

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Facultad de Filosofía y Letras

Colegio de Geografía

“Uso de la Energía Eólica como alternativa ante los retos del desarrollo sustentable en Pachuca de Soto, Hidalgo”

Tesis para obtener el título de

Licenciado en Geografía

Presenta:

Cristina Olmedo Santiago

Asesor:

Dr. César Raúl Pérez Marcial

Cd. Universitaria. D. F. 2014



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Contenido

INTRODUCCIÓN	4
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
JUSTIFICACIÓN	12
OBJETIVO:.....	14
HIPÓTESIS	15
METODOLOGÍA.....	15
CAPÍTULO UNO.....	17
ENERGÍA EÓLICA.....	17
1.1 Antecedentes	17
1.2 Aspectos generales.....	18
1.3 Desarrollo y tecnología eólica	20
1.4 Panorama Global.....	22
1.5 Desarrollo de energía limpia en México	27
1.5.1. Marco Regulatorio del Sector Eléctrico.....	30
1.5.2 Caso: Istmo de Tehuantepec.....	32
CAPÍTULO DOS.....	39
EL PAPEL DEL DESARROLLO SUSTENTABLE Y LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA	39
2.1 El Desarrollo Sustentable	39
2.2 Las Energías Renovables.....	43
2.3 La innovación tecnológica	47
2.4 Los Sistemas de Información Geográfica en las propuestas de Desarrollo Sustentable e Innovación Tecnológica	54
CAPÍTULO TRES.....	60
SITUACIÓN DEL SECTOR ENERGÉTICO	60
3.1 Administración de la energía eléctrica	60
3.1.1 Problemática de la determinación de las tarifas eléctricas	62
3.1.2 Descripción de las tarifas de energía eléctrica vigentes en México.....	64
3.1.3 Subsidio al sector energético	66
3.2 Situación del sector energético en Pachuca de Soto	69
CAPÍTULO CUATRO.....	72
PACHUCA DE SOTO, HIDALGO Y LA ENERGÍA EÓLICA.....	72
4.1 Síntesis geográfica de Pachuca de Soto	72
4.1.1 Fisiografía de Pachuca de Soto.....	72

4.1.2 Relieve	73
4.1.3 Clima.....	75
4.2 Condiciones eólicas locales	76
4.3 Propuestas de accesibilidad a la energía eólica	80
4.4 Demanda del servicio eléctrico	84
4.4.1 Población por niveles socioeconómicos.....	85
4.4.2 Población residencial.....	88
4.4.3 Actividades económicas industriales y comerciales	93
4.5 Uso de la energía eólica en Pachuca	96
4.5.1 Ventajas- Desventajas	98
4.5.2 Posición de la CFE respecto al uso de energía eólica	101
4.6 Localización de áreas de aplicación de la energía eólica	104
DISCUSIÓN.....	114
CONCLUSIONES	126
BIBLIOGRAFÍA	128

INTRODUCCIÓN

Ante la creciente demanda de energía en el mundo y ante los graves problemas ambientales como el cambio climático y el agotamiento de recursos no renovables, se han propuesto diversas alternativas que implican el uso de recursos renovables para alcanzar la sustentabilidad energética. Durante décadas, el hombre ha hecho uso intensivo de los combustibles fósiles, por su versatilidad, fácil acceso y porque el interés económico ha encaminado a la investigación a desarrollar tecnología de punta en dicho sector, excluyendo a otras fuentes energéticas del desarrollo.

Debido a que los hidrocarburos son fuentes de energía finita, su búsqueda y extracción se complica cada vez más, haciendo que los precios se incrementen considerablemente, pues su demanda crece a la par que disminuyen las reservas mundiales. En materia ambiental, diversos estudios arrojan resultados alarmantes, señalando que el uso y la quema de combustibles fósiles es una de las principales causas del calentamiento global. Es por eso que el desarrollo de fuentes de energía renovable, como la eólica debe ser una prioridad, ya que no causan daños en el medio ambiente ni generan residuos difíciles de manejar.

La energía eólica es una de las fuentes alternas que presenta mayor desarrollo tecnológico y ha demostrado tener mejores resultados desde los puntos de vista; ecológico, económico y de eficiencia energética. La versatilidad y el potencial de esta fuente son muy amplios, ya que los proyectos eólicos se pueden desarrollar tanto en la tierra como en el mar, si es que existe el potencial energético necesario.

A nivel internacional, las fuentes renovables de energía están cobrando importancia y están recibiendo un fuerte impulso, países como China, Estados Unidos de América, la Unión Europea e India se ostentan como líderes en el desarrollo de tecnología.

Con el impulso que están recibiendo dichas fuentes, los trabajos de investigación han ido incrementando, desarrollando tecnología que les permite postularse como fuentes capaces de suplir a los energéticos fósiles, demostrando su viabilidad en la disminución de costos de instalación y de generación.

Los esfuerzos hechos a nivel internacional para el desarrollo de la energía eólica son considerables, sin embargo, México se encuentra en la etapa inicial, en la que se están empezando a aplicar las medidas necesarias para su funcionamiento y promoción, prueba de ello son las modificaciones a la ley, en las que ya es obligatorio designar cierto porcentaje (aunque bajo) del presupuesto gubernamental a la investigación y desarrollo de energías renovables. Sin embargo, siguen haciendo falta políticas claras que velen por los intereses de la sociedad incluyéndola en proyectos eólicos de pequeña o gran magnitud, manifestando claramente las oportunidades de empleo y las ventajas económicas y ambientales que esto representa para la región.

La experiencia internacional ha mostrado el potencial de la energía eólica para la generación de empleos, la disminución en el costo de energía, el abasto seguro, mejora en las condiciones de vida y avance en países en desarrollo.

A medida que la energía disminuye, tendremos que realizar varias elecciones difíciles tales como qué es lo que contribuye más en energía y qué es lo que contribuye menos. A nivel nacional y estatal deberán tomarse decisiones en lo que respecta a los proyectos públicos, políticas de impuestos que afectan al suministro de dinero y protección ambiental relacionada con la energía. Estas decisiones conciernen a la efectividad de la energía y sus contribuciones a la vitalidad de la economía combinada de la humanidad y la naturaleza; y se puede tomar por medio de los análisis energéticos de costo beneficio. En un análisis de costo beneficio, sumamos los efectos positivos de alguna actividad en el trabajo hecho, entonces se restan las cantidades de trabajo disminuido causado por la actividad. Esto determina la energía neta, de ahí se decide si la actividad es válida o no.

Es necesaria una caracterización del mercado eólico mundial, entendiendo quienes ocupan los primeros lugares y cómo ha sido ese proceso de desarrollo. Para poder identificar factores que están haciendo posible el crecimiento de este sector energético en el país y para identificar claramente a aquellos que lo merman.

La energía eólica y su correcta tipificación se convierten en una alternativa de desarrollo sustentable para la humanidad resarciendo los daños ocasionados por la sociedad industrial, modificando los patrones de consumo y garantizando el equilibrio entre el ritmo de la naturaleza y el ritmo de uso de los recursos naturales.

Hablar de desarrollo sustentable resulta conflictivo, ya que es un término que se usa indiscriminadamente desde hace unos años, se pierde de vista que la depredación traída por modelos como el Taylorismo y Fordismo durante la revolución industrial, rompieron el equilibrio de la producción natural de recursos y ocuparon nuevos espacios en aras de un desarrollo entendido como progreso. Cuando se hizo evidente que el “progreso” era desigual, los países causantes del daño argumentaron que la sobrepoblación era la causante de que el desarrollo no se diera de manera equitativa, y señalaron a la pobreza como un detonante de la depredación.

A pesar de estas falsas interpretaciones, el término desarrollo sustentable se ha definido, entendiéndose como una fusión con dependencia mutua entre progreso y conservación de recursos para mejorar la calidad de vida del ser humano garantizando el acceso a los recursos naturales por generaciones. En el escenario actual del desarrollo sustentable aparece el factor tecnológico que permite contrarrestar las deficiencias de los recursos renovables existentes.

Pero para hablar de desarrollo es necesario hacer referencia a los recursos que proveen de energía para satisfacer cualquier necesidad y las fuentes renovables de energía se convierten en una opción al disminuir la carga de trabajo, por ser inagotables y por no generar desechos contaminantes.

Con el paso del tiempo las energías renovables han demostrado ser eficientes, económicas y amigables con el ambiente, una de las causas que incrementan su uso y explotación es el desarrollo tecnológico al que la humanidad ha llegado, generando maquinaria eficiente, confiable y económica que garantiza mejorar su calidad de vida.

En la producción eolieléctrica se ha creado un mercado en el que los principales actores son los países en desarrollo, que han invertido importantes sumas de dinero en la mejora de maquinaria, técnicas de prospección e instalación y legislatura, asegurando el futuro rendimiento de su inversión alcanzando una etapa de maduración industrial. Dentro de la innovación y desarrollo tecnológico una variante esencial es el descubrimiento de nuevas formas de almacenar la energía, esto genera que la inversión realizada en investigación se solventa por sí misma al generar patentes. México tiene más de 25 años sin reportar avances en desarrollo tecnológico, por lo que se ve obligado a importar tecnología y materia prima. Para reducir este problema resulta apremiante formar recursos

humanos de calidad, pues la investigación es crucial para la competencia efectiva, el desarrollo económico y la transformación social.

Parte del proceso de investigación se relaciona con la prospección del recurso eólico, identificar de manera puntual la existencia del recurso garantiza que la aplicación de técnicas, materiales y métodos rindan frutos. En el desarrollo de la metodología para la evaluación del viento interviene el uso de técnicas y herramientas como los Sistemas de Información Geográfica (SIG), que generan resultados a nivel espacio-temporal, definiendo zonas propensas de explotación y evaluando factores como características y comportamiento del recurso eólico, vías de comunicación, centros poblacionales, tenencia de tierra, uso potencial del suelo, etc., que permiten hacer una planificación estratégica y crear escenarios de oferta-demanda con diversas posibilidades tecnológicas.

A nivel nacional, el IIE ha desarrollado el Sistema de Información Geográfica para las Energías Renovables en México (SIGER) obteniendo mapas de recursos de biomasa, solar y eólico. El desarrollo de este SIG ha permitido crear diversos mapas eólicos de la región del Istmo de Tehuantepec, zona que cuenta con condiciones eólicas inmejorables a nivel mundial.

En el país desde hace más de dos décadas, se hace un esfuerzo por identificar espacialmente las zonas con potencial eólico, sin embargo, resulta necesario vincular estos resultados con la presente administración energética, ya que de ello depende el éxito que pueda tener un proyecto eólico. La Comisión Federal de Electricidad (CFE) como único administrador energético ha regionalizado al país tomando en cuenta la heterogeneidad del territorio. A pesar de tener bien definidas las áreas de control operativo del Sistema Eléctrico Nacional en regiones, existe un problema que frena el desarrollo competitivo de las energías renovables en el país, pues no se ha logrado determinar las tarifas eléctricas por falta de reglamentación y uso de metodologías óptimas para evaluar el costo real de la energía.

