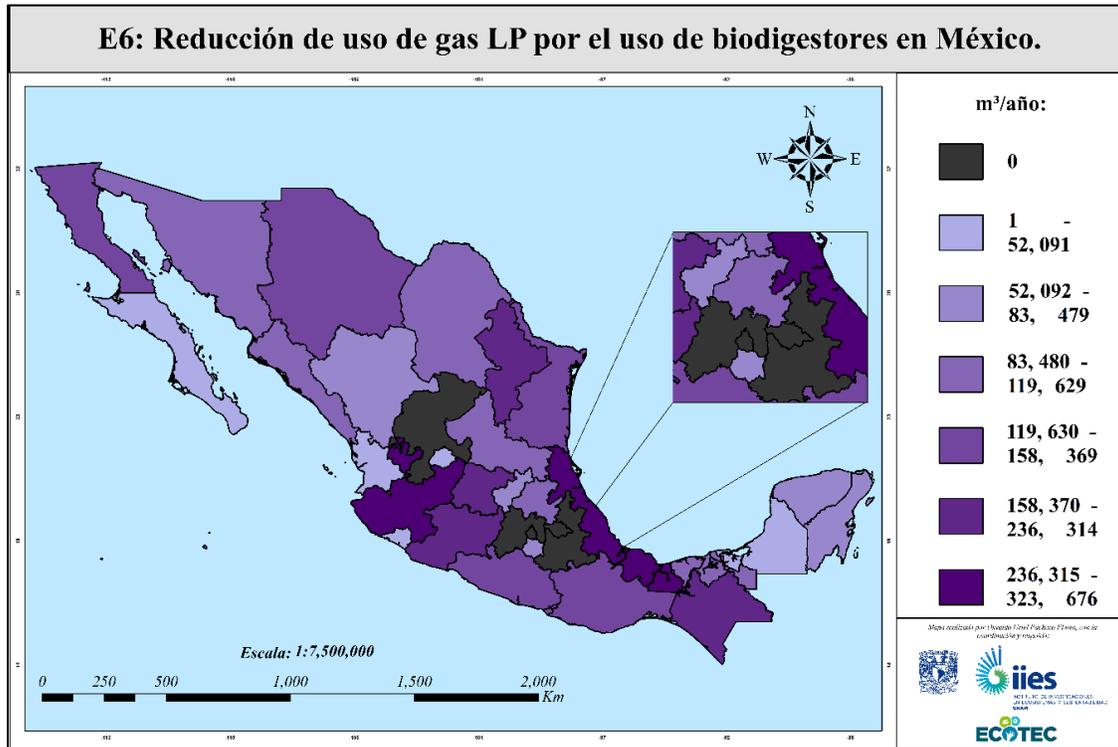


Mapa 22. Emisiones de CO evitadas por la implementación de estufas solares parabólicas en México.

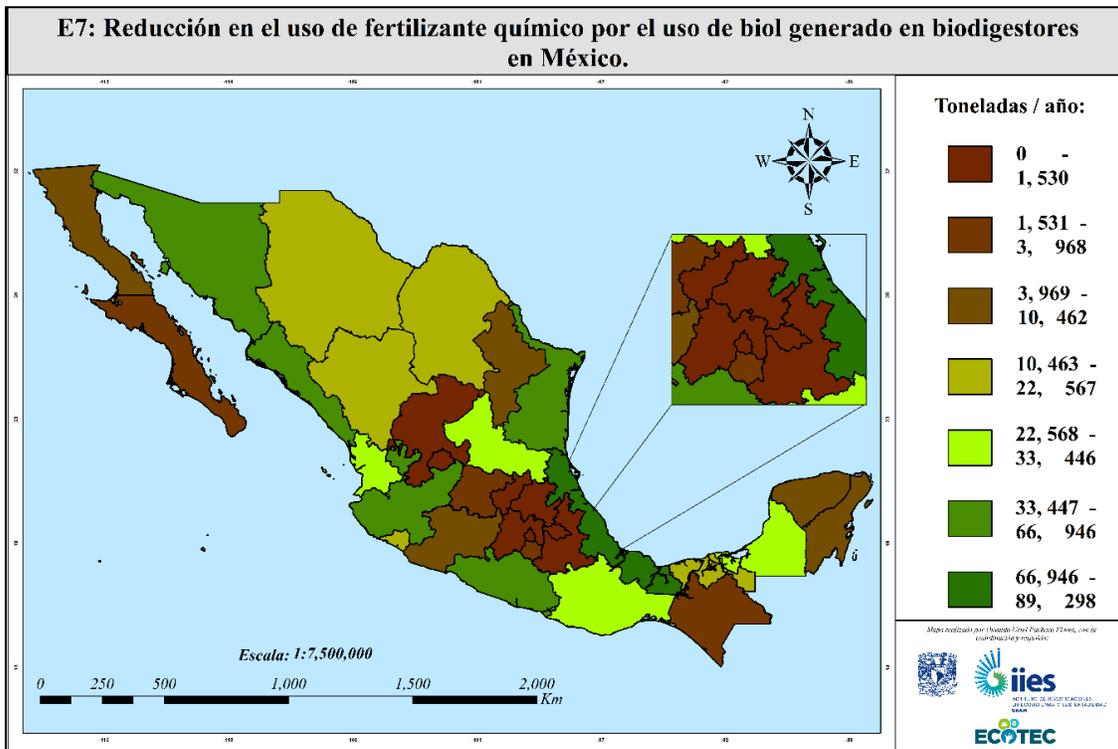
Anexo 9. Mapas 24, 25, 26, 27 y 28.



