CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DE ESTUDIOS AVANZADOS DEL INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

UNIDAD ZACATENCO

PROGRAMA DE DESARROLLO CIENTÍFICO Y TECNOLÓGICO PARA LA SOCIEDAD

"Opciones energéticas encaminadas al logro del desarrollo sustentable"

TESIS

Que presenta

Eduardo Pérez Denicia

Para obtener el grado de

DOCTOR EN CIENCIAS

EN DESARROLLO CIENTÍFICO Y TECNOLÓGICO PARA LA SOCIEDAD

Directores de Tesis: Dr. Fabián Fernández Luqueño
Dra. Darnes Vilariño Ayala

Ciudad de México SEPTIEMBRE, 2017

Agradecimientos

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y al Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del I.P.N. (CINVESTAV) por el valioso apoyo brindado para la realización de esta tesis.

Agradezco al Dr. Fabián Fernández Luqueño y a la Dra. Darnes Vilariño Ayala por su invaluable guía, pues ellos han sido una parte fundamental durante la realización de este proyecto.

Agradezco a mis asesores, la doctora Michelle Esther Chauvet Sánchez Pruneda, y los señores doctores Luis Alfonso Maldonado López, Luis Manuel Montaño Zetina y Rafael Baquero Parra, pues tuvieron la amabilidad de compartirme un poco de sus grandes conocimientos que resultaron esenciales para la elaboración de este proyecto.

Agradezco a mis padres que siempre han estado ahí para apoyarme en todo.

O give thanks unto the Lord, for he is good: for his mercy endureth forever. Ps 107:1 KJV

Índice general

Agradecimientos 1

Resumen 5

Abstract 7

Capítulo I Introducción 9

1.1 Planteamiento 9

1.2 Justificación 13

1.3 Preguntas de Investigación 16

1.4 Objetivos 16

1.4.1 Objetivo general 16

1.4.2 Objetivos específicos 16

1.5 Hipótesis 17

Capítulo II Marco Teórico 18

2.1 Desarrollo Sustentable 18

2.2 Indicadores 19

2.3 Teoría General de Sistemas 25

2.4 Sistemas Complejos 27

2.4.1 Metodología en el estudio de sistemas complejos 28

2.4.2 Diagnóstico 28

2.4.3 Intervención 29

Capítulo III Mecanismos para el despliegue de las fuentes de energía renovable 30

3.1 El despliegue de las Fuentes de Energía Renovable 30

3.2 Políticas públicas que favorecer la generación de energía eléctrica a partir de Fuentes de Energía Renovable. 37

3.3 Proyectos de generación de energía eléctrica a partir de Fuentes de Energía Renovable en México. 44

3.3.1 Estatus de la energía solar 45

3.3.2 Estatus de la energía eólica 48

3.3.3 Estatus de la generación mediante biomasa..... 50
Capítulo IV. Abordaje del problema (construcción de modelos)..... 53
4.1 Modelado de la generación de electricidad mediante fuentes renovables. 53
4.2 Recursos renovables en México 57
4.2.1 Recursos solares 57
4.2.2 Recursos eólicos 60
4.2.3 Recursos de biomasa 61
4.3 Metodología..... 63
4.3.1 Descripción del modelo matemático 67
Capítulo V. Resultados y discusión 69
Capítulo VI. Conclusiones..... 83
Referencias 86
Anexos..... 100

Índice de Figuras

Figura 1. Importación de energía 2005-2015 (Petajoules).. 10
Figura 2. Fuentes principales para la generación de electricidad en México. 12
Figura 3. Fuentes para la generación de energía eléctrica consideradas en este trabajo. 15
Figura 4. Modelo Presión – Estado – Respuesta. 23
Figura 5. Diagrama de Flujos para el establecimiento de un conjunto base de indicadores..... 24
Figura 6. Tecnologías para aprovechar la energía solar. 45
Figura 7. Porcentaje en la generación de electricidad mediante diferentes fuentes. 46
Figura 8. Proyecto eólico “Pier II” en el municipio de La Esperanza, Puebla. 48
Figura 9. Tecnologías para aprovechar la biomasa. 50
Figura 10. Elementos (función, estado y relaciones) del sistema de generación eléctrica mediante fuentes renovables en México. 54
Figura 11. Distribución mundial de la radiación solar en cinturones o franjas. 58
Figura 12. Niveles de insolación en términos de (kWh/$m^{2/}$día) en el territorio mexicano. 59
Figura 13. Recursos eólicos en México. 60
Figura 14. Recursos de biomasa proveniente de diversas fuentes en México (TJ/año).. 61
Figura 15. Ubicación de los mejores recursos solares, eólicos y de biomasa en México..... 62

Figura 16. Interacción y relaciones desiguales en el sistema energético. 74
Figura 17. Estado ideal entre los miembros del sistema energético. 75
Figura 18. Tecnologías más viables para generar electricidad por estado. 77
Figura 19. Viabilidad de la generación de electricidad mediante energía solar en México. 78
Figura 20. Viabilidad de la generación de electricidad mediante energía eólica en México. 79
Figura 21. Viabilidad de la generación de electricidad mediante biomasa en México. 80

Índice de Tablas

Tabla 1. Nuestro propósito de desarrollo sustentable. 25
Tabla 2. Estrategias de promoción para apoyar el desarrollo de las Fuentes de Energía Renovable... 40
Tabla 3. Ubicación, capacidad instalada y generación de electricidad mediante energía solar 47
Tabla 4. Ubicación, capacidad instalada y generación de electricidad mediante energía eólica. 49
Tabla 5. Ubicación, capacidad instalada y generación de electricidad mediante biomasa 51
Tabla 6. Estados de México con las mejores condiciones solares. 59
Tabla 7. Estados de México los mejores recursos de biomasa (TJ/año).. 62
Tabla 8. Conjunto base de indicadores enmarcados en el modelo PER y dentro de los 3 pilares del desarrollo sustentable. 63
Tabla 9. Indicadores relacionados con las tecnologías renovables. 63
Tabla 10. Estados de la República Mexicana con excelentes recursos renovables en más de una categoría… 65
Tabla 11. Variables del sistema.. 67
Tabla 12. Matriz con el desempeño final por estado en el índice de sustentabilidad. 73
Tabla 13. Viabilidad para la generación sustentable de electricidad mediante diversas fuentes renovables en México.. 76
Tabla 14. Tecnologías más viables para la generación de electricidad por estado.. 77

Resumen

Actualmente en los proyectos de generación de electricidad mediante fuentes de energía renovable solamente son considerados los aspectos técnicos y económicos para conocer su viabilidad y puesta en marcha. Con respecto a la sustentabilidad de dichos proyectos, sólo presentan una ventaja; la reducción en las emisiones de gases de efecto invernadero con respecto de los combustibles de origen fósil, sin embargo, se hace caso omiso a las posibles consecuencias negativas en los aspectos social y ambiental. En el presente trabajo se establece una propuesta para la generación de energía eléctrica sustentable, mediante el uso de las fuentes de energía renovable solar, eólica y biomasa. Se siguió el marco del desarrollo sustentable considerando sus tres pilares (social, ambiental y económico) como la base de este proyecto. Se analizaron las políticas públicas actuales para favorecer el desarrollo de las fuentes renovables. Se desarrolló un índice de sustentabilidad, se establecieron las características o requisitos mínimos que debían cumplir los estados de la República Mexicana, en términos de recursos renovables y la calidad de estos, para generar electricidad. Finalmente se eligieron diez estados por cada categoría (solar, eólica y biomasa), y se hizo una investigación estado por estado sobre los indicadores generales elegidos. Se realizó una investigación, en la literatura científica y en las bases de datos de instituciones oficiales relacionadas con la energía y su transformación, sobre el estado actual de la generación de electricidad en México y el potencial mediante fuentes renovables, también se detectaron los problemas sociales y ambientales derivados de la generación mediante fuentes renovables. Posteriormente se realizó el cómputo de los indicadores utilizando para ello procesos de normalización, pesado y agregación para unificar la información. A continuación, se planteó y resolvió un modelo matemático con la finalidad de conocer cuál de las tecnologías renovables es la más adecuada, así como los estados más viables para la instalación de los diferentes tipos de tecnologías.

Los resultados sugieren que la tecnología más sustentable es la eólica, mientras que Chihuahua resultó el estado más viable para la generación de electricidad proveniente de la

energía eólica y biomasa. El estado de Coahuila es el lugar más viable para generar electricidad mediante energía solar. Se encontró que en México el sistema energético está lejos de ser sustentable. Hay una gran desvinculación en las funciones que cada entidad integrante del sistema debe cumplir (autoridades), un mínimo compromiso social y ambiental en otras (empresarios), así como una gran carencia en la capacidad de afrontar el reto de las nuevas tecnologías, integración y participación en los proyectos, y resiliencia ante los efectos negativos de dichos proyectos (comunidades). Por ejemplo, el estado con mayores recursos eólicos es Oaxaca que genera el 92% de la electricidad proveniente de la energía eólica. Contrastantemente los resultados arrojan que Oaxaca ocupa los últimos lugares en cuanto a viabilidad para la generación de electricidad. Si bien es líder en recursos eólicos, al conjuntar sus indicadores sociales, ambientales y económicos, esto indica que su preparación, grado de resiliencia y adaptación al desarrollo de proyectos energéticos es muy bajo lo que los vuelve muy vulnerables y por lo tanto, en lugar de beneficiarse de éstos, resultan muy perjudicados, lo que hace que este tipo de obras estén lejos de ser sustentables. Esto también queda evidenciado en la literatura pues en el estado abundan los problemas sociales y ambientales derivados de los proyectos eólicos en la región, mientras que el bienestar económico tampoco ha sido visible.

Abstract

Nowadays, in power generation projects through renewable energy sources, only the technical and economic aspects are considered to know its viability and start-up. Regarding the sustainability of such projects, they have only one advantage; the reduction of greenhouse gases emissions compared to fossil fuels, however, the possible negative consequences on social and environmental aspects are left. The present work establishes a proposal for the generation of sustainable power, through the use of solar, wind and biomass renewable energy sources. The sustainable development framework was followed considering its three pillars (social, environmental and economic) as the basis for this project. Current public policies to support the development of renewable sources were analyzed. A sustainability index was developed, establishing the characteristics or minimum requirements that the Mexican states had to meet, in terms of renewable resources and the quality of these, to generate electricity. Finally, ten states were chosen for each category (solar, wind and biomass), and state-by-state research was done on the general indicators chosen. An investigation on the current state of electricity generation in Mexico and the potential through renewable sources was made in the scientific literature but also in the databases of official institutions related to energy and its transformation. We also detected the social and environmental issues derived from renewable sources. Subsequently, the computation of the indicators was performed using standardization, weighing and aggregation processes to unify the information. Next, a mathematical model was proposed and solved with the purpose of knowing which of the renewable technologies is the most appropriate, as well as the most viable states for the installation of the different types of technologies.

The results suggest that the most sustainable technology is wind power, while Chihuahua was the most viable state for power generation from wind and biomass. The state of Coahuila is the most feasible place to generate electricity through solar energy. It was found that in Mexico the energy system is far from being sustainable. There is a great disconnect in the functions that each entity of the system must fulfill (authorities), a minimum social and environmental commitment in others (entrepreneurs), as well as a great lack of the ability to face the challenge of the new technologies, integration and participation in projects, and

resilience to the negative effects of such projects (communities). For example, the state with the highest wind resources is Oaxaca, which generates 92% of the electricity from wind energy. In contrast, the results show that Oaxaca occupies the last places in terms of viability for the generation of electricity. Although that state is a leader in wind resources, the final results show that the skills, degree of resilience and adaptation to the development of energy projects is very low in the population which makes them very vulnerable, therefore instead of benefiting from these projects, they are greatly harmed which makes these projects far from being sustainable. That is also evidenced in the scientific literature because the state is full of social and environmental problems derived from wind projects in the region, while economic well-being has also not been visible.

Capítulo I Introducción

1.1 Planteamiento

La situación energética actual está caracterizada por un rápido incremento en la demanda de energía, baja eficiencia y altos costos en el suministro de energía. El subsidio que el gobierno destina para minimizar el costo del suministro es alto y esto obstaculiza la oportunidad de participación de productores de energía renovable en el sector[1]. Ha habido una aparente estabilidad en el precio por kWh a lo largo de casi 20 años, sin embargo los costos son amortizados por el subsidio otorgado. Tan sólo en 1995 el subsidio a la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y la extinta Luz y Fuerza del Centro (LFC) fue de 17,466 millones de pesos en conjunto. Para 2005 la suma destinada fue de 94,987 millones de pesos entre las dos compañías y para el año 2012 la suma ascendió a 104, 307 millones de pesos únicamente a la CFE pues LFC ya había desaparecido (Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos, 2013). A principios del año 2017 se eliminó una parte importante del subsidio destinado a los combustibles fósiles, gas y electricidad lo que representa un incremento en el precio al consumidor superior al 20% para los combustibles fósiles y gas, y de hasta el 4.5% para la electricidad. Si bien esto representa un gran problema para la economía de la mayoría de los mexicanos, podría verse como una gran oportunidad para darle más apoyo a las fuentes renovables pues de acuerdo con Yaqoot et al. (2017) el atractivo financiero de los proyectos de energía renovable descentralizada mejora con la eliminación de los subsidios a la energía basada en combustibles fósiles.

Una serie de hechos ponen en evidencia la falta de compromiso de las políticas energéticas actuales. En México se carece de independencia energética pues en el año 2015 el consumo interno superó en 3.2% a la producción de energía primaria, es decir se consume más de lo que se produce, siendo los hidrocarburos los que más aportan a este tipo de energía (87.2%). Aunado a esto, las importaciones de energía aumentaron en 13.4 % y por si esto fuera poco, la producción de petróleo también disminuyó representando una alarmante pérdida del 9.5%

[1] No podrían competir contra estos precios subsidiados.

con respecto del año anterior. Esto refleja que en el país no existe una política sólida en cuanto a seguridad energética y diversificación de tecnologías.

En el año 2015 se importaron 13.4% más hidrocarburos (como gas seco y licuado, gasolinas y naftas[2], combustóleo[3], diésel, etc.) para satisfacer la demanda nacional con respecto a 2014, esto aunado a la baja producción y al aumento en el consumo. México deberá incrementar la importación en los próximos años tal como muestra la tendencia en el histórico de la Figura 1. Es preocupante observar como México pasó de ser un país rico en petróleo, donde inclusive este era un gran aportador al PIB nacional, a ser un país que tiene que importar combustible para satisfacer su demanda.

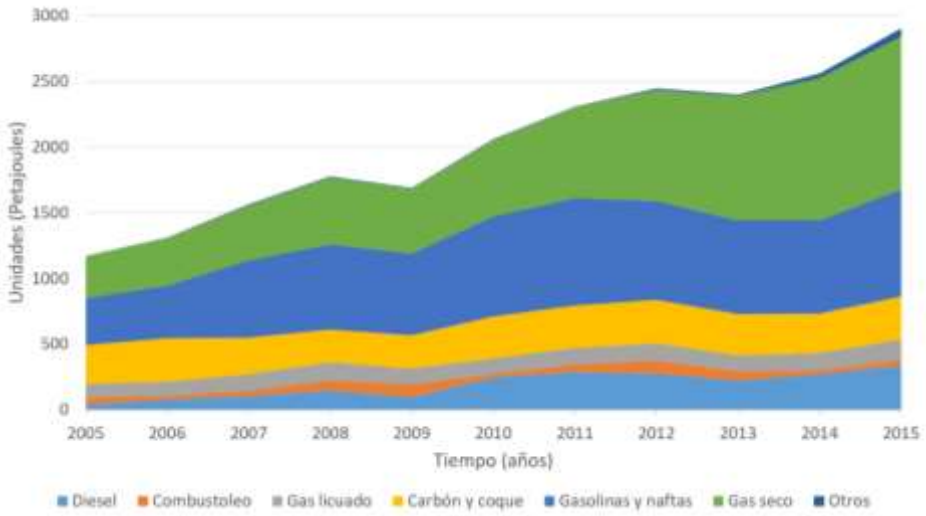

Figura 1. Importación de energía 2005-2015 (Petajoules). Fuente: elaboración propia con datos de SENER, (2016).

[2] Fracciones de petróleo crudo y productos líquidos del gas natural con una temperatura de ebullición que oscila entre 175 y 240°C.

[3] Es la fracción pesada del petróleo crudo después de someterse a destilación al alto vacío. Se usa como combustible industrial, para generación de electricidad, en locomotoras y barcos; en las refinerías se utiliza en los calentadores a fuego directo.

A pesar de la disminución en la producción de hidrocarburos de origen fósil[4], se tiene una gran emisión de GEI a la atmósfera. En el año 2014 se emitieron alrededor de 436 teragramos de CO_2 equivalente (Tg CO_2 eq.). El principal gas que se emitió fue el CO_2, que contribuyó con 95.6% del total. Le siguieron las emisiones de metano (CH_4) con 3.6% y las de dióxido de nitrógeno (N_2O) con 0.6%. Estos datos indican una baja sustentabilidad en los sistemas energéticos y revelan la necesidad de un cambio radical en la manera en la que se produce la energía en nuestro país.

Con respecto a la producción de electricidad, en México se produjo el 21.1% del total de la energía eléctrica mediante fuentes de energía renovable, sin embargo, las energías, hidráulica y nuclear[5] también están incluidas y en conjunto generan el 16.1% del total de las renovables, Figura 2. El gobierno federal ha establecido la meta de alcanzar el 35% de la generación eléctrica mediante fuentes renovables para el año 2024, sin embargo no tienen una estrategia clara de cómo alcanzar esta cifra, sólo se habla de aumentar la capacidad hidráulica y se planea la posible construcción de dos reactores más para la generación mediante energía nuclear, pero se debe señalar que las grandes hidroeléctricas generan muchos problemas ambientales y el uranio no es un recurso renovable, además de que la operación y almacenamiento de los desechos de la fisión representan un verdadero reto. Hay un gran rezago en la generación de energía eléctrica mediante el uso de fuentes renovables y los datos anteriores reflejan el incumplimiento de la diversificación de tecnologías de generación y transición energética, aunado a esto se han documentado una serie de problemas sociales y ambientales como resultados de la implantación de proyectos renovables por lo que es necesario un cambio en la forma en la que se genera la energía en el país.

[4] Por sobre explotación de los yacimientos, así como falta de inversión para exploración y en tecnologías de extracción.

[5] Debido a que el uranio no es un recurso renovable, la energía nuclear no se considera una FER sin embargo, tanto esta fuente como la hidráulica se consideran "energías limpias" de acuerdo con la Ley de la industria eléctrica (DOF, 2014).

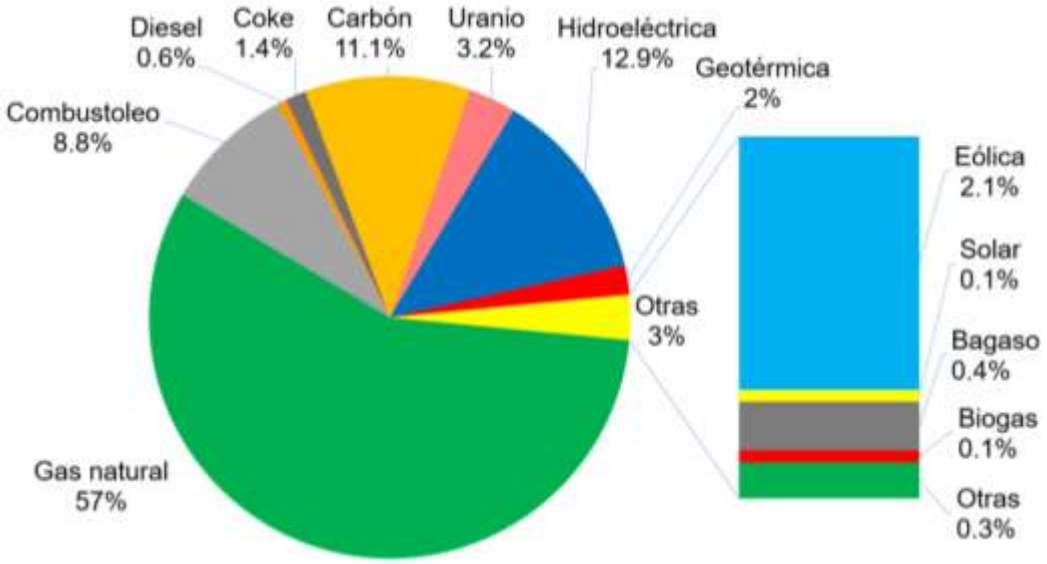

Figura 2. Fuentes principales para la generación de electricidad en México. (Pérez-Denicia et al., 2017)

Las políticas energéticas no son sustentables y plantean varios riesgos para las perspectivas de desarrollo socioeconómico del país (Perez-Gazga, 1983). De acuerdo con (Sheinbaum-Pardo, 2008), una política energética integral debe considerar por lo menos temas como; el suministro de energía, baja tasa de importaciones de acuerdo con las condiciones de cada país, bajo peso de los ingresos energéticos en el presupuesto público, tasa de restitución de reservas, cobertura de las necesidades energéticas básicas para la población, reducción de impactos ambientales, diversificación de las fuentes energéticas y aumento de la participación de las fuentes renovables de energía. Para ser una empresa rentable y competitiva la CFE debe ser capaz de alcanzar una combinación óptima de inversiones en capacidad instalada y costos de operación, es decir si se quiere que los precios del suministro sean competitivos se debe hacer una selección adecuada de tecnologías de generación, se debe invertir en cobertura y capacidad de la red de transmisión, así como en infraestructura física y administrativa de distribución (IMCO, 2006), sin dejar de lado el compromiso social y ambiental, tan recomendado por el desarrollo sustentable.

1.2 Justificación

Para lograr el avance como especie humana necesitamos energía, desde épocas antiguas se ha hecho y para continuar con el progreso debemos seguir haciéndolo. La relación que la sociedad moderna tiene con la energía es muy estrecha y se muestra en diversos ámbitos como el crecimiento económico, social y cultural (Pasqualetti & Brown, 2014). La energía es lo que permite moverse a una sociedad, cambiarla y avanzar. Para el crecimiento económico, el desarrollo político y social en un marco sustentable, se requiere del suministro de energía eficiente, confiable y descentralizada, para lo cual es necesario el ahorro energético, mejora en la eficiencia en la producción de energía y el uso combinado de combustibles fósiles con diversas fuentes de energía renovable, con la sustitución gradual de fuentes fósiles por renovables (Oyedepo, 2014). Las reservas del planeta son finitas y su sobre explotación y uso irracional son algo común en el mundo y particularmente en México.

Además del agotamiento de las reservas de los combustibles fósiles en México, se presenta el problema de los desechos tóxicos y desperdicios que se emiten al medio ambiente durante el proceso de extracción, generación, transformación y transmisión, de manera que además de considerar el uso eficiente y sustentable de los combustibles, será necesario anticipar el daño que, derivado de los procesos anteriores, se pueda causar al medio ambiente y al frágil equilibrio de las comunidades, y buscar opciones alternativas, como es el caso de las fuentes de energía renovable (FER), que disminuyan el impacto negativo a la naturaleza y que a su vez, proporcionen un verdadero beneficio a la sociedad.

Aunado a lo anterior, en los últimos años se ha presentado el fenómeno de robo de hidrocarburos en el país, esto ha sido mediante la ordeña en los ductos de combustibles refinados. De acuerdo con el director general de Pemex Transformación Industrial, en el año 2016 las pérdidas económicas derivadas de este ilícito ascendieron a 30 k M de pesos mexicanos[6] (Imagen, 2017). Este conflicto tiene sus orígenes en el crimen organizado, pues además de dedicarse a la droga y al secuestro, estos delincuentes han incursionado en esta nueva modalidad de atraco y el problema se agrava debido a que los mismos empleados de

[6] Los prefijos k (kilo) y M (mega) hacen referencia a 1,000 y 1, 000,000 respectivamente.

PEMEX se han visto involucrados en estos delitos, lo que deja ver la corrupción al interior de la misma para estatal.

Al hablar de eficiencia y sustentabilidad se debe contemplar el gran potencial que ofrecen las fuentes de energía renovable[7]. México por sus características geográficas y sus recursos naturales tiene un gran potencial para el uso de estás fuentes de energía (Alemán-Nava et al., 2014; Lee, 2011). México cuenta con extraordinarios recursos solares (Hernández-Escobedo et al. 2015; Mendoza-Vizcaino et al. 2016; Yaqoot et al. 2016), lo que posibilita usar este tipo de energía renovable para su transformación en otras manifestaciones energéticas como calor, y para el caso de este proyecto, electricidad. La energía eólica representa otro nicho de oportunidad pues el territorio nacional también cuenta con buenas condiciones que favorecen la utilización de esta fuente renovable. (Cancino-Solórzano et al., 2011; Figueroa-Espinoza et al., 2014; Hernández-Escobedo et al., 2010; Hernández-Escobedo et al., 2014; Pasqualetti, 2011). Otra opción a considerar en este proyecto es la biomasa por sus excelentes condiciones en México (García et al., 2015; Prochnow et al., 2009; Rios & Kaltschmitt, 2016). Se puede utilizar materia prima de muchas fuentes disponibles en el país, desde los desechos animales, el forraje de ciertas especies de plantas o el aprovechamiento de los desechos sólidos municipales, etc.

Considerando los hechos mencionados y para lograr la suficiencia energética de manera sustentable, es necesario plantear una estrategia integral para la generación de electricidad, que promueva el desarrollo y auge de las fuentes de energía renovable[8] para la generación de energía eléctrica que se refleje en un menor impacto negativo para el medio ambiente (reducción de emisiones de GEI) y en beneficios reales para la sociedad (energía limpia y a precios accesibles para todos, que permitan el desarrollo social mejorando la calidad de vida de sus habitantes).

[7] El viento (energía eólica), el calor de la tierra (energía geotérmica), los ríos y corrientes de agua dulce (energía hidráulica), los mares y océanos (energía mareomotriz), el sol (energía solar), las olas (energía undimotriz), los procesos de fisión y fusión (energía nuclear), la fermentación de materia orgánica (biomasa) y los llamados biocombustibles.

[8] Cuya fuente reside en fenómenos de la naturaleza, procesos o materiales susceptibles de ser transformados en energía aprovechable por la humanidad, y que se regeneran naturalmente, por lo que se encuentran disponibles de forma continua (LAERFTE, 2013).

El objetivo de esta investigación es proponer una estrategia en materia de generación de energía eléctrica que pueda hacer uso eficiente de las fuentes de energía renovable que existen localmente, con la intención de asegurar el abastecimiento de energía eléctrica sustentable que satisfaga las necesidades actuales y futuras de México, afectando en menor grado a la naturaleza y promoviendo el bienestar de las comunidades. Se pretende hacer un análisis económico, ecológico y social sobre las tecnologías de generación de energía eléctrica mediante bases de datos sobre fuentes de energía renovable en México, con el fin de obtener información que pueda ser de utilidad en la elaboración de una ruta energética para la generación sustentable de electricidad descentralizada. En este trabajo se considerarán las energías renovables emergentes; biomasa (para electricidad y calor), solar (fotovoltaica) y eólica (*onshore*[9]), tal como se establece en la Figura 3.