Al ser CFE el único organismo que administra el recurso eléctrico, no se permite evaluar de manera comparativa la eficiencia y costo de la energía, pues ningún otro organismo tiene acceso a la información generada en materia de electricidad, limitando las posibilidades de supervisión y comparación.

La dependencia de energéticos fósiles repercute en los costos de generación eléctrica, al subir el precio del petróleo, aumenta el precio del gas natural y del combustóleo, lo que se refleja en inestabilidad de precios, por lo que la inversión económica se frena y el sector energético recurre a opciones dramáticas; fijar tarifas energéticas elevadas para después dar un subsidio de hasta 80% en el consumo energético residencial.

Si bien es cierto que fijar tarifas energéticas, es una labor compleja porque requiere de evaluar factores como la cantidad de energía generada, el tipo de combustible empleado, tecnologías empleadas, factores de carga y traslado, capacidad de líneas de transmisión y distribución, niveles de voltaje demandados, ubicación de la demanda, entre otros. A nivel nacional las instituciones encargadas de regular estas variables y generar cifras presentan fallas operativas importantes, y por la falta de planeación y de un esquema claro que abarque y analice de forma conjunta a los elementos antes mencionados, la administración se ve en la necesidad de hacer ajustes tarifarios mensuales de acuerdo a la inflación, a los precios de combustibles empleados en la generación eléctrica, a la fracción de generación neta fósil y al tipo de cambio.

Hasta el momento CFE ha fijado tarifas en función de diversos elementos como el uso final de la energía, el tipo de tensión y la temperatura a la que se ve sometida una localidad. Sin embargo, ante la falta de políticas claras en materia de energéticos, a nivel nacional existe un índice alto en subsidios energéticos, los cuales además carecen de lineamientos para determinar a los sectores que lo necesitan y la población con menores ingresos recibe un subsidio bajo, mientras que la población de mayores ingresos percibe subsidios por encima del 50%.

Aunado al esfuerzo por fijar tarifas energéticas y esclarecer la administración energética nacional, también resulta prioritario identificar de manera espacial zonas con potencial eólico, para maximizar el potencial energético en municipios como Pachuca de Soto y disminuir su dependencia energética de regiones aledañas, brindando así las condiciones necesarias para optimizar el desempeño y desarrollo del municipio.

Actualmente la población porcentual de Pachuca que cuenta con el servicio eléctrico alcanza un 97.8%, pero para garantizar la electrificación total se requiere ampliar y fortalecer la infraestructura eléctrica, modernizando sistemas de alumbrado público,

apoyando a la industria y comercio, así como realizando estudios y proyectos que contemplen el ahorro de energía disminuyendo los costos de generación.

Para desarrollar proyectos eólicos eficientes es necesario reconocer las condiciones eólicas locales, y para ello el municipio cuenta con datos de tres Estaciones Meteorológicas, dos de ellas de reciente instalación. Pachuca forma parte de la Región Central en el Altiplano, donde prevalecen los vientos alisios de verano, desde Tlaxcala a Guanajuato, que en Pachuca, la bella airosa, son más conocidos. Estos vientos complementan estacionalmente, a los del altiplano norte y los del sur del Istmo de Tehuantepec. Aunado al análisis de comportamiento del viento, se requiere analizar las condiciones geográficas de la zona, pues su complejidad orográfica conformada por zonas montañosas en la zona norte, lomeríos en la parte noroeste-suroeste y las llanuras del centro-sur del municipio, dan lugar a innumerables pasos y mesetas donde el viento puede ser aprovechable.

La CFE reconoce a Hidalgo como una zona potencial para la explotación del recurso eólico y ha realizado estudios experimentales que han dado pie al desarrollo de maquinaria eólica. En la actualidad el municipio ha puesto en pie proyectos que involucran dos ejes principales en el desarrollo sustentable; eficiencia energética y cuidado del medio ambiente, haciendo uso de tecnología que opera con elementos como el aire y el sol.

El presente trabajo se desarrolla en cuatro capítulos, en el primero de ellos parte del análisis global de la circulación de los vientos, y se encamina a la explotación del recurso en diferentes escalas, iniciando con un panorama global que surge de una tendencia social a mejorar las condiciones de vida a partir del uso de energías limpias. Posteriormente analiza los factores que influyen a nivel nacional para la explotación del recurso eólico y toma como ejemplo el exitoso caso del Istmo de Tehuantepec, hasta llegar al municipio de Pachuca de Soto, en donde se propone como base del desarrollo la sustentabilidad energética, aprovechando los recursos eólicos.

Es importante exponer las características y propiedades de la energía eólica, así como sus beneficios tanto ambientales como sociales; empezando por abrir el panorama de una fuente energética tan noble como el viento.

La obtención de electricidad por medio de centrales eólicas es una alternativa para obtener energía eléctrica no contaminante, que evita daños ambientales tanto locales como transfronterizos y que al compararla con otras formas de producción de energía, tales como las centrales térmicas o las nucleoelectricas, resulta la más cercana a la sustentabilidad.

El capítulo dos trata de responder al cuestionamiento de cómo es posible alcanzar el desarrollo sustentable por medio del uso de energías renovables como la energía eólica, ya que su desarrollo avanza a la par que la tecnología e involucra al quehacer geográfico con el uso de los Sistemas de Información Geográfica para procesos complejos que van desde la localización, exploración, tipificación, cuantificación, etc.

Dentro del capítulo tres se abre el panorama de la situación del sector eléctrico mexicano, centrándose en el análisis de las condiciones del sector en Pachuca de Soto, por lo que serán analizados factores relevantes que definen al sistema eléctrico como los son; la administración regional de la energía eléctrica, el establecimiento de las tarifas eléctricas y los problemas que trae consigo su determinación así como el subsidio al sector energético.

En las últimas décadas los precios en energéticos han presentado fluctuaciones considerables, estas variaciones influyen directamente en la determinación de tarifas eléctricas, mermando la competitividad de las empresas que hacen uso intensivo de la energía. Este escenario obliga a buscar alternativas confiables para el suministro energético, como lo es el uso de la energía eólica, la cual trae consigo posibilidades de generación propia de electricidad, privilegiando a los esquemas de cogeneración y a la implementación de medidas de ahorro y uso eficiente de energía.

El capítulo cuatro aborda las condiciones físicas y sociales del municipio de Pachuca de Soto, que es el área de estudio en la cual se basa la propuesta del uso de la energía eólica como una alternativa ante los retos del desarrollo sustentable, por lo cual resulta de vital importancia conocer las condiciones geográficas de la zona en cuestión, así como las condiciones eólicas y las condiciones socioeconómicas de la población que ahí se asienta. Por lo que en el presenta capítulo se interpolan estas condiciones con el fin de obtener resultados en la competencia del uso de la energía eólica.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El viento es un recurso energético para el país y resulta necesario hacer el análisis de diversos elementos espaciales partiendo del principio de localización, situando al territorio nacional en el contexto mundial y resaltando la posición estratégica que ocupa, ya que por latitud goza de condiciones que aunadas a su relieve permiten implementar herramientas técnicas para explotar el recurso eólico en diversas regiones.

Las zonas con potencial eólico se encuentran en el sureste, el norte y el centro del país. En 1994, la CFE puso en marcha el primer proyecto experimental eoloelectrico ubicado en el poblado de la Venta en Juchitán, Oaxaca, donde se instalaron siete aerogeneradores de origen danés, con una capacidad total de 1, 575 kilowatts, esto equivale a proporcionar electricidad a 1, 500 casas aproximadamente. La zona se caracteriza por fuertes vientos, cuya velocidad promedio anual está por los 8 m/s (Poggi V., 2009).

Estudios realizados por el IIE indican que el Istmo de Tehuantepec, especialmente en las cercanías de Salina Cruz, Juchitán, el Cerro de la Bufa, el de la Virgen en Zacatecas, La Rumorosa en Baja California, parte de los estados de Coahuila, Quintana Roo, Veracruz, Sinaloa y de la Península de Yucatán son zonas que destacan por la intensidad del viento y por la extensión por la cual se desplaza.

Igual que estas zonas la ciudad de Pachuca de Soto cuenta con gran potencial para explotar la energía eólica, tradicionalmente es conocida como “La Bella Airosa”, en esta parte del territorio mexicano la velocidad del viento se encuentra dentro de los rangos establecidos para generar energía eólica, sin embargo, por las debilidades en la legislatura nacional en materia energética, la escasa inversión en investigación y desarrollo tecnológico, este potencial es desaprovechado.

Pachuca es un municipio que presenta un crecimiento acelerado, por lo que requiere de un servicio energético que cubra las necesidades de su población y que le permita continuar desarrollándose, es aquí donde el papel de las energías renovables es preponderante porque se presenta como una alternativa que otorga beneficios económicos, sociales y ambientales para la población.

A nivel urbano nacional se sufre una crisis en materia energética y resulta apremiante redefinir los objetivos y metodologías planteadas para alcanzar el desarrollo, superando la etapa de dependencia de combustibles fósiles para la generación de electricidad, también se impide la comercialización y competencia de las energías renovables, desaprovechando recursos existentes y de calidad.

JUSTIFICACIÓN

Para identificar y reconocer la importancia y papel del tema propuesto el presente trabajo expone las características y propiedades de la energía eólica, así como sus beneficios ambientales, sociales y económicos empezando por abrir el panorama de una fuente energética tan noble como el viento, dando una perspectiva de la situación del sector eólico a nivel mundial y analizando la evolución que ha tenido a nivel nacional, presentando casos de éxito como el Istmo de Tehuantepec y proponiendo su uso y explotación para activar el desarrollo y la sustentabilidad del municipio de Pachuca de Soto, Hgo.

El viento tiene propiedades que posicionan a la energía eólica como una alternativa en la generación de electricidad porque es una fuente libre, limpia e inagotable. La obtención de electricidad por medio del viento ha tenido diversas etapas a lo largo de la historia, ha pasado de ser el motor para la exploración de nuevos territorios propulsando barcos, ha colaborado en la alimentación de la población moliendo granos, ha servido para bombear agua y ha compensado el desequilibrio que el uso de energéticos fósiles ha provocado en diversas ocasiones.

Hasta hace un par de décadas, hablar de alcanzar el desarrollo por medio de la generación eoloeléctrica parecía una utopía, pero en la actualidad la obtención de electricidad por medio de centrales eólicas es una alternativa para obtener energía eléctrica no contaminante, que evita daños ambientales tanto locales como transfronterizos y que al compararla con otras formas de producción de energía, tales como las centrales térmicas o las nucleoeeléctricas, resulta la más cercana a la sustentabilidad.