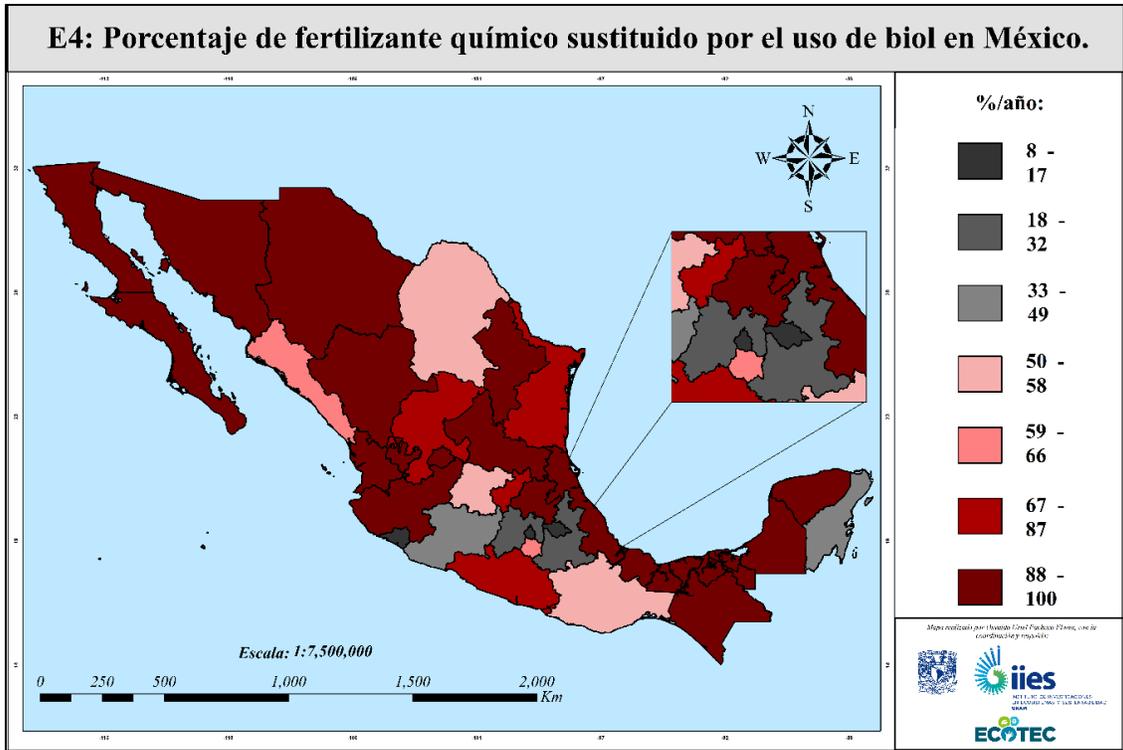
Mapa 24. Potencial de generación de biogás por el uso de biodigestores en México.