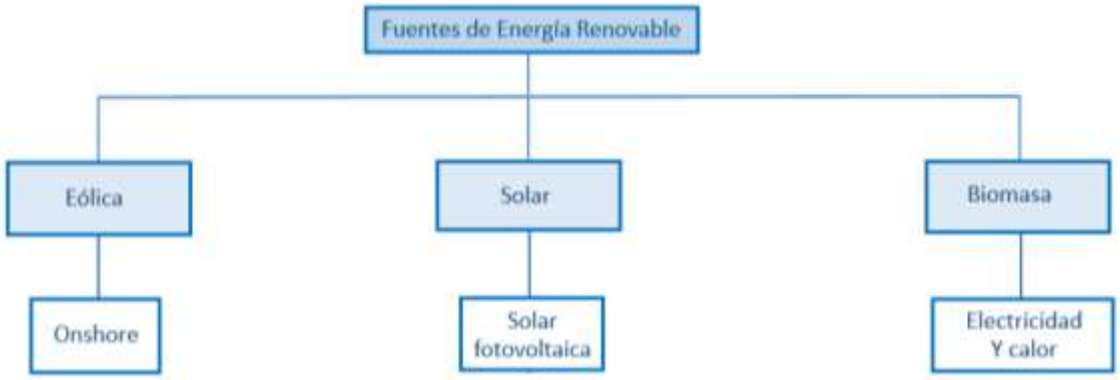

Figura 3. Fuentes para la generación de energía eléctrica consideradas en este trabajo.
Fuente: INERE, Ellabban et al. (2014)

Esta investigación servirá como una importante base para la toma de decisiones en materia energética, específicamente en la generación sustentable de energía eléctrica. Representará un marco metodológico para el establecimiento de los elementos a considerar en la planeación de proyectos de energía renovable con base en los tres pilares de la

[9] El término hace referencia a aquellas turbinas que se instalan en tierra firme.

sustentabilidad (social, ambiental y económico) y servirá de base para la formulación de políticas públicas eficaces que sean acordes con la situación actual de México.

1.3 Preguntas de Investigación

En México, ¿cuál es la capacidad instalada y el potencial de la energía eólica, solar (fotovoltaica) y biomasa?

¿Cuál de las tres tecnologías es la más idónea en términos de sustentabilidad?

¿En qué sitio(s) es más adecuado instalar energía solar, eólica y biomasa para la generación de electricidad descentralizada?

¿Qué políticas públicas son las más adecuadas para promover el uso de la energía renovable?

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Proponer una ruta para la generación sustentable de energía eléctrica descentralizada a partir de las fuentes de energía renovable solar, eólica y biomasa.

1.4.2 Objetivos específicos

- Analizar las políticas públicas actuales en materia energética.
- Identificar cuáles son los proyectos de generación de electricidad a partir de fuentes de energía renovable en México.
- Valorar la viabilidad de las fuentes de energía renovable (solar fotovoltaica, eólica y biomasa) en términos de los tres pilares de la sustentabilidad.
- Desarrollar una propuesta sobre la producción de energía eléctrica descentralizada a partir de fuentes de energía renovable en México.

1.5 Hipótesis

Es posible establecer un diagnóstico del funcionamiento del sistema de generación de electricidad proveniente de fuentes renovables, para determinar una ruta alternativa que resulte más viable en términos de sustentabilidad.

Capítulo II Marco Teórico

2.1 Desarrollo Sustentable

Uno de los efectos del avance de la ciencia y sobre todo de la tecnología se ve reflejado en la alta industrialización y automatización de los procesos de producción, así como un amplio despliegue en el sector de servicios y los esfuerzos redoblados en la producción de alimentos. Todos estos procesos exigen una gran cantidad de energía para poder llevarse a cabo. La principal fuente energética han sido los combustibles de origen fósil y su utilización ha traído consigo un grave deterioro al ambiente, agotamiento de los recursos naturales y el aumento de la brecha entre la sociedad. Derivado de los efectos antes mencionados surge la necesidad de crear iniciativas para hacer frente a esos nuevos y desafiantes retos y es en este sentido que la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUNC por sus siglas en inglés) establece su Estrategia Mundial para la Conservación en 1980, donde se acuña por primera vez el término "desarrollo sustentable" que establece que para que el desarrollo sea sustentable éste debe considerar los factores social, ecológico y económico (Savino & Mazza, 2013). Posteriormente en 1987, se da a conocer el informe Brundtland o más propiamente dicho, "Nuestro Futuro Común", en el cual se instituye que el desarrollo sustentable debe satisfacer las necesidades de la generación actual sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones de cubrir sus propias necesidades. Es en 1992 durante la segunda Cumbre de la Tierra llevada a cabo en Rio de Janeiro, organizada por las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, donde se amplía la definición de desarrollo sustentable con su formalización final en la Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sustentable del año 2002 donde se establecen los tres pilares del desarrollo sustentable "social, ambiental y económico" (Moldan et al., 2012).

Desde la década de los 80 y previo al surgimiento de la definición de desarrollo sustentable[10] de la Comisión Mundial para el Ambiente y el Desarrollo en 1987 (WCED en inglés), lo que se buscaba con este término era el desarrollo económico, la satisfacción de las necesidades

[10] El desarrollo sustentable es el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades (Brundtland, 1987) .

básicas humanas, el logro de la igualdad y la justicia social, propiciar la autodeterminación social y la diversidad cultural, así como el mantenimiento de la integridad ecológica (Lélé, 1991). Es necesario conservar la esencia del desarrollo sustentable manteniendo los recursos naturales siempre disponibles, lo que implica hacer un uso más eficiente de éstos procurando su regeneración para que estén disponibles para las futuras generaciones, por lo cual se tiene que reducir el daño ambiental derivado del uso y transformación de estos recursos para la obtención de la electricidad que propicie la activación económica, el bienestar social, la buena distribución de la riqueza e igualdad entre los miembros de la comunidad. La base del desarrollo sustentable está basada en la inclusión social en los proyectos de generación de energía eléctrica y por supuesto en la participación de la comunidad en los beneficios económicos, de integración social, educación, salud y demás recursos derivados de estos proyectos que sean promotores del bienestar de la sociedad.

Para que pueda haber desarrollo sustentable se debe contar con una cantidad confiable y disponible de recursos naturales (Pearce, 1988), que a su vez sean utilizados de manera que no disminuyan ni se deterioren, si no que permanezcan constantes (se regeneren) incluso para las generaciones venideras. De acuerdo con Roseland (2000) estos recursos naturales se pueden categorizar en: recursos no renovables como minerales y combustibles fósiles, la capacidad finita de los sistemas naturales para producir recursos renovables (bosques, selvas, producción de alimentos, fuentes de agua, etc.) y la capacidad de los sistemas naturales para absorber las emisiones contaminantes derivadas de la acción humana que implique altos costos para las generaciones futuras.

2.2 Indicadores

De acuerdo con Robert et al. (2005) otra manera de definir el desarrollo sustentable radica en la manera en la que éste es medido. De manera que para establecer la sustentabilidad o no de un sistema se pueden utilizar unas unidades de medida denominadas indicadores.

Para lograr el establecimiento del desarrollo sustentable y que su práctica sea aceptada e implementada es necesario el cambio social y que las autoridades gubernamentales estén dispuestas a apoyar este tipo de acciones y en consecuencia, generar las políticas necesarias para el correcto funcionamiento de los programas, en especial, los de generación de energía eléctrica mediante fuentes sustentables. Por ello se debe desarrollar una guía confiable que permita evaluar el estado actual del desarrollo sustentable y medir los esfuerzos encaminados al cumplimiento de los compromisos adquiridos por parte de las diferentes organizaciones e instituciones involucradas. Se debe partir de una base sólida que ayude a establecer la situación actual de los avances en materia de desarrollo sustentable, considerando los tres pilares de la sustentabilidad, esto con la finalidad de poder tomar decisiones adecuadas que permitan alcanzar las metas establecidas, y en su caso, replantear el camino. Una manera de lograr lo anterior es mediante los indicadores.

De acuerdo con la OECD, (1993) un indicador es un parámetro o un valor derivado de otros parámetros el cual provee información para describir un fenómeno. De acuerdo con Huang et al. (2015) los componentes básicos de un indicador son los datos, por otro lado, un indicador es la representación operacional de un atributo de un sistema, mientras que un índice es una variable agregada más compleja que está compuesta de varios indicadores y éstos pueden ser vistos como herramientas que simplifican la complejidad y proveen una guía hacia el desarrollo sustentable (Morse, 2015).

Los indicadores nos pueden ayudar a tomar mejores decisiones y a llevar a cabo acciones más eficaces ya que simplifican, clarifican y ponen disponible la información para los encargados de la toma de decisiones y los hacedores de las políticas públicas. Los indicadores pueden incorporar conocimientos de las ciencias físicas y sociales en la toma de decisiones y pueden ayudar a medir y reconocer el progreso hacia las metas del desarrollo sustentable (United Nations, 2007).

Existe una variedad de indicadores que se usan para medir diferentes fenómenos, tales como ciencia y tecnología, educación, comercio, desarrollo social, economía, energía, medio

ambiente, salud, etc.[11], pero como lo muestran los hallazgos de Pissourios (2013) hay un conjunto de indicadores que tienen un mejor fundamento teórico como el caso de los indicadores macroeconómicos y ambientales, sin embargo, otros indicadores como el de calidad de vida, bienestar y desarrollo sustentable aún necesitan un mayor sustento. Esto también se debe a la escasa información disponible, no obstante, la elección de los indicadores adecuados puede guiarnos para realizar las acciones necesarias que repercutan en una transición sustentable de la economía y la sociedad (Dahl, 2012).

Fue a raíz de la Cumbre de la Tierra en Rio 1992, específicamente con el documento denominado Agenda 21, cuando las naciones adquieren compromisos relacionados con el desarrollo sustentable (Price & Probert, 1997) y se comienza a plantear la creación de indicadores para la toma de decisiones y la autorregulación de la sustentabilidad desde los aspectos sociales, ambientales y económicos, para que constituyan una referencia en la evaluación del bienestar y la sustentabilidad de una nación, zona o comunidad. En la elaboración de estos indicadores han participado desde entonces instituciones como la UNSDC[12], OECD[13], PNUMA[14], WB[15], UNESCO[16], WHO[17], así como los institutos de estadística y ministerios de energía y recursos naturales de las naciones. En el caso de México, se han desarrollado una serie de indicadores establecidos inicialmente por la UNSDC, bajo los principios de la Agenda 21, donde se contó con la participación del Instituto Nacional de Ecología (INE) y del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI, 2000).

Al contar con una gran cantidad de indicadores de diferentes tipos, es necesario establecer un orden sobre la clase de indicadores que pueden ser empleados para responder mejor a nuestras interrogantes y de esta manera alcanzar nuestros objetivos. Existen diferentes marcos de referencia en los que se pueden agrupar los indicadores, dependiendo de los

[11] http://datos.bancomundial.org/indicador/all
[12] United Nations Sustainable Development Commission
[13] Organisation for Economic Co-operation and Development
[14] United Nations Environment Programme
[15] World Bank
[16] United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
[17] World Health Organization

requerimientos o tipo de relaciones que de estos queramos destacar. Un marco que ha sido ampliamente empleado es el llamado Presión-Estado-Respuesta (PER), que fue desarrollado por la oficina estadística de Canadá en 1979 (INEGI, 2000) y que después las Naciones Unidas lo adaptaron para el desarrollo de sus manuales sobre indicadores ambientales y de sustentabilidad. Muchos organismos y países tomaron como referencia los manuales desarrollados por las Naciones Unidas y basados en el enfoque PER. La OCDE también se basó en el enfoque (PER) para el desarrollo de sus indicadores de desempeño ambiental, principalmente para promover la formulación de políticas energéticas mediante la medición de los impactos de este sector, sobre el medio ambiente y sus tendencias temporales (Meyar-Naimi & Vaez-Zadeh, 2012a).

En la Figura 4 se observa el enfoque PER, que considera que las actividades humanas, tales como la exploración, explotación y consumo de los recursos energéticos, ejercen presión (P) sobre el medio ambiente con lo que se disminuye la cantidad y calidad de los recursos naturales (OECD, 1993). El estado (E) describe las condiciones de los recursos naturales, los ecosistemas y la salud humana, que han sido derivadas de las actividades humanas. La respuesta (R) se refiere a las acciones preventivas, correctivas y de sensibilización que se llevan a cabo en los ámbitos social, ambiental y económico, como consecuencia del estado de los recursos naturales, los ecosistemas y la salud humana. Una actividad humana puede ser cualquiera de los sectores energético, industrial, agrícola, etc., el estado puede ser de alguna categoría como aire, agua, tierra, recursos naturales, etc., de este modo las respuestas pueden venir desde el hogar, la empresa, organismos nacionales e internacionales etc. (Tapio & Willamo, 2008).

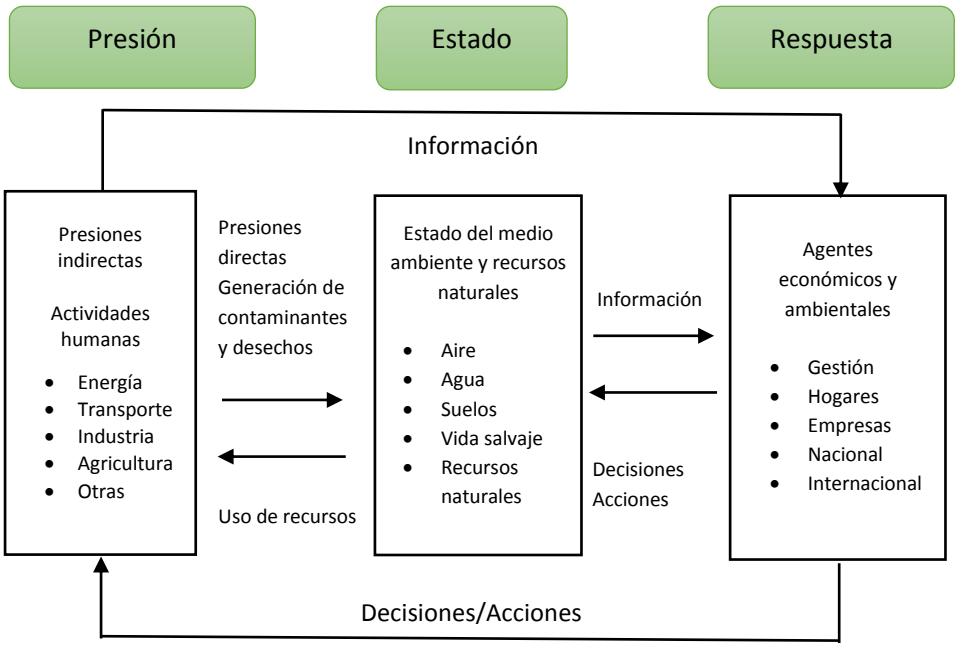

Figura 4. Modelo Presión – Estado – Respuesta. Fuente: Modificado de (INEGI, 2000; OECD, 1999).

De acuerdo con los hallazgos de Meyar-Naimi & Vaez-Zadeh (2012b), después de un análisis realizado sobre 40 casos de estudio donde se han utilizado cinco marcos de trabajo distintos para el uso de indicadores, el enfoque PER es el más empleado para evaluaciones de sustentabilidad ambiental y para el sector energético. A pesar de que se han desarrollado otros marcos de referencia para el desarrollo de indicadores, la base ha sido el modelo PER, a partir del cual otros marcos han sido creados, sin embargo como lo indica Lundberg et al. (2009) el uso de enfoques que incluyen muchos indicadores puede ser poco manejable y tedioso, sobre todo si no se cuenta con la información disponible. Una vez establecido el marco de trabajo para la elaboración de los indicadores es importante considerar el área o sector a evaluar, para el caso de este proyecto corresponde al sector energético (generación a partir de FER). A pesar de que estos enfoques sirven como guía para la elaboración de nuestro propio conjunto de indicadores, no existe una lista concisa sobre los indicadores que

deban ser integrados pues este factor también está sujeto a la disponibilidad de información de cada lugar, y debido a la naturaleza transdisciplinaria y a la complejidad de esta investigación un punto importante será la identificación de relaciones, estados y función de los componentes involucrados en el sistema. Con el objeto de establecer un conjunto base de indicadores se ha propuesto como guía el diagrama de flujos de la Figura 5. En primera instancia, se debe elegir el marco de trabajo que en este caso será el modelo Presión – Estado – Respuesta (PER). A continuación, el sector (energético). Las categorías o ámbitos a evaluar son el social, ambiental y económico.

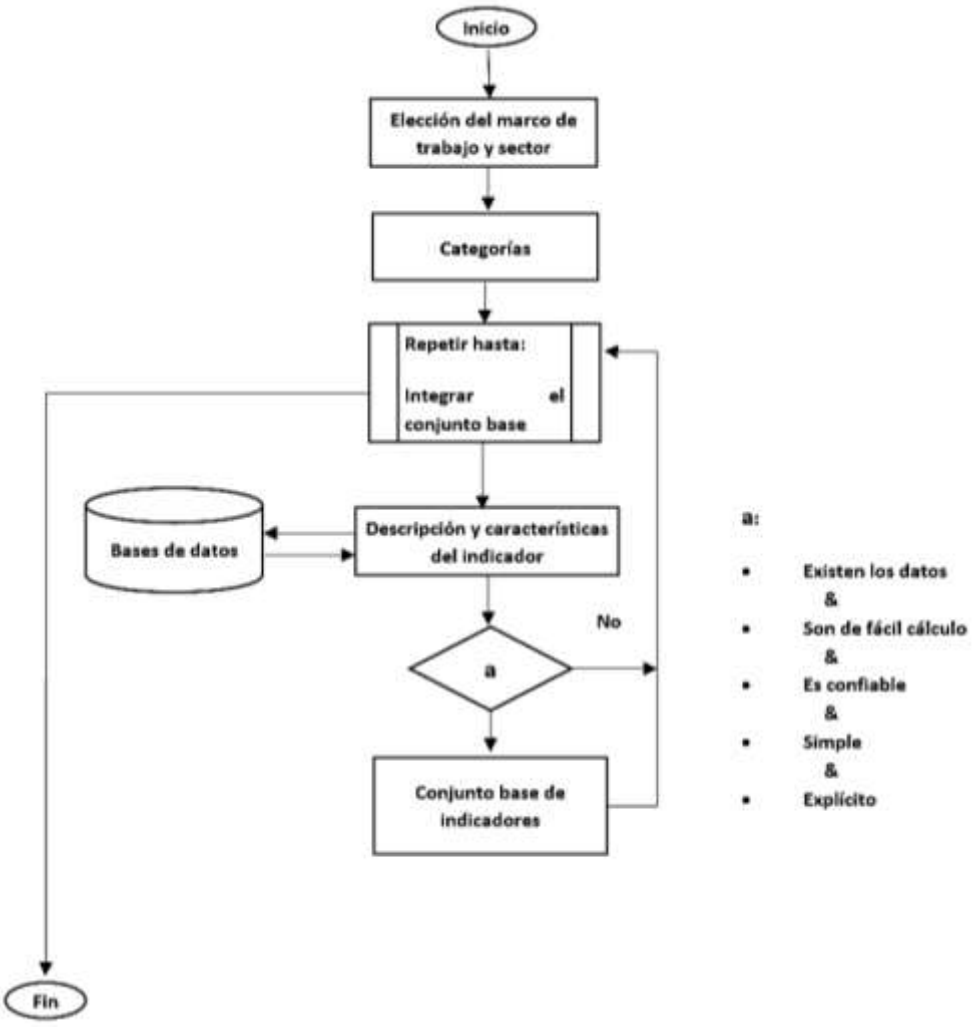

Figura 5. Diagrama de Flujos para el establecimiento de un conjunto base de indicadores.

Con la construcción del índice, así como su posterior cómputo y modelado se aspira a tener una aproximación del estado de la generación eléctrica mediante fuentes renovables, para así poder dar una propuesta, considerando los aspectos ambiental, social y económico. Partiendo del desarrollo sustentable se pretende tener una visión de aquello que se ha de desarrollar y sustentar, tal como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Nuestro propósito de desarrollo sustentable.

Sustentar	Desarrollar
Una condición en la que el medio ambiente pueda mantener la diversidad y calidad de sus recursos, donde dichos recursos mejoren con el tiempo en lugar de deteriorarse, de manera que puedan proveer un estándar de vida adecuado para las personas y demás formas de vida, y que además propicien el desarrollo económico y bienestar de los pueblos.	Una condición donde las personas y los sistemas sociales se desarrollen con dignidad, paz, equidad e inclusión, seguridad, empleo, educación, salud y calidad de vida, es decir que sean capaces de cubrir sus necesidades adaptándose antes los posibles cambios y tengan resiliencia. Además, las instituciones, empresas e individuos de la sociedad interactúan de manera horizontal para fomentar respuestas efectivas a los retos sociales, ambientales y económicos.

A continuación, se presentan otros marcos de trabajo sobre los cuales se abordará este proyecto.

2.3 Teoría General de Sistemas

Debido a la manera determinista y al reduccionismo con que tradicionalmente se han abordado los fenómenos de la naturaleza, en especial las ciencias exactas y naturales (mediante el método científico positivista), surge la necesidad de buscar otros caminos que puedan hacer frente a las problemáticas de una manera más integral y sistemática, y que al mismo tiempo nos proporcionen explicaciones más cercanas a la realidad. Caminos que contemplen variables y hechos no considerados anteriormente mediante los métodos tradicionales, fenómenos tan variados y complejos como interacciones de índole no

determinista y que no se pueden predecir o si quiera describir mediante el estudio de sus variables y componentes individuales. De acuerdo con Porvazník & Ljudvigová (2016) el uso de la Teoría General de Sistemas (TGS) puede ayudar a detener el impacto de la crisis mundial y asegurar el desarrollo sostenible de la civilización humana. Esto esencialmente por el enfoque holístico que considera las interacciones de los sistemas por lo que podría anticipar posibles problemas que otros enfoques no son capaces de prever.

Es partiendo de estas premisas y debido a la naturaleza transdisciplinaria de este proyecto que se propone un intento o aproximación de modelado de nuestro objeto de estudio mediante la TGS, y en especial mediante los sistemas complejos.

A mediados del siglo XX Ludwig Von Bertalanffy observa que la ciencia tradicional trataba de explicar los fenómenos reduciéndolos al estudio de sus unidades elementales e independientes una de la otra. Sin embargo, en la realidad ocurrían fenómenos de organización, fenómenos que no se pueden descomponer en acontecimientos particulares, así como interacciones dinámicas que van más allá del comportamiento de las partes aisladas. Por estos hechos aunados a la influencia que en él tenía la biología organicista y por el concepto de evolución, Von Bertalanffy propone la TGS, donde se pretende el abordaje de la realidad de una manera integrada u holística, considerando a los organismos como sistemas abiertos, es decir que interaccionan con el ambiente (Von Bertalanffy, 1989). Esta teoría debería proporcionar un punto de integración entre las ciencias naturales y sociales y establece que la totalidad es más que sus partes aisladas pues son muy importantes las relaciones entre sus componentes (Cathalifaud & Osorio, 1998). De acuerdo con Rousseau (2015), Von Bertalanffy creía que su teoría podría ser usada para el apoyo de la comunicación y la cooperación interdisciplinaria, facilitar los descubrimientos científicos en disciplinas que carecían de teorías exactas[18], promover la unidad del conocimiento y ayudar a superar la división entre las disciplinas orientadas a objetos y aquellas orientadas a sujetos.

La TGS tiene tres premisas que la fundamentan:

[18] Bertalanffy cita como ejemplo los casos de la biología, bioquímica, histología, citología y anatomía y menciona que, aunque se disponga de una gran cantidad de datos sobre la organización de éstas áreas, se carece de una teoría de la organización biológica o modelo conceptual que permita explicar los hechos empíricos (Von Bertalanffy, 1989).

a) Los sistemas existen dentro de sistemas; por ejemplo, los niveles de organización de la materia.
b) Los sistemas son abiertos, de manera que los sistemas interaccionan con otros sistemas que forman parte del ambiente.
c) Las funciones de un sistema dependen de su estructura, tal como las funciones de los diferentes tejidos y órganos dependiendo del tipo de células que los conforman.

Aunado a las premisas anteriores, algunos de los conceptos fundamentales de la TGS son los siguientes:

- Autopoiesis
- Homeostasis
- Identidad
- Permeabilidad

2.4 Sistemas Complejos

Dentro de la TGS se habla de sistemas abiertos, donde todo lo que no está dentro del sistema constituye su medio ambiente con el cual el sistema interactúa. De acuerdo con Von Bertalanffy los sistemas abiertos son sistemas vivientes que interactúan con su entorno y en consecuencia importan y exportan energía lo que permite la producción de organización. Desde luego, esto aporta un alto grado de complejidad al estudio de los fenómenos o comportamientos del sistema, pues no será posible establecer una predicción del mismo al conocer los estados iniciales de sus componentes y las leyes o reglas que lo rigen. Es así como surgen los llamados sistemas complejos (SC) o cibernética de segundo orden, donde se pone en un extremo objetos deterministas e inteligibles y por el otro hombres y sus sociedades (Tarride, 1995), siendo esta una manera de abordar las ciencias sociales. En un SC la cantidad de variables en interacción es grande, y en caso de que la interacción de variables sea poca, el tipo de interacciones son no lineales, por lo tanto son muy difíciles de

resolver, además el conocimiento de sus partes no es suficiente para explicar su comportamiento al integrarse como un todo (Figueroa Nazuno, 2008).

De acuerdo con Figueroa Nazuno (2008) los SC tienen las siguientes características:

a) Estudian fenómenos que pueden establecerse como complejos por sus propiedades y funcionamiento.
b) Presentan una serie de herramientas metodológicas y conceptuales, que pueden aplicarse a una diversidad de fenómenos y condiciones de investigación.
c) Presentan una serie de fenómenos genéricos que ocurren a muy diferentes niveles y que caracterizan la posibilidad teórica de esta perspectiva. Tales fenómenos incluyen:
   i) Transición de fase.
   ii) Desarrollo cognoscitivo.
   iii) Masa crítica.
   iv) Tele conexiones.
d) Presentan fenómenos genéricos de interacción entre elementos, en forma colectiva y automática.
e) Presentan fenómenos genéricos de auto organización.
f) Presentan fenómenos genéricos de tipo cíclico o periódico.

2.4.1 Metodología en el estudio de sistemas complejos

El primer paso que se enmarca dentro de la metodología para estudiar los sistemas complejos es el diagnóstico, es decir un análisis para conocer el estado general del sistema. El segundo paso es la acción o intervención, donde es deseable detener o incluso revertir los procesos de deterioro del sistema.

2.4.2 Diagnóstico

Se considera funcionamiento al conjunto de actividades del sistema como una entidad total, mientras que se denota como función al aporte que realiza cada elemento o parte del sistema

al funcionamiento general. En primera instancia se deben reconocer los fenómenos que ocurren en cierta ubicación geográfica y que están causando procesos de deterioro en los aspectos ambientales o sociales (García, 2006). Se debe establecer una construcción o conceptualización del sistema mediante modelos que representen la realidad basados en la explicación de su funcionamiento y que evidencie los hechos observados. Algunos puntos importantes en la fase de diagnóstico se mencionan a continuación (García, 2006):

a) Para la comprensión del fenómeno es clave establecer la relación entre estado y función de los elementos.
b) Se deben identificar un número suficiente de relaciones entre los elementos del sistema que permitan vincularlos con referencia al funcionamiento del conjunto como totalidad.
c) Las relaciones que determinan la estructura del sistema se establecen a priori y se continúan elaborando y replanteando.

Es importante recalcar que los estudios de diagnóstico están enfocados en la identificación de procesos y mecanismos que son una acumulación de eventos ocurridos en un intervalo de tiempo.