Una evidencia de la factibilidad de la generación eléctrica por medio del viento es la creciente capacidad progresiva instalada a nivel mundial, pues se ha pasado de generar

6.1 Gigawatts en 1996 a 283 Gigawatts para el año 2012 (World Wind Energy Association, 2011).

La generación de energía a través del viento es una realidad para países como China que abarca el 44% del mercado eólico mundial (World Wind Energy Association, 2011).

La innovación y el desarrollo tecnológico alcanzado a nivel mundial en materia eoloelectrica ha propiciado la formación de un mercado eólico en el que países como China, Estados Unidos, Alemania, España, India, Reino Unido, entre otros, invierten importantes recursos económicos y humanos asegurando el éxito de sus proyectos eólicos y generando una competencia en la que el desarrollo y la estabilidad de la sociedad no depende de las fluctuaciones de los precios del petróleo.

A nivel nacional la generación de energía primaria se basa en los hidrocarburos, que aportan un 88% de la electricidad nacional (SENER, 2011). Incurriendo en un error, ya que la posición geográfica estratégica del país le permite generar electricidad haciendo uso de diversas fuentes para generar hidroenergía, energía solar, energía eólica, de biomasa y biogás.

México posee recurso eólico en diversas regiones, el IIE se ha encargado de realizar estudios de prospección y ha estimado el potencial de generación de zonas como La Ventosa (2 000 MW), Guerrero Negro (10 MW), La Rumorosa (110 MW), Hidalgo (100 MW), Veracruz (100 MW), Cozumel y Cancún (100 MW), López Mateos (100 MW), San Quintín (50 MW), Zacatecas (300 MW) y Mazatlán (100 MW) (Huacuz Villamar, 2010).

El estado de Hidalgo ha sido señalado como una zona con potencial de generación eoloelectrica, en 1997 se inauguró la estación experimental eoloelectrica en el Gavillero, el régimen de vientos del lugar producía exceso de energía en verano y déficit en invierno para el consumo normal del poblado (CONAE, s.f.). Este experimento es un claro ejemplo de que la falta de inversión en investigación y desarrollo tecnológico evita que se aproveche un recurso libre, limpio e inagotable como el viento. La inversión en el establecimiento de más estaciones meteorológicas podría ayudar a delimitar espacialmente las zonas con potencial y aseguraría el éxito de proyectos eólicos.

El municipio de Pachuca de Soto trabaja en la elaboración de un plan de desarrollo urbano en el que los objetivos planteados tienen como finalidad mejorar la calidad de vida de los habitantes, una forma de alcanzar este objetivo es incluir al sector energético buscando proveer de electricidad al cien por ciento de la población haciéndolo de manera sustentable. En este aspecto la energía eólica es una alternativa capaz de brindar nuevas oportunidades de desarrollo evitando la emisión de gases de efecto invernadero, reduciendo la contaminación del aire, creando oportunidades económicas por medio de un mercado eólico local y aumentando la seguridad energética del municipio.

Este trabajo resume las ventajas y oportunidades que tiene Pachuca para alcanzar el desarrollo explorando el uso racional y eficiente de un recurso olvidado y poco estudiado como el viento. La generación de energía eólica en Pachuca es un hecho, pero sigue estando ausente el trabajo de diversos organismos institucionales que fomenten el uso de energías limpias y que promuevan leyes que hagan factible la inversión en fuentes alternativas de energía.

OBJETIVO:

La relevancia del tema y sus componentes poco reconocidos en el ámbito geográfico y sus implicaciones para el desarrollo de alternativas energéticas útiles se concentran en la intención de demostrar la existencia de condiciones adecuadas para explotar la energía eólica en el Municipio de Pachuca de Soto, bajo un análisis espacial de las características geográficas para la implementación de tecnología energética sustentable, como una alternativa económica, práctica y viable para el aprovechamiento del recurso eólico. Por lo que de manera particular se busca:

1. Detallar el origen de la Energía Eólica para entender cuáles son los factores que intervienen en su generación.

2. Definir los aspectos técnicos que intervienen en la industria eólica como son; elección del lugar de emplazamiento, el costo económico que conlleva su aplicación, así como parte de las características de un aerogenerador.

3. Estimar la situación de la energía eólica en Europa y en el mundo como fuente de energía limpia y económicamente competitiva frente a las fuentes tradicionales de energía.

4. Identificar como caso concreto del sector los proyectos aplicados en el Istmo de Tehuantepec, Oaxaca.

5. Determinar el comportamiento espacio-temporal del recurso eólico en Pachuca de Soto, con el fin de identificar zonas para su aprovechamiento en la generación de electricidad.

HIPÓTESIS

Debido al desarrollo técnico y a la eliminación de costos que el uso masivo de fuentes renovables de energía, a partir del inicio de la segunda década de este siglo se ha permitido aprovechar la energía eólica, en Pachuca, como un medio alternativo de abastecimiento interno de energía eléctrica a mediana escala dentro las fronteras de la población urbana es posible (Costos menores, mejorando el abastecimiento, cuidando el medio ambiente y mejorando la calidad de vida de los habitantes). Ya que en el contexto urbano de Pachuca, Hidalgo, se realizan emprendimientos de energías alternativas teniendo en cuenta la rentabilidad de los recursos no convencionales o alternativos, como el viento, para abastecerse de electricidad, considerando las ventajas, económicas, sociales y ambientales.

METODOLOGÍA

1. Para cumplir con el objetivo general de este trabajo, es necesario construir un escenario general de la Energía Eólica, partiendo de sus antecedentes, aspectos generales, desarrollos tecnológicos, el panorama global y el desarrollo de energía limpia en México, por lo que se recurre a la investigación documental haciendo uso de fuentes como libros, artículos científicos, revistas, tesis, informes técnicos, consulta de especialistas en la materia, programas de investigación, planes de desarrollo, boletines informativos, reseñas, ensayos, etc.

2. Para obtener el panorama espacial de Pachuca se recurre la INEGI, obteniendo cartografía y datos físicos, sociales y económicos relevantes para la investigación. Se utilizan datos procedentes del Sistema Meteorológico Nacional para elaborar un cronograma con información de velocidad de los vientos que permite evaluar la potencia temporal del viento. Para construir un futuro alternativo energético en el sector eléctrico de Pachuca se recurre a CFE para conocer la administración del sector energético en la zona, las tarifas establecidas, la calidad del servicio, el presupuesto destinado a investigación y desarrollo tecnológico. Una vez recopilada la información documental proveniente de instituciones públicas y privadas, se organiza, se comparan y analizan las diversas posturas en torno a los temas de energía eólica y se construye el marco teórico del desarrollo sustentable, la situación del sector energético a nivel nacional y local.
3. Mediante trabajo de campo se recopila información sobre los aerogeneradores en funcionamiento en el municipio de Pachuca, Hgo., tomando referencias espaciales con GPS, los cuales se ordenan y procesan mediante una tabulación que presenta en forma conjunta la información obtenida. Con ayuda de los SIG se sobreponen los puntos obtenidos con GPS con otras capas de información dando como resultado un mapa de aerogeneradores en funcionamiento en Pachuca.
4. Se analizan los datos recopilados durante la investigación y se acepta la hipótesis planteada haciendo una interpretación de los resultados planteando una discusión en torno al tema y se obtienen conclusiones.

USO DE LA ENERGÍA EÓLICA COMO ALTERNATIVA ANTE LOS RETOS DEL DESARROLLO SUSTENTABLE EN PACHUCA DE SOTO, HIDALGO

CAPÍTULO UNO

ENERGÍA EÓLICA

1.1 Antecedentes

Las energías¹ renovables se han utilizado desde que existe la humanidad. El viento desempeña un papel fundamental en la vida terrestre, contribuye al proceso de homogeneización atmosférica, a los ciclos del agua y de otros elementos, a la polinización de las flores y también a la dispersión de los frutos. El hombre ha intentado y con éxito, utilizarlo para su beneficio, mediante el empleo de dispositivos diseñados para el tipo de aplicación deseado.

Existen registros históricos que marcan el uso de la energía del viento propulsando barcos, turbinas de viento, molinos de granos, bombas de agua, etc. Aparentemente la primera aplicación práctica fue la navegación; los egipcios y los sumerios se aprovecharon de él (algunos documentos se remontan a los 4500 años a.C.), en los cursos de los ríos Nilo y Tigris, respectivamente. A los proyectos de irrigación del emperador Hammurabi (1700 a.C.), le corresponde la referencia más antigua de un uso distinto a la navegación. El primer molino de viento del que se tiene registro histórico, aparece en Persia, y se utilizó varios siglos antes de Cristo, para pulverizar granos. Las máquinas más antiguas de las que se tiene registro se sitúan en la zona del Tibet y Mongolia (por el siglo II antes de nuestra era). A partir de entonces la rica historia de los molinos de viento se desenvuelve hasta nuestros días a través de distintas religiones y culturas. Extremo Oriente, la antigua Persia, Afganistán, la civilización Islámica, Bretaña y los Países Bajos, y con posterioridad toda Europa, fueron los anfitriones de estos útiles aparatos (Escudero López, 2004).

¹ La palabra energía viene del griego “*energos*” y significa *actividad o “trabajo”*, se define a la energía como la capacidad para realizar trabajo, todos los cuerpos en movimiento desarrollan una energía. El aire en movimiento se conoce como viento. Por ello, la energía eólica se define como la que desarrolla el viento.

La evolución y el desarrollo tecnológico en la explotación del recurso eólico, se identifica con tres hechos puntuales (Escudero López, 2004):

1. **El invento de la bombilla** en 1878, por el británico Joseph Swan, supone un punto de inflexión en los avances en el campo de la electricidad. La comercialización de la bombilla por Thomas Alba Edison en 1879 precisa idear un sistema de distribución de electricidad.
2. **La construcción del primer aerogenerador**, en 1888 por Charles F. Brush capaz de transformar la fuerza del viento en electricidad
3. **El vuelo de los hermanos Wright** en 1903 inicia la era de la conquista del aire.

La era moderna de los molinos viene de la mano del desarrollo de la teoría de la aerodinámica, elaborada en las primeras décadas de siglo XX por Prandtl y Betz en Alemania, Joukowsky, Dzewisky y Sabinin en Rusia, y Constantin y Eiffel en Francia, que primeramente encontraron aplicaciones en la fabricación de alas y hélices utilizadas en aviación y posteriormente en las palas de los rotores de los molinos. Fue de esta manera que las máquinas acabaron perdiendo su toque pintoresco habitual y se transformaron en modernos molinos de austeras líneas, que se ajustan mejor a la conversión de la energía eólica de forma eficiente (Escudero López, 2004).