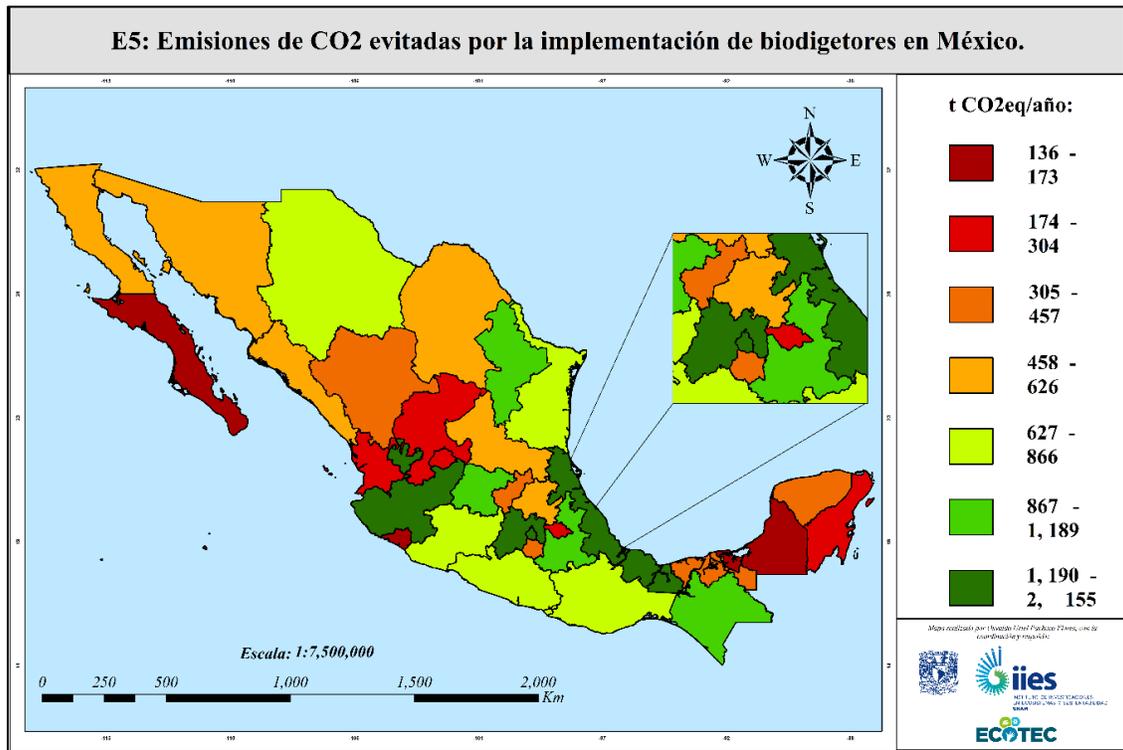
Mapa 25. Reducción de uso de Gas L.P. por el uso de biodigestores en México.



Mapa 26. Reducción en el uso de fertilizante químico por el uso de biol generado en biodigestores en México.