2.4.3 Intervención

Para intervenir en un sistema se requiere identificar los nuevos procesos que se deben establecer. La sustentabilidad del sistema intervenido estará en función de las propiedades estructurales (resiliencia, etc.) del sistema resultante. De manera que para llegar a ese estado ideal del sistema deben tomarse en cuenta las acciones que se van a implementar para alcanzar el objetivo deseado, esto exige un análisis de las maneras en las que se pueden modificar los procesos que actualmente rigen el funcionamiento del sistema.

Capítulo III Mecanismos para el despliegue de las fuentes de energía renovable

3.1 El despliegue de las Fuentes de Energía Renovable

El desarrollo y uso de las fuentes renovables para la generación de energía eléctrica implica la inversión de varios millones de dólares, así como la utilización de recursos materiales, técnicos y capital humano altamente capacitado, lo que repercute en mayores costos por kW/h generado. Por estas dificultades técnicas y económicas, y por los riesgos asociados a su implementación, es difícil lograr que los particulares, o incluso que las empresas más grandes inviertan en la generación de electricidad a partir de fuentes renovables, por lo tanto, es importante que los gobiernos actúen en consecuencia y establezcan las medidas adecuadas para propiciar la inversión en las fuentes de energía renovable (FER). El reto es lograr que se generen las estrategias y políticas necesarias para que se favorezca la inversión en la generación de electricidad a partir de las FER, considerando los ámbitos social, ambiental y económico pues sin este tipo de políticas las naciones no serán capaces de resolver sus problemas de escasez energética y de contaminación ambiental (Saidur et al., 2010). Una de las maneras de incentivar la generación de energía eléctrica mediante el uso de las FER, ha sido mediante los incentivos fiscales (Fischer, 2010; Izadian et al., 2013; Kung, 2012; Logan et al., 2008; RES LEGAL Europe, 2013; Singh, 2009), tales como el crédito fiscal a la inversión[19] y el crédito fiscal a la producción[20]. De acuerdo con Menz & Vachon (2006) si es posible el despliegue de las energías renovables mediante la integración y uso de las políticas públicas vigentes, es decir, se debe sacar provecho de la gama de políticas e incentivos con los que se disponga, desde luego, esta variedad de posibilidades es diferente en cada nación, estado, inclusive a nivel local o municipal. El éxito depende del avance de cada nación en cuanto a la formulación de políticas públicas integrales además de favorecer el auge de las

[19] Es un crédito fiscal a la producción que paga por kW/h de electricidad generada por fuentes de energía renovables calificadas y vendido por el contribuyente durante el año fiscal. Fuente: http://energy.gov

[20] Es un incentivo federal que provee apoyo financiero para el desarrollo de instalaciones de energías renovables, el monto varía, pero puede alcanzar hasta el 30% de la inversión, las energías participantes son eólica, solar, geotérmica, biomasa y otras, esto puede variar según la legislación de cada país. Fuente: http://energy.gov

energías renovables también consideren en todo momento que entre las metas principales sea el beneficio social y el cuidado del ambiente.

Para promocionar el desarrollo de las FER es necesario considerar los mejores aspectos de cada instrumento de promoción (Haas et al., 2011), e integrarlos en una estrategia renovada y sobre todo, que se adapte a las necesidades locales para que brinde los mejores beneficios, haciendo más viable y a la vez incentive la generación de electricidad a partir de las FER. Es esencial considerar los beneficios que puedan surgir de la integración entre las políticas de los organismos internacionales, nacionales y también las locales, por ejemplo Shrimali et al., (2015) reporta que en Estados Unidos, el crédito fiscal a la producción ha contribuido al aumento de 15 MW de energía eólica por estado cada año, además éste mismo instrumento en conjunto con las políticas a nivel estatal, han permitido que éstas últimas sean más eficaces, es decir son un catalizador para la eficacia de las políticas locales.
Por su parte los hallazgos de Lüthi & Prässler (2011) señalan que lo que el área de desarrollo de proyectos en energías renovables de las empresas buscan en las políticas públicas, es la simplicidad de los procesos administrativos, aumento de la seguridad jurídica, estabilidad del país, poca o nula corrupción, regulación del acceso a la red eléctrica y un mayor apoyo financiero (subsidios y créditos fiscales). Sin embargo, en algunas investigaciones (Dinica, 2006; Müller et al., 2011) se argumenta que enfocarse sólo a las políticas públicas en materia energética no es suficiente, pues éstas se deben traducir al lenguaje de los inversionistas y exponer los apoyos gubernamentales desde el punto de vista del potencial de riesgo y ganancia o rentabilidad para que de esta manera se favorezca el desarrollo de las FER.

Un excelente estímulo para el desarrollo y generación de electricidad a partir de las fuentes de energía renovable han sido las políticas públicas en materia energética. Los distintos instrumentos creados han tenido éxito, sin embargo, es necesario considerar otras variables involucradas como la estabilidad del país, apoyo gubernamental, aceptación social y educación ambiental. Las características geográficas desempeñan un rol importante pues si una determinada región no cuenta con recursos renovables, aunque los demás elementos estén en la mejor disposición no habrá ningún desarrollo. Otro importante estímulo para la implementación de las FER lo constituye el aspecto ambiental con implicaciones económicas

y sociales. El cambio de la producción de energía eléctrica basada en combustibles fósiles a una basada en una combinación fósil-FER, proporciona beneficios ambientales, pues se reducen las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) (Edenhofer et al., 2012). Blazejczak et al. (2013) argumentan que la descarbonización puede tener repercusiones económicas favorables pues se crean oportunidades en la industria manufacturera y de servicios. Es en ese sentido que se han implementado iniciativas como la "Estrategia de Crecimiento Verde", en la que se busca promover el crecimiento económico al mismo tiempo que los recursos naturales sigan suministrando los servicios para el bienestar social (Biggs et al., 2013), para lo cual es necesario catapultar la inversión e innovación, y que se traduzca en un crecimiento sustentable que además brinde oportunidades económicas.

Este tipo de iniciativas son un incentivo para el despliegue de las FER pues pretenden crear nuevos mercados como consecuencia de la demanda creciente de bienes, servicios y tecnologías verdes, además se generan nuevos empleos (OCDE, 2011; Wei et al., 2010), de hecho se habla de que con el uso de las energías renovables para la generación de electricidad se producen más empleos que con el uso de energías fósiles (Llera Sastresa et al., 2010), con lo cual se beneficia la sociedad, sobre todo si se trata de aprovechar los recursos locales (donde las poblaciones pueden autoabastecerse de energía con sus propios recursos disponibles), propiciando el empleo (Lehr et al., 2008), activando la economía y reduciendo el impacto ambiental y los costos adicionales asociados a las transmisión y distribución de la electricidad a grandes distancias. Además de la reducción del impacto de los gases de efecto invernadero a la atmósfera, también se generan empleos, es decir hay una estrecha relación por cada MW de energía eléctrica producido y el número de empleos generados, tal como lo indica un estudio realizado por Blanco & Rodrigues (2009) donde se analiza la relación MW producido-empleo en los estados miembros de la Unión Europea, concluyendo que las FER representan una fuente de empleo muy relevante en esa región.

En el caso de los países productores de petróleo y en particular, en el caso de México, un mecanismo para favorecer el desarrollo, investigación y despliegue de las FER lo podrían representar los ingresos excedentes por la venta de petróleo. En México, del año 2002 al año 2013, se presentaron ingresos extraordinarios por concepto de la venta de excedentes

petroleros con valor de 93,615 millones de dólares (Cámara de Diputados, 2017; El_Economista, 2015; SENER, 2017). Sin embargo, estos ingresos fueron destinados en su mayoría a las entidades federativas y no hubo un rendimiento de cuentas sobre el uso de dichos recursos. Eventualmente, en los últimos años han surgido numerosos casos de corrupción y enriquecimiento ilícito por parte de gobernadores de varios estados de la República.

A partir de 2014 los precios del petróleo experimentaron una disminución considerable, pasando de estar por encima de los 100 USD por barril en 2011 y 2012, a 43.29 USD por la misma cantidad en 2015 (Cámara de Diputados, 2017). Siendo que el petróleo aportaba casi un tercio del PIB nacional, esta baja en los precios del hidrocarburo, aunado a la disminución en la producción del mismo, repercutió en el aumento de los impuestos, el encarecimiento de la electricidad y la gasolina, entre otros productos. El gobierno no previó esta situación a pesar de ser evidente debido a la inestabilidad geo-política y por el agotamiento de los recursos petroleros a nivel nacional. Ese dinero pudo haber significado un apoyo sustancial para el desarrollo de las FER, y en la diversificación de inversiones financieras que pudieran proporcionar estabilidad económica en el mediano o largo plazo.

Otro aspecto importante que debe ser un incentivo para el desarrollo de las FER se ve reflejado en la economía. De acuerdo con los hallazgos de Sebri & Ben-Salha, (2014) que indican que el consumo de energía renovable tiene un impacto benéfico en la economía, y este impacto es bidireccional, además la apertura del comercio de las emisiones de CO_2 ha promovido el consumo de energía renovable y la transferencia de tecnologías verdes, lo cual propicia la inversión. Por su parte Pao & Fu, (2013) hallaron que en el caso de Brasil, hay una relación entre el consumo de energía renovable-crecimiento económico y viceversa, además el uso de las FER puede propiciar el crecimiento económico, la reducción de los GEI, y mejorar la competitividad. Lin & Moubarak, (2014) argumentan que hay una relación bidireccional entre el consumo de energía renovable-crecimiento económico en China, pero además, las emisiones de GEI, la fuerza laboral y el crecimiento económico tienen un impacto positivo en el consumo de energías renovables, lo cual representa un excelente incentivo para la inversión en la generación de electricidad a partir de las FER. Además del despliegue de la energía eólica (*onshore* y *offshore*), la tecnología solar fotovoltaica y la

biomasa para la generación de electricidad, Yildirim et al., (2012) hallaron que hay una relación causal entre la generación de energía a partir de desperdicios y el crecimiento económico, lo cual también contribuye al problema del almacenamiento de los desperdicios municipales.

La visión que las personas tienen sobre el despliegue de las energías renovables es un factor importante a considerar. La aceptación social puede ser un impedimento para el desarrollo de las FER (Li et al., 2013; Wüstenhagen et al., 2007), y por lo tanto, es un factor al que se le debe prestar mucha atención. Si un proyecto de desarrollo de FER tiene una alta aceptación social, entonces tendrá más probabilidades de obtener los permisos necesarios por parte de las autoridades competentes y lo más importante, las comunidades podrán interactuar activamente en estos proyectos, beneficiarse más de ellos y en determinado caso, tener más resiliencia ante sus efectos. Por el contrario, si no es bien visto por la sociedad, sus probabilidades de obtener los permisos necesarios serán bajas (McLaren, 2007). La disposición, aceptación y apoyo desempeñan un rol esencial, así que para el éxito de cualquier tecnología es fundamental considerar el aspecto social, es decir, cuál es el objetivo de la introducción de cierta tecnología y cuáles serán sus implicaciones para la población donde la tecnología será implementada, además de prever cuáles serán los beneficios económicos y el impacto ambiental.

Es importante enfatizar los beneficios, pero también el impacto ambiental a la comunidad, destacando la gama de posibilidades de acuerdo a las condiciones propias de la región. De acuerdo con una encuesta llevada a cabo por Gross (2007) en una comunidad australiana, un aspecto muy importante para que una comunidad acepte la implementación de alguna FER es la percepción de justicia en el proceso de desarrollo y el resultado final. La familiaridad de las personas con un cierto tipo de energía renovable puede propiciar su aceptación, tal como lo documentan Tampakis et al., (2013) conduciendo una encuesta sobre el despliegue de las energías renovables en una comunidad griega (quienes han tenido la experiencia con parques eólicos), hallaron que la comunidad piensa que el despliegue de nuevas FER traerá buenos resultados al disminuir las emisiones de CO_2 y mejorar la seguridad e independencia energética.

Con el desarrollo e implementación de proyectos de FER a nivel local, pueden surgir muchas alternativas de crecimiento económico en la región , tales como la manufactura de insumos dentro de la comunidad para los proyectos energéticos (Faulin et al., 2006), con lo que se puede propiciar la generación de empleo (Moreno & López, 2008; Virginia, 2012). En el documento de Reddy et al. (2006) sobre el impacto de la implementación de FER en pequeñas comunidades de la India, se concluye que se pueden generar abundantes beneficios ambientales, sociales y económicos. Por su parte Del-Rio & Burguillo, (2008), plantean que la implantación de fuentes de energía renovables a nivel local puede traer una serie de beneficios en varios aspectos, tales como pago por concesión de terrenos, frenar el fenómeno de la migración, autoabastecimiento y seguridad energética, capacitación a los miembros de la comunidad, diversificación de oportunidades productivas, cohesión social y desarrollo humano, distribución equitativa de los ingresos entre otros.

Walker (2008) enuncia algunos incentivos para el desarrollo de FER a nivel comunitario o local y entre los alicientes destacan, ingresos locales por el retorno de la inversión y por la electricidad vendida, generación de empleos, menores costos energéticos y suministro confiable, compromiso ético y ambiental entre otros. Por su parte Karger & Hennings (2009) sugieren que la generación distribuida o comunitaria puede contribuir a la protección del medio ambiente al reducir las emisiones de CO_2, sin embargo se deben tomar las medidas adecuadas para su implementación.

Otro incentivo para el despliegue de las FER lo representan los tratados internacionales para mitigar los efectos del cambio climático. En 1988 el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), en conjunto con la Organización Meteorológica Mundial (OMM), crearon el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (PICC). Es así como a finales de 1990 inician las negociaciones para integrar una Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, concretándose en 1992 en la segunda Cumbre de la Tierra celebrada en Rio de Janeiro, y cuyos productos fueron la Declaración de Rio y la Agenda XXI[21] (Martínez, 2004). Otro tratado lo representa el Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas (Moreno & López, 2008), que establece las

[21] Son programas para lograr acuerdos y compromisos internacionales para promover el desarrollo sustentable.

obligaciones legales para reducir las emisiones de GEI, de los países involucrados. De acuerdo con (Martínez., 2004), este tipo de tratados constituyen un mecanismo adecuado para contrarrestar los efectos del cambio climático a pesar de los costos económicos implicados. Por su parte Duic et al. (2003) menciona que este tipo de mecanismos proporcionan incentivos económicos para el despliegue de las FER, así como de tecnologías para mejorar la eficiencia del consumo y transformación de la energía, en contraste las energías renovables actúan como detonadores del éxito de ese tipo de tratados (Jäger-Waldau, 2007), y representan una excelente alternativa en el marco del desarrollo sustentable (Nautiyal & Varun, 2012), que es la columna vertebral de todos estos tratados.

En la actualidad existe una gran cantidad de factores y mecanismos que pueden propiciar el desarrollo e implementación de proyectos para la generación de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovable. Uno de los mecanismos que incentivan el desarrollo de las FER son las políticas públicas. Se debe contar con un conjunto de políticas adecuadas que apoyen e incentiven el desarrollo de las FER, haciendo uso de la gama de instrumentos a nivel internacional, nacional y local, eligiéndose los mecanismos más adecuados dependiendo de las necesidades particulares de cada región, pues el uso correcto e integración de este tipo de instrumentos puede potenciar los resultados, propiciando así la inversión y asegurando un mayor éxito en los proyectos de FER. Los gobiernos deben estar dispuestos a generar las políticas e instrumentos que aseguren el desarrollo e inversión en proyectos de energías renovables, considerando la fuerte competencia derivada de las fuentes de energía convencional, además es importante presentar dichas políticas de una manera que los inversionistas puedan entender (utilizar su lenguaje), y para ello se debe contar con expertos en políticas públicas, que también conozcan el ámbito empresarial, es decir personas que puedan ser un vínculo entre el gobierno, los inversionistas (empresas, comunidades, etc.) y entre los instrumentos científicos y tecnológicos necesarios (transferencia), pero que al mismo tiempo estén en la mejor disposición de velar en todo momento por el beneficio de las comunidades y que estén conscientes de los posibles daños al medio ambiente. Con la integración de estos mecanismos se puede incentivar la inversión en FER.

La concientización y aceptación por parte de la sociedad desempeñan un papel fundamental en el despliegue de las FER (Faulin et al., 2006), y para ello se deben exponer los beneficios sociales, ambientales y económicos de la implementación de proyectos de energía renovable. Si una población se interesa e involucra activamente en el desarrollo de las FER en su comunidad, habrá gran probabilidad de éxito, pero para ello es necesario que la comunidad tenga conocimiento sobre los beneficios e impactos ambientales que representarán este tipo de proyectos. Si se quiere incentivar la generación a nivel local, será necesario brindar a la población educación ambiental y en especial sobre las FER, pues es más fácil que una sociedad con mayor conocimiento de la materia, acepte el desarrollo de proyectos de infraestructura en FER. Para el éxito de la promoción y desarrollo de las FER en un marco sustentable, es menester concientizar a la población, deben estar informados sobre el uso de la energía, su impacto ambiental y los posibles efectos para ellos como comunidad. Esto debe alcanzarse mediante la educación y para eso se deben involucrar activamente todos los interesados, se deben promover los instrumentos necesarios para apoyar la inversión y establecer planes de acción que aseguren la efectividad de los proyectos, así como establecer los mecanismos de evaluación para medir el éxito y logro de los objetivos (Dincer, 2000).

Considerando la preocupación e interés que la comunidad manifieste en los beneficios ecológicos de la reducción de emisiones de GAE, mediante la disminución del uso de combustibles fósiles para generar electricidad, así como el crecimiento económico de la región, la autosuficiencia energética, la generación de empleos, la capacitación de la comunidad, la identidad y apoyo social, entre otros beneficios, en esa medida se impulsará el uso de las FER como algo necesario para alcanzar el desarrollo sustentable.

3.2 Políticas públicas que favorecer la generación de energía eléctrica a partir de Fuentes de Energía Renovable.

Las políticas públicas en materia energética y ambiental desempeñan un rol clave para el desarrollo de los proyectos de generación de electricidad a partir de las FER. Una política pública es un conjunto de actividades y decisiones que son formuladas de manera continua por un gobierno para dar solución a algún problema público (“Public Policy: An

Evolutionary Approach," n.d.). Son formuladas, implementadas y evaluadas por las autoridades de un sistema político (el estado y sus dependencias), y están sujetas a cambio (mejora) en función de la obtención de nueva información sobre sus efectos.

Lowi (1968) estableció tres categorías de políticas públicas las cuales son; de distribución, de regulación y de redistribución. Sin embargo, más tarde es agregada una cuarta categoría "autorregulación" por Robert H. Salisbury (Peters et al., 1977), que en conjunto rigen hasta la actualidad. Las políticas de distribución proveen al colectivo público de recursos económicos y de otro tipo (becas de investigación y desarrollo, subsidios, reducción de impuestos, etc.). Las políticas de regulación son de tipo legal y son normas para el comportamiento, de persuasión, dirección y guía (protección al consumidor, seguridad laboral, protección al ambiente, etc.). Las políticas de redistribución analizan la relación entre costos y beneficios, tomando recursos de un grupo y asignándolos a otro, redistribuyendo el ingreso y la riqueza de la parte más favorecida económicamente a las clases menos favorecidas (derechos civiles, beneficios a los grupos étnicos, política fiscal, seguridad social, pensiones, etc.). Finalmente las políticas auto-regulatorias, son aquellas que permiten a los grupos o individuos afectados por las regulaciones o estatutos, desarrollar o implementar nuevas regulaciones que protejan, beneficien o promuevan los intereses de los grupos o individuos interesados (Fischer et al., 2007; Peters et al., 1977).

Con base en Stewart et al. (2007) las políticas públicas también se pueden categorizar en materiales o simbólicas de acuerdo al tipo de beneficio que asignan. De esta forma, las políticas materiales asignan recursos concretos o cierto tipo de poder a sus beneficiarios pagos de asistencia social, subsidios a la vivienda, créditos fiscales, etc. Por su parte, las políticas simbólicas tienen que ver con los valores más arraigados que con los beneficios materiales (días de asueto a nivel nacional para honrar a los héroes de la patria, políticas relacionadas con la bandera o la religión en las escuelas, etc.).

Una política energética es el resultado de la toma de decisiones con respecto a problemas energéticos, que involucren los aspectos económico, ecológico y social, además de considerar cuestiones como la generación, transformación, distribución, transmisión y

consumo de la energía. Una política energética sustentable tiene como objetivo proporcionar los instrumentos necesarios para promover la inversión en investigación, desarrollo e infraestructura de proyectos de generación mediante fuentes de energía renovable. En la Tabla 2, se muestran los diversos mecanismos de promoción implementados por las políticas públicas en materia energética. En primer lugar, se hace una distinción entre instrumentos directos e indirectos. Las medidas directas tienen como meta estimular el desarrollo de las FER en el corto y mediano plazo, mientras que los instrumentos indirectos se centran en la mejora de las condiciones a largo plazo (Harmelink et al., 2006). También existen políticas regulatorias y voluntarias. Las políticas regulatorias son mecanismos empleados por el estado para intervenir en el mercado y favorecer los ámbitos económico, ecológico y social, además este tipo de instrumentos normativos pueden imponer restricciones como el consumo de energía (Lee & Yik, 2004). Los instrumentos voluntarios están basados en la disposición de los consumidores de pagar cuotas extras por la electricidad producida a partir de FER.

Los instrumentos directos a su vez, se pueden clasificar en aquellos que están enfocados en el precio[22] y enfocados en la cantidad[23], de los cuales pueden estar regidos por políticas regulatorias o voluntarias.

[22] Estos instrumentos se basan en indicadores de precios, es decir, los consumidores se inclinarán por la energía sustentable porque su precio es más bajo que la energía tradicional, para lo cual el estado establece el nivel de subsidio y deja que el mercado determine la cantidad.

[23] El estado establece el nivel de emisiones permitidas y se crea un mercado artificial de emisiones permitidas en base a un precio fijado por la escasez de emisiones concedidas (el estado establece la cantidad y deja que el mercado determine el nivel de subsidio). Este mecanismo hace que sea costoso contaminar porque los que más contaminan tienen que gastar más para pagar los derechos de emisión. A su vez, el instrumento también ofrece incentivos para reducir las emisiones, pues los interesados pueden obtener ganancias extras por la venta de derechos de emisión.

Tabla 2. Estrategias de promoción para apoyar el desarrollo de las Fuentes de Energía Renovable

		Directo		Indirecto
		Enfocadas al precio	**Enfocadas a la cantidad**	
Regulatorias	Enfocadas en la inversión	Incentivos a la inversión Incentivos fiscales	Sistema de licitación	Impuestos ambientales
	Basadas en la generación	Feed-in tariffs Incentivos basados en tarifas	Cuotas obligatorias basadas en el comercio de certificados verdes o Renewable Portfolio Standards	
Voluntarias	Enfocadas en la inversión	Programas de accionistas Programas de contribución	voluntarios	Acuerdos
	Basadas en la generación	Tarifas verdes (Green tariffs)		

Fuente: Adaptado de Haas & Green (2000)

Dentro de los mecanismos regulatorios y voluntarios existen dos categorías de instrumentos que se denominan; enfocados en la inversión (estrategias donde el apoyo financiero se provee mediante subsidios a la inversión, créditos con intereses bajos o créditos fiscales, generalmente por unidad de capacidad instalada de generación) y basados en la generación (el apoyo financiero se ofrece como un pago fijo o como un pago extra por unidad de energía generada). De los instrumentos regulatorios y enfocados en la inversión se encuentran los incentivos a la producción[24] y los incentivos fiscales[25]. De acuerdo con Mezher et al. (2012),

[24] Incentivos que se pagan por unidad de energía generada.

este tipo de instrumentos son útiles en las primeras etapas de despliegue de las tecnologías con FER, donde los costos son muy altos y cuando el despliegue es en zonas muy remotas.

Los instrumentos regulatorios basados en la generación denominados *Feed-in tariffs* (FITs), son incentivos de regulación cuyo propósito es aumentar el despliegue de las FER mediante el pago garantizado por kWh de electricidad generada a partir de FER por periodos fijos de tiempo. Estos precios pueden ser diferenciados de acuerdo con el tipo de tecnología, el tamaño de la instalación, la calidad del recurso y la ubicación del proyecto (del Río & Mir-Artigues, 2014; Wang et al., 2014), además este instrumento tiene garantizado el acceso a la red eléctrica y obliga a las compañías de servicios a comprar energía renovable de los beneficiarios de este mecanismo (Izadian et al., 2013).

De acuerdo con Nordmann (2003) los incentivos basados en tarifas tienen un gran potencial de mercado debido a que la ingeniería financiera se hace por el costo de la energía y no con el dinero de los impuestos, es decir, todos los clientes o compradores comparten la carga financiera. Los mecanismos voluntarios enfocados en la inversión son los programas de accionistas[26] y programas de contribución[27]. Las tarifas verdes o tarifas de electricidad verde son instrumentos donde los consumidores pueden comprar electricidad de un proveedor de electricidad verde. Una característica de este tipo de programa de financiamiento es que los participantes pagan voluntariamente una cuota por encima de los precios regulares por cada kWh (Haas & Green, 2000).

Los sistemas de licitación son mecanismos donde se anuncia una cantidad fija de capacidad para ser instalada y los contratos se dan después de un proceso de licitación predefinida que ofrece a los ganadores un conjunto de condiciones favorables para la inversión, incluidos los subsidios de inversión por kW instalado (Held et al., 2009; Müller et al., 2011).

---

[25] Es un instrumento de apoyo complementario para el despliegue de las FER mediante deducciones fiscales, donde los productores de electricidad renovable están exentos de ciertos impuestos con el fin de compensar la competencia desleal a que se enfrentan por parte de los productores de energía convencional.

[26] Mediante este mecanismo se venden acciones de una planta de FER a clientes particulares convirtiendo al cliente en accionista de la planta.

[27] Mecanismo mediante el cual las empresas o particulares hacen contribuciones voluntarias para investigación y desarrollo en proyectos con FER.

En el instrumento denominado *Renewable Portfolio Standards*, el estado establece la cuota o porcentaje de electricidad que será generada mediante fuentes renovables, es así como los productores, mayoristas, empresas de distribución, o minoristas tienen la obligación de suministrar o comprar un determinado porcentaje de electricidad a partir de FER. Esta obligación se facilita mediante el comercio de certificados verdes, y aquellos que no cumplan la obligación serán multados, por lo tanto, este mecanismo es un incentivo para invertir directamente en nuevas plantas de electricidad renovable o para comprar certificados verdes a los demás productores o proveedores. Los certificados son utilizados para acreditar el cumplimiento de la obligación y se pueden obtener a partir de la propia generación de electricidad renovable, comprando a otros productores electricidad renovable y sus respectivos certificados, o comprando únicamente los certificados sin la energía que avalan (Haas et al., 2011; Logan et al., 2008; Mezher et al., 2012; Policies, n.d.; Rio et al., 2012; Wang et al., 2014).

Finalmente, los mecanismos indirectos como los impuestos ambientales o ecológicos y los acuerdos voluntarios, incentivan de manera indirecta el desarrollo de las energías renovables. En el caso de los impuestos ambientales, se establecen impuestos adicionales a la electricidad producida mediante fuentes no renovables, se establecen impuestos a las emisiones de CO_2, y se exenta de impuestos a la electricidad generada a partir de FER. Los acuerdos voluntarios están basados en la buena disposición de los usuarios en pagar cuotas adicionales por la electricidad producida a partir de FER (Haas & Green, 2000).