Esta evolución en el desarrollo tecnológico para la explotación del recurso eólico ha cambiado, en la actualidad la tecnología es concebida como el arte de manipular materiales, energía e información, y se puede definir mejor el rol de la energía.

1.2 Aspectos generales

El viento es aire² en movimiento y es una forma indirecta de la energía solar. El viento se genera cuando el Sol calienta la Tierra, y el aire frío que viene del mar, al pasar por la Tierra se calienta. Como el aire caliente pesa menos, asciende y, según los

² Mezcla de gases y otras sustancias en suspensión en la cual se demuestra que el Nitrógeno es el componente principal del aire. Es un gas inerte, principal componente de los aminoácidos y proteínas (constituyentes de los seres vivos). Las partículas contaminantes son el resultado de la actividad que se desarrolla en la corteza de la Tierra, donde hay industrias, vehículos, edificios, que desprenden polvo, cenizas, ácidos, dióxido de azufre, etc.

obstáculos (montañas, colinas, barrancos) que se encuentre puede tener mayores o menores turbulencias. Se calcula que entre el 1 y 2% de la energía del Sol incidente en la Tierra, se transforma en viento.

La atmósfera es muy dinámica debido a que tiene poca masa en relación con la energía que recibe directamente del sol o indirectamente de la superficie terrestre calentada por éste. Como no todos los puntos de la tierra reciben la misma radiación ni la superficie la emite a la atmósfera de la misma forma, se generan diferencias de temperatura que dan lugar a diferencias de presión atmosférica, que el aire trata de igualar con su movimiento (de Tapia Martín, et al., 2005).

La fuerte diferencia de radiación existente entre el ecuador y los polos por la esfericidad de la Tierra, genera un fuerte gradiente de presión que es el motor de la circulación atmosférica en el ámbito global, y el responsable de las diferencias latitudinales en el clima. La disposición de tierras y mares produce modificaciones sobre estos patrones generales, debido a que océanos y continentes no ceden calor a la atmósfera de la misma manera. Mientras que los océanos almacenan mucho calor y lo ceden lentamente, los continentes se calientan mucho y ceden este calor de forma casi inmediata. Esto explica las diferencias en la circulación atmosférica entre los hemisferios Norte y Sur de la Tierra. Un cambio en la temperatura media del planeta afecta a los patrones de circulación atmosférica y por consiguiente al clima. Esto se debe a que los cambios de temperatura no afectan igual a toda la Tierra, sino principalmente a las latitudes altas (de Tapia Martín, et al., 2005).

Por lo descrito anteriormente se entiende que la energía en el viento es inagotable, debido a su carácter cíclico, sin embargo, ésta no actúa de manera homogénea en el globo terráqueo, por lo que es de vital importancia una correcta evaluación y caracterización del viento que permita conocer la velocidad media del viento, distribución de frecuencias en las diferentes direcciones, variación del viento con respecto a la altura y posición, estadística de ráfagas, velocidad máxima y distribución del día típico medio (diurno y nocturno).

El método para conocer el potencial de producción de energía del viento, es la instalación de uno o más anemómetros, los cuales, periódicamente³ generan datos de la velocidad y la dirección del viento en forma electrónica. Para hacer esta tarea se emplean anemómetros que registran la rapidez y dirección del viento, respectivamente. Tales dispositivos de medición son colocados a diferentes alturas respecto al nivel del terreno, esto es, a partir de 10 metros hasta 80 metros de altura; en la actualidad se realizan mediciones por arriba de los 100 metros (Angeles Camacho & Jaramillo Salgado, 2012). Estos datos se analizan detalladamente en relación con las características del terreno y las mediciones de estaciones meteorológicas cercanas, con el fin de estimar la producción potencial de energía a largo plazo y durante diferentes épocas del año. Información meteorológica de sitios aledaños puede apoyar en análisis potencial eólico. La cantidad de energía (mecánica o eléctrica) que puede generar una turbina eólica depende mucho de las características del viento vigentes en el sitio de la instalación. Existen parámetros que permiten identificar el funcionamiento de un aerogenerador, hasta el momento se han definido de 3.5 m/s para el funcionamiento de pequeñas turbinas y 6 m/s para turbinas grandes (BUN-CA, 2002)

1.3 Desarrollo y tecnología eólica

La energía que puede generar el viento se captura por medio de máquinas eólicas (aerobombas, aeromotores y aerogeneradores), capaces de transformar la energía cinética en mecánica de rotación, ya sea para accionar directamente máquinas de tracción o para la producción de electricidad. Un aerogenerador o turbina eólica es un dispositivo mecánico que convierte la energía cinética del viento en electricidad.

El primer molino que generó electricidad fue construido en 1888 por Charles F. Brush, fue el primero en incorporar una caja de velocidades, era un molino de poste con 144 aspas fabricadas de cedro y un rotor de 17 metros de diámetro, con una gran cola con bisagra para orientar el rotor fuera de la dirección del viento. En 1892, en Dinamarca,

³ Es práctica común utilizar los datos tomados cada segundo y promediados cada 10 minutos, ya que las variaciones en la rapidez del viento con mayores que un segundo y menores que 10 minutos presentan un carácter estocástico y se considera que representan la turbulencia.

Paul la Cour desarrollo el primer aerogenerador, consistió en cuatro palas de 2 metros de largo y desarrollaba entre 5 y 25 kW de potencia. En 1931, Rusia fue el primero en desarrollar a escala comercial el aerogenerador, fue el primer sistema conectado a la red eléctrica, generando un estimado de 200, 000 kWh de electricidad (Angeles Camacho & Jaramillo Salgado, 2012).

Como puede observarse, el desarrollo de la tecnología de aerogeneradores no se realizó a paso sostenido a través de los años, los principales avances tecnológicos fueron el resultado de respuestas transitorias a la escases de energéticos durante las guerras mundiales.

El diseño, los materiales y la estructura de los aerogeneradores ha mostrado una constante evolución, empezaron siendo sistemas rústicos con bases toscas y de gran peso, en la actualidad se yerguen estructuras más grandes, ligeras y sólidas, en su diseño y construcción se aplican conocimientos de aerodinámica, de resistencia de materiales, de turbomaquinaria y de ingeniería (eléctrica, mecánica, electrónica y de control), y la energía generada se puede almacenar.

Cada aerogenerador se contruye en base a las características del viento encontradas en el sitio de la instalación, actualmente existen parámetros que permiten conocer la velocidad del viento para identificar la potencia de uso que se le dará al aerogenerador; la velocidad mínima a la que empieza a ser rentable poner en marcha el aerogenerador es de 4 a 5 m/s; la velocidad máxima suele estar alrededor de los 25 m/s; y la velocidad en la que el aerogenerador alcanza su potencia máxima, es de 15 m/s (Madrid, 2009).

El factor más importante que se debe considerar en la construcción o instalación de una planta eólica para generar electricidad es el recurso eólico. Para esto es necesario revisar antecedentes de estudios o mediciones de los factores del viento, en caso de que se hayan realizado, tales como velocidad, dirección y temperatura, por organismos confiables. Adicionalmente es necesario instalar estaciones de monitoreo para registrar y validar las características del viento propias del sitio. En esta etapa se deben obtener rosas de los vientos, la distribución de velocidades, mapas eólicos y la desviación estándar.

Sí los análisis del ambiente geográfico, de ingeniería técnico-económicos, estudios de frecuencia y velocidad de los vientos, así como estudios de impacto ambiental

y social que puede causar la instalación de un número importante de turbinas arrojan resultados positivos y si se ha encontrado una zona adecuada, es posible establecer granjas o parques eólicos, que son extensiones de terreno con un conjunto de aerogeneradores que se sitúan en una zona amplia. (Madrid, 2009)

El proceso de evaluación para el emplazamiento de aerogeneradores comienza por la prospección que permite identificar sitios propicios para el emplazamiento de las centrales, continúa con los estudios para la caracterización del recurso eólico, la definición del sitio de emplazamiento y la ingeniería de planta⁴, hasta llegar a la instalación de la maquinaria.

1.4 Panorama Global

Las sociedades desarrolladas buscan alternativas de generación eléctrica amigable con el medio ambiente, se ha desarrollado tecnología que ha alcanzado un grado de madurez capaz de traducirse en eficiencia, confiabilidad y menores costos. Sin embargo, detrás de esto hay factores de carácter estratégico y económico, como el posicionamiento temprano en el mercado de las nuevas tecnologías energéticas; y de naturaleza pragmática para sus economías, como la creación de nuevos puestos de trabajo y la reactivación industrial.

El uso de energía eólica ha crecido notoriamente, como lo muestra la **Figura 1**, la capacidad instalada a nivel mundial ha incrementado notoriamente desde 1996 a 2012, y esto se debe en gran medida a la disminución de los costos de generación, a la creciente demanda de energía eléctrica y la disminución de problemas ambientales, en particular, el cambio climático. El incremento en el uso de la energía eólica ha generado un nuevo mercado en materia energética, que abarca desde el ámbito doméstico hasta el industrial. Este mercado es dirigido por países que afrontan problemas graves por el costo elevado de combustibles fósiles y por las consecuencias que trae la quema de los mismos, como España, Alemania, Dinamarca y Suecia. Dependiendo de combustibles fósiles para la generación eléctrica representa grandes riesgos de colapso económico ante una crisis petrolera.

⁴ La construcción de obras civiles como caminos de acceso y cimentaciones para las torres.

Una causa importante del crecimiento del mercado eólico parte de una reestructuración político-energética, en la que los gobiernos invierten en el desarrollo tecnológico mejorando el funcionamiento y la confiabilidad de técnicas, y evitando el pago de impuestos en los primeros años de emplazamiento o generación, lo que permite estabilizar al sector energético.

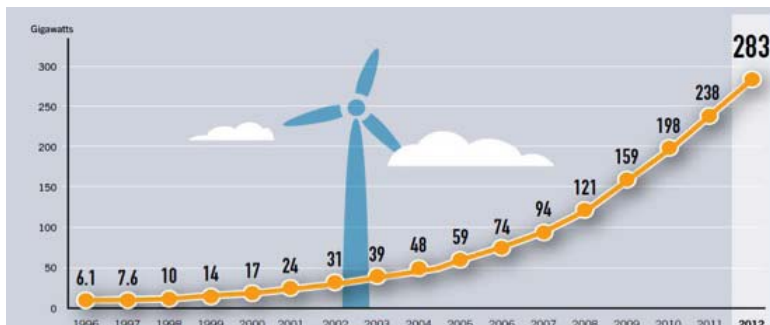


Figura 1. Capacidad Instalada a nivel mundial, 1996-2012
Fuente: World Wind Energy Association. 2012

El Cuadro 1 muestra la capacidad instalada en 2012, países como China, Estados Unidos, India, Alemania y Reino Unido comenzaron a incrementar su capacidad desde 2010 invirtiendo en energía eólica más que en cualquier otra tecnología renovable.