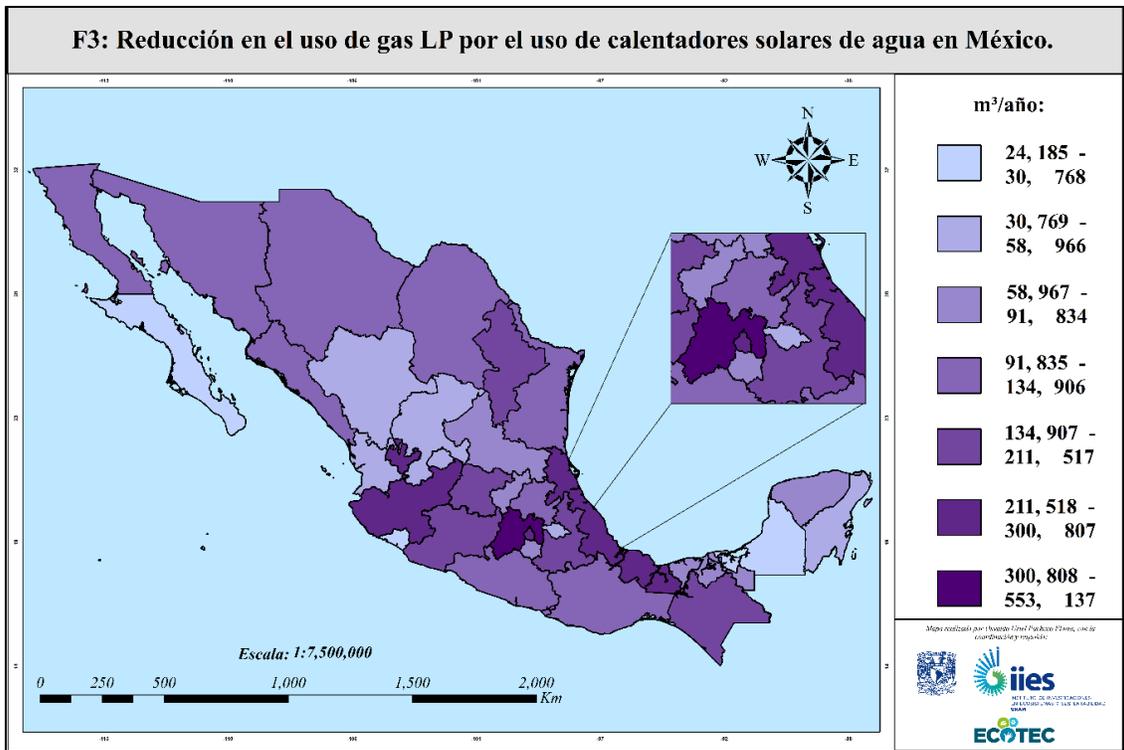


Mapa 27. Porcentaje de fertilizante químico sustituido por el uso de biol en México.

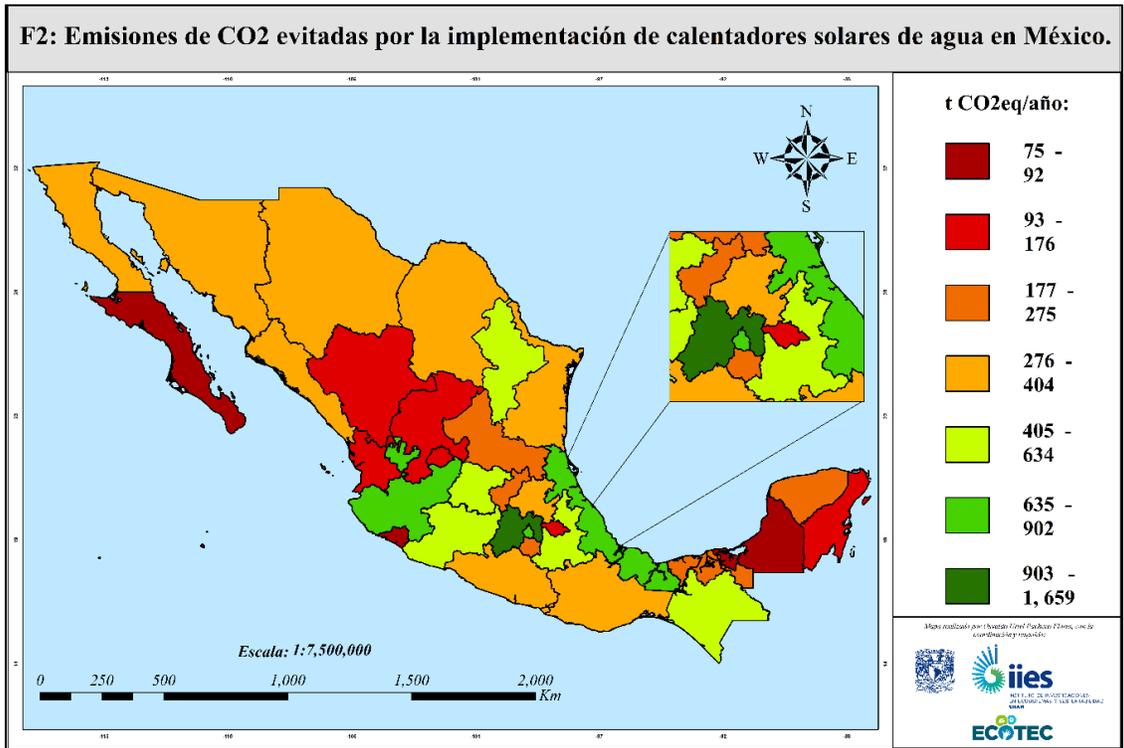


Mapa 28. Emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas por la implementación de biodigestores en México.

Anexo 10. Mapas 30 y 31.