En el caso de México, la Estrategia Nacional de Energía (2013-2027)[28], plantea dos objetivos estratégicos (crecimiento del PIB e inclusión social), contemplando la elaboración de políticas que favorezcan ámbitos como el transporte, almacenamiento y distribución, refinación y procesamiento, la producción de petróleo (exploración y explotación de las reservas actuales) y la transición energética fundamentalmente hacia el gas natural para la generación de electricidad. En este documento se establece la meta de alcanzar el 35% de la generación de electricidad mediante combustibles no fósiles para 2024, establecido en la Ley

[28] Establece las políticas de apoyo y planeación estratégica.

para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE), que es un instrumento de política pública directo del tipo regulatorio. Esta ley entró en vigor el 29 de noviembre de 2008 y estipula un mandato para la Secretaría de Energía con el fin de que este organismo desarrolle un inventario nacional de energía renovable para proporcionar información fiable sobre los recursos energéticos renovables en México, además menciona que para alcanzar el objetivo del 35% de energía a través de FER, se dará prioridad a energías renovables (como las hidroeléctricas de gran escala) y la energía nuclear, sin embargo, la ley no especifica los mecanismos de financiamiento para el desarrollo de las energías renovables y la transición energética (IEA, 2015), tampoco considera otras fuentes como la solar, eólica o la biomasa.

Como resultado de la LAERFTE, el 1 de septiembre de 2009 entró en vigor el Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (FOTEASE), que es un instrumento de regulatorio directo y cuyo objetivo es apoyar la Estrategia Nacional para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía, promoviendo la utilización, el desarrollo y la inversión en las energías renovables y la eficiencia energética. Entre los proyectos apoyados por este fondo destacan la electrificación rural en localidades remotas, estudios sobre el potencial eólico en México, estudios de factibilidad geotérmica, apoyos para la inversión privada en proyectos de geotermia, sustitución de luminarias tradicionales por lámparas ahorradoras y apoyos para estudios sobre potencial de recursos renovables. En 2006 surge la iniciativa del fondo Conacyt – SENER / Sustentabilidad Energética, que es un instrumento directo, cuyo objetivo es "impulsar la investigación científica y tecnológica aplicada, así como la adopción, innovación, asimilación y desarrollo tecnológico en materia de fuentes renovables de energía, eficiencia energética, uso de tecnologías limpias, y diversificación de fuentes primarias de energía" (Conacyt, 2017). Otra meta de este instrumento es fungir como puente entre la industria y el sector académico para apoyar la innovación y satisfacer las necesidades de la industria mexicana y el mercado.

En 2007 entró en vigor un mecanismo del tipo de política directa llamado PERGE[29], el cual contó con una donación de 70 millones de dólares por parte del Fondo para el Medio

[29] Proyecto de Energía Renovable a Gran Escala

Ambiente a través del Banco Mundial y entre sus objetivos están el reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, así como desarrollar la experiencia inicial en aplicaciones de energías renovables conectadas a la red comercial y apoyar con asistencia técnica al estado en la capacidad para evaluar, adquirir y administrar tales recursos. Es así como se construyó el parque eólico La Venta III de 101 MW de capacidad en el estado de Oaxaca con recursos de este fondo. Dicho programa estuvo vigente hasta 2016 (World Bank, 2014).

3.3 Proyectos de generación de energía eléctrica a partir de Fuentes de Energía Renovable en México.

Con la puesta en marcha de la reforma energética promulgada por el presidente de México se modificaron los artículos 25, 27 y 28 de la Constitución, básicamente para permitir que empresas privadas puedan participar en procesos de exploración y extracción de hidrocarburos mediante las modalidades de servicios, utilidad y producción compartida y por la expedición de licencias[30]. La Secretaría de Energía (SENER) es la encargada de establecer las áreas para la exploración y extracción y del diseño de los contratos. Lo relacionado a los aspectos fiscales y económicos corre a cargo de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP), mientras que la Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH) es la instancia encargada de realizar las licitaciones, evaluar y eventualmente seleccionar las ofertas que considere más apropiadas. La Comisión Reguladora de Energía (CRE) es la instancia encargada de la expedición de permisos para el transporte, almacenamiento, distribución, comercialización y venta de los hidrocarburos. Con respecto al mercado eléctrico la CRE será la encargada de la emisión de permisos para generación[31]. La Comisión Federal de Electricidad (CFE) se encarga de la planeación y control del sistema eléctrico nacional, en particular se encarga de realizar las actividades de generación, transmisión y distribución de la electricidad. Como ya se mencionó, la CRE puede extender permisos a particulares para generar electricidad. Esta energía puede ser vendida a la CFE o a otros particulares o puede ser para uso particular. La transmisión y distribución corren a cargo de la CFE.

---

[30] La participación en estos contratos es por medio de licitaciones

[31] Mediante alguna de las modalidades existentes; autoabastecimiento, cogeneración, producción independiente, pequeña producción, importación, exportación y usos propios (SENER, 2014).

3.3.1 Estatus de la energía solar

Con el término "energía solar" se hace referencia a la conversión de la luz proveniente del sol en formas que puedan ser aprovechadas por el ser humano. La energía solar puede ser aprovechada mediante tres tipos de tecnologías, como se muestra en la Figura 6. La tecnología solar fotovoltaica (PV) usa celdas hechas de un material semiconductor para convertir la luz solar en electricidad mediante el efecto fotoeléctrico (Kafafi et al., 2015). La tecnología solar para calefacción y refrigeración utiliza el calor del sol para suministrar agua caliente, calefacción e incluso proveer refrigeración mediante una tecnología denominada enfriadores térmicos. Finalmente, mediante la tecnología solar térmica concentrada se genera electricidad a través del uso de colectores o espejos que redireccionan la luz del sol a una torre donde se calienta un fluido hasta la ebullición. Con el vapor generado se hace trabajar una turbina que genera electricidad.

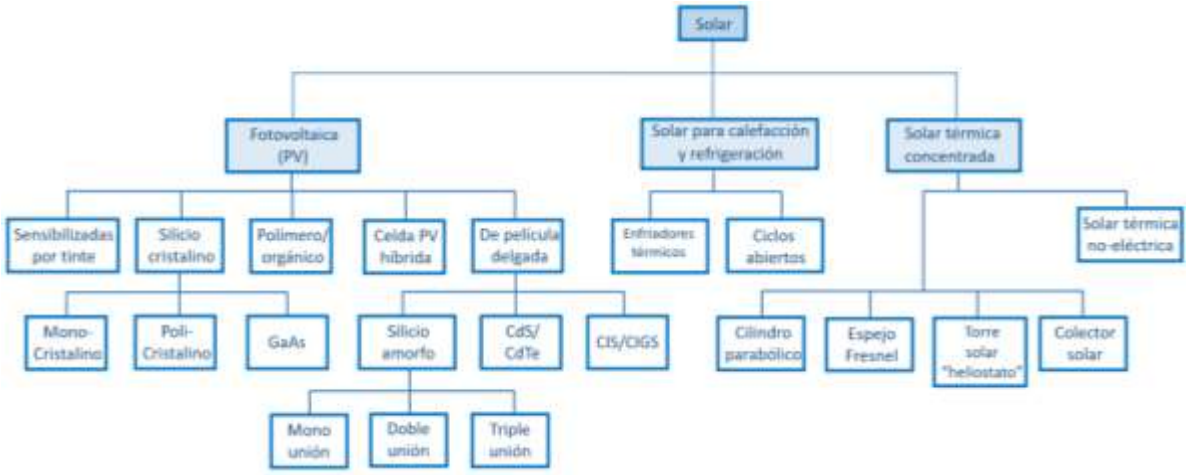

Figura 6. Tecnologías para aprovechar la energía solar. Adaptado de (Pérez-Denicia et al., 2017)

En el periodo comprendido entre el 1 de julio de 2014 al 30 de junio de 2015 en México se generaron 62 GW/h mediante energía solar. De esta cantidad 49 GW/h fueron generados por productores particulares y sólo 13 GW/h por la CFE, como se puede observar en la comparación mostrada por la Figura 7. En la Tabla 3 se puede apreciar el panorama nacional

con respecto a la generación mediante energía solar. Hay ocho proyectos de generación (seis particulares y dos de la CFE) ubicados en seis estados. El estado que lidera la generación mediante esta fuente es Baja California Sur con el 52% de la generación nacional. Los demás estados en conjunto generan cerca de la mitad del total. Los tipos de permisos otorgados por la CRE para generar electricidad mediante este tipo de energía han sido de autoabastecimiento y de pequeña producción.

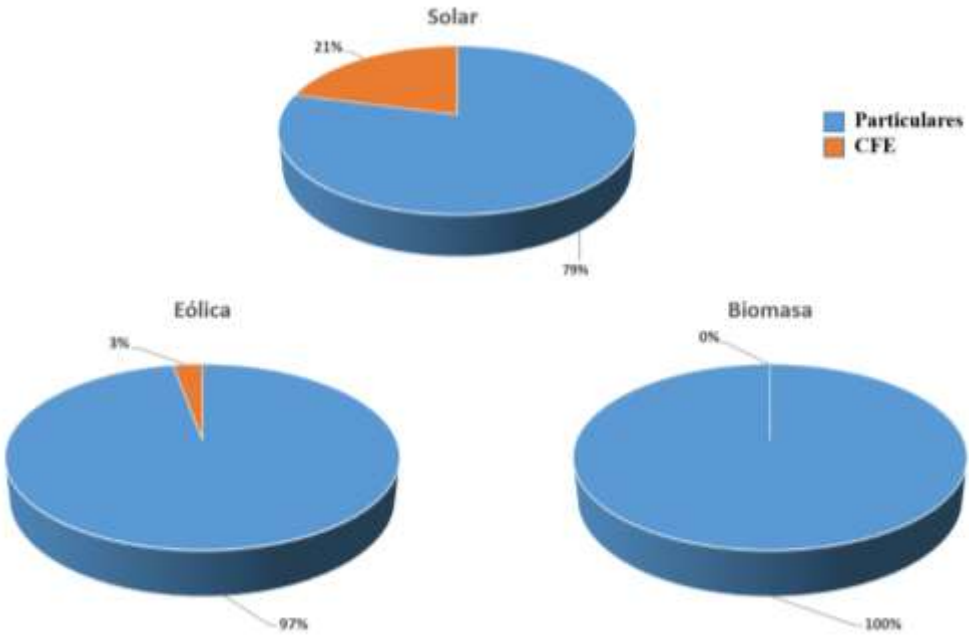

Figura 7. Porcentaje en la generación de electricidad mediante diferentes fuentes.

Tabla 3 Ubicación, capacidad instalada y generación de electricidad mediante energía solar en México.

Estado	Municipio	Proyecto	Tipo de permiso	Capacidad instalada (MW)	Generación (GWh/año)	Capacidad instalada estatal (MW)	Generación estatal (GWh/año)
Aguascalientes	Aguascalientes	Autoabastecimiento Renovable, S.A. de C.V.	Autoabastecimiento	1	1.66	1	1.66
Baja California	Mexicali	Cerro Prieto	CFE	5	10.83	6.1	12.6
	Tijuana	Plamex, S.A. de C.V.	Autoabastecimiento	1.11	1.76		
Baja California Sur	Mulegé	Santa Rosalía	CFE	1	2.07	39.8	32.5
	La Paz	Servicios Comerciales de Energía, S.A. de C.V.	Pequeña producción	38.75	30.43		
Durango	Durango	Tai Durango Uno, S.A.P.I. de C.V.	Pequeña producción	16.8	14.58	16.8	14.6
Guanajuato	Apaseo el Grande	Generadora Solar Apaseo, S.A.P.I. de C.V.	Autoabastecimiento	1	0	1	0
Sonora	Miguel Alemán	Coppel, S.A. de C.V.	Autoabastecimiento	1	0.66	1	0.66
Total						65.6	62

Fuente: adaptado de (INERE, 2017).

3.3.2 Estatus de la energía eólica

La energía eólica se refiere a la energía cinética del viento que puede ser aprovechada mediante una turbina eólica para generar electricidad. Las turbinas actuales generalmente tienen tres aspas que giran en un eje horizontal, Figura 8. Se puede generar electricidad mediante turbinas instaladas en tierra firme (*onshore*) y en el mar (*offshore*).

Figura 8. Proyecto eólico "Pier II" en el municipio de La Esperanza, Puebla.

Entre el 1 de julio de 2014 y el 30 de junio de 2015 se generaron 7,676 GW/h mediante energía eólica en México, los productores particulares generaron 7,455 GW/h y la CFE sólo 200 GW/h, lo que representa una enorme diferencia, Figura 7. Esta energía fue generada en nueve estados y a través de 30 proyectos, de los cuales 27 fueron particulares y tres operados por la CFE. El estado de Oaxaca es el gran líder pues genera el 92% del total nacional mediante esta fuente, esto también debido a sus excelentes recursos eólicos. Las modalidades de generación son autoabastecimiento, producción independiente y pequeña producción. En la Tabla 4 se pueden ver más detalles sobre el estatus de esta tecnología.

Tabla 4

Ubicación, capacidad instalada y generación de electricidad mediante energía eólica en México.

Estado	Municipio	Proyecto	Tipo de permiso	Capacidad instalada (MW)	Generación (GWh/año)	Capacidad instalada estatal (MW)	Generación estatal (GWh/año)
Baja California	Mexicali	Municipio de Mexicali	Autoabastecimiento	10	25.05	166.6	92.7
	Mulegé	Guerrero Negro (Puerto Viejo)	CFE	0.6	0.03		
	Tecate	Energía Sierra Juárez	Exportación	156	67.62		
Chiapas	Arriaga	Eólica de Arriaga, S.A.P.I. de C.V.	Autoabastecimiento	28.8	89.72	28.8	89.72
Jalisco	Ojuelos de Jalisco	Eólica Los Altos, S.A.P.I. de C.V.	Autoabastecimiento	50.4	166.7	50.4	166.7
Nuevo León	Santa Catarina	Eólica Santa Catarina, S.A. de C.V.	Autoabastecimiento	22	35.34	22	35.34
Oaxaca	El espinal	Bii Nee Stipa I, S.A. de C.V.	Autoabastecimiento	31	26.35	2096.35	7072.479
	El espinal	Eólica Zopiloapan (Bii Nee Stipa III)	Autoabastecimiento	70	278.58		
	El espinal	Stipa Nayaa (Bii Nee Stipa II), S.A. de C.V.	Autoabastecimiento	74	299.61		
	Ixtaltepec	Eléctrica del Valle de México, S. de R.L.	Autoabastecimiento	67.5	178.87		
	Ixtaltepec	Fuerza Eólica del Istmo, S.A. de C.V.	Autoabastecimiento	80	196.23		
	Juchitán de Z.	La Venta	CFE	84.65	218.04		
	Juchitán de Z.	Instituto de Investigaciones Eléctricas	Pequeña producción	0.3	0.15		
	Juchitán de Z.	Eólicos Mexicanos de Oaxaca I, S.A.	Autoabastecimiento	90	340.49		
	Juchitán de Z.	Parques Ecológicos de México, S.A.	Autoabastecimiento	79.9	90.29		
	Juchitán de Z.	Ce Oaxaca Cuatro, S. de R.L. de C.V.	Prod. Indep.	102	468.68		
	Juchitán de Z.	Eoliatec del Istmo, S.A. de C.V.	Autoabastecimiento	164	606.97		
	Juchitán de Z.	Eurus, S.A. de C.V.	Autoabastecimiento	250.52	1023.7		
	Juchitán de Z.	Eólica El Retiro, S.A.P.I. de C.V.	Autoabastecimiento	74	99.78		
	Juchitán de Z.	Fuerza y Energía BII HIOXO, S.A. de C.V.	Autoabastecimiento	226.8	645.619		
	Santo Domingo	Energías Ambientales de Oaxaca, S.A.	Prod. Indep.	102	355.31		
	Santo Domingo	Ce Oaxaca Dos, S. de R.L. de C.V.	Prod. Indep.	102	354.33		
	Santo Domingo	Ce Oaxaca Tres, S. de R.L. de C.V.	Prod. Indep.	102	373.27		
	Santo Domingo	Energías Renovables Venta III, S.A. de C.V.	Prod. Indep.	102.85	274.45		
	Santo Domingo	Eoliatec del Pacífico	Prod. Indep.	160	706.92		
	Unión Hidalgo	Parque eólico Piedra Larga Fase 2	Autoabastecimiento	137.5	471.63		
Quintana Roo	Benito Juárez	Yuumil Ik	CFE	1.5	2.11	1.5	2.11
San Luis Potosí	Charcas	Dominica Energía Limpia, S.A. de C.V.	Autoabastecimiento	200	39.97	200	39.97
Sonora	Puerto Peñasco	Energía Sonora PPE, S.C.	Pequeña producción	1.8	0.5	1.8	0.5
Tamaulipas	Reynosa	Compañía Eólica de Tamaulipas	Autoabastecimiento	54	176.16	54	176.16
Total						2621.45	7675.679

Fuente: adaptado de (INER E, 2017).

3.3.3 Estatus de la generación mediante biomasa

El término "biomasa" alude a la materia orgánica no fosilizada y biodegradable, que proviene de organismos vivos o que han estado recientemente vivos (Mao et al., 2015). La biomasa se puede aprovechar de tres formas diferentes, como se ilustra en la Figura 9. En su forma de calor y energía es usada mediante la combustión directa de la biomasa para proporcionar calor, iluminación, cocinar, etc. Con biocombustibles se alude a aquellos combustibles líquidos producidos por la conversión química y bioquímica de la biomasa. Por último, el biogás es una mezcla de hidrocarburos como el metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), ácido sulfhídrico (H_2S) y amoniaco (NH_3) (Weiland, 2010), producidos por la digestión anaeróbica y conversión termoquímica de la biomasa. En los tres casos se emplea el producto final y mediante su combustión se calienta un fluido hasta su ebullición. Posteriormente el vapor alimenta unas turbinas que generan electricidad.

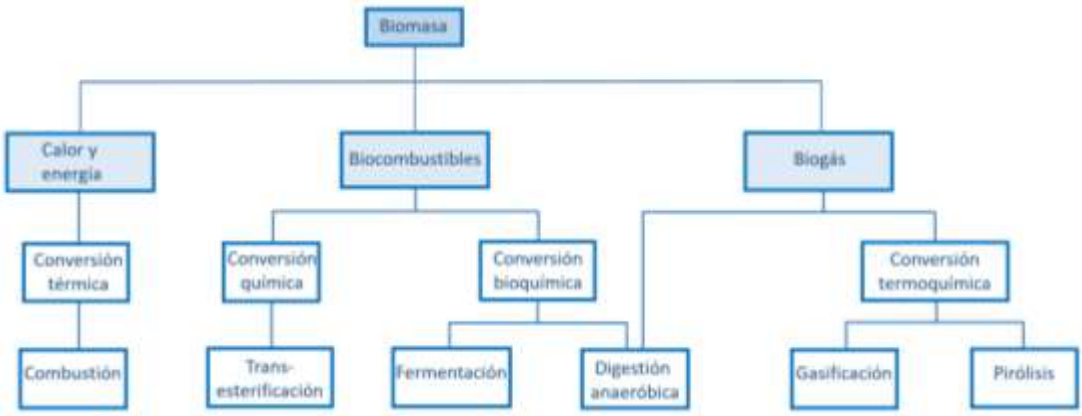

Figura 9. Tecnologías para aprovechar la biomasa. Adaptado de (Pérez-Denicia et al., 2017)

En México se generaron 1,414 GW/h mediante el uso de biomasa. Hay un total de 68 proyectos distribuidos en 21 estados de la República y como se muestra en la Figura 7, el total de la generación fue de producción privada y el estado líder es Veracruz pues produce el 38% del total. Las principales formas de biomasa o materias primas fueron la combustión directa de forrajes y el biogás. En la Tabla 5 se pueden ver más detalles sobre el estatus de esta tecnología.

Tabla 5

Ubicación, capacidad instalada y generación de electricidad mediante biomasa en México.

Estado	Municipio	Proyecto	Combustible	Capacidad instalada (MW)	Generación (GWh/año)	Capacidad instalada estatal (MW)	Generación estatal (GWh/año)
Aguascalientes	Aguascalientes	Energía Verde de Aguascalientes	Biogás	3.2	12.33	3.2	12.33
Chiapas	Huixtla	Huixtla Energía	Combustión directa	12	23.32	25.06	48.19
	Venustiano Carranza	Azucarera La Fé	Combustión directa	13.06	24.87		
Chihuahua	Delicias	Energía Lactea	Biogás	0.8	0.11	7.2	25.62
	Juárez	Energía Eléctrica de Juárez	Biogás	6.4	25.51		
Colima	Cuauhtémoc	Ingenio Quesería	Combustión directa	5.5	23.16	5.5	23.16
Durango	Durango	Ener-G	Biogás	1.6	2.03	1.6	2.03
Estado de México	Ecatepec de Morelos	La Costeña y Jugomex	Biogás	0.97	4.51	1.57	8.01
	Atizapán	Relleno Sanitario Puerto de Chivos	Biogás	0.6	3.5		
Guanajuato	León	Ecosys III	Biogás	1.75	1.36	1.75	1.36
Jalisco	Tlajomulco De Zúñiga	Atlatec, Planta El Ahogado	Biogás	2.85	7.58	87.82	214.97
	Ameca	Ingenio San Francisco Ameca	Combustión directa	4.5	14.79		
	Autlán de Navarro	Ingenio Melchor Ocampo	Combustión directa	6.1	27.2		
	Tamazula de Gordiano	Tamazula	Combustión directa	10.47	44.66		
	Tala	Ingenio Tala	Combustión directa	12	1.67		
	Tuxpan	Bio Pappel, Atenquique	Combustión directa	15.5	23.51		
	Tala	Tala Electric	Combustión directa	25	95.56		
	Zapopan	Renova Atlatec	Biogás	11.4	0		
Michoacán	Taretan	Ingenio Lázaro Cárdenas	Combustión directa	5.5	9.5	14.6	22.93
	Tocumbo	Ingenio Santa Clara	Combustión directa	9.1	13.43		
Morelos	Cuautla	Ingenio Casasano	Combustión directa	3.4	4.92	12	29.23
	Zacatepec	Ingenio Emiliano Zapata	Combustión directa	8.6	24.31		
Nayarit	Tepic	Ingenio El Molino	Combustión directa	10	14.11	10	14.11
Nuevo León	San Nicolás de Los Garza	Planta Norte (Gob. de Nuevo León)	Biogás	1.6	0	27.76	102.17
	Pesquería	Planta Dulces Nombres	Biogás	9.2	0.59		
	Salinas Victoria	Bioenergía de Nuevo León	Biogás	16.96	101.58		
Oaxaca	Acatlán de Pérez	Ingenio La Margarita	Combustión directa	7.3	25.25	20.8	54.39
	Tuxtepec	Ingenio Adolfo López Mateos	Combustión directa	13.5	29.14		
Puebla	Nopalucan	Empacadora San Marcos	Biogás	0.974	0	15.974	28.64
	Atencingo	Ingenio de Atencingo	Combustión directa	15	28.64		

Tabla 5 (*continuación*)

Querétaro	Santiago de Querétaro	Atlatec	Biogás	1.05	2.42	2.42	2.42
	Querétaro	TMQ Generación Energía Renovable	Biogás	1.373	0		
Quintana Roo	Othón P. Blanco	Ingenio San Rafael de Pucté	Combustión directa	9	23.81	9	23.81
San Luis Potosí	Tamasopo	Ingenio Alianza Popular	Combustión directa	6.4	31.66	40.7	148.31
	Ciudad Valles	Ingenio Plan De San Luis	Combustión directa	9	23.4		
	Valles	Ingenio Plan De Ayala	Combustión directa	16	24.26		
	El Naranjo	Ingenio San Miguel del Naranjo	Combustión directa	9.3	68.99		
Sinaloa	Culiacán	El Dorado	Combustión directa	9.6	7.62	23.6	24.91
	Los Mochis	Azucarera Los Mochis	Combustión directa	14	17.29		
Tabasco	Tenosique	Azsuremex	Combustión directa	2.5	2.92	41.7	57.96
	H. Cárdenas	Ingenio Benito Juárez	Combustión directa	14	38.12		
	Cárdenas	Santa Rosalía	Combustión directa	25.2	16.92		
Tamaulipas	Ciudad Mante	Ingenio El Mante	Combustión directa	5.75	8.97	13.25	31.63
	Xicoténcatl	Azucarera del Río Guayalejo	Combustión directa	7.5	22.66		
Veracruz	Mahuixtlán	Ingenio Mahuixtlán	Combustión directa	3.26	5.14	281.66	537.96
	Motzorongo	Ingenio El Refugio	Combustión directa	4	0.63		
	Jiotepec	Azucarera La Concepción	Combustión directa	4.2	0.53		
	Córdoba	Ingenio San Miguelito	Combustión directa	5.2	7.17		
	Lerdo de Tejada	Compañía Industrial Azucarera	Combustión directa	5.5	12.81		
	Lerdo de Tejada	Ingenio Nuevo San Francisco	Combustión directa	6.5	13.32		
	Córdoba	Ingenio El Carmen	Combustión directa	6.75	6.4		
	Cuichapa	Ingenio La Providencia	Combustión directa	7	10.33		
	Atoyac	Destilería del Golfo	Combustión directa	8	8.96		
	Pánuco	Fomento Azucarero del Golfo	Combustión directa	8	26.56		
	Cuitláhuac	Ingenio San José de Abajo	Combustión directa	8	11.6		
	La Antigua	Ingenio El Modelo	Combustión directa	9	12.22		
	Martínez de La Torre	Azucarera Independencia	Combustión directa	9.6	0.96		
	Atoyac	Ingenio El Potrero	Combustión directa	10	23.99		
	Lerdo de Tejada	Ingenio San Pedro	Combustión directa	10	33.42		
	Ixtaczoquitlán	Kimberly-Clark de México	Combustión directa	10	3.46		
	Tres Valles	Ingenio Tres Valles	Combustión directa	12	0		
	Tezonapa	BSM Energía de Veracruz	Combustión directa	12.75	25.14		
	Cuichapa	Ingenio San Nicolás	Combustión directa	14.4	44.73		
	Tezonapa	Central Motzorongo	Combustión directa	20	11.56		
	Úrsulo Galván	Ingenio La Gloria	Combustión directa	21.5	14.91		
	El Higo	Ingenio El Higo	Combustión directa	21.8	38.84		
	Carlos A. Carrillo	Cuenca del Papaloapan	Combustión directa	24.2	86.6		
	Tres Valles	Piasa Coogeneración	Combustión directa	40	138.68		
Total						**647.167**	**1414.14**

Fuente: adaptado de (INERE, 2017).

Capítulo IV. Abordaje del problema (construcción de modelos)

En el presente capítulo se hace una descripción en extenso sobre el proceso de abordaje y solución del problema. En primera instancia se hace un modelado del sistema, en base a los sistemas complejos, estableciendo el estado, función y relaciones de cada uno de sus componentes. Se analizan los recursos renovables disponibles en el país (solares, eólicos y biomasa). Se eligen las zonas a investigar (en relación con la existencia y calidad de sus recursos renovables), y se procede a la elección de los indicadores para construir un índice propio (pasando por un proceso de normalización, pesado y agregación), y su posterior cómputo. A continuación, se establecen las variables y restricciones del sistema para construir un modelo matemático que ayude a determinar cuál de las 3 tecnologías es la más viable en términos de sustentabilidad y saber que estados son los más adecuados para la generación de electricidad mediante las fuentes mencionadas. Finalmente se realiza una investigación en la literatura científica para determinar cuáles han sido los impactos de las fuentes de energía renovable en los aspectos social y ambiental en México. A partir de los datos obtenidos se puede establecer una ruta a seguir para la generación sustentable de energía, estableciendo sugerencias hacia la mejora del sistema, para que pueda funcionar de una manera más sustentable.