Posición en el mundo	Países con mayor producción al inicio de 2012	Capacidad Instalada (MW)
1	China	75,324
2	Estados Unidos	58,882
3	Alemania	31,308
4	España	22,796
5	India	18,321
6	Reino Unido	8,445
7	Italia	8,144
8	Francia	7,473

9	Canadá	6,201
15	Brasil	2,507
24	México	1,348
TOTAL	MUNDIAL	282,275

Cuadro 1. Capacidad instalada a nivel mundial, 2012

Fuente: Elaboración propia con datos procedentes de World Wind Energy Association 2012

El caso de China es interesante, porque a pesar de que disminuyó su producción por la crisis financiera de 2008, en la actualidad abarca el 44% del mercado mundial y en tan sólo cinco años incremento 24 veces su capacidad eólica instalada (World Wind Energy Association, 2011).

Estados Unidos ha convertido a la energía eólica en su principal fuente de generación eléctrica, proporcionando alrededor del 42% de toda la nueva capacidad de generación, superando a la energía procedente de la combinación entre carbón y energía nuclear (World Wind Energy Association, 2011).

Alemania ocupa el tercer lugar a nivel mundial en generación de energía eólica, gracias al progresivo aislamiento del mercado chino que está obligando a los fabricantes a centrarse en los mercados europeos. La aceleración en el mercado alemán es prueba de que la población apoya la energía eólica y está dispuesta a participar en la transición energética.

España es el único país a nivel mundial que cubre sus necesidades eléctricas con energía verde, sin tener el recurso con el que cuenta México (ni en cantidad ni en calidad), ha desarrollado tecnología propia, sus entidades financieras están estrechamente vinculadas con los fabricantes nacionales y tienen filiales produciendo máquinas en otras partes del mundo, sus empresas desarrollan proyectos y construyen centrales en otras partes del mundo, incluyendo México. Esto se ha logrado gracias a la articulación entre el gobierno, el sector industrial y el sector financiero.

La crisis económica hizo que en el mercado europeo países como Reino Unido, Italia y Francia bajaran su rendimiento, pero permitió que países como Rumania, Chipre y Grecia se incluyeran en el mercado al duplicar su capacidad.

América Latina ha tenido un crecimiento significativo, un ejemplo claro es Brasil, que a pesar de no contar con tecnología propia cuenta con el apoyo del gobierno y en la actualidad tiene más de 57 campos eólicos. Otros países como Argentina, Chile y México han ido aumentando su capacidad instalada, mientras que República Dominicana y Honduras están instalando sus primeras plantas.

Regiones como África y Medio Oriente han visto mermada su incursión en el mercado eólico a causa de las crisis sociales, la agitación en el mundo árabe no ha permitido el desarrollo de regiones con alto potencial.

Los apoyos regulatorios juegan un papel trascendente en el despunte de los mercados eólicos nacionales, el **Cuadro 2** muestra un resumen comparativo entre Estados Unidos, España y México, resaltando el apoyo financiero estatal y la existencia de planes de desarrollo basados en la generación eléctrica a partir de fuentes alternas. Las instituciones bancarias juegan un papel importante en el crecimiento del mercado eólico porque aumentan su apoyo financiero cuando las restricciones presupuestarias y los factores de riesgo disminuyen y comparten los riesgos asociados a aspectos políticos, económicos, sociales y de localización. Es notorio que la falta de apoyo por parte de instituciones financieras y jurídicas nacionales frena el desarrollo del sector energético renovable para México. Comparando estos datos con el Cuadro 1, es posible ver que los países que encabezan la lista de productores eolieléctricos reciben apoyo financiero procedente de instituciones bancarias.

Concepto	Estados Unidos	España	México
Subsidio a la generación de ER	Subsidio fiscal de 1.9 centavos/kWh durante los primeros 10 años	Prima de 2.9322 c€/kWh para la generación eolieléctrica; montos mayores para otros tipos de ER	No hay subsidio, es posible que se implemente a través del Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía
Metas de generación de ER	Se establecen metas obligatorias de compra de ER por la autoridad reguladora de cada estado, y se ha desarrollado un mercado de bonos para acreditar cumplimiento.	Meta nacional de cubrir para 2020 al menos el 12% del consumo total de energía, y metas de incremento en la capacidad instalada por región. Para la meta de 2005-2010, la capacidad instalada esperada era de 12,000MW para lo cual se asignó presupuesto de primas por 2,500 millones de euros para propiciar inversión de 11,700 millones de euros.	Serán establecidas por la SENER para aplicarse a CFE por ser el principal comprador. A la fecha, CFE no tiene obligación de un monto mínimo de compra de ER.
Precio de la energía	Variables según cada estado.	Precio mínimo garantizado a un valor que asegura viabilidad financiera de los proyectos a largo plazo.	Precio se pacta entre desarrollador y los compradores; si se trata de CFE, se sigue un proceso de licitación. Para excedentes de energía por autoabastecimiento, CFE lo puede comprar pero al 85% del costo marginal de corto plazo.

Cuadro 2. Comparación de apoyos regulatorios para el uso de energía renovable entre Estados Unidos de América, España y México
Fuente: USAID, IDEA. Ministro de Energía Español

Hay experiencias y modelos a nivel mundial que sirven de ejemplo para citar el desarrollo tecnológico, en un extremo se encuentran casos de países como Dinamarca, Holanda, Nueva Zelanda, Corea del Sur, Japón y Grecia que han desarrollado su propia tecnología; en el otro extremo se ubican países como Costa Rica, Italia, Portugal, Francia, Colombia, Argentina, Austria y Australia, que han preferido importar las máquinas o maquilar componentes de ellas. Entre estos extremos se encuentran aquellos países que tienen una mezcla de modelos, incluyendo compra y licenciamiento de la tecnología desarrollada por terceros, así como desarrollos propios; tal es el caso de España, India, China y Estados Unidos.

1.5 Desarrollo de energía limpia en México

El potencial de generación eléctrica a partir de energías renovables en el país es considerable, son varios factores los que intervienen; en primer lugar, la ubicación estratégica de México en el mundo, pues se localiza entre las latitudes 14° y 33° del hemisferio norte, que le permite tener contacto con los Océanos Pacífico y Atlántico, esta privilegiada ubicación permite que la incidencia de los rayos solares, se convierta en energía solar y que los regímenes de viento se presten para la explotación de energía eólica. Por otra parte, es necesario considerar las extraordinarias formas del relieve, elevaciones como las Sierras Madre Occidental y Oriental, y el Eje Neovolcánico que contrastan con extensas llanuras, altiplanicies, valles y depresiones, dan origen a un sinnúmero de posibilidades de explotación de energías limpias.

A pesar de esto, la producción energética del territorio mexicano se ha basado por décadas en la industria petrolera. Petróleos Mexicanos (Pemex) es el único organismo descentralizado que desde 1859 realiza actividades estratégicas en materia de hidrocarburos, suministrando combustibles de calidad. El país cuenta con combustibles fósiles, los cuales no solamente son el pilar de la economía, sino el objeto central de la política energética.

Sin embargo, Pemex enfrenta el reto de sostener una producción diaria por arriba de los tres millones de barriles, cuando la producción petrolera se encuentra en declive, ya que la plataforma más importante del país (Cantarell), en Ciudad del Carmen, ha

disminuido su producción de 1.5 millones de barriles diarios a 700 mil barriles (Petróleos Mexicanos, 2007).

Ante esta situación se plantean alternativas para sustituir Cantarell y al petróleo como única fuente de producción energética, propiciando una etapa de transición energética nacional en la resulta prioritario delegar responsabilidades entre diversos actores públicos como la Secretaría de Energía (SENER), la Comisión Reguladora de Energía (CRE), la Comisión Nacional para el Ahorro de la Energía (CONAE), el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), la Comisión Federal de Electricidad (CFE), la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), el Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO), y diversas asociaciones que promueven la explotación de las energías renovables.

El motivo por el que se ven involucrados diversos sectores públicos es la excesiva dependencia de la economía mexicana en hidrocarburos. Como muestra el **Cuadro 3**, la producción nacional de energía primaria, se basa en los hidrocarburos, con una aportación del 88% para el año 2011. A pesar de tener un porcentaje elevado, de 2009 a 2011 este número ha disminuido, pues en 2009 representaba el 90.5% de la energía primaria producida, permitiendo que la producción de energía renovable aumentara su porcentaje con hidroenergía, energía solar, energía eólica, biomasa y agregando la producción de biogás, que no producía en 2009.

Entre las energías renovables aprovechadas en el país se encuentra la energía eólica y organismos nacionales e internacionales como el National Renewable Energy Laboratory⁵ (NREL), el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), el Instituto de Ingeniería de la UNAM (IIUNAM) y la Asociación Mexicana de Desarrolladores de Energía Eólica (AMDEE), realizan estudios de prospección, obteniendo como resultado mapas eólicos que indican que la cantidad y calidad del viento es una de las mejores a nivel mundial sí se compara con países líderes en generación eólica.

⁵ Realizó el primer estudio riguroso para la exploración del viento en 1995, utilizando datos de viento de 186 estaciones, principalmente localizados en aeropuertos y en varias ciudades del país.

	2009	2010	2011
Carbón	207.75	241.28	290.96
Hidrocarburos	8,496.48	8,304.34	8,151.63
Petróleo crudo	6,058.73	6,008.64	5,933.53
Condensados	86.08	92.51	100.38
Gas natural	2,351.67	2,203.19	2,117.72
Nucleoenergía	112.75	63.94	106.39
Renovables	602.25	641.14	641.78
Hidroenergía	95.2	132.26	130.56
Geoenergía	159.69	149.94	149.29
Energía solar	4.06	4.91	5.86
Energía eólica	0.9	4.46	5.93
Biogás		1.3	1.47
Biomasa	349.4	348.28	348.67
Bagazo de caña	88.73	88.97	90.58
Leña	260.68	259.31	258.09
Total	9,419.23	9,250.71	9,190.76

Cuadro 3. Producción de energía primaria (Petajules)
Fuente: Sistema de Información Energética (SENER, 2011).

Las ventajas del uso de la energía eólica no se basan únicamente en la disminución de los costos de la energía ni en evitar contaminación, también brindan la posibilidad de crear un mercado eólico industrial minimizando la importación de insumos. Un estudio elaborado por el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), encontró que unas 2,000 empresas mexicanas medianas y pequeñas tienen el perfil correcto para convertirse en proveedores de industrias eólicas ya establecidas (Huacuz Villamar, 2010).