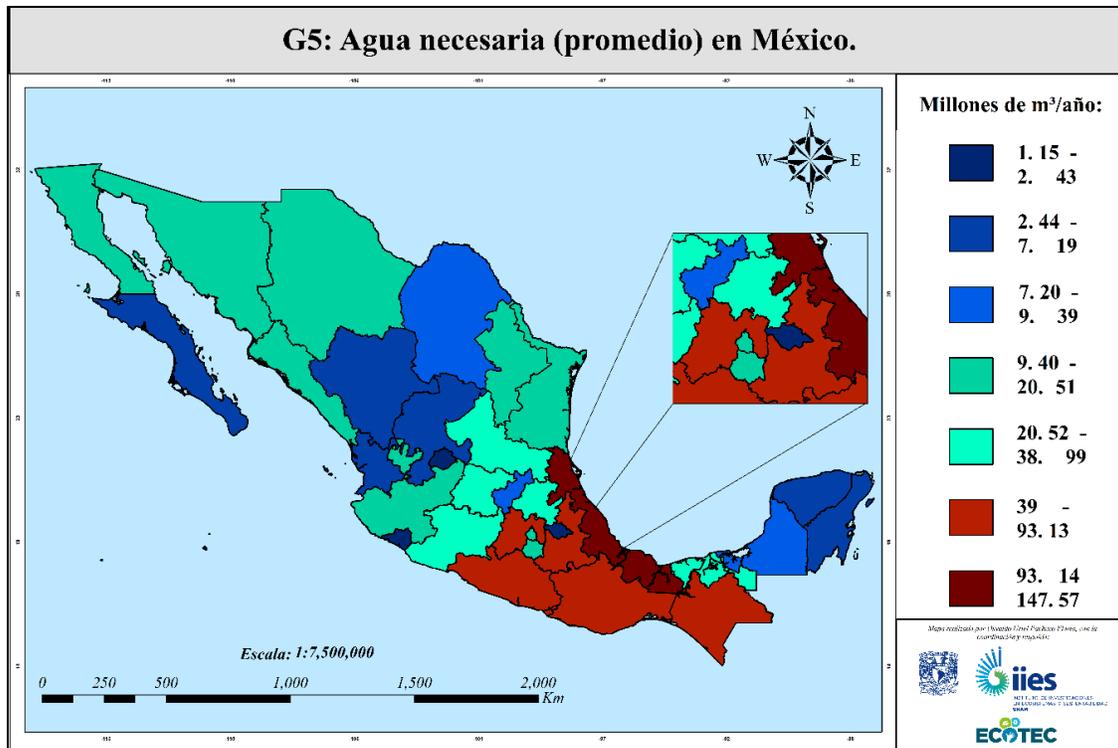


Mapa 30.Reducción en el uso de gas L.P. por el uso de calentadores solares de agua en México.