4.1 Modelado de la generación de electricidad mediante fuentes renovables.

La generación eléctrica mediante fuentes renovables representa un gran reto y puede observársele como un sistema, pues está formado por varios subsistemas con complejas interacciones entre ellos, por lo que difícilmente se podría comprender su comportamiento al analizar cada parte que lo integra por separado o simplemente conociendo su estado inicial. En este apartado se realiza un intento de modelado del sistema en cuestión siguiendo la teoría de los sistemas complejos. En el siguiente capítulo se ofrece el diagnóstico y una propuesta para mejorar el estado actual del sistema en base al estado ideal establecido en la Tabla 1.
El sistema está conformado por cuatro subsistemas que deben interactuar activamente entre sí para favorecer su correcto funcionamiento, tal como se ilustra en la Figura 10.

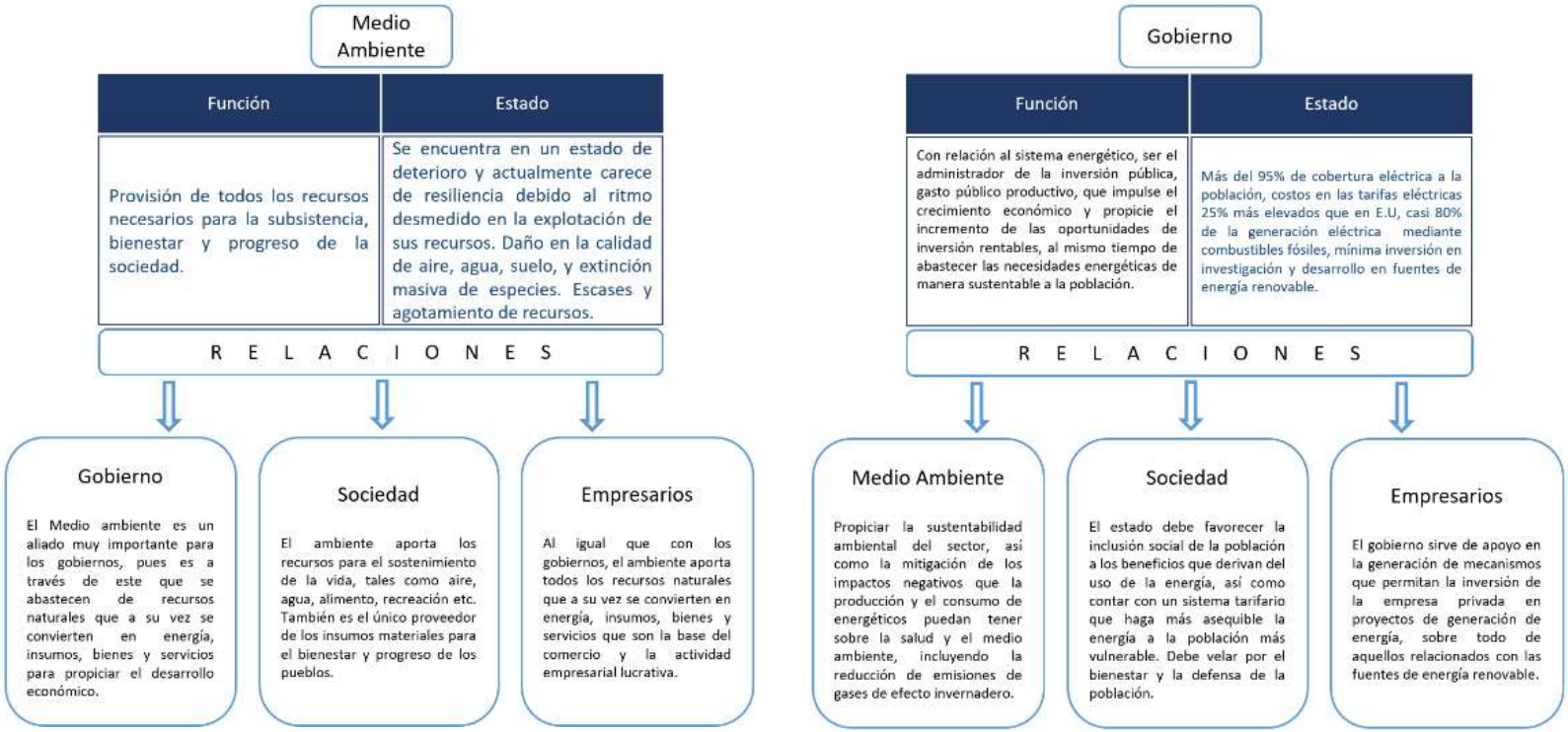

Figura 10. Elementos (función, estado y relaciones) del sistema de generación eléctrica mediante fuentes renovables en México. Datos de (Hernández Mota, 2010; INERE, 2017; Pérez-Denicia et al., 2017; SEGOB, 2013; SENER, 2013)

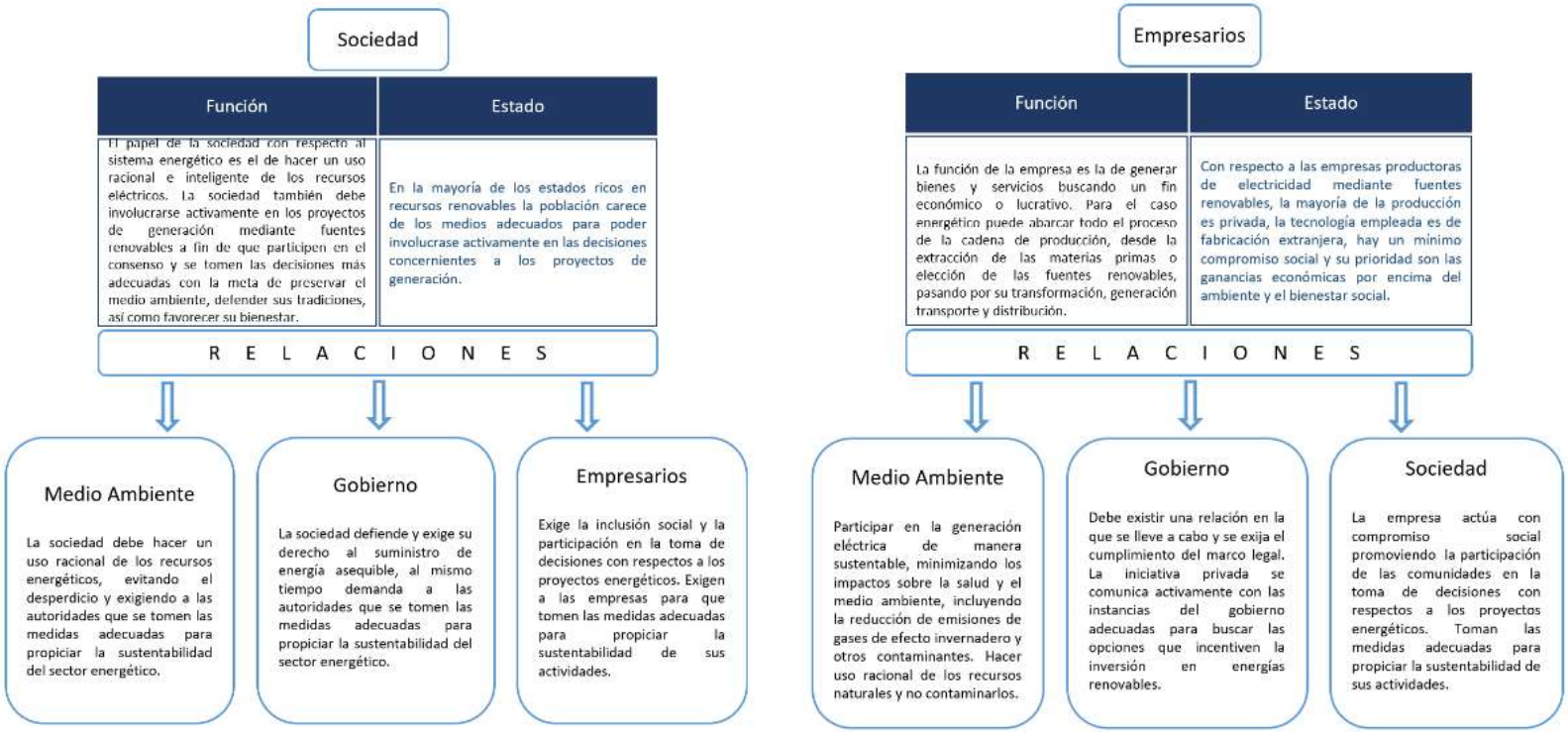

Figura 10. (*continuación*)

Cada subsistema tiene una función establecida (ideal) y un estado (real) que puede o no estar en concordancia con su función (en el caso del sistema analizado, la función y el estado no están en armonía). También hay un conjunto de relaciones entre cada miembro o subsistema que se podrían resumir de la siguiente manera; la relación del medio ambiente con los demás subsistemas fundamentalmente es la de actuar como el gran suministrador de los recursos para el sustento de la vida y de las actividades económicas para el bienestar y avance de la sociedad. La relación fundamental del gobierno con los demás subsistemas es la de ser el administrador y facilitador de los recursos disponibles para promover el desarrollo sustentable. También brindar protección y seguridad jurídica a los demás subsistemas. La sociedad participa de los beneficios de su actividad laboral, que son suministrados por el medio ambiente, administrados por el gobierno y convertidos en productos de valor por la empresa. La sociedad es la que "vigila" y se organiza para que los demás subsistemas funcionen "correctamente" de acuerdo con su función. La empresa es la transformadora de materias primas y productora de bienes y servicios. Es la encargada de mover el flujo y actividad económica mediante la inversión de capital para impulsar el bienestar.

La función del sistema eléctrico en su totalidad es la de generar electricidad mediante el uso de fuentes de energía renovable, y hacerlo de una manera sustentable (considerando los aspectos social, ambiental y económico). Abastecer de energía a la población a un precio accesible, así mismo que las comunidades participen de los beneficios derivados del uso de la energía. La generación no debe dejar una huella ecológica para la cual el medio ambiente no tenga la resiliencia suficiente y deben existir los mecanismos adecuados capaces de promover la inversión en investigación y desarrollo de las fuentes de energía renovable.

En las subsecciones siguientes se detallan otros mecanismos para concluir el diagnóstico e intervención y en el capítulo posterior se establece una propuesta para mejorar el estado general del sistema.

4.2 Recursos renovables en México

En México hay toda una variedad de recursos naturales y muchos de ellos de muy buena calidad, recursos que además son renovables por lo que se puede sacar ventaja de ellos al transformarlos en formas de energía que sean útiles para los seres humanos. El país cuenta con recursos geotérmicos, hidráulicos, solares, eólicos, biomasa, marítimos, etc. En este trabajo se abordan las tecnologías (solar, eólica y biomasa) y a continuación se presentan los principales recursos con los que se cuenta en el país.

4.2.1 Recursos solares

El así llamado "cinturón solar" está formado por cuatro franjas o cinturones que envuelven todo el planeta tierra. México está situado en su totalidad en el cinturón con las mejores condiciones de radiación solar (entre las latitudes 15° N a 35° N), tal como se ilustra en la Figura 11. Otras zonas pertenecientes a este cinturón son partes de sur América, el sur y norte de África, el medio oriente, la India, partes de China y Oceanía. Una condición clave para que se puedan desarrollar proyectos de generación mediante fuentes renovables es que los sitios cuenten con los recursos naturales necesarios, pues aunque se dieran las mejores condiciones económicas, la capacidad técnica y operativa, la comunidad acepte los proyectos y participe activamente en la toma de decisiones y todos los actores involucrados cumplan su rol de manera honesta y siguiendo a cabalidad los tres pilares de la sustentabilidad, si no existen los recursos renovables en dicha zona de ninguna manera tendrán éxito los proyectos.

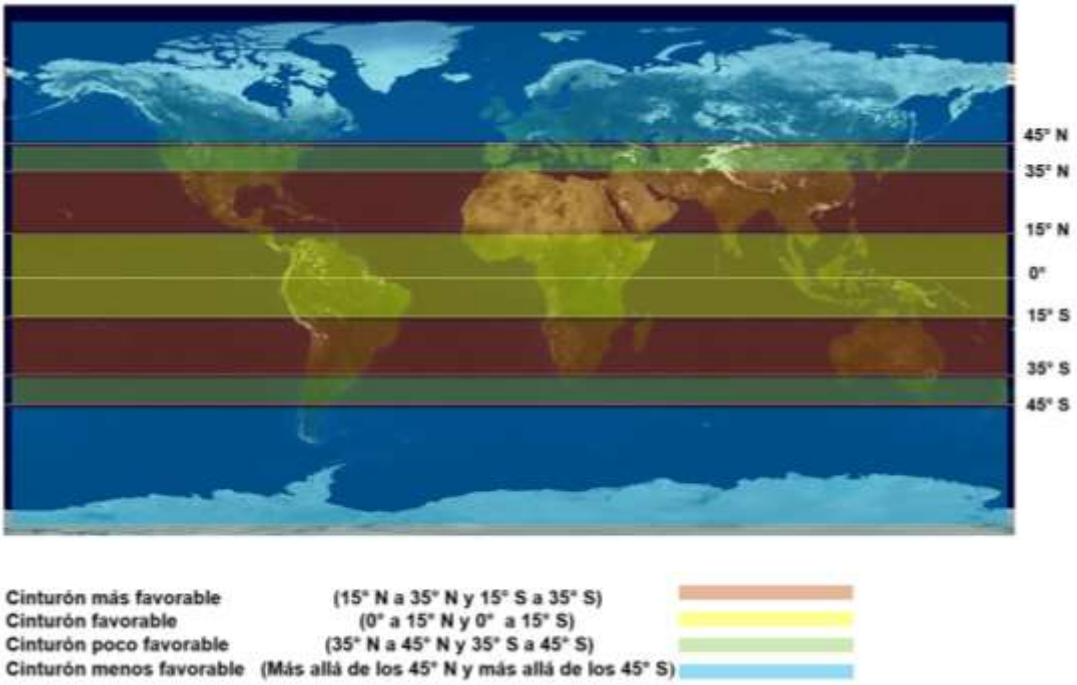

Figura 11. Distribución mundial de la radiación solar en cinturones o franjas. Fuente: (Pérez-Denicia et al., 2017).

De acuerdo con INERE (2017) en México hay un potencial para instalar hasta 5,000 GW mediante energía solar. Por su parte Villicaña-Ortiz et al. (2015) establece que la zona norte del golfo de México puede alcanzar niveles de 6.7 kWh/m^2/día, mientras que Hernández-Escobedo et al. (2015) concluye que, entre los estados de la costa del golfo, Tamaulipas tiene un potencial de 6.22 kWh/m^2/día. Dentro del territorio nacional se pueden distinguir zonas con mejores recursos solares que otras. De acuerdo con estas condiciones es que se establece un criterio de selección, aquellos estados con los mejores recursos. Para el caso de este estudio, se considerarán los estados cuyos niveles de insolación sean capaces de generar una cantidad $\geq$ 6 kWh/m^2. En la Figura 12 se puede observar un mapa solar de la República Mexicana con los niveles de insolación en todo el territorio.

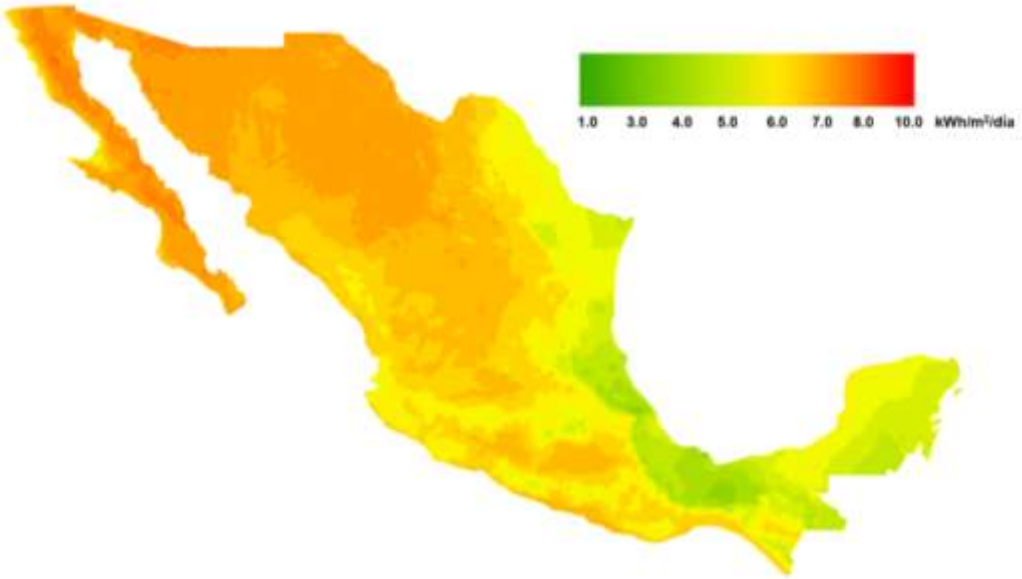

Figura 12. Niveles de insolación en términos de (kWh/m$^{2/}$día) en el territorio mexicano. Adaptado de (INERE, 2017).

A partir de este punto se obtiene una lista de los diez estados con las mejores condiciones solares, tal como se aprecia en la Tabla 6. Se puede destacar que en general los estados del norte del país son los que presentan los mejores recursos.

Tabla 6. Estados de México con las mejores condiciones solares (insolación capaz de generar ≥ 6 kWh/m^2) y eólicas (velocidades ≥ 6 m/s).

Solar	Eólica
Chihuahua	Oaxaca
Sonora	Tamaulipas
Baja California	Yucatán
Baja California Sur	Quintana Roo
Coahuila	Chihuahua
Zacatecas	Chiapas
Durango	Campeche
Oaxaca	Sonora
San Luis Potosí	Durango
Puebla	Puebla

4.2.2 Recursos eólicos

De acuerdo con INERE (2017) en México hay un potencial para la instalación de hasta 50 GW mediante energía eólica. No obstante, Cancino-Solórzano et al. (2011) concluye que el potencial eólico de México es de 40 GW. Por su parte Hernández-Escobedo et al. (2010) establece que hay áreas en la parte central del país con un potencial mayor a 10,000 kW por turbina instalada al año, además en la península de Yucatán se podrían generar hasta 15,000 kW por cada turbina anualmente y en el resto del país se puede alcanzar un potencial superior a 2,000 kW. En la Figura 13 se muestra un mapa eólico de México donde se aprecian las zonas con los mejores recursos eólicos. Para el caso de este trabajo se han seleccionado los diez estados con los mejores recursos, tal como se indica en la Tabla 6. El estado de Oaxaca sigue siendo el líder en recursos eólicos del país. Esto está en correspondencia con su generación actual (como ya se mencionó produce el 92% del total), sin embargo, que un sitio posea los mejores recursos renovables no necesariamente significa que sea el sitio más viable en términos de sustentabilidad, como se verá en secciones posteriores.

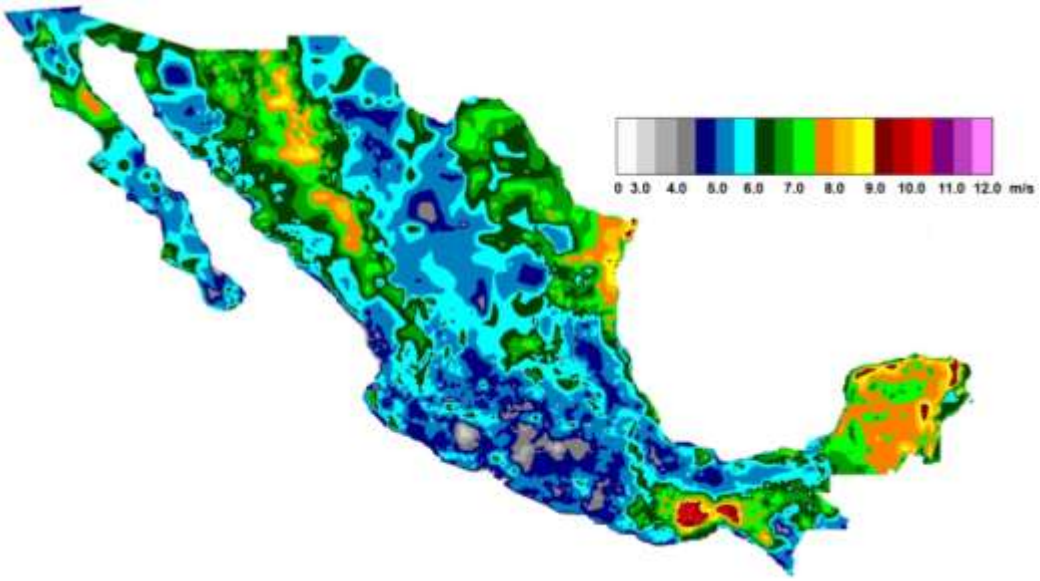

Figura 13. Recursos eólicos en México. Adaptado de (INERE, 2017)

4.2.3 Recursos de biomasa

En México la biomasa también es un recurso renovable muy abundante. De acuerdo con INERE (2017) en México se pueden instalar hasta 3,642 MW mediante biomasa. Aunado a lo anterior, García et al. (2015) concluye que el país tiene un potencial para la generación de hasta 1,713 PJ mediante biomasa. Tradicionalmente la biomasa (leña) ha sido ampliamente usada en México con fines de calefacción, para cocinar los alimentos y calentar agua, esto sobre todo en comunidades con ingresos bajos y en poblaciones indígenas. La biomasa puede provenir de una variada gama de fuentes (Long et al., 2013), y para el caso de este proyecto se considerarán las fuentes más abundantes y de mayor calidad. En la Figura 14 se muestran los mapas de recursos de diferentes tipos de biomasa en el país.

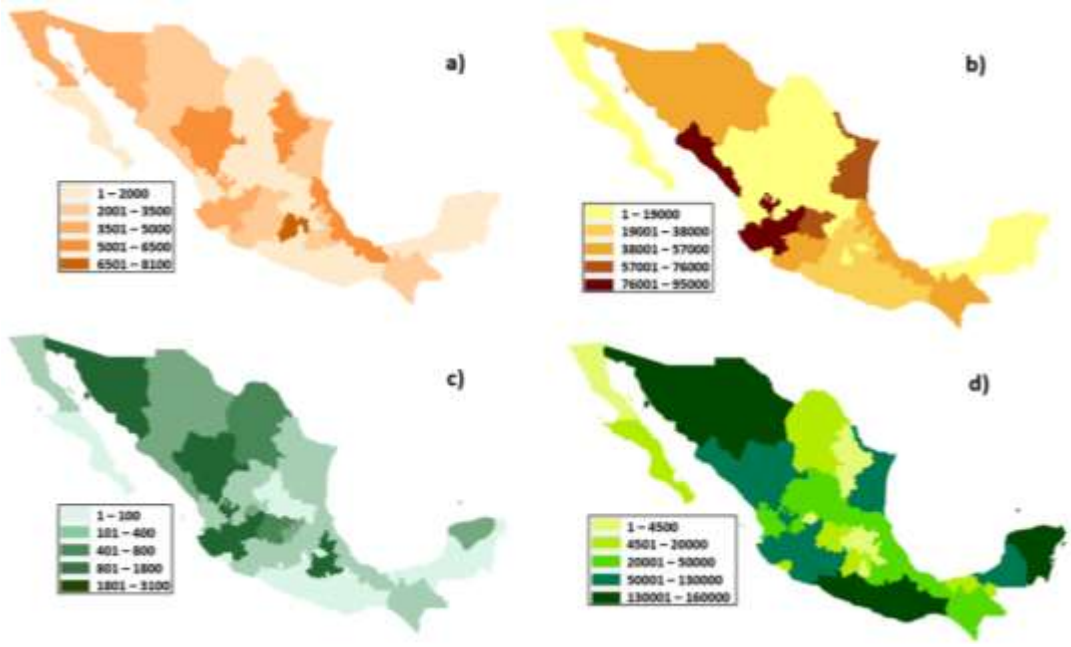

Figura 14. Recursos de biomasa proveniente de diversas fuentes en México (TJ/año). a) Desechos urbanos. b) Desechos agrícolas y forestales. c) Residuos ganaderos. d) Tala sustentable. Adaptado de (INERE, 2017).

En cada estado abundan diversos tipos de biomasa. Se realizó la agregación de los recursos más ricos en términos de (TJ/año) y a partir de eso se obtuvieron los diez estados con los mejores recursos, mostrados en la Tabla 7.

Tabla 7. Estados de México los mejores recursos de biomasa (TJ/año).

Biomasa	
Estado	**TJ/año**
Sonora	199204
Chihuahua	195845
Jalisco	182204
Sinaloa	178854
Yucatán	175104
Oaxaca	174503
Guerrero	174503
Tamaulipas	159504
Michoacán	140253
Durango	126704

A partir de este punto se cuenta con los estados líderes en recursos solares, eólicos y biomasa, como se ilustra en la Figura 15. En la sección siguiente se procede con la metodología para la elaboración del índice, así como la construcción del modelo matemático para determinar la viabilidad de las diferentes fuentes renovables y su ubicación ideal.

Figura 15. Ubicación de los mejores recursos solares, eólicos y de biomasa en México.

4.3 Metodología

Después de pasar por el proceso de selección del conjunto base de indicadores, se obtuvo el índice de la Tabla 8. Para la selección de los indicadores se siguió el diagrama de flujos de la Figura 5, adicionalmente fueron enmarcados de acuerdo con el modelo PER, Figura 4, y con los tres pilares del desarrollo sustentable (social, ambiental y económico). Se consideró un periodo de diez años (2000-2010) y se recabo la información para todos los estados de las Tablas 6 y 7.

Tabla 8. Conjunto base de indicadores enmarcados en el modelo PER dentro de los tres pilares del desarrollo sustentable.

	Presión	**Estado**	**Respuesta**
Social	Porcentaje de hogares con electricidad Usuario de energía eléctrica Delitos ocurridos	Esperanza de vida al nacer Porcentaje de la población migrante Porcentaje de la población en pobreza extrema Porcentaje de hogares con agua entubada Porcentaje de analfabetismo Tasa de desempleo	Escuelas en educación básica y media Población con acceso a servicios de salud Personal médico
Ambiental	Denuncias en materia ambiental Áreas urbanas	Puntos de descarga de aguas residuales sin tratar	Estaciones de transferencia de residuos sólidos urbanos Inversión pública en urbanización y medio ambiente Área reforestada Árboles plantados
Económico	Aeropuertos Transporte público PIB		Inversión pública en desarrollo económico Inversión pública en obras de electrificación

Se consideraron además datos ambientales, técnicos y económicos (*Life Cycle Assesment*) sobre las tres tecnologías consideradas en este trabajo, como se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9. Indicadores relacionados con las tecnologías renovables.