Renombradas instituciones nacionales se han dado a la tarea de formar cuadros especialistas, para desarrollar tecnología local, considerando que la tecnología eólica actual ha alcanzado un grado de madurez que ofrece márgenes de competitividad económica con otras opciones de generación eléctrica en diversos nichos del mercado (Huacuz Villamar, 2010). Potencialmente México cuenta con instituciones, recursos humanos, una base industrial e inversionistas interesados que pueden conformar una industria eoloelectrónica propia, que significaría la creación de más de 40 mil empleos directos e indirectos, si las máquinas fueran diseñadas y producidas localmente.

La generación de electricidad con el viento en México es una realidad, el **Cuadro 4** muestra los sitios donde actualmente operan aerogeneradores y la evolución de la capacidad instalada entre 1994 y 2010. A finales de 2010 la capacidad eólica instalada en México ascendía a 519.15 MW según la AMDEE (AMDEE, 2013).

Año	Proyecto	Capacidad eólica instalada
1994	La Venta	1.5 MW
1995	Guerrero Negro	0.6 MW
2006		
2007	La Venta II	83.3 MW
2009	Parques Ecológicos	79.9 MW
	Eurus	37.5 MW
2010	Eurus2nd Phase	212.5 MW
	Gob. BC	10 MW
	BiiNee Stipal	26.35 MW
	La Mata (La Ventosa)	67.5 MW

Cuadro 4. Evolución de la capacidad eólica instalada anualmente (1994-2010)
Fuente: Asociación Mexicana de Energía Eólica (AMDEE, 2013)

Partiendo de la experiencia internacional, un factor importante para el desarrollo eoloelectrico es establecer metas estratégicas y los mecanismos para lograrlas, así como emprender de manera sostenida los estudios de planeación para la integración de la generación eoloelectrica como elementos de diversificación energética para el desarrollo sustentable (Angeles Camacho & Jaramillo Salgado, 2012).

Es claro que las energías renovables en México se encuentran en una fase inicial y aunque en la actualidad, el contexto normativo e institucional es más favorable que hace unos años, aún quedan barreras por superar que imposibilitan el despliegue definitivo del sector. A pesar de que el gobierno expresa por medio de su discurso la urgencia de encontrar mecanismos que permitan una mayor inversión pública en el sector y la necesidad de ofrecer un escenario de certidumbre a los inversionistas para hacer frente a las necesidades crecientes de recursos energéticos, el trabajo en materia de legislación es insuficiente.

1.5.1. Marco Regulatorio del Sector Eléctrico

El desarrollo en materia energética a nivel nacional ha sido lento, en gran medida por las limitaciones que el marco regulatorio establece. El sector eléctrico en México se

considera estratégico para la soberanía nacional, por lo tanto hay restricciones para la participación privada, permitiendo a las empresas extranjeras operar en el país sólo a través de una serie de modalidades específicas en el área de generación eléctrica.

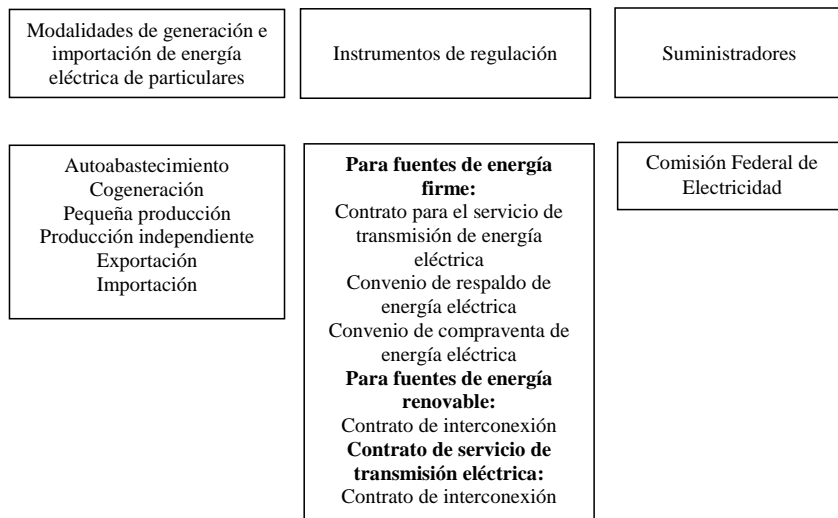
El marco regulatorio del sector eléctrico mexicano tiene su fundamento en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en la cual se estipula que el sector eléctrico es propiedad federal y se encuentra bajo el mando de la CFE. La Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica (LSPEE) publicada en 1975, establece que:

“Corresponde exclusivamente a la Nación, generar, conducir, transformar, distribuir y abastecer energía eléctrica que tenga por objeto la prestación del servicio público, en los términos del Artículo 27 Constitucional. En esta materia no se otorgarán concesiones a los particulares y la Nación aprovechará, a través de la Comisión Federal de Electricidad, los bienes y recursos naturales que se requieran para dichos fines”.

Para poder llevar a cabo cualquiera de las modalidades, contempladas en la LSPEE (autoabastecimiento, cogeneración, producción independiente, pequeña producción, exportación e importación), un agente privado debe solicitar el permiso correspondiente a la CRE.

En 1992, se modificó la LSPEE incorporando diferentes modalidades de participación en la generación de energía eléctrica para el sector privado, con el objetivo de incentivar la contribución de inversionistas privados en la expansión del sistema eléctrico mexicano.

Las modalidades de generación eléctrica se interrelacionan con el suministrador (CFE) mediante los instrumentos de regulación que establecen los lineamientos y mecanismos necesarios mostrados en el **Cuadro 5**.



Cuadro 5. Modalidades de permisos e instrumentos de regulación
Fuente: Comisión Reguladora de Energía (CRE, 2004)

Es evidente que la legislatura mexicana en materia energética avanza lentamente sin cumplir los objetivos planteados que implican ampliar la gama de fuentes de energía para reducir la dependencia de los combustibles fósiles y no se ha trabajado en la estructura tarifaria y en la política de subsidios.

1.5.2 Caso: Istmo de Tehuantepec

A pesar del lento avance en la legislatura nacional, el Istmo de Tehuantepec ha superado diversas barreras posicionándose en el primer lugar a nivel nacional en materia de energía eólica.

El Istmo de Tehuantepec es un escenario geográfico y cultural estratégico para México, se sitúa en una gran extensión de terreno que comprende 33 municipios del sur de Veracruz, 5 de Tabasco, 10 del norponiente de Chiapas y 40 del sureste de Oaxaca. De estos 88 municipios, 73 se encuentran entre Oaxaca y Veracruz, y tan sólo 15 entre Tabasco y Chiapas, esto lo convierte en una zona multiétnica de gran riqueza cultural (Gómez Martínez, 2005). Delimita al oeste por las últimas estribaciones de las cadenas montañosas mexicanas (Sierras Madre Oriental y del Sur) y al este-suroeste por las cadenas montañosas centroamericanas (Macizo y Sierra de Chiapas) y por la plataforma

de Yucatán, el Istmo de Tehuantepec forma parte de la historia tectónica de las estructuras montañosas que corren paralelas a ambos litorales (Toledo, 1995).

La importancia energética de esta región radica en la presencia de ríos de gran caudal como el Grijalva que ha permitido la instalación de importantes presas hidroeléctricas como La Angostura, Chicoasén, Malpaso y Peñitas.

Por otra parte es la región más importante del país en producción de energía eólica, la causa es la configuración física del terreno, en la parte central el Istmo está constituido por la Sierra Madre del Sur y por el extremo occidental de la Sierra Madre de Chiapas. Ambos sistemas montañosos alcanzan elevaciones medias entre 2, 000 y 3, 000 msnm. Cuando se llega al Istmo, las dos elevaciones se interrumpen abruptamente en una extensión de aproximadamente 40 km de ancho y llegan a tener únicamente 250 msnm, esta zona es conocida como una extensión de la Sierra Madre de Chiapas, llamada Sierra Atravesada⁶, es una cadena de poca elevación ya que su altura promedio apenas rebasa los 600 msnm, a la altura del Istmo el viento encuentra una salida por la depresión de los sistemas montañosos que ahí descienden de 3, 000 a 250 msnm para dirigirse al sur, hacia las planicies costeras y adentrarse en el Golfo de Tehuantepec, es por la diferencia en el gradiente de presión que la velocidad del viento aumenta considerablemente siendo el distrito de Juchitán donde la calidad de viento conciderada como excelente.

En Oaxaca hay zonas con velocidades del viento medidas a 50 metros de altura superiores a 8.5 m/s, con un potencial de 6,250 megawatts, y otras con velocidades de 7.7 a 8.5 m/s, con un potencial de 8,800 megawatts (Henestroza Orozco, 2009).

De acuerdo con el análisis elaborado por el National Renewable Energy Laboratory, al año prevalecen nueve meses con viento de calidad excelente (fuerte flujo en marzo y abril) (World Wind Energy Association, 2011). Como muestra la **Figura 2**,

⁶ La Sierra Atravesada tiene su punto más bajo en Asunción Ixtaltepec, municipio de origen mixe-zoque que se encuentra en las coordenadas 95° 03' longitud oeste y 16° 30' latitud norte, a una altura de 30 msnm, donde es posible identificar el centro del Istmo de Tehuantepec, colindando al norte con El Barrio de la Soledad, Santa María Chimalapa; al noroeste con San Juan Guichicovi, San Juan Mazatlán, Guevea de Humboldt y Santo Domingo Petapa; al sur con San Pedro Comitancillo, El Espinal y Juchitán de Zaragoza; al oeste o poniente con El Barrio de la Soledad, Ciudad Ixtepec y Santiago Laollaga; y al este u oriente con San Miguel Chimalapa y Juchitán de Zaragoza, municipio que ya incluye costa de las Lagunas del Golfo de Tehuantepec. (Toledo, 1995)

el Istmo de Tehuantepec cuenta con una velocidad media del viento de 10 m/s y, por lo tanto, posee amplias zonas donde el potencial del recurso es bueno y excelente (áreas en colores rosa y morado). Existe un excelente recurso eólico en toda esta región del Istmo. El recurso más alto se presenta cerca de las colinas (incluyendo La Mata, La Venta y La Ventosa), las cordilleras y la costa. Los fuertes vientos del norte son frecuentes en la región del Istmo, particularmente durante la temporada pico de viento de noviembre a febrero.

Las condiciones eólicas del Istmo de Tehuantepec son las mejores a nivel mundial. La Asociación Mexicana de Energía Eólica (AMDEE) afirma que la energía eólica explotable en el Istmo de Tehuantepec podría llegar a suministrar el 7% de las necesidades de energía eléctrica a nivel nacional. Esto es trascendente ya que en México la proporción de energía eléctrica generada con fuentes renovables se está estancando en comparación con el resto de los países en América (Elliott, et al., 2004).