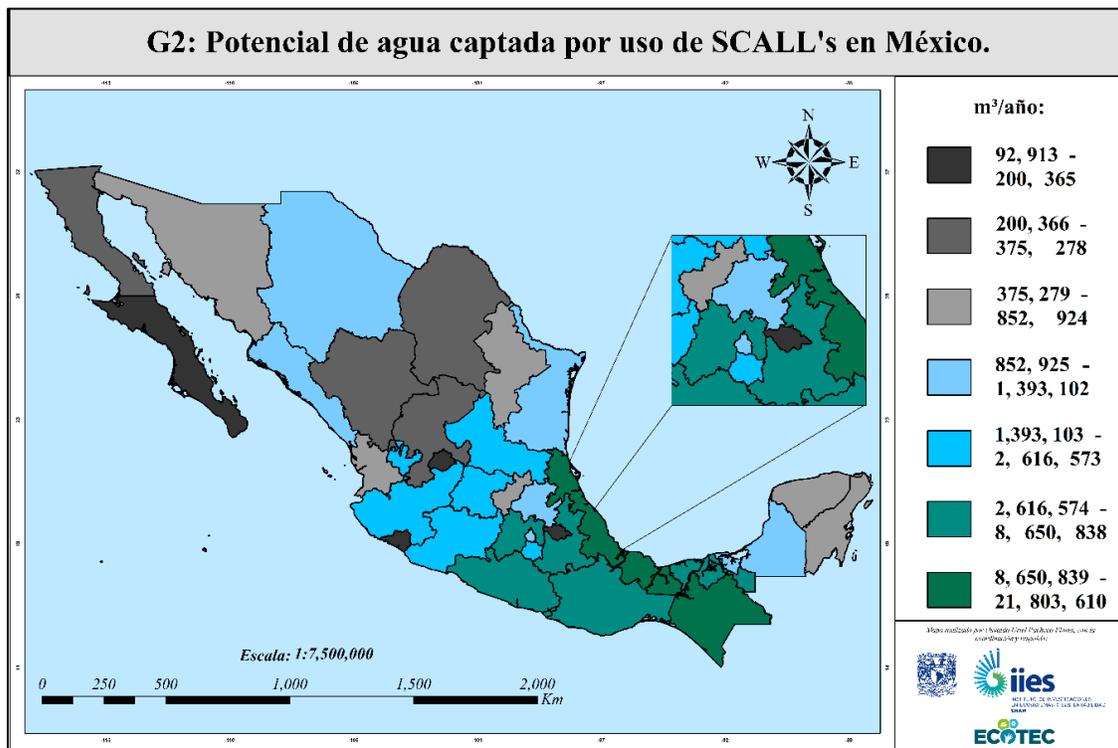


Mapa 31. Emisiones de CO2 evitadas por la implementación de calentadores solares de agua en México.

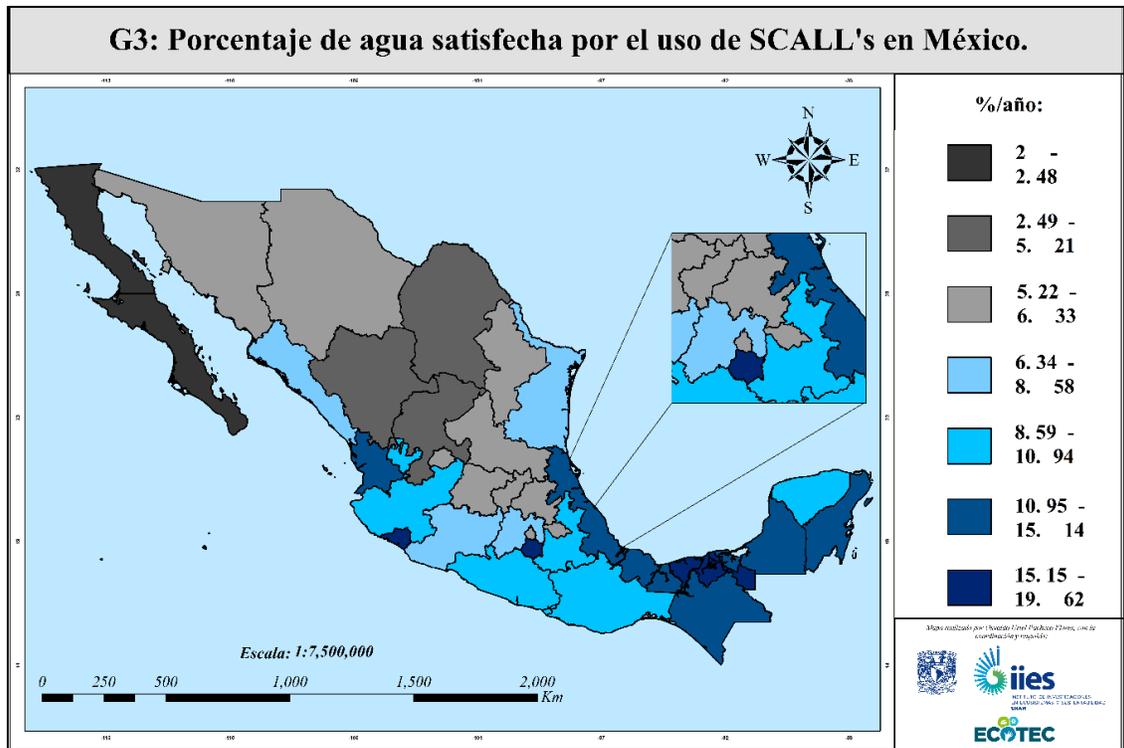
Anexo 11. Mapas 33, 34, 35 y 36.