	Eólica	**Solar**	**Biomasa**	**Fuente**
Factor de planta	38%	16%	76.50%	(U.S. Department of Energy, 2017)
Costo por kW instalado	2346 USD	2025 USD	5792 USD	(NREL, 2017)
Costo por kW generado	0.07 USD	0.27 USD	0.08 USD	(U.S. Department of Energy, 2017)
Emisiones de CO_2 por kWh	17 g	102 g	380 g	(Sandoval García & Morales-Acevedo, 2014)
Vida útil	20 años	32 años	25 años	(NREL, 2017)
Consumo de agua (USD/kWh)	0	0	0.04 USD	(NREL, 2017)

Debido a la naturaleza de los datos (diferentes unidades) fue necesario pasar por un proceso de pesado, normalización y agregación para unificar la información. Se esperaba tener una unidad común para poder computar los datos del índice obtenido. Para el proceso de normalización primero se deben encontrar los valores máximos y mínimos de cada indicador.

$$Sea\ A \subset R\ \Rightarrow \delta\ es\ llamado\ el\ máximo\ valor\ de\ A\ si\ \delta \in A\ \wedge\ a \leq \delta, \qquad \forall\ a \in \mathrm{A}$$
$$Sea\ A \subset R\ \Rightarrow \lambda\ es\ llamado\ el\ mínimo\ valor\ de\ A\ si\ \lambda \in A\ \wedge\ a\ \geq\ \lambda, \qquad \forall\ a \in \mathrm{A}$$

$$R = números\ reales$$

Posteriormente se agrega el 15% de su valor a δ. Del mismo modo se resta el 15% de su valor a λ (valores que hemos denominado cota superior e inferior respectivamente), ecuaciones 1) y 2). Nuestra meta es obtener valores entre cero y uno, donde los indicadores con los valores más cercanos al cero son los más sustentables y aquellos más cercanos al 1 son menos sustentables. Para realizar esas operaciones se empleó la ecuación 3).

$$\alpha = \delta + \delta(0.15) \qquad 1)$$

$$\beta = \lambda - \lambda(0.15) \qquad 2)$$

$$\frac{xi-\beta}{\alpha-\beta} \qquad 3)$$

Donde:

δ → Valor máximo.
λ → Valor mínimo.
xi → Valor del i-ésimo indicador.
α → Cota superior.
β → Cota inferior.

Posteriormente se aplicó el proceso de agregación o media aritmética para obtener un sólo valor para cada indicador. Para lograr lo anterior se utilizó la ecuación 4).

$$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} xi \qquad 4)$$

Donde:

N → Número de indicadores.
i → Contador.
xi → Valor del i-ésimo indicador.

Una vez realizados los procesos anteriores debemos conocer cuál de los tres tipos de tecnologías es la más viable para la generación de electricidad en aquellos estados que cuentan con más de una fuente renovable, aquellos mostrados en la Tabla 10. Para conocer lo anterior se plantea la función objetivo y las ecuaciones del sistema, mostrados en las ecuaciones 5) y 6) respectivamente.

Tabla 10. Estados de la República Mexicana con excelentes recursos renovables en más de una categoría.

	Eólica	**Solar**	**Biomasa**
Chihuahua	✔	✔	✔
Durango	✔	✔	✔
Oaxaca	✔	✔	✔
Puebla	✔	✔	✖
Sonora	✔	✔	✔
Tamaulipas	✔	✖	✔
Yucatán	✔	✖	✔

Función objetivo:

$$Min = \sum_{i=1}^{7} \sum_{j=1}^{3} cij\ xij \qquad 5)$$

Ecuaciones del sistema:

$$\sum_{i=1}^{7} xij \geq Di, \quad Di = demanda\ de\ energía\ de\ la\ ciudad\ i, \quad j = 1,2,3 \qquad 6)$$

Donde:
i → Ciudad.
j → Tecnología.
c → Coeficiente correspondiente a la ij-ésima variable.
x → Variable del sistema.

Adicionalmente, de los diez estados que conforman cada categoría (solar, eólica y biomasa), deseamos conocer en cuál estado es más viable la generación de electricidad por cada tipo de tecnología. Para llevar a cabo esa meta se desarrolló el modelo representado en las ecuaciones 7) y 8).

Función objetivo:

$$Min = \sum_{i=1}^{3}\sum_{j=1}^{10} cij\ xij \qquad 7)$$

Ecuaciones del sistema:

$$\sum_{i=1}^{3} xij \geq MD, \quad MD = Demanda\ máxima\ de\ energía, \quad j = 1,..,10 \qquad 8)$$

Donde:
i → Tecnología.
j → Ciudad.
x → Variable del sistema.

A continuación, las ecuaciones del sistema son resueltas mediante el software de optimización lineal “Lingo”.

4.3.1 Descripción del modelo matemático

Se desea conocer en qué sitio(s) es más adecuado instalar energía solar, eólica y biomasa para la generación de electricidad descentralizada, para lo cual se plantea las variables establecidas en la Tabla 11.

Tabla 11. Variables del sistema.

Eólica	Variables asociadas (eólica)	Solar	Variables asociadas (solar)	Biomasa	Variables asociadas (biomasa)
Campeche	**x10**	B.C.	**x20**	Chihuahua	**x30**
Chiapas	**x11**	B.C.S.	**x21**	Durango	**x31**
Chihuahua	**x12**	Chihuahua	**x22**	Guerrero	**x32**
Durango	**x13**	Coahuila	**x23**	Jalisco	**x33**
Oaxaca	**x14**	Durango	**x24**	Michoacán	**x34**
Puebla	**x15**	Oaxaca	**x25**	Oaxaca	**x35**
Quintana Roo	**x16**	Puebla	**x26**	Sinaloa	**x36**
Sonora	**x17**	S.L.P.	**x27**	Sonora	**x37**
Tamaulipas	**x18**	Sonora	**x28**	Tamaulipas	**x38**
Yucatán	**x19**	Zacatecas	**x29**	Yucatán	**x39**

En el sistema existe la restricción de generar una cantidad mayor o igual a la demanda de cada estado:

$xi \geq$ demanda estatal de energía. xi = estado i y su tecnología asociada.

En los estados que poseen excelentes recursos en más de una categoría, se puede conocer que tecnología resulta más viable. A partir de esto se cuenta con el siguiente sistema de ecuaciones:

```
x11 + x12 + x13 >= 12197;
x21 + x22 + x23 >= 3300;
x31 + x32 + x33 >= 2699;
x41 + x42 >= 7626;
x51 + x52 + x53 >= 10254;
x61 + x63 >= 9003;
x71 + x73 >= 3691;
```

Y se tiene la función objetivo:

*Min = 0.1393*x11 + 0.1914*x12 + 0.2701*x13 + 0.147*x21 + 0.202*x22 + 0.2851*x23 + 0.1717*x31 + 0.2359*x32 + 0.333*x33 + 0.164*x41 + 0.2216*x42 + 0.1483*x51 + 0.2037*x52 + 0.2875*x53 + 0.142*x61 + 0.2752*x63 + 0.1395*x71 + 0.2704*x73;*

Donde:

x11, x12, ... x73 = Producto escalar entre los valores finales del índice de sustentabilidad y el índice relacionado con las tres tecnologías (Tablas 6 y 7).

También se desea conocer cuál de las tres tecnologías es la más idónea en términos de sustentabilidad, por lo que se plantean las ecuaciones del sistema y la función objetivo.

x10 + x11 + x12 + x13 + x14 + x15 + x16 + x17 + x18 + x19 >= y;
x20 + x21 + x22 + x23 + x24 + x25 + x26 + x27 + x28 + x29 >= y;
x30 + x31 + x32 + x33 + x34 + x35 + x36 + x37 + x38 + x39 >= y;

*Min = 0.1470*x10 + 0.1551*x11 + 0.1393*x12 + 0.1470*x13 + 0.1717*x14 + 0.1614*x15 + 0.1486*x16 + 0.1483*x17 + 0.1420*x18 + 0.1395*x19 + 0.2228*x20 + 0.2128*x21 + 0.1914*x22 + 0.1763*x23 + 0.2020*x24 + 0.2359*x25 + 0.2216*x26 + 0.1973*x27 + 0.2037*x28 + 0.20258*x29 + 0.2701*x30 + 0.2851*x31 + 0.3232*x32 + 0.2788*x33 + 0.2784*x34 + 0.3330*x35 + 0.3102*x36 + 0.2875*x37 + 0.2752*x38 + 0.2704*x39;*

Donde:

x10, x11, ... w39 = Producto escalar entre los valores finales del índice de sustentabilidad y el índice relacionado con las tres tecnologías (Tablas 6 y 7).

y = Restricción propuesta relacionada con la demanda de electricidad (14000 MW)

Posteriormente el modelo se resuelve mediante el lenguaje de programación lineal "Lingo". Los resultados son discutidos en el siguiente capítulo.

Capítulo V. Resultados y discusión

Son considerables las ventajas que las FER ofrecen con respecto a los combustibles fósiles, especialmente al hablar de la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera. Se piensa que las FER ofrecen la solución para todos los problemas, sin embargo, en la literatura científica se han documentado una serie de problemas derivados de la instalación de proyectos de generación mediante fuentes renovables. Los problemas han sido principalmente de índole social y ambiental, mientras que a la par, se reporta que no ha habido un claro beneficio económico para las comunidades anfitrionas de los proyectos. En las investigaciones enfocadas a la energía eólica (turbinas eólicas), biomasa (producción de bio-combustibles y uso de forrajes) y energía solar (fotovoltaica), se han hallado una serie de problemas que en general, afectan primordialmente a los pobladores de las comunidades y también al medio ambiente (Agüero-Rodríguez el at., 2015; Corona et al., 2016; Huesca-Pérez et al., 2016; Juárez-Hernández & León, 2014; Pasqualetti & Brown, 2014; Ruiz-Mendoza & Sheinbaum-Pardo, 2010; Selfa et al., 2015; Skutsch et al., 2011). Entre esos problemas se destaca la carencia de información de los pobladores, tampoco se les consulta en la toma de decisiones importantes y mucho menos se les ha permitido participar en ellas. Los pobladores no están conscientes de sus derechos y las autoridades competentes no se han ocupado en velar por ellos.

Otro problema recurrente es al momento del arrendamiento de las tierras. En este caso las empresas solamente buscan su beneficio personal por lo que otorgan pagos muy bajos por el arrendamiento y en algunos casos despojan a los pobladores de sus terrenos. Se reporta corrupción en este proceso y las autoridades están en colusión. Aunque los pagos por el arrendamiento son bajos, esto ocasiona disparidades económicas entre los pobladores pues la mayoría se encuentran en una situación grave de pobreza. Esto provoca recelo entre los habitantes lo que deriva en divisiones y tensión al interior de la comunidad. Como resultado del cambio del uso natural de las tierras (de cultivo), se generan otros problemas como la disminución en el suministro de alimentos y su encarecimiento, lo que aumenta la tasa de migración, por la pérdida de las actividades económicas tradicionales, y de la tasa de marginalidad.

Por otra parte, las empresas se hacen con el control de los recursos naturales y además es común la contaminación de fuentes de agua y suelo aledañas a los proyectos, sobre todo los relacionados con biomasa. Si bien se han creado fuentes de trabajo, la mayoría son temporales y normalmente sólo en la fase de construcción o armado de las plantas energéticas. También se encontró un fenómeno de género, pues en el caso de las mujeres que consiguen empleo en los proyectos, adquieren una sobre carga de trabajo pues además de acudir a laborar deben cumplir con sus obligaciones domésticas lo que duplica su carga de trabajo durante el día. También se halló que los proyectos generan alteraciones en el sentido de identidad y permanencia del paisaje, y esto debido a que en estos casos se trata de poblaciones indígenas con costumbres y creencias muy arraigadas.

Debido a la ubicación y ocurrencia natural de las fuentes renovables, éstas existen en sitios alejados de las grandes ciudades y en lugares con altas tasas de población indígena o en un estado de marginalidad y pobreza considerable. Los habitantes de esas comunidades no están preparados para afrontar los retos que traen consigo los proyectos energéticos. No cuentan con la preparación ni asesoramiento adecuado para poder participar en los beneficios de los proyectos renovables. Aunado a ello, las autoridades no cumplen con su función y no protegen a los pobladores, exigiendo que se respeten sus derechos, pero, además informando, asesorando y capacitando a las personas. Por otra parte, la visión de los empresarios está enfocada en el lucro, en el retorno económico y la generación de riqueza que no están dispuestos a compartir con los más pobres, carecen de compromiso social y están coludidos con las autoridades en actos de corrupción que sólo beneficia a estos dos actores. Mientras los valores y objetivos de la clase política y empresarial no cambien se seguirán presentando estos casos en los futuros proyectos energéticos.

Por otro lado, no se están generando los empleos prometidos debidos a la falta de personal capacitado y porque la tecnología empleada en la transformación de la energía es importada de otras naciones más innovadoras. Para que se puedan generar empleos duraderos y bien remunerados, la tecnología se debe diseñar y manufacturar en el país, por lo que las autoridades en conjunto con los empresarios deben comprometerse en la inversión de recursos económicos y en la formulación de mecanismos que promuevan la investigación y

desarrollo en tecnologías renovables. Otra parte fundamental es el involucramiento de las comunidades en el sistema energético. La capacitación de la sociedad es una pieza fundamental para lograr altos índices de innovación en los proyectos de desarrollo e implementación en fuentes de energía renovable (Llera Sastresa et al., 2010), de manera que no se debe seguir marginando a los pobladores, en lugar de eso, entablar diálogos con las comunidades que permitan generar un clima de confianza entre todos los actores (gobierno, empresarios, sociedad) para dar movilidad al conocimiento y llegar así a acuerdos que beneficien a todos, integrando también al medio ambiente en este desarrollo sustentable.

Los principales problemas prevalecen en zonas donde la población tiene menos escolaridad y donde hay más pobreza (Oaxaca, Guerrero, Chiapas), generalmente son comunidades con un alto nivel de marginación y población indígena, acontecimientos que en su conjunto ocasionan que la población tenga una menor capacidad de actuar favorablemente ante los retos que traen consigo los proyectos energéticos y que además carezcan de resiliencia. Esto también queda manifestado en el cómputo final del índice de sustentabilidad realizado en este trabajo, Tabla 12, donde los estados mencionados tuvieron el peor desempeño, lo que los hace las entidades más vulnerables, menos competitivas y capacitadas, así como con menos herramientas (intelectuales, sociales, etc.) para poder beneficiarse de los proyectos energéticos.

Las funciones y relaciones del sistema no se están cumpliendo de manera correcta, por lo tanto, es de esperarse que el estado de cada uno de los subsistemas no sea el adecuado. Las relaciones entre los integrantes del sistema no se llevan a cabo de manera armoniosa, en algunos casos como en la relación empresarios-sociedad no existe pues los primeros no involucran ni consideran en las decisiones importantes a los pobladores. La relación gobierno-sociedad tampoco funciona adecuadamente pues las autoridades no protegen los derechos de los pobladores ni promueven acciones conjuntas con los empresarios para incluir a la sociedad y que todos obtengan un beneficio (gobierno-empresarios-sociedad). En muchos casos las relaciones solamente son unidireccionales por lo que algunos miembros del sistema son relegados o ignorados (sociedad, ambiente). En las relaciones entre el gobierno y los empresarios con el medio ambiente (gobierno-empresarios-medio ambiente) sucede algo

similar que con la sociedad. Los dos primeros actores de la terna sólo buscan un beneficio propio y no se respetan los "derechos" del ambiente, no se cumplen las leyes para la protección ambiental ni se procede en el marco del desarrollo sustentable.

Tabla 12. Matriz con el desempeño final por estado en el índice de sustentabilidad

Estado	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	$\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_i$
B.C	0.2222	0.97471	0.9456	1	0.0067	0.1835	0.8346	0.9951	0.4897	0.9061	0.56	0.0286	0.1833	0.25	0.2885	0.0348	0.2543	0.9508	0.9132	0.39	0.3617	0.6093	0.5949	0.6079	0.5244
B.C.S.	0.4444	0.93786	0.3506	0.0352	0.9693	0.1462	0.7052	0.9842	0.9778	0.8321	0.45	0.0563	0.2925	0.44	0.3217	0.0738	0.0079	0.9926	0.6283	0.41	0.319	0.4535	0.1143	0.9971	0.4975
Campeche	0.6667	0.22614	0.9982	0.0952	0.0516	0.1594	0.3273	0.9907	0.9885	0.9632	0.78	0.2639	0.3742	0.58	0.6108	0.3848	0.0409	0.7871	0.3421	0.85	0.3441	0.2916	0.0553	0.2673	0.4766
Chiapas	0.4444	0.6344	0.9805	0.396	0.0042	0.2007	0.6428	0.9916	0.8884	0.8829	0.17	0.8673	0.69	0.75	0.9121	0.9634	0.1751	0.6148	0.087	0.93	0.8759	0.0887	0.9868	0.8093	0.6244
Chihuahua	0.6667	0.7199	0.972	0.0661	0.046	0.251	0.6249	0.9858	0.8298	0.2919	0.06	0.0881	0.1667	0.48	0.2563	0.1012	0.053	0.9691	0.5011	0.29	0.2248	0.8954	0.3491	0.6415	0.4388
Coahuila	0	0.39213	0.6722	0.1159	0.0025	0.1583	1	1	1	0.9743	0.17	0.0352	0.1067	0.15	0.3945	0.0384	0.0727	0.6407	0.6088	0.08	0.091	0.5098	0.287	0.5295	0.3762
Durango	0.8889	0.15822	0.9814	0.0959	0.0985	0.1704	0.4372	0.9805	0.9513	0.4616	0.55	0.1554	0.2042	0.47	0.5115	0.111	0.0101	0.9027	0.1438	0.13	0.3777	0.3369	0.2019	0.9193	0.4270
Guerrero	0.6667	0.56416	0.6959	0.2624	0.0464	0.2014	0.7877	0.9962	0.9574	0.2904	0.63	0.7387	0.8742	0.74	0.6858	0.8951	0.1524	0.7467	0.1691	0.61	0.8436	0.5263	0.6406	0.8752	0.6082
Jalisco	0.6667	0.6408	0.9769	0.2824	0.0056	0.1575	1	1	1	0.7433	0.12	0.0747	0.185	0.19	0.4151	0.1439	0.3199	0.5834	0.5093	0.57	0.4404	0.6136	0.3076	0.0263	0.4572
Michoacán	0.2222	0.319	0.9641	0.5471	0.0083	0.1717	0.6609	0.9964	0.8923	0.8144	0.22	0.3241	0.3108	0.32	0.2525	0.4988	0.3322	0.4792	0.2495	0.47	0.774	0.1256	0.537	0.7266	0.4674
Oaxaca	0.2222	0.74321	0.9938	0.4909	0.0036	0.2011	1	1	1	0.9287	0.48	0.6748	0.72	0.88	0.5414	0.8701	0.2159	0.8629	0.148	0.71	0.8172	0.3595	0.5557	0.8547	0.6364
Puebla	0.6667	0.68364	0.9755	0.5541	0.0008	0.1692	0.696	0.9916	0.8317	0.9453	0.26	0.4036	0.4233	0.35	0.7348	0.511	0.8879	0.1346	0.3608	0.64	0.775	0.325	0.5629	0.5451	0.5595
Q. Roo	0.4444	0.63576	0.9831	0.0008	0.2275	0.1546	0.7516	1	0.8532	0.1193	0.94	0.1425	0.2083	0.41	0.5142	0.1689	0.1282	0.6961	0.6925	0.74	0.525	0.8738	0.5059	0.8582	0.5239
S.L.P.	0.6667	0.07102	0.9814	0.3303	0.0091	0.1729	0.5276	0.9839	0.9134	0.9064	0.26	0.2849	0.4625	0.73	0.5081	0.3604	0.1516	0.2908	0.1527	0.26	0.4143	0.5247	0.4215	0.7837	0.4653
Sinaloa	0.4444	0.73311	0.9594	0.9283	0.0013	0.1718	0.6714	0.8964	0.8695	0.9875	0.94	0.0828	0.2542	0.27	0.3259	0.1811	0.2031	0.8179	0.3472	0.59	0.1928	0.6739	0.2907	0.7686	0.5251
Sonora	0	0.90366	0.9654	0.3259	0.0026	0.1612	0.8247	0.9935	0.8598	0.9755	0.15	0.0665	0.1542	0.3	0.4734	0.0634	0.0503	0.9295	0.6128	0.24	0.2109	0.9964	0.2603	0.6158	0.4640
Tamaulipas	0	0.98636	0.9771	0.1753	0.0007	0.1582	0.8096	0.9958	0.8778	0.9871	0.34	0.0764	0.1767	0.42	0.157	0.0982	0.2382	0.8379	0.5407	0.4	0.2436	0.4698	0.3263	0.5781	0.4530
Yucatán	0.6667	0.69142	0.9682	0.0047	0.1286	0.1554	0.3841	0.984	0.9078	0.0613	0.08	0.2364	0.1725	0.37	0.3343	0.4409	0.3671	0.6863	0.5633	0.88	0.3462	0.7494	0.2062	0.872	0.4690
Zacatecas	0.8889	0.69004	0.9821	0.4836	0.0119	0.1644	0.7219	0.9951	0.6981	0.9601	0.3	0.1625	0.2517	0.29	0.1922	0.2165	0.0574	0.7624	0.1405	0.31	0.5319	0.4885	0.2808	0.9608	0.4809

A Aeropuertos
B Árboles plantados
C Transporte público
D Puntos de descarga de aguas residuales sin tratar
E Denuncias en materia ambiental
F Esperanza de vida al nacer
G Inversión pública en desarrollo económico
H Inversión pública en obras de electrificación
I Inversión pública en urbanización y medio ambiente
J Estaciones de transferencia de residuos sólidos urbanos
K Población migrante
L Porcentaje de población en pobreza extrema
M Porcentaje de hogares con agua entubada
N Porcentaje de hogares con electricidad
O Usuarios de energía eléctrica
P Porcentaje de analfabetismo
Q Áreas urbanas
R Área reforestada
S Escuelas en educación básica y media
T Tasa de desempleo
U Población con acceso a servicios de salud
V Delitos ocurridos
W Personal médico
X PIB

En la Figura 16 se observa como las interacciones entre los actores del sistema ocurren de manera dispareja, así como las relaciones. Existe una interacción entre el gobierno y los empresarios (en color naranja) donde no se considera a la sociedad ni al medio ambiente. En esta interacción se toman las decisiones entre el gobierno y los empresarios y se le imponen sin consulta a la sociedad, y al ambiente se le aplica presión (uso desmedido y deterioro de los recursos). Hay una relación bidireccional entre el gobierno y los empresarios (se entienden bien), mientras que la única otra relación es entre los dos actores restantes y también es bidireccional. Esta relación es antigua pues la sociedad depende de los recursos proporcionados por el ambiente para la supervivencia, sin embargo, en los últimos tiempos no ha sido muy sustentable. Esto en parte por el desconocimiento de la sustentabilidad y lo que implica.

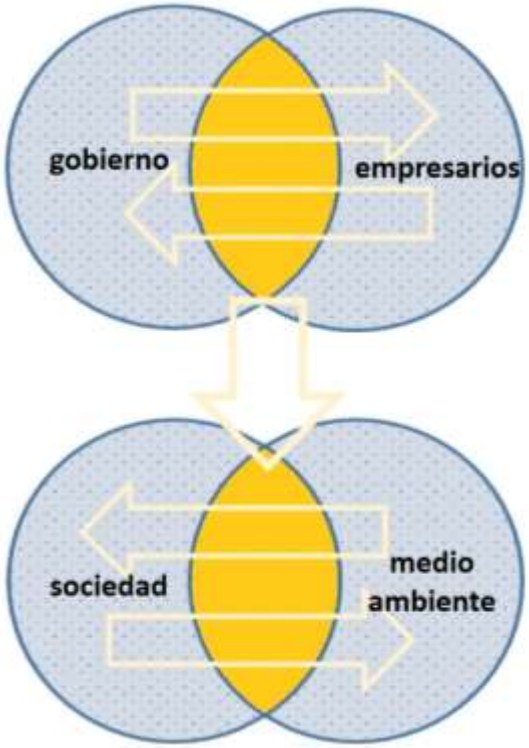

Figura 16. Interacción y relaciones desiguales en el sistema energético.

Para que haya un balance adecuado entre todos los miembros y el sistema pueda funcionar correctamente, debe haber una vinculación entre todos sus subsistemas, para lo cual se propone el diagrama mostrado en la Figura 17. Todos los integrantes deben cumplir su

función y las relaciones deben darse horizontal y bidireccionalmente para que se produzca un círculo virtuoso donde fluya la confianza, el entendimiento mutuo, el conocimiento y todos los actores exijan a los demás el cumplimiento de sus funciones. Se debe cuidar especialmente la relación con el medio ambiente y que esta se lleve a cabo en un marco de desarrollo sustentable. Es necesario que haya un punto de interacción entre todos los miembros (intersección indicada en verde) y que no se tomen decisiones sin considerar a un sólo subsistema. La relación es bidireccional y horizontal, todos importan y el bienestar de cada miembro es la prioridad de todos.

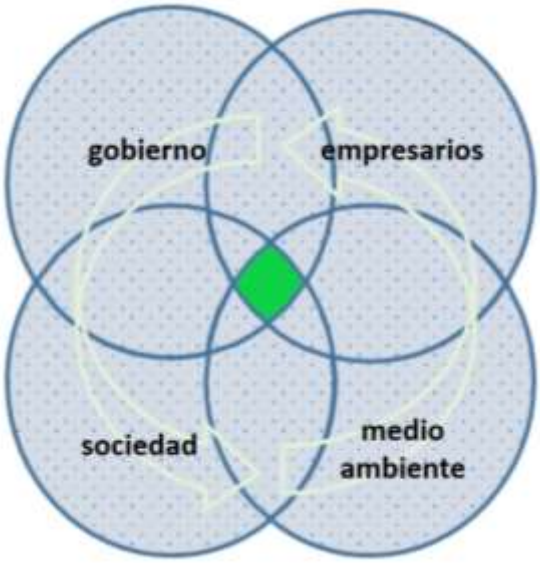

Figura 17. Estado ideal entre los miembros del sistema energético.

Para lograr el estado óptimo del sistema es necesario establecer las tecnologías y sitios más viables para la generación de electricidad mediante fuentes renovables. Lugares donde haya menos vulnerabilidad y que las condiciones de los pobladores sean las adecuadas para afrontar positivamente los retos de estos proyectos. Los resultados indican que a nivel nacional el estado de Chihuahua es la opción más viable para la generación de electricidad mediante energía eólica y biomasa. Para el caso de la energía solar la opción más adecuada es Coahuila, como se indica en la Tabla 13 sin embargo, hay otras entidades que también son viables. Lo anterior se ilustrará más adelante. y esto es debido a su buen desempeño en

indicadores como empleo, salarios, sociedad incluyente, preparada y sana, estabilidad económica e innovación, seguridad pública y legal, y un manejo más sustentable del ambiente (calidad del agua, aire). En contraste, estados como Chiapas, Oaxaca y Guerrero, se encuentran en los últimos lugares. Estos hechos están en concordancia con los resultados que se presentan en este trabajo, pero además, refuerzan la idea sobre la importancia que debe darse a los habitantes en aspectos tales como su inclusión en los procesos de desarrollo y bienestar, la necesidad de contar con sociedades bien preparadas y capacitadas para afrontar los retos que se presentan, la atención en salud y empleos bien remunerados. No basta con que una zona cuente con los mejores recursos renovables, adicionalmente se deben dar las condiciones adecuadas para que la sociedad aproveche los beneficios de los proyectos de infraestructura, en lugar de que éstos ocasionen problemas en la comunidad.

Tabla 13. Viabilidad para la generación sustentable de electricidad mediante diversas fuentes renovables en México.

Eólica		Solar		Biomasa	
Oaxaca	✗	Chihuahua	✗	Sonora	✗
Tamaulipas	✗	Sonora	✗	Chihuahua	✓
Yucatán	✗	B.C.	✗	Jalisco	✗
Quintana Roo	✗	B.C.S.	✗	Sinaloa	✗
Chihuahua	✓	Coahuila	✓	Yucatán	✗
Chiapas	✗	Zacatecas	✗	Oaxaca	✗
Campeche	✗	Durango	✗	Guerrero	✗
Sonora	✗	Oaxaca	✗	Tamaulipas	✗
Durango	✗	S.L.P.	✗	Michoacán	✗
Puebla	✗	Puebla	✗	Durango	✗

Estos resultados en su conjunto reflejan el desempeño de cada estado, de la Tabla 13, en el índice de sustentabilidad construido en este trabajo, además de los indicadores relacionados con el ciclo de vida de cada tecnología y de los excelentes recursos renovables con que cada entidad cuenta. También fue posible establecer cuál es la tecnología más viable de aquellas incluidas en este proyecto, ver Tabla 14.