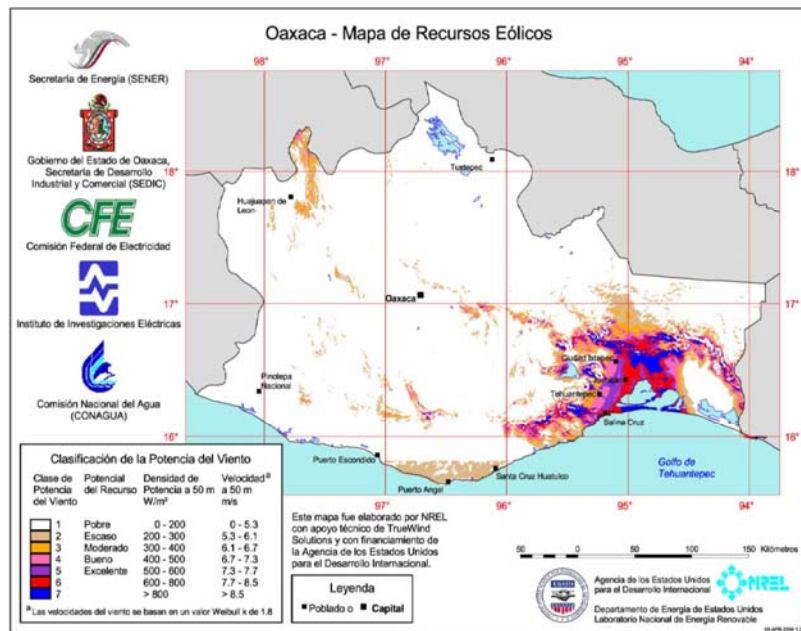


Figura 2. Mapa de Recursos Eólicos de Oaxaca
Fuente: National Renewable Energy Laboratory

El Atlas de Recursos Eólicos del Estado de Oaxaca muestra que el estado se encuentra influenciado por tres flujos eólicos predominantes: un viento de noroeste a norte de octubre a febrero, un viento del este de marzo a mayo y un viento alisio de este a noreste de junio a septiembre. La región con recurso eólico del Istmo se extiende desde la costa hacia el norte aproximadamente 60 km y aproximadamente 60 a 80 km de este a oeste (Elliott, et al., 2004).

Una vez conocido el recurso eólico en la región del Istmo, las ofertas para invertir en la zona no se hicieron esperar, y el apoyo para la inversión extranjera se basó en la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica (LSPEE), a pesar de que dicha ley no permite la libre compra y venta de energía entre particulares, si permite la generación de energía a los particulares, sea para autoabastecimiento o para complementar procesos productivos mediante la cogeneración. La manera en que los particulares pueden generar energía eléctrica para abastecer la red de CFE es a través del esquema de productor externo o pequeño productor, la sociedad oaxaqueña ha logrado crear acuerdos con dichas empresas arrendando su tierra y permitiendo que cientos de hectáreas sean explotadas para generar electricidad por medio del recurso eólico. Los contratos firmados por CFE durante el proceso de Temporada Abierta⁷ se encuentran en el **Cuadro 6** en este sistema también ha estado involucrada la sociedad.

Los atractivos para el aprovechamiento de la energía eólica en la región del Istmo de Tehuantepec son los siguientes: el desarrollo se encuentra a nivel de tierra, evitando los altos costos que implica instalar aerogeneradores dentro del mar o en la cima de las montañas; la cantidad de horas al año con vientos; la dirección del viento es sensiblemente fija, una temporada larga de Norte a Sur y una temporada corta de Sur a Norte; clase de viento considerado como excelente por los expertos, pero estas condiciones no se pueden aprovechar si existen huecos legales que no protegen a los propietarios de la tierra.

La importancia comercial de la zona se ha visto rebasada en épocas recientes por la industria eólica, sin embargo hay que resaltar el impacto en las economías

⁷ La Temporada Abierta estipula la construcción de estructura y reformzamiento de la red de transmisión para interconectar la electricidad generada, para ello se establecen compromisos a los que se someten empresas privadas y la CFE, que incluyen; proyectos que refuercen las líneas de transmisión existentes aumentando su capacidad; proyectos que entran en operación de la red de transmisión; y nuevas líneas de transmisión que se realizan como un proyecto de Obra Pública Financiada (OPF) de la CFE.

Proyecto	Esquema	Desarrollador	Turbinas	Fecha	MW
Proyectos Eólicos en Operación					
La Venta	OPF	CFE	Vestas	1994	1.6
La Venta II	OPF	CFE	Gamesa	2006	83.3
Parques Ecológicos de México	Autoabast.	Iberdrola	Gamesa	2009	79.9
Eurus, 1st Phase	Autoabast.	Cemex/Acciona	Acciona	2009	37.5
Eurus 2nd Phase	Autoabast.	Cemex/Acciona	Acciona	2010	212.5
Bii Nee Stipa I	Autoabast.	Cisa-Gamesa	Gamesa	2010	26.35
La Mata -La Ventosa	Autoabast.	Eléctrica del Valle de México (EDF-EN)	Clipper	2010	67.5
Total					508.65
Proyectos Eólicos Bajo Construcción					
Fuerza Eólica del Istmo	Autoabast.	Peñoles	Clipper	2010-2011	50
La Venta III	PIE	CFE/Iberdrola	Gamesa	2011	101
Oaxaca II, III y IV	PIE	CFE/Acciona	Acciona	2011-2012	304.2
Oaxaca I	PIE	CFE/EYRA	Vestas	2010	101
Total					556.2
Proyectos Eólicos en Desarrollo					
Vientos del Istmo	Autoabast.	Preneal	Por Definir	2011-2014	395.9
Fuerza Eólica del Istmo	Autoabast.	Peñoles	Clipper	2011-2012	30
Bií Hioxio	Autoabast.	Unión Fenosa	Por Definir	2011-2014	227.5
Bii Stinú	Autoabast.	Eoliatec del Istmo (Eolia)	Por Definir	2011-2013	164
Santo Domingo	Autoabast.	Eoliatec del Pacífico (Eolia)	Por Definir	2011-2014	160
Bii Nee Stipa	Autoabast.	Cisa-Gamesa	Gamesa	2011-2014	288
Desarrollo Eólicos Mexicanos	Autoabast.	Renovalia	Por Definir	2011-2014	227.5
Total					1492.9

Obra Pública Financiada

PIE: Productor Independiente de Energía

Cuadro 6. Proyectos eólicos de Oaxaca

Fuente: Asociación Mexicana de Energía Eólica (AMDEE, 2010).

comunitarias y locales que transgreden las tradiciones y costumbres de los pobladores, esto conlleva a considerar las condiciones de la población. Según datos de la Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas (CDI), el estado de Oaxaca es una de las entidades con más diversidad en cuanto a su población indígena conformada por amuzgos, chatinos, chinantecos, chochos, chontales, cuicatecos, huaves, ixcatecos, mazatecos, mixes, mixtecos, nahuas, tacuates, triquis, zapotecos, zoques y zoques chimalapas (CDI, 2013).

El 30.6% de la población del estado de Oaxaca es de origen indígena (INEGI, 2010), y como muestra la **Figura 3** las localidades indígenas se encuentra en los niveles más altos de marginación: 58.1% con marginación muy alta y 41.5% con grado alto. El desarrollo económico del Istmo, basándose en el sector eólico ha representado para las comunidades indígenas oaxaqueñas un riesgo social de fragmentación identitaria y desvinculación interna de las comunidades en función del proceso acelerado de globalización.

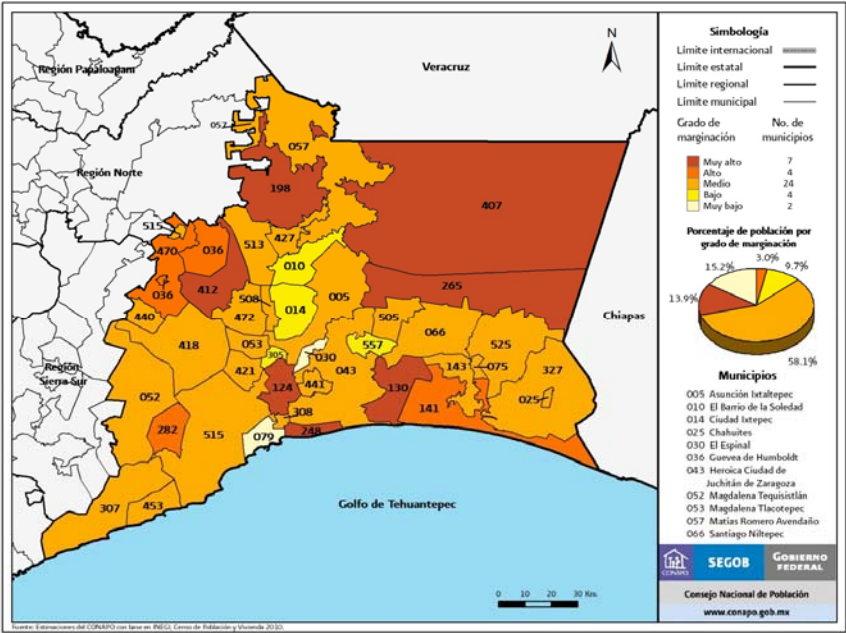


Figura 3. Mapa Grado de marginación por municipio en la Región del Istmo, 2010
Fuente: (Conapo, 2010).

La normatividad en México está centrada en los impactos ambientales, dejando de lado el impacto social que implica un proyecto eoloelectrico. En diversos estudios se confirma que la mayoría de los habitantes cercanos a los proyectos han manifestado su descontento por la falta de información oportuna e integral, también han manifestado que han sido víctimas de amenazas y de violencia por parte de grupos paramilitares que responden a las demandas del sector privado presionando a grupos indígenas para ceder sus tierras o parte de ellas para proyectos eólicos.

El impacto en la sociedad es tangible cuando se habla de la falta de generación de empleos suficientes, estables y permanentes en la fase operativa del proyecto, a esto se suma la baja remuneración ofrecida por las empresas por la reserva territorial antes del montaje y operación, así como el pago por arrendamiento de las tierras involucradas por 30 años, los montos van de diez a veinte veces menos de lo que las transnacionales ofrecen en Europa y Estados Unidos, de igual manera se produce una diferencia socioeconómica al beneficiar únicamente a arrendadores de tierras.

Plantear propuestas complejas, que involucren la generación energía limpia, tomando en cuenta los aspectos físicos, sociales y económicos abre la puerta a la generación de energía eólica en otros puntos del país, propiciando inversiones que permitan desarrollar tecnologías innovadoras y perspectivas como el desarrollo sustentable.

Regiones en el país que empiezan a experimentar con la generación eoloelectrica como Pachuca, pueden aprender del caso del Istmo de Tehuantepec que es un ejemplo claro de que la inclusión social y una normatividad clara y a favor de la sociedad son indispensables para garantizar el éxito de proyectos de esta naturaleza.