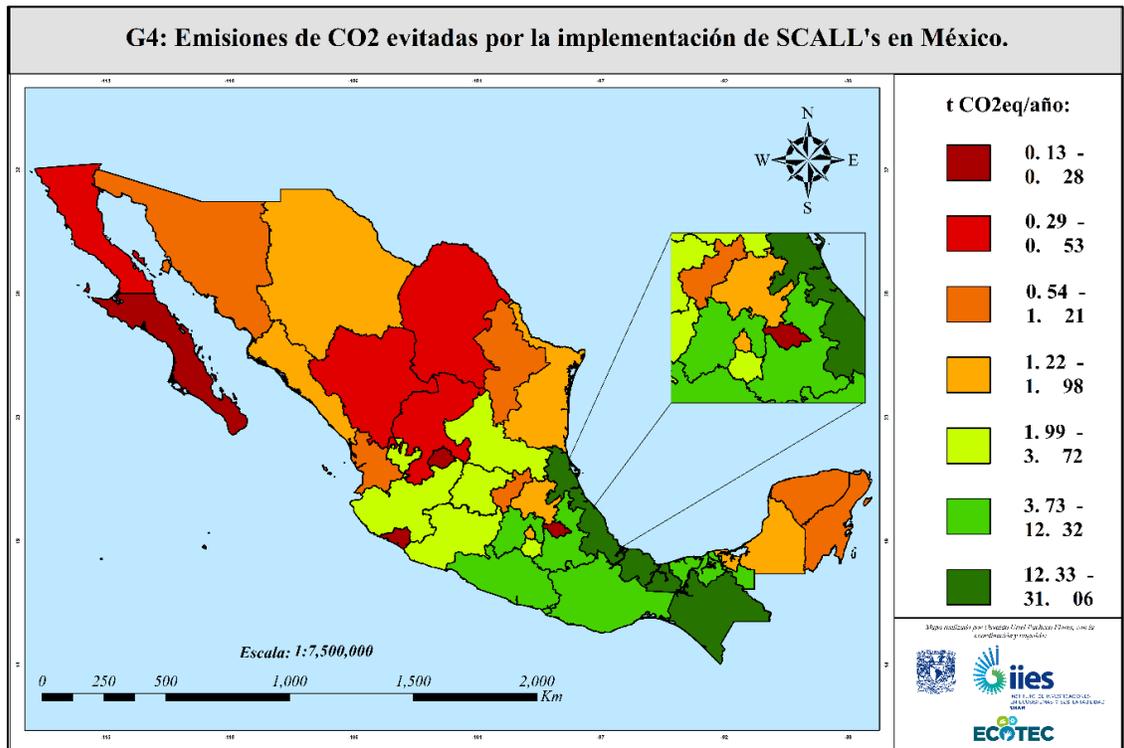
Mapa 33. Agua necesaria promedio (red pública) en México.



Mapa 34. Potencial de agua captada por uso de SCALL's en México.