Tabla 14. Tecnologías más viables para la generación de electricidad por estado.

	Eólica	Solar	Biomasa
Chihuahua	✔	✕	✕
Durango	✕	✔	✕
Oaxaca	✔	✕	✕
Puebla	✔	✕	null
Sonora	✔	✕	✕
Tamaulipas	✔	null	✕
Yucatán	✔	null	✕

Para eso se consideraron los estados que cuentan con recursos en más de una categoría. Cuando algún estado no cuenta con cierta tecnología se señaló con la leyenda "null". Los resultados indican que en el estado de Chihuahua la tecnología más adecuada es la eólica. En Durango es la biomasa y en el resto de entidades la mejor opción es la energía eólica, como queda ilustrado en la Figura 18.

Figura 18. Tecnologías más viables para generar electricidad por estado.

La tecnología eólica es la más viable en seis de los siete estados, mientras que la solar es más viable en sólo un estado. La energía eólica presenta una visible ventaja en cuanto a su viabilidad sobre las energías solar y biomasa, sin embargo para lograr la aceptación social de las FER también es necesario considerar las preferencias de los miembros de las comunidades en cuanto a las FER a implementar (Kontogianni et al., 2013). De manera que, para que la sociedad acepte y se involucre en los proyectos de desarrollo de FER, es necesario que tengan un cierto conocimiento sobre la naturaleza de las fuentes de energía, sus posibles beneficios y también su huella ambiental, pues como lo indica Gross (2007) las sociedades con mayor nivel de bienestar social tienen una mejor habilidad para evaluar y adaptarse a los cambios, tales como el desarrollo de infraestructura en sus localidades.

Con respecto a la generación mediante biomasa, esta tecnología resultó ser la menos viable comparada con las energías eólica y solar, sin embargo, es más viable que la generación mediante fuentes fósiles. A continuación, se presentan las Figuras 19, 20 y 21 con los mapas de viabilidad para la generación de electricidad mediante las fuentes solar, eólica y biomasa en México, como una guía y propuesta alternativa (en términos de sustentabilidad) a los esquemas de generación actual.

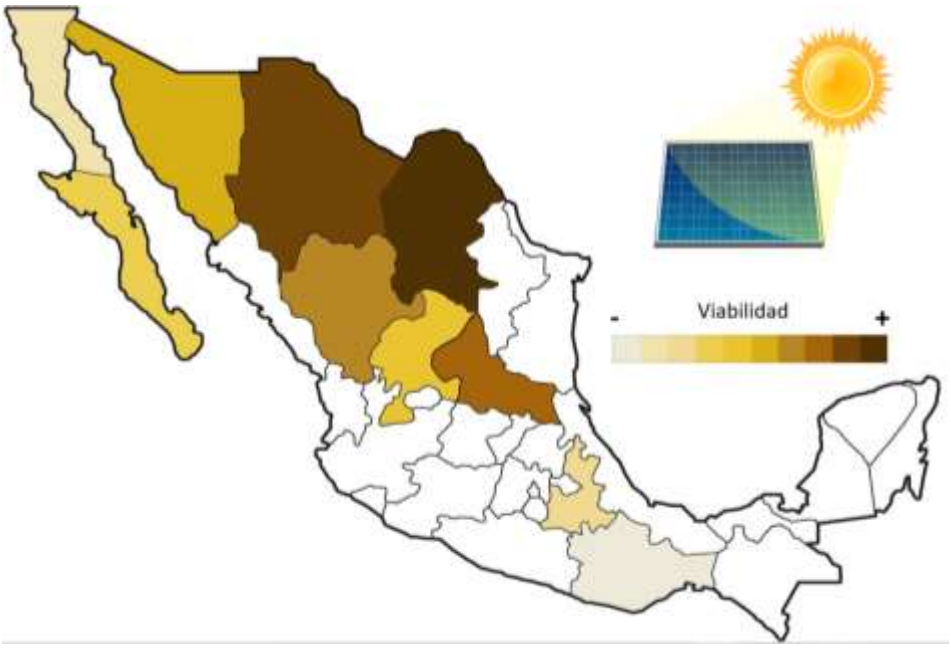

Figura 19. Viabilidad de la generación de electricidad mediante energía solar en México.

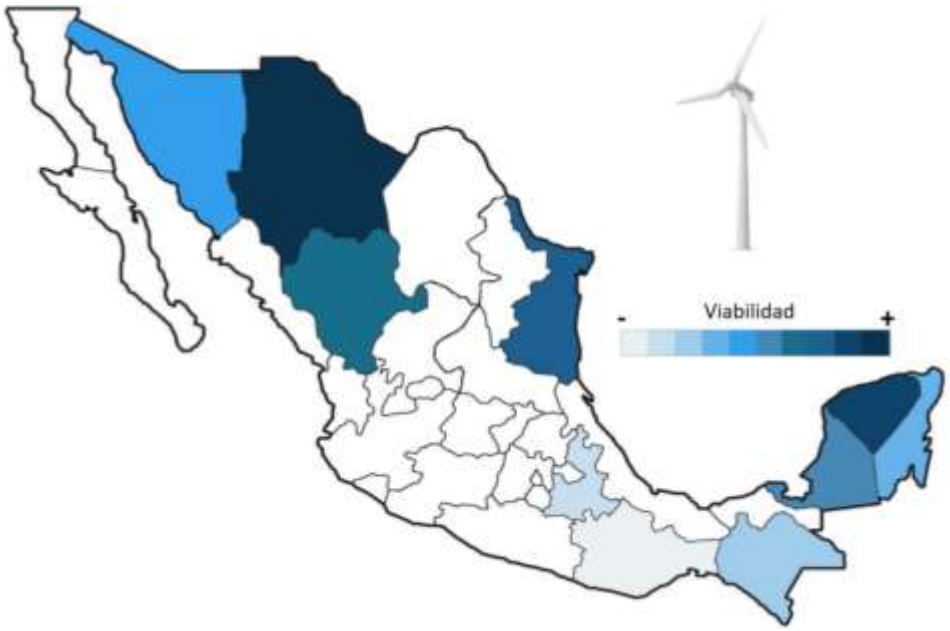

Figura 20. Viabilidad de la generación de electricidad mediante energía eólica en México.

Si bien Chihuahua resulto ser el estado más viable para la generación eólica, se ha mostrado que Yucatán y Tamaulipas resultaron ser estados muy viables. Los estudios muestran que esos dos estados cuentan con excelentes recursos eólicos, incluso existen proyectos que están en procesos de construcción en este momento. Tan sólo en el municipio de Mérida hay tres proyectos con una capacidad instalada de 225.75 MW que iniciaron obras a principios de 2017 y se prevé empiecen a operar en el primer trimestre de 2018. Con respecto a Tamaulipas, en el municipio de Matamoros hay un gran proyecto de 170 MW que está en construcción (INERE, 2017).

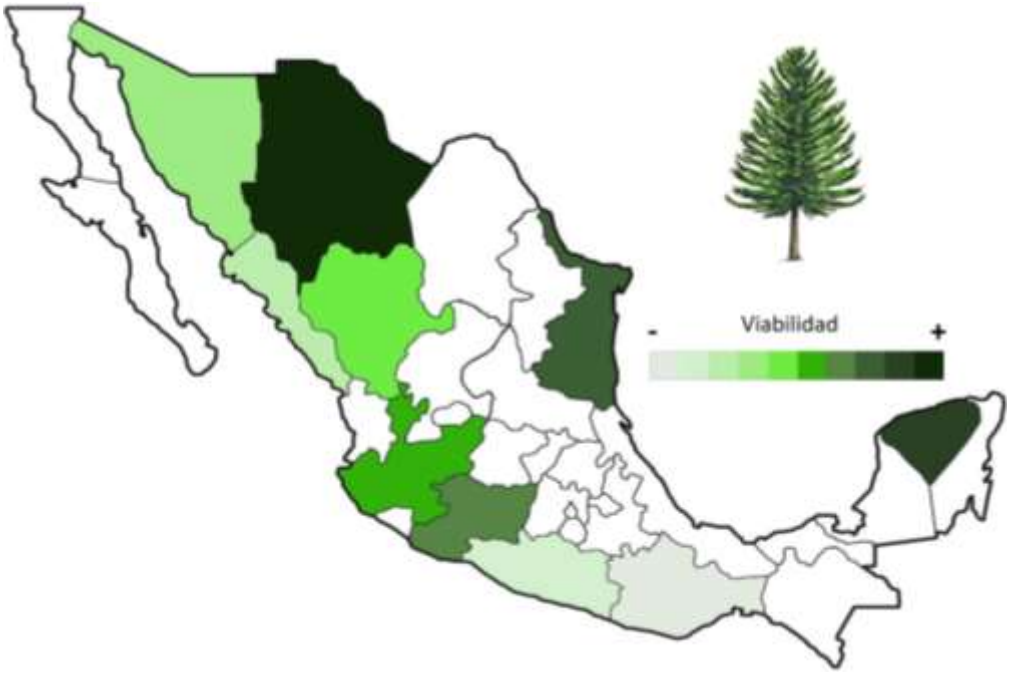

Figura 21. Viabilidad de la generación de electricidad mediante biomasa en México.

Por la calidad y cantidad de los recursos renovables (apartado 4.1) es posible cubrir la demanda de cada estado con cualquiera de las tres fuentes estudiadas, sin embargo, su viabilidad está en función de los mapas propuestos en las Figuras 19, 20 y 21.

En ciertos casos la población está dispuesta a apoyar la generación y uso de energía renovable en su comunidad, pero no están dispuestos a involucrarse como líderes de proyectos (Rogers et al., 2008), pues no tienen las competencias necesarias para desempeñarse como tal, por eso es necesaria la capacitación para mejorar la competitividad local (Moreno & López, 2008), de manera que hace falta el apoyo por parte de los diferentes organismos para que la población se involucre más activamente en la puesta en marcha de los programas de generación mediante fuentes renovables.

El éxito y sustentabilidad de los proyectos de energía a nivel local no sólo dependen de la fiabilidad de la innovación tecnológica, sino de la incorporación de la tecnología en los contextos sociocultural, económico y ecológicos, así como la disponibilidad de conocimientos y habilidades suficientes para proporcionar servicios de instalación,

mantenimiento y reparación (Terrapon-Pfaff et al., 2014), es decir, debe haber una planeación estratégica donde se involucren todas las partes implicadas (subsistemas) en la implementación de las fuentes renovables a nivel local. Adicionalmente entre más compromiso haya por parte de la sociedad, mayor será la aceptación de crear proyectos de generación de electricidad a pequeña escala (Li et al., 2013), pues con la preparación adecuada los ciudadanos estarán conscientes de los beneficios económicos, ecológicos y sociales.

Finalmente, de acuerdo con el diagnóstico y situación actual del sistema energético en México y para promover la inversión en investigación, desarrollo y generación mediante fuentes renovables, se sugiere una combinación en los mecanismos *Feed-in Tariff*, y *Renewable Portfolio Standard*, específicamente mediante el mercado de certificados verdes. En el primer caso, además de ser el instrumento que globalmente ha dado los mejores resultados (del Río & Mir-Artigues, 2014; Haas et al., 2011; Wang et al., 2014), este puede responder a la incertidumbre por parte de los inversores, esto debido a que el gobierno se compromete a establecer un precio específico por cada kWh generado lo que garantiza la recuperación de la inversión en un plazo que va desde los diez hasta los 30 años. Lo anterior va en conjunto con una obligación de compra por parte de las empresas del servicio público (Rio et al. 2012). El segundo instrumento recomendado es el mercado de certificados verdes, cuyo mecanismo es el de crear una obligación para las empresas generadoras y distribuidoras de energía eléctrica de que generen o distribuyan un cierto porcentaje del total mediante fuentes renovables. Si una empresa excede su cuota mínima entonces puede vender los certificados a aquellas empresas que no cubran dicha cuota. De esta manera se puede generar una demanda que supere la oferta de certificados lo que promovería la inversión en fuentes renovables. Con estos mecanismos se espera el aumento de la inversión, la diversificación de las fuentes de energía para la generación eléctrica, la reducción en la emisión de los gases de efecto invernadero a la atmósfera, y que haya una competencia más justa entre las fuentes renovables y las fósiles. La naturaleza de este mecanismo es a largo plazo. También se sugieren los incentivos fiscales y el establecimiento de créditos con interés bajo.

Para lograr una mejora en el funcionamiento del sistema es necesaria la integración, capacitación y provisión de las necesidades básicas de las comunidades, se deben establecer los mecanismos adecuados que aseguren el cumplimiento correcto de las obligaciones del gobierno y del sector empresarial para que sus funciones se lleven a cabo bajo un estricto marco legal y sobre todo actuar bajo un enfoque de desarrollo sustentable. También es preciso considerar las zonas más viables (social, ambiental, económica y técnicamente) para la instalación de proyectos renovables y en su caso, mejorar las condiciones sociales de las comunidades para que puedan adaptarse y beneficiarse de estos proyectos.

Capítulo VI. Conclusiones

En México el 77.5% de la electricidad se genera mediante combustibles de origen fósil. El otro 22.5%, la mayor parte proviene de las grandes hidroeléctricas y de la energía nuclear. En realidad, únicamente el 3% se genera mediante fuentes renovables (solar, eólica y biomasa). Si bien, en el país existen proyectos funcionando de generación renovable (por ejemplo, eólica Oaxaca, solar Baja California Sur, biomasa Veracruz, etc.), la cifra aún está por debajo en relación al compromiso adquirido por el gobierno de México (de generar el 35% de la electricidad mediante fuentes renovables para 2024). A pesar de este rezago las autoridades no han invertido en proyectos de generación mediante fuentes renovables pues más del 90% de la generación de este tipo es llevada a cabo por particulares.

En México hay una capacidad instalada de 65.6 MW y se generan 62 GWh/año mediante energía solar. Con respecto a la energía eólica, en el país hay una capacidad instalada de 2,621.45 MW y se generan 7675 GWh/año mediante esta fuente. Finalmente, hay una capacidad instalada de 647 MW y se generan 1,414 GWh/año mediante biomasa. En términos de sustentabilidad (social, ambiental y económico) la energía eólica es la más viable en el país, seguido de la energía solar y en tercer lugar la biomasa. El sitio más adecuado para la generación eléctrica mediante el viento es el estado de Chihuahua, para la energía solar es Coahuila y para la biomasa es también Chihuahua. Las políticas públicas que pueden dar un mayor beneficio para favorecer la generación eléctrica mediante fuentes renovables son *Feed-in Tariff*, y *Renewable Portfolio Standard*, específicamente mediante el mercado de certificados verdes.

Por otra parte, la generación de energía eléctrica mediante fuentes renovables en México no se ha llevado a cabo de manera sustentable pues se presentan varios problemas sociales y ambientales, hechos que indican una grave desviación en las funciones de los organismos encargados del sistema eléctrico, pero también por parte de las autoridades y de los particulares. Prevalece un ambiente donde los intereses tanto de los particulares como de las autoridades están enfocados a obtener ganancias económicas, poniendo de manifiesto la

corrupción, la falta de compromiso social y ambiental, y desvirtuando la intención original de las fuentes de energía renovable.

Para ilustrar lo anterior se hace mención de la gran cantidad de proyectos de generación mediante energía eólica en el estado de Oaxaca, con sus problemas de índole social y ambiental asociados. Si bien este estado es el líder nacional en cuanto a recursos de este tipo, los proyectos no han sido planificados de acuerdo a los tres pilares de la sustentabilidad. No hay consideración hacia las comunidades en aspectos como el contexto socio-cultural, las características de la población, su vulnerabilidad o grado de resiliencia, nivel de desarrollo, educación, etc., ni se hace un esfuerzo por prever la viabilidad social de los proyectos. Los resultados de este proyecto indican que los estados actuales líderes en la producción eléctrica mediante fuentes renovables no son los sitios más viables para la generación, tampoco se han dado las condiciones adecuadas para su correcta operación y el beneficio de las comunidades.

Las aportaciones de este trabajo dan una visión más completa sobre la generación sustentable de electricidad en México. Anteriormente no se contaba con estudios que contemplaran los aspectos social y ambiental como componentes igual de prioritarios que el aspecto económico. Este hecho favorecerá una planeación más equitativa que promueva el desarrollo social y la preservación ambiental de las comunidades anfitrionas de los proyectos energéticos. También se establece una metodología alternativa para el procesamiento de indicadores en la evaluación del grado de sustentabilidad de los proyectos energéticos. Esto ha quedado plasmado en la elaboración de mapas con el grado de sustentabilidad para la generación eléctrica mediante FER en el país. Si bien en estos mapas solo se consideran los diez estados con las mejores condiciones naturales para la explotación de las tres FER consideradas en este proyecto, la información puede ser ampliada siempre y cuando los recursos naturales de cada estado cumplan con los requisitos mínimos para la generación de electricidad. Por otra parte, también está presente el reto de obtener la información adecuada sobre los indicadores para la conformación del índice de sustentabilidad.

En esta investigación se hizo un diagnóstico sobre el estado del sistema energético renovable, se analizaron sus características y componentes, y a partir de eso se hizo una propuesta o ruta energética que pueda ser de utilidad, para los funcionarios del gobierno, los empresarios y la sociedad misma, en la planeación de los proyectos energéticos futuros y que sirva como una

guía en aras de mejorar las condiciones en que ocurre la generación eléctrica actual, y que al mismo tiempo esté más apegada al marco del desarrollo sustentable.

Referencias

Agüero-Rodríguez, J. C., Tepetla-Montes, J., & Torres-Beristaín, B. (2015). Producción de biocombustibles a partir de la caña en Veracruz, México: perspectivas y riesgos socio-ambientales. *CienciaUAT*, *9*(2), 74–84.

Alemán-Nava, G. S., Casiano-Flores, V. H., Cárdenas-Chávez, D. L., Díaz-Chavez, R., Scarlat, N., Mahlknecht, J., … Parra, R. (2014). Renewable energy research progress in Mexico: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *32*, 140–153. http://doi.org/10.1016/j.rser.2014.01.004

Biggs, A., Medio, M., Rojas, I., & Schulz, P. (2013). Estrategia Nacional de Crecimiento Verde Diciembre 2013.

Blanco, M. I., & Rodrigues, G. (2009). Direct employment in the wind energy sector: An EU study. *Energy Policy*, *37*, 2847–2857. http://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.02.049

Blazejczak, J., Braun, F. G., Edler, D., & Wolf-Peter, S. (2013). Economic Effects of Renewable Energy Expansion. *DIW Economic Bulletin*, *40*, 1070–1080. http://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.134

Brundtland, G. (1987). Report of the World Commision on Environement and Development: Our Common Future. *Oxford Paperbacks*, *Report of*, 400. http://doi.org/10.2307/2621529

Cámara de Diputados. (2017). Precios Internacionales del Petróleo 1998-2015. Retrieved July 27, 2017, from http://www.cefp.gob.mx/

Cancino-Solórzano, Y., Gutiérrez-Trashorras, A. J., & Xiberta-Bernat, J. (2011). Current state of wind energy in Mexico, achievements and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *15*(8), 3552–3557. http://doi.org/10.1016/j.rser.2011.05.009

Cathalifaud, A., & Osorio, F. (1998). Introducción a los Conceptos Básicos de la Teoría General de Sistemas. *Cinta de Moebio*, *3*.

Conacyt. (2017). CONACYT - SENER / Sustentabilidad Energética. Retrieved July 22,

2017, from https://conacyt.gob.mx/index.php/fondos-sectoriales-constituidos2/item/conacyt-sener-sustentabilidad-energetica

Corona, B., Ruiz, D., & San Miguel, G. (2016). Life cycle assessment of a HYSOL concentrated solar power plant: Analyzing the effect of geographic location. *Energies*, *9*(6), 1–14. http://doi.org/10.3390/en9060413

Dahl, A. L. (2012). Achievements and gaps in indicators for sustainability. *Ecological Indicators*, *17*, 14–19. http://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.04.032

del Rio, P., & Burguillo, M. (2008). Assessing the impact of renewable deployment on local sustainability: Towards a theoretical framework. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *12*, 1325–1344. http://doi.org/10.1016/j.rser.2007.03.004

del Río, P., & Mir-Artigues, P. (2014). Combinations of support instruments for renewable electricity in Europe: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *40*, 287–295. http://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.039

Dincer, I. (2000). Renewable energy and sustainable development: a crucial review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *4*, 157–175. http://doi.org/10.1016/S1364-0321(99)00011-8

Dinica, V. (2006). Support systems for the diffusion of renewable energy technologies - An investor perspective. *Energy Policy*, *34*, 461–480. http://doi.org/10.1016/j.enpol.2004.06.014

DOF. (2014). Ley de la industria eléctrica. Retrieved July 23, 2017, from http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5355986&fecha=11/08/2014

Duic, N., Alves, L. M., Chen, F., & Da Graça Carvalho, M. (2003). Potential of Kyoto protocol clean development mechanism in transfer of clean energy technologies to small island developing states: Case study of Cape Verde. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *7*, 83–98. http://doi.org/10.1016/S1364-0321(02)00062-X

Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Seyboth, K., Eickemeier, P., Matschoss, P., … Stechow, C. Von. (2012). *Renewable energy sources and climate change mitigation - Summary for policy makers and Technical summary*. Retrieved from http://srren.ipcc-wg3.de/report

El_Economista. (2015). Sin excedentes, los estados petroleros, los más afectados. El Economista. Retrieved July 27, 2017, from http://eleconomista.com.mx/finanzas-publicas/2015/01/18/sin-excedentes-estados-petroleros-mas-afectados

Ellabban, O., Abu-Rub, H., & Blaabjerg, F. (2014). Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *39*, 748–764. http://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.113

Faulin, J., Lera, F., Pintor, J. M., & García, J. (2006). The outlook for renewable energy in Navarre: An economic profile. *Energy Policy*, *34*, 2201–2216. http://doi.org/10.1016/j.enpol.2005.04.005

Figueroa-Espinoza, B., Salles, P., & Zavala-hidalgo, J. (2014). On the wind power potential in the northwest of the Yucatan Peninsula in Mexico. *Atmósfera*, *27*(1), 77–89.

Figueroa Nazuno, J. (2008). Los sistemas complejos: una perspectiva contemporánea. *Revista Del Centro de Investigación. Universidad La Salle*, *8*(30). Retrieved from http://www.redalyc.org/html/342/34283001/

Fischer, C. (2010). Combining Policies for Renewable Energy: Is the Whole Less Than the Sum of Its Parts? *International Review of Environmental and Resource Economics*, *4*(March), 51–92. http://doi.org/10.1561/101.00000030

Fischer, F., Miller, G., & Sidney, M. (2007). *Handbook of Public Policy Analysis Theory, Politics, and Methods*. (J. T. Aaron Wachhaus, Ed.). Pennsylvania: Taylor & Francis Group.

García, C. A., Riegelhaupt, E., Ghilardi, A., Skutsch, M., Islas, J., Manzini, F., & Masera, O. (2015). Sustainable bioenergy options for Mexico: GHG mitigation and costs. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *43*, 545–552. http://doi.org/10.1016/j.rser.2014.11.062

García, R. (2006). *Sistemas complejos. Conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria.* (1st ed.). Barcelona: Gedisa. http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004

Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos. (2013). Primer Informe de Gobierno 2012-2013. Anexo Estadístico.

Gross, C. (2007). Community perspectives of wind energy in Australia: The application of a justice and community fairness framework to increase social acceptance. *Energy Policy*, *35*, 2727–2736. http://doi.org/10.1016/j.enpol.2006.12.013

Haas, R., & Green, J. (2000). Promotion strategies for electricity from renewable energy sources, (December).

Haas, R., Panzer, C., Resch, G., Ragwitz, M., Reece, G., & Held, A. (2011). A historical review of promotion strategies for electricity from renewable energy sources in EU countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *15*(2), 1003–1034. http://doi.org/10.1016/j.rser.2010.11.015

Haas, R., Resch, G., Panzer, C., Busch, S., Ragwitz, M., & Held, A. (2011). Efficiency and effectiveness of promotion systems for electricity generation from renewable energy sources - Lessons from EU countries. *Energy*, *36*(4), 2186–2193. http://doi.org/10.1016/j.energy.2010.06.028

Harmelink, M., Voogt, M., & Cremer, C. (2006). Analysing the effectiveness of renewable energy supporting policies in the European Union. *Energy Policy*, *34*(3), 343–351. http://doi.org/10.1016/j.enpol.2004.08.031

Held, A., Ragwitz, M., & Haas, R. (2009). On the success of policy strategies for the promotion of electricity from renewable energy sources in the Eu. *Energy & Environment*, *17*, 849–868. http://doi.org/10.1260/095830506779398849

Hernández-Escobedo, Q., Manzano-Agugliaro, F., & Zapata-Sierra, A. (2010). The wind power of Mexico. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *14*(9), 2830–2840. http://doi.org/10.1016/j.rser.2010.07.019

Hernández-Escobedo, Q., Rodríguez-García, E., Saldaña-Flores, R., Fernández-García, A., & Manzano-Agugliaro, F. (2015). Solar energy resource assessment in Mexican states along the Gulf of Mexico. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *43*(X), 216–238. http://doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.025

Hernández-Escobedo, Q., Saldaña-Flores, R., Rodríguez-García, E. R., & Manzano-Agugliaro, F. (2014). Wind energy resource in Northern Mexico. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *32*, 890–914. http://doi.org/10.1016/j.rser.2014.01.043

Hernández Mota, J. L. (2010). Inversión pública y crecimiento económico: Hacia una nueva perspectiva de la función del gobierno. *Economía: Teoría Y Práctica*, (33), 59–95. Retrieved from http://ideas.repec.org/p/col/000439/011565.html

Huang, L., Wu, J., & Yan, L. (2015). Defining and measuring urban sustainability: a review of indicators. *Landscape Ecology*, *30*(7), 1175–1193. http://doi.org/10.1007/s10980-015-0208-2

Huber, G. B., & Mungaray, A. L. (2017). Competitiveness Indices in Mexico. *Gestión Y Política Pública*, *XXVI*(664), 167–218.

Huesca-Pérez, M. E., Sheinbaum-Pardo, C., & Köppel, J. (2016). Social implications of siting wind energy in a disadvantaged region - The case of the Isthmus of Tehuantepec, Mexico. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *58*, 952–965. http://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.310

Imagen. (2017). Ordeña ilegal de ductos de Pemex / Primera Emisión - YouTube. Retrieved from https://www.youtube.com/watch?v=V30sgletLzE

IMCO. (2006). Estudio sobre tarifas eléctricas en México. Retrieved from http://imco.org.mx/wp-

IMCO. (2016). Indice de competitividad urbana 2016, 276. Retrieved from http://imco.org.mx/wp-content/uploads/2016/09/2016-Indice_Competitividad_Urbana-Documento.pdf

INEGI. (2000). *Indicadores de Desarrollo Sustentable en México*. México.

INERE. (2017). Inventario Nacional de Energías Renovables. Retrieved March 15, 2017, from https://dgel.energia.gob.mx/inere/

Izadian, A., Girrens, N., & Khayyer, P. (2013). Renewable energy policies: A brief review of the latest U.S. and E.U. policies. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, *7*(SEPTEMBER 2013), 21–34. http://doi.org/10.1109/MIE.2013.2269701

Jäger-Waldau, A. (2007). Photovoltaics and renewable energies in Europe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *11*, 1414–1437. http://doi.org/10.1016/j.rser.2005.11.001

Juárez-Hernández, S., & León, G. (2014). Energía eólica en el istmo de Tehuantepec:

Desarrollo, actores y oposición social. *Problemas Del Desarrollo*, *45*(178), 139–162. http://doi.org/10.1016/S0301-7036(14)70879-X

Kafafi, Z. H., Martín-Palma, R. J., Nogueira, A. F., O'Carroll, D. M., Pietron, J. J., Samuel, I. D. W., … Tsakalakos, L. (2015). The role of photonics in energy. *Journal of Photonics for Energy*, *5*(1), 50997. http://doi.org/10.1117/1.JPE.5.050997

Karger, C. R., & Hennings, W. (2009). Sustainability evaluation of decentralized electricity generation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *13*, 583–593. http://doi.org/10.1016/j.rser.2007.11.003

Kontogianni, A., Tourkolias, C., & Skourtos, M. (2013). Renewables portfolio, individual preferences and social values towards RES technologies. *Energy Policy*, *55*, 467–476. http://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.12.033

Kung, H. H. (2012). Impact of deployment of renewable portfolio standard on the electricity price in the State of Illinois and implications on policies. *Energy Policy*, *44*, 425–430. http://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.02.013

Lee, W. L., & Yik, F. W. H. (2004). Regulatory and voluntary approaches for enhancing building energy efficiency. *Progress in Energy and Combustion Science*, *30*, 477–499. http://doi.org/10.1016/j.pecs.2004.03.002

Lee, Z. J. (2011). The silver lining to a cloudy situation : how mexico ' s bumbling modernization of pemex is spurring development of renewable energy In December 2010 , Mexico ' s Grupo Bimbo announced plans. *Houston Journal of International Law*, *47*(December), 503–509.

Lehr, U., Nitsch, J., Kratzat, M., Lutz, C., & Edler, D. (2008). Renewable energy and employment in Germany. *Energy Policy*, *36*(2008), 108–117. http://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.09.004

Lélé, S. M. (1991). Sustainable development: A critical review. *World Development*, *19*(6), 607–621. http://doi.org/10.1016/0305-750X(91)90197-P

Li, L. W., Birmele, J., Schaich, H., & Konold, W. (2013). Transitioning to Community-owned Renewable Energy: Lessons from Germany. *Procedia Environmental Sciences*, *17*, 719–728. http://doi.org/10.1016/j.proenv.2013.02.089

Lin, B., & Moubarak, M. (2014). Renewable energy consumption - Economic growth nexus for China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *40*, 111–117. http://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.128

Llera Sastresa, E., Usón, A. A., Bribián, I. Z., & Scarpellini, S. (2010). Local impact of renewables on employment: Assessment methodology and case study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *14*, 679–690. http://doi.org/10.1016/j.rser.2009.10.017

Logan, J., Kaplan, S. M., & Logan, J. (2008). Wind Power in the United States : Technology , Economic , and Policy Issues Wind Power in the United States :

Long, H., Li, X., Wang, H., & Jia, J. (2013). Biomass resources and their bioenergy potential estimation: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *26*, 344–352. http://doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.035

Lowi, T. (2011). American Business, Public Policy, Case-Studies, and Political Theory. *World Politics*, *20*, 167–214. Retrieved from http://www.jstor.org/stable/2009376

Lundberg, K., Balfors, B., & Folkeson, L. (2009). Framework for environmental performance measurement in a Swedish public sector organization. *Journal of Cleaner Production*, *17*(11), 1017–1024. http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.01.011

Lüthi, S., & Prässler, T. (2011). Analyzing policy support instruments and regulatory risk factors for wind energy deployment-A developers' perspective. *Energy Policy*, *39*, 4876–4892. http://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.06.029

Mao, G., Zou, H., Chen, G., Du, H., & Zuo, J. (2015). Past, current and future of biomass energy research: A bibliometric analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *52*, 1823–1833. http://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.141

Martínez J., F. A. (2004). *Cambio climático: una visión desde México*. México: Instituto Nacional de Ecología. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.

McLaren Loring, J. (2007). Wind energy planning in England, Wales and Denmark: Factors influencing project success. *Energy Policy*, *35*, 2648–2660. http://doi.org/10.1016/j.enpol.2006.10.008

Mendoza-Vizcaino, J., Sumper, A., Sudria-Andreu, A., & Ramirez, J. M. (2016). Renewable technologies for generation systems in islands and their application to Cozumel Island,

Mexico. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *64*, 348–361. http://doi.org/10.1016/j.rser.2016.06.014

Menz, F. C., & Vachon, S. (2006). The effectiveness of different policy regimes for promoting wind power: Experiences from the states. *Energy Policy*, *34*, 1786–1796. http://doi.org/10.1016/j.enpol.2004.12.018

Meyar-Naimi, H., & Vaez-Zadeh, S. (2012a). Developing a DSR-HNS policy making framework for electric energy systems. *Energy Policy*, *42*, 616–627. http://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.12.034

Meyar-Naimi, H., & Vaez-Zadeh, S. (2012b). Sustainable development based energy policy making frameworks, a critical review. *Energy Policy*, *43*, 351–361. http://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.01.012

Mezher, T., Dawelbait, G., & Abbas, Z. (2012). Renewable energy policy options for Abu Dhabi: Drivers and barriers. *Energy Policy*, *42*, 315–328. http://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.11.089

Moldan, B., Janoušková, S., & Hák, T. (2012). How to understand and measure environmental sustainability: Indicators and targets. *Ecological Indicators*, *17*, 4–13. http://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.04.033

Moreno, B., & López, A. J. (2008). The effect of renewable energy on employment. The case of Asturias (Spain). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *12*, 732–751. http://doi.org/10.1016/j.rser.2006.10.011

Morse, S. (2015). Developing Sustainability Indicators and Indices. *Sustainable Development*, *23*(2), 84–95. http://doi.org/10.1002/sd.1575

Müller, S., Brown, A., & Ölz, S. (2011). Renewable Energy Policy Considerations for Deploying Renewables, 76. http://doi.org/10.1016/S0960-1481(00)00187-7

Nautiyal, H., & Varun. (2012). Progress in renewable energy under clean development mechanism in India. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *16*(5), 2913–2919. http://doi.org/10.1016/j.rser.2012.02.008

Nordmann, T. (2003). Subsides versus rate based incentives; for technology-, economical- and market-development of PV. The European experience. *3rd World Conference*

onPhotovoltaic Energy Conversion, 2003. Proceedings of, *3*, 2544–2547.

NREL. (2017). NREL: Energy Analysis - Energy Technology Cost and Performance Data. Retrieved March 7, 2017, from http://www.nrel.gov/analysis/tech_lcoe_re_cost_est.html

OCDE. (2011). Hacia el crecimiento verde.

OECD. (1993). OECD Core Set of Indicators for Environmental Performance Reviews - A synthesis report by the Group on the State of the Environment, (93), 1–39.

OECD. (1999). OECD Environmental Data: Compendium 1999 Edition.

Oyedepo, S. O. (2014). Towards achieving energy for sustainable development in Nigeria. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *34*, 255–272. http://doi.org/10.1016/j.rser.2014.03.019

Pao, H. T., & Fu, H. C. (2013). Renewable energy, non-renewable energy and economic growth in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *25*, 381–392. http://doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.004

Pasqualetti, M. J. (2011). Social barriers to renewable energy landscapes. *Geographical Review*, *101*(2), 201–223. http://doi.org/10.1111/j.1931-0846.2011.00087.x

Pasqualetti, M. J., & Brown, M. a. (2014). Ancient discipline, modern concern: Geographers in the field of energy and society. *Energy Research and Social Science*, *1*, 122–133. http://doi.org/10.1016/j.erss.2014.03.016

Pearce, D. (1988). Economics , Sustainable Equity and. *Futures*, *1*(December), 598–605.

Pérez-Denicia, E., Fernández-Luqueño, F., Vilariño-Ayala, D., Manuel Montaño-Zetina, L., & Alfonso Maldonado-López, L. (2017). Renewable energy sources for electricity generation in Mexico: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *78*(May), 597–613. http://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.009

Perez-Gazga, F. (1983). Mexico's Energy Policy. *Columbia Journal of World Business, Academic OneFile, EBSCOhost*.

Peters, B. G., Doughtie, J. C., & McCulloch, M. K. (1977). Types of Democratic Systems and Types of Public Policy. An Empirical Examination. *Comparative Politics*, *8*(3), 237–255. http://doi.org/10.2307/421322

Pissourios, I. a. (2013). An interdisciplinary study on indicators: A comparative review of quality-of-life, macroeconomic, environmental, welfare and sustainability indicators. *Ecological Indicators*, *34*, 420–427. http://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.06.008

Policies, E. (n.d.). *Renewables*.

Porvazník, J., & Ljudvigová, I. (2016). General theory of systems, cybernetics and evaluation of human competence by solving present crisis problems of civilisation. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, *230*(May), 112–120. http://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.09.014

Price, T., & Probert, D. (1997). Integrated approach for the achievement of environmental sustainability. *Applied Energy*, *58*(2), 73–129. http://doi.org/10.1016/S0306-2619(97)00035-4

Prochnow, A., Heiermann, M., Plöchl, M., Amon, T., & Hobbs, P. J. (2009). Bioenergy from permanent grassland - A review: 2. Combustion. *Bioresource Technology*, *100*(21), 4945–4954. http://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.05.069

Public Policy: An Evolutionary Approach. (n.d.). Retrieved February 1, 2015, from http://www.amazon.es/Public-Policy-An-Evolutionary-Approach/dp/0534574947

Reddy, V. R., Uitto, J. I., Frans, D. R., & Matin, N. (2006). Achieving global environmental benefits through local development of clean energy? The case of small hilly hydel in India. *Energy Policy*, *34*, 4069–4080. http://doi.org/10.1016/j.enpol.2005.09.026

RES LEGAL Europe. (2013). Renewable energy policy database and support, (April). Retrieved from http://www.res-legal.eu/home/

Rio, P., Ragwitz, M., Steinhilber, S., Isi, F., Resch, G., Busch, S., … Johnston, A. (2012). Design and impact of a harmonised policy for renewable electricity in Europe Key policy approaches for a harmonisation of RES (-E) support in Europe - Main options and design elements, *2020*(March).

Rios, M., & Kaltschmitt, M. (2016). Electricity generation potential from biogas produced from organic waste in Mexico. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *54*, 384–395. http://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.033

Robert, K. W., Parris, T. M., & Leiserowitz, A. A. (2005). What is Sustainable

Development? Goals, Indicators, Values, and Practice. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, *47*(3), 8–21. http://doi.org/10.1080/00139157.2005.10524444

Rogers, J. C., Simmons, E. a., Convery, I., & Weatherall, A. (2008). Public perceptions of opportunities for community-based renewable energy projects. *Energy Policy*, *36*, 4217–4226. http://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.07.028

Roseland, M. (2000). Sustainable community development : integrating environmental , economic , and social objectives &, *54*, 73–132.

Rousseau, D. (2015). General Systems Theory: Its Present and Potential. *Systems Research and Behavioral Science*, *32*(5), 522–533. http://doi.org/10.1002/sres.2354

Ruiz-Mendoza, B. J., & Sheinbaum-Pardo, C. (2010). Mexican renewable electricity law. *Renewable Energy*, *35*(3), 674–678. http://doi.org/10.1016/j.renene.2009.08.014

Saidur, R., Islam, M. R., Rahim, N. a., & Solangi, K. H. (2010). A review on global wind energy policy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *14*(7), 1744–1762. http://doi.org/10.1016/j.rser.2010.03.007

Sandoval García, E. R., & Morales-Acevedo, A. (2014). Optimizing the energy portfolio of the Mexican electricity sector by 2050 considering CO2eq emissions and Life Cycle Assessment. *Energy Procedia*, *57*, 850–859. http://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.10.294

Savino, M. M., & Mazza, A. (2013). *Sustainability Enhancement through Environmental Impacts Evaluation: Discovery Service para Cinvestav*. http://doi.org/10.1007

Sebri, M., & Ben-Salha, O. (2014). On the causal dynamics between economic growth, renewable energy consumption, CO2 emissions and trade openness: Fresh evidence from BRICS countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *39*, 14–23. http://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.033

SEGOB. (2013). *Reforma Energética*. Retrieved from http://mx.boell.org/sites/default/files/cp_reforma_energetica.pdf

Selfa, T., Bain, C., Moreno, R., Eastmond, A., Sweitz, S., Bailey, C., … Medeiros, R. (2015). Interrogating Social Sustainability in the Biofuels Sector in Latin America: Tensions

Between Global Standards and Local Experiences in Mexico, Brazil, and Colombia. *Environmental Management*, *56*(6), 1315–1329. http://doi.org/10.1007/s00267-015-0535-8

SENER. (2013). *Estrategia Nacional de Energía 2013-2027*.

SENER. (2014). Ley de la Industria Eléctrica.

SENER. (2016). Balance nacional de energía 2015, 184.

SENER. (2017). Sistema de Información Energética. Valor del comercio internacional de hidrocarburos y sus derivados. Retrieved July 27, 2017, from http://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=cuadro&subAction=applyOptions

Sheinbaum-Pardo, C. (2008). Análisis y alternativas de política energética nacional. *Argumentos: Estudios Críticos De La Sociedad, (58), 11.*, 11–29.

Shrimali, G., Lynes, M., & Indvik, J. (2015). Wind energy deployment in the U . S .: An empirical analysis of the role of federal and state policies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *43*, 796–806. http://doi.org/10.1016/j.rser.2014.11.080

Singh, A. (2009). A market for renewable energy credits in the Indian power sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *13*, 643–652. http://doi.org/10.1016/j.rser.2007.10.011

Skutsch, M., de los Rios, E., Solis, S., Riegelhaupt, E., Hinojosa, D., Gerfert, S., … Masera, O. (2011). Jatropha in Mexico: Environmental and Social Impacts of an Incipient Biofuel Program. *Ecology and Society*, *16*(4), 11-. http://doi.org/10.5751/ES-04448-160411

Tampakis, S., Tsantopoulos, G., Arabatzis, G., & Rerras, I. (2013). Citizens' views on various forms of energy and their contribution to the environment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *20*, 473–482. http://doi.org/10.1016/j.rser.2012.12.027

Tapio, P., & Willamo, R. (2008). Developing interdisciplinary environmental frameworks. *Ambio*, *37*(2), 125–133. http://doi.org/10.1579/0044-7447(2008)37[125:dief]2.0.co;2

Tarride, M. (1995). Complejidad y sistemas complejos. *História, Ciências, Saúde-Manguinhos*, *2*(1), 46–66. http://doi.org/10.1590/S0104-59701995000200004

Terrapon-Pfaff, J., Dienst, C., König, J., & Ortiz, W. (2014). How effective are small-scale energy interventions in developing countries? Results from a post-evaluation on project-level. *Applied Energy*, *135*, 809–814. http://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.05.032

U.S. Department of Energy. (2017). Transparent Cost Database. Retrieved March 7, 2017, from http://en.openei.org/apps/TCDB/

United Nations. (2007). *Indicators of Sustainable Development : Guidelines and Methodologies*. *New York*.

Vargas-Hernández, J. G., & Bautista Ramírez, M. L. (2016). Bussines structure and competitiveness in Mexico. *3C Empresa: Investigación Y Pensamiento Crítico*, *5*(3), 24–51. Retrieved from http://10.0.70.73/3cemp.2016.050327.24-51%5Cnhttps://ezp.lib.unimelb.edu.au/login?url=https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bth&AN=117825035&site=eds-live&scope=site

Villicaña-Ortiz, E., Gutiérrez-Trashorras, A. J., Paredes-Sánchez, J. P., & Xiberta-Bernat, J. (2015). Solar energy potential in the coastal zone of the gulf of Mexico. *Renewable Energy*, *81*, 534–542. http://doi.org/10.1016/j.renene.2015.03.068

Virginia, N. (2012). Utility Co-op Connection Virginia co-op ' s biomass project creating, (April).

Von Bertalanffy, L. (1989). *Teoría General de los Sistemas.* (7th ed.). México, D.F.: FCE.

Walker, G. (2008). What are the barriers and incentives for community-owned means of energy production and use? *Energy Policy*, *36*, 4401–4405. http://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.09.032

Wang, T., Gong, Y., & Jiang, C. (2014). A review on promoting share of renewable energy by green-trading mechanisms in power system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *40*, 923–929. http://doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.011

Wei, M., Patadia, S., & Kammen, D. M. (2010). Putting renewables and energy efficiency to work: How many jobs can the clean energy industry generate in the US? *Energy Policy*, *38*(2), 919–931. http://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.10.044

Weiland, P. (2010). Biogas production: Current state and perspectives. *Applied Microbiology and Biotechnology*, *85*(4), 849–860. http://doi.org/10.1007/s00253-009-2246-7

Wüstenhagen, R., Wolsink, M., & Bürer, M. J. (2007). Social acceptance of renewable energy innovation: An introduction to the concept. *Energy Policy*, *35*, 2683–2691. http://doi.org/10.1016/j.enpol.2006.12.001

Yaqoot, M., Diwan, P., & Kandpal, T. C. (2016). Review of barriers to the dissemination of decentralized renewable energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *58*, 477–490. http://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.224

Yaqoot, M., Diwan, P., & Kandpal, T. C. (2017). Financial attractiveness of decentralized renewable energy systems - A case of the central Himalayan state of Uttarakhand in India. *Renewable Energy*, *101*, 973–991. http://doi.org/10.1016/j.renene.2016.09.040

Yildirim, E., Saraç, Ş., & Aslan, A. (2012). Energy consumption and economic growth in the USA: Evidence from renewable energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *16*, 6770–6774. http://doi.org/10.1016/j.rser.2012.09.004

Páginas consultadas

http://www.iea.org
http://energy.gov/
http://sener.gob.mx
http://www.energia.gob.mx
http://www-wds.worldbank.org
http://www.pemex.com
http://www.ren21.net
http://www.unep.org
http://www.cfe.gob.mx/paginas/home.aspx

Anexos

Artículo publicado

Renewable and Sustainable Energy Reviews 78 (2017) 597–613

Contents lists available at ScienceDirect

Renewable and Sustainable Energy Reviews

journal homepage: www.elsevier.com/locate/rser

Renewable energy sources for electricity generation in Mexico: A review

Eduardo Pérez-Denicia[a], Fabián Fernández-Luqueño[b,*], Darnes Vilariño-Ayala[c], Luis Manuel Montaño-Zetina[d], Luis Alfonso Maldonado-López[e]

[a] Ph.D. Program in Science, Technology, and Society, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN (Cinvestav), 07360 Mexico, Mexico
[b] Sustainability of Natural Resources and Energy Program, Cinvestav-Saltillo, Coahuila C.P. 25900, Mexico
[c] Faculty of Computer Science, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), 14 Sur y Av. San Claudio, C.U. 72560 Puebla, Mexico
[d] Physics Department, CINVESTAV, 07360 Mexico, Mexico
[e] Applied Physics Department, CINVESTAV, 97310 Mérida, Yucatán, Mexico

ARTICLE INFO

JEL classification codes:
Q20
Q42

Keywords:
Renewable energy
Solar photovoltaic
Onshore wind farm
Bioenergy
Social welfare
Sustainable development
Social and environmental challenges

ABSTRACT

Renewable energy projects have been launched throughout Mexico in order to deliver clean and affordable energy worldwide. The aims of this research are: (i) to know the current status of electricity generation through solar, wind, biomass, geothermal, and hydropower in Mexico, (ii) to determine the renewable energy potential in Mexico and its generation schemes, and (iii) to analyze the social and environmental challenges that these technologies are going to face in Mexico. This paper highlights for the first time a comprehensive review of the current status of renewable energy projects for electricity generation in Mexico and the potential impact of these technologies in the social and environmental areas. The results presented are based on a critical review of the energy policy and regulation, as well as statistical data on electricity generation in Mexico. It was found that in Mexico 62 GW h/year were generated by solar photovoltaic technology of which 49 GW h/year were produced by 6 private projects and 13 GW h/year by 2 generating plants of the Federal Electricity Commission (CFE). There is a proven potential to generate 16,351 GW h/year through solar energy. Although the proven potential for wind power generation in Mexico is 19,805 GW h/year, wind power is exploited by onshore technology, with a generation of 7675 GW h/year of which the CFE produced 220 GW h/year through 3 generating plants, while 27 private producers generated 7455 GW h/year. In Mexico, the main renewable technologies used to generate electricity are hydropower, onshore wind farms, and geothermal. Mexico has a great potential to generate electricity from renewable sources, however the government must encourage its use through the appropriate mechanisms in order to achieve its proposed goals of generating 35% of total electricity from clean sources by 2025, improve the social welfare, and shape a sustainable future.

1. Introduction

The use of energy plays a key role in economic development and welfare of a nation [1,2], nevertheless overuse of natural resources, both renewable and non-renewable, not only threatens this development but also affects issues such as environment, human health and economic progress. For instance, the world energy consumption has increased 18% between 2005 and 2014 and is expected to increase 35% by 2035 [3,4].

The world consumption of primary energy in 2014 was 12,928.4 Million tonnes oil equivalent (Mtoe), based mainly on fossil fuels. Oil, natural gas and coal are the major fuels for primary energy production. In the case of Mexico, main fuels for primary energy in 2014 were, oil 45%, followed by natural gas 40% and coal 8% [3]. Regarding to electricity generation in Mexico, Fig. 1 shows that 57% of energy is generated by natural gas, 12.9% is generated by hydroelectric, and 11.1% is generated by coal. Renewable energies generate only 3% of electricity. Consequently, the use of electricity from renewable sources in Mexico is very low and there is an increase in power demand of 3.4% annually [5]. The Mexican government wants to reverse the situation achieving the goal of generating 35% of electricity from renewable sources by 2025 [6–8]. It has to invest in research and development, as well as in the search for mechanisms to encourage the deployment of renewable energy, since the deployment of the technology is based on the cumulative investment in research and development [9]. In this regard Garcia-Heller et al. [10] carried out a forecast study to estimate the investment costs by using some type of solar and wind technologies, and thus achieve the objective mentioned above i.e. to generate 35% of electricity from renewable sources by 2025. Actions should also be aimed at a more moderate use of energy in order to achieve sustainability [11].

* Corresponding author.
E-mail address: cinves.cp.cha.luqueno@gmail.com (F. Fernández-Luqueño).

http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.009
Received 6 July 2016; Received in revised form 23 January 2017; Accepted 2 May 2017
1364-0321/ © 2017 Elsevier Ltd. All rights reserved.

Artículo enviado (Journal: Renewable Energy; Elsevier)

The viability of electricity generation in Mexico through the renewable energy sources solar, wind, and biomass

Eduardo Pérez-Denicia[a], Fabián Fernández-Luqueño[b], Darnes Vilariño-Ayala[c]

[a] Ph.D. Program in Science, Technology, and Society, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN (Cinvestav), 07360, Mexico City, Mexico.
[b] Sustainability of Natural Resources and Energy Program, Cinvestav-Saltillo, Coahuila. C.P. 25900, Mexico.
[c] Faculty of Computer Science, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), 14 Sur y Av. San Claudio, C.U. 72560. Puebla, Mexico.

* *Corresponding author*: F. Fernández-Luqueño, Sustainability of Natural Resources and Energy Program, Cinvestav-Saltillo, Coahuila. C.P. 25900, México Tel.: +52 844 4389612; Fax: +52 844 4389610. *E-mail address*: cinves.cp.cha.luqueno@gmail.com

Abstract

In most power projects that use renewable sources, mainly economic aspects (optimization of costs, the return on investment, profits, etc.) are considered, leaving out social and environmental issues, therefore do not foresee the damage to the environment and the fragile social balance of communities. This paper establishes for the first time the states of the Mexican Republic where power generation through solar, wind, and biomass is more viable, by considering the three pillars of sustainability and through the use of social, economic and environmental indicators as a guide, as well as through the development of a mathematical model. The results obtained suggest that the state of Chihuahua is the most suitable for generating electricity through wind and biomass, while Coahuila presented a better performance through solar energy. Regarding the suitability of the three technologies, wind energy is the most sustainable in social, environmental and economic terms followed by solar power.

Keywords

Sustainable development
Social indicators
Environmental indicators
Mathematical model
Renewable energy
Power generation

Capítulo de libro

ENERGÍA RENOVABLE PARA LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y LA SUSTENTABILIDAD

Renewable Energy for Energetic Efficiency and Sustainability

Eduardo Pérez-Denicia[1], Fabián Fernández-Luqueño[2,*], Sein León-Silva[1]

[1] Programa de Doctorado Transdisciplinario en Desarrollo Científico y Tecnológico para la Sociedad, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN (Cinvestav), C.P. 07360, Ciudad de México, México. Tel: +52 045 2221393914, +52 044 5534938879.

[2] Programa de Sustentabilidad de los Recursos Naturales y Energía, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Saltillo (Cinvestav-Saltillo), Av. Industria Metalúrgica 1062, Parque Industrial Saltillo-Ramos Arizpe, Ramos Arizpe, C.P. 25900, Coahuila de Zaragoza, México. Tel: +52 844 4389625.

* Autor para correspondencia (E-mail): cinves.cp.cha.luqueno@gmail.com

Resumen

En el presente capítulo se discute la importancia de las fuentes de energía renovable y su estrecha relación con la eficiencia energética. La energía renovable representa un excelente aliado para enfrentar los efectos negativos asociados con la generación y uso de la energía producida mediante fuentes de energía tradicional, como los combustibles fósiles. Además, se analiza cómo las fuentes renovables de energía contribuyen al suministro de energía total, así como los principales proyectos y mecanismos empleados para promover la eficiencia energética. También se destaca la trascendencia de la participación de todos los involucrados en el proceso energético, con la finalidad de promover una cultura de ahorro de energía y modificar las conductas o patrones de consumo. El uso de energías renovables se ha popularizado lentamente a pesar de sus beneficios, por

lo que se requiere capacitación y asesoría técnica al respecto. Adicionalmente, se deben fortalecer mecanismos que coadyuven a incrementar la eficiencia energética en el marco del desarrollo sustentable.
Palabras clave: Ahorro energético, combustible fósil, contaminación ambiental, desarrollo sustentable, energía eléctrica, energía renovable, innovación tecnológica.

Abstract

This chapter discusses the importance of renewable energy sources and their close relationship with energy efficiency. Renewable energy represents an excellent ally to deal with the adverse effects associated with the generation and use of energy produced from traditional energy sources such as fossil fuels. Also, this book chapter analyzes how renewable energy sources contribute to the total energy supply, as well as the main projects and mechanisms used to promote energy efficiency. It also highlights the importance of the participation of all those involved in the energy process, to promote a culture of energy saving and to modify consumer behavior or patterns. The use of renewable energy has slowly become popular despite its benefits, so it requires training and technical advice in this regard. Besides, mechanisms that contribute to increasing energy efficiency within the framework of sustainable development must be strengthened.

Keywords: Energy saving, fossil fuel, environmental pollution, sustainable development, electric power, renewable energy, technological innovation.

Lista de acrónimos

kWh	kilowatt hora
MWh	megawatt hora
GWh	gigawatt hora
TWh	terawatt hora
MMbpe	millones de barriles de petróleo equivalente
Mtoe	million tonnes of oil equivalent (millones de toneladas de petróleo equivalente)
TJ	terajoules
PJ	petajoules
Tg	tergramos