CAPÍTULO DOS

EL PAPEL DEL DESARROLLO SUSTENTABLE Y LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA

2.1 El Desarrollo Sustentable

En la actualidad resulta necesario valerse de alternativas para alcanzar el desarrollo sin ocasionar daños en el ambiente que puedan perjudicar a generaciones futuras, una alternativa es inclinarse por el cambio a fuentes de energía alterna, como lo es la energía eólica, que como ya se mencionó en el capítulo anterior es una forma de energía limpia.

El concepto “Desarrollo Sustentable” es ambiguo, sin embargo, existe una serie de corrientes que lo respaldan desde diferentes posturas éticas que analizan la relación entre el ser humano y la naturaleza. Lo plantean explicándolo como una propuesta surgida a partir del desarrollo de la sociedad industrial con el cambio en el uso de energía derivada de la fotosíntesis por energía generada por combustibles fósiles.

El **Cuadro 7** muestra las distintas corrientes del pensamiento ambientalista que abordan el desarrollo sustentable bajo una percepción particular argumentando causas de la crisis ambiental bajo posturas éticas independientes en cada corriente, sin embargo, la convergencia entre estas diversas corrientes se da al reconocer la existencia de un problema ambiental (excepto los cornucopianos) y al plantear a la energía como eje primordial para alcanzar el desarrollo sustentable, aplicando el desarrollo tecnológico eficiente para explotar recursos renovables y así alcanzar mayor eficiencia en la generación de energías erradicando cualquier tipo de tecnología basada en el uso de recursos no renovables; como se plantea dentro de este trabajo al proponer un cambio en la fuente de energía en Pachuca de Soto para alcanzar la sustentabilidad, optando por una energía limpia que cumple con los requerimientos que diversas corrientes plantean; como el desarrollo y la aplicación tecnológica eficiente en aerogeneradores y en métodos y técnicas para identificar el recurso apoyándose de diversas herramientas como los SIG en un espacio que cuenta con las condiciones necesarias para explotar el recurso eólico.

TIPOLOGÍA DEL PENSAMIENTO AMBIENTALISTA					
Ética	Corriente	Autores	Causas de la crisis ambiental	Soluciones para enfrentar la crisis	
Eccéntrica	Ecología profunda	Arne N. Naess Bill Devall George Sessions Aldo Leopold	Ética antropocéntrica. Desarrollo tecnológico. Desarrollo industrial y urbano. Explosión demográfica (raciocinio neo-maltusiano).	Igualitarismo biosférico (bioética). Detener el crecimiento industrial y urbano. "Vuelta al campo". Detener el crecimiento poblacional. Objetivo: Preservar la naturaleza ("santuarios ecológicos").	
	Ecologistas verdes	P. Ehrlich J. Holdren J. Porritt Tim O'Riordan Schumacher Capra Partidos verdes de Europa Greenpeace	Industrialismo: crecimiento económico o ilimitado orientado al consumo superfluo. Crecimiento poblacional. Tecnologías sucias. Uso excesivo de recursos energéticos no renovables en el contexto de un mundo finito.	Disminuir el consumo. Detener el crecimiento poblacional. Tecnologías "verdes": limpias y de pequeña escala. Energías limpias basadas en recursos renovables. Objetivo: Conservar la naturaleza (uso limitado en cantidad y cualidad).	
Antropocéntrica	Tercenaristas	Conocedores	Julian Simon Herman Kahn Huber Lomborg	No hay crisis ambiental. Los supuestos problemas son falsos o no son graves. Libre mercado sin participación estatal o muy limitada. Cualquier escasez o problema puede ser resuelto por la tecnología y el mercado. Objetivo: No limitar la economía de mercado.	
		Ambientalistas moderados	World Commission on Environmental and Development "Our Common Future" Políticas ambientalistas de los gobiernos	Uso excesivo de los recursos naturales porque no son propiedad privada y/o no tiene precios adecuados (externalidades). La pobreza es tan responsable por la crisis ambiental como el consumo de los ricos.	Políticas e instrumentos de gestión ambiental que "internalizan" los costos ambientales. Crecimiento económico para financiar. Tecnologías eficientes y limpias. Disminuir la pobreza. Objetivo: Cuidado ambiental y disminución de la pobreza para no perjudicar la economía.
	Críticos	Ecocriticos	I. Sachs Los límites del crecimiento Informe Funex Conferencia de Cocoyoc	Modelo productivista y consumista impuesto por los países hegemónicos en un mundo históricamente desigual. Tecnologías inapropiadas. Dominación cultural.	Modelo de producción y consumo alternativo, basado en: Recursos naturales locales, Conocimiento local, Alternativas tecnológicas locales, Equilibrio e integración rural-urbana. Objetivo: Desarrollo autosustentado (self reliance) basado en la satisfacción de las necesidades sociales.
		Ecología social	Murray Bookchin	Relaciones de dominación entre los seres humanos y la naturaleza. Lógica de mercado.	Expandir las comunidades autogestionadas con producción de pequeña escala y relaciones de cooperación. Objetivo: Una sociedad solidaria sin dominación entre los hombres ni sobre la naturaleza (ecoanarquismo).
		Mixistas	Hans M. Enzensberger	Relaciones sociales de producción y explotación extendidas a la naturaleza externa, particularmente las relaciones capitalistas que suponen producción ilimitada y creciente desempleo.	Cambiar las relaciones de producción capitalistas para otras no clasistas y solidarias, basadas en la propiedad y gestión social de los medios de producción. Objetivo: Sociedad sin explotación entre los seres humanos, donde el uso responsable de la naturaleza sea inherente a la lógica social de la producción para la satisfacción de las necesidades (ecosocialismo).

Cuadro 7. Tipología del Pensamiento ambientalista

Fuente: ¿Sustentabilidad? Desacuerdos sobre el Desarrollo Sustentable de Guillermo Foladori. (Foladori & Pierri, 2005)

Dentro de estas corrientes se busca alcanzar el desarrollo partiendo de la sustentabilidad, entendiendo que para alcanzar los estándares de desarrollo hay que involucrar al cuidado del medio ambiente, sin centrarse en la utilización de recursos naturales ni en la generación de residuos, ya que estos son procesos naturales e inevitables. A pesar de tener objetivos claros, el verdadero reto se encuentra en trabajar para mantener el equilibrio que se rompió durante la Revolución Industrial entre el ritmo de las capacidades de la naturaleza para producir recursos y el ritmo de uso de dichos recursos.

La transformación del capitalismo que tuvo lugar en las primeras décadas del siglo XX, con el paso a la producción y consumo en masa basados en el taylorismo-fordismo, y el uso del petróleo y la electricidad como fuentes energéticas, supuso un cambio radical en el uso de los recursos naturales y sus efectos. En este marco, un momento clave fue 1945 en dos sentidos; en primer lugar, por la explosión de las primeras bombas atómicas que supusieron una amenaza planetaria inédita generada por la propia humanidad; y en segundo lugar porque fue el comienzo de un desarrollo económico también inédito, basado en la generalización del taylorismo-fordismo, que se extendió sin problemas hasta finales de los setenta (Foladori & Pierri, 2005).

Este panorama permitió establecer las pautas del desarrollo sustentable, marcando un contraste entre las décadas de 1960 y 1970 con la actualidad, ya que durante la Revolución Industrial se percibían altos niveles de depredación y contaminación, exigiendo que hoy el objetivo primordial del desarrollo sustentable sea cubrir las necesidades actuales, sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus necesidades.

En la actualidad las exigencias en la producción se inclinan a favor del medio ambiente, por lo que es necesario hacer un acercamiento a lo que propone el Desarrollo Sostenible o Sustentable.⁸ El término desarrollo sustentable ganó prominencia en 1980, cuando se presentó la Estrategia Mundial de Conservación, anunciándolo como objetivo a ser logrado a través de la conservación de los recursos naturales. Conceptualmente se

⁸ La diferencia semántica entre ambos no supone grandes contradicciones en su uso ecológico o medioambiental. Mientras la primera va referida a la capacidad de mantener el equilibrio, la segunda se orienta a la capacidad de procurarse alimento. Quizá, por eso mismo, se use más esta última en Latinoamérica.

fusionaron los términos de conservación y desarrollo, usando el término sustentabilidad como conector. Desarrollo es presentado como *“la modificación de la biosfera y la aplicación de los recursos humanos, financieros, vivos y no vivos para la satisfacción de las necesidades humanas y la mejoría de la calidad de vida humana”*. Y conservación como *“la administración del uso humano de la biosfera para que pueda rendir los mayores beneficios sustentables a las generaciones presentes mientras mantiene el potencial para satisfacer las necesidades y aspiraciones de las futuras generaciones”* (Foladori & Pierri, 2005). De esta manera, conservación y desarrollo son mutuamente dependientes, y no incompatibles, como parecía en el pasado.

Algunos autores paltean que no es posible hablar de sustentabilidad si no se habla de control demográfico (Lacomba, 2008). Durante el proceso de globalización surgió una teoría que exime de la responsabilidad de depredación de recursos naturales a la producción capitalista argumentando que la explosión demográfica a través de la pobreza degrada el ambiente.

En Cumbre de la Tierra organizada por la ONU en Estocolmo en 1972 los países industrializados se aglutinaron en torno a la idea de que el planeta está sobrepoblado y que el crecimiento demográfico dificulta dar solución a diversos problemas, por lo que se propuso modificar el comportamiento reproductivo sembrando la idea de que el subdesarrollo origina deficiencias en el medio natural (Barcena, et al., 2000).

La teoría que manifiesta como premisa que el deterioro ambiental es producido por la pobreza presenta argumentos en el informe Brundtland⁹, estableciendo que *“un mundo en el que la pobreza y la desigualdad son endémicas será siempre propenso a crisis ecológicas”* (Organisation of United Nations, 1987).

⁹ Gro Harlem Brundtland, ministra del Medio Ambiente de Noruega. Tras varios años de estudio y discusión los resultados de la Comisión para el Medio Ambiente y el Desarrollo (1984) de la ONU, se dieron a conocer en un documento llamado “La Declaración de Tokio de 1987”, que después se publicó con el título “Nuestro Futuro Común”. Fue esa Comisión y ese informe, conocidos con el apellido de su presidenta, la entonces ministra del Medio Ambiente de Noruega, Gro Harlem Brundtland, los que dieron a conocer el término “desarrollo Sustentable” en la arena internacional y desde esos textos se puso en boga en el camino hacia la Cumbre de Río de Janeiro en junio de 1992, donde se popularizó y reafirmó ostensiblemente.

A partir de este momento las soluciones postuladas se enfocan en frenar o reducir el crecimiento poblacional y en generar y en generar tecnologías limpias. Hablar de control espacial y de crecimiento económico resulta complejo porque hay una marcada inclinación hacia la devastación natural, es por eso que científicos