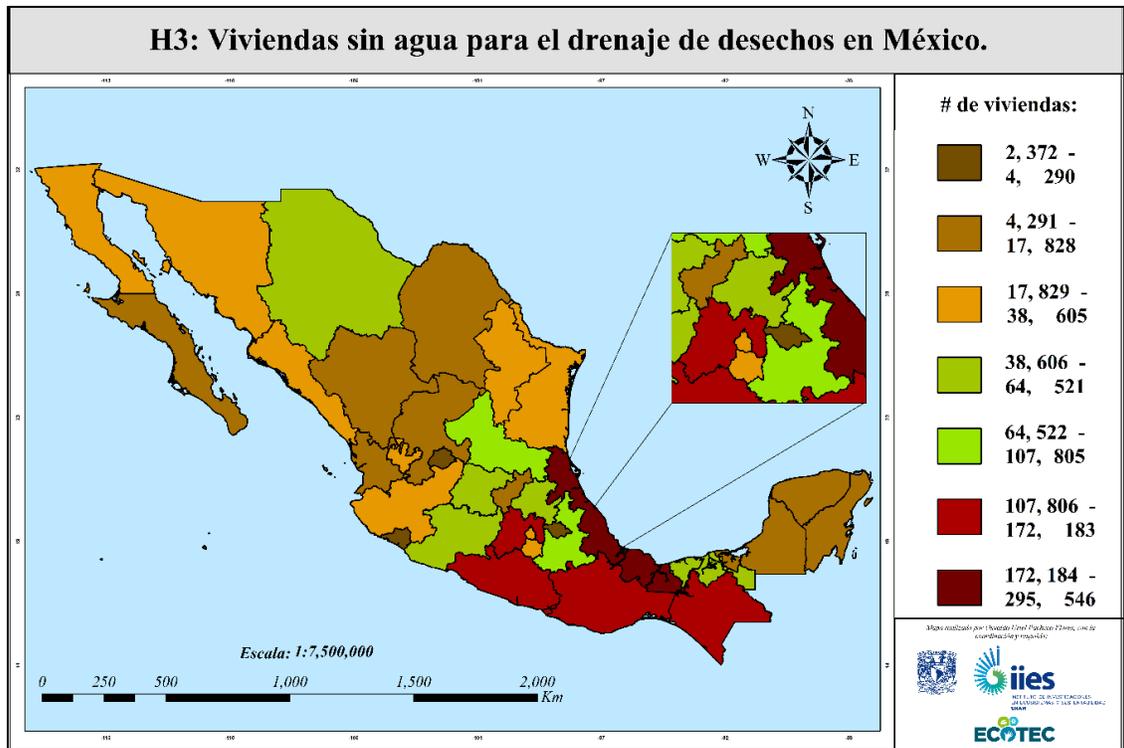


*Mapa 35. Porcentaje de agua satisfecha por el uso de SCALL's en México.*

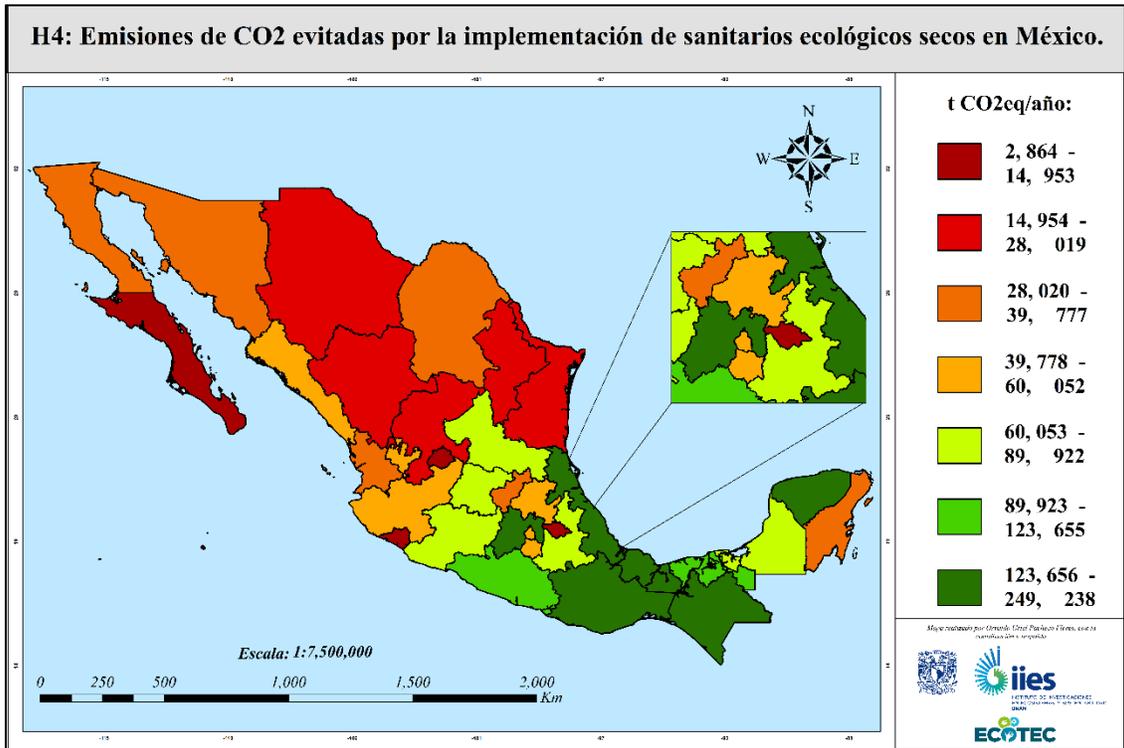


*Mapa 36. Emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas por la implementación de SCALL's en México.*

Anexo 12. Mapas 38, 39 y 40.



*Mapa 38. Viviendas sin agua para el drenaje de desechos en México.*



*Mapa 39. Emisiones de CO2 evitadas por la implementación de sanitarios ecológicos secos en México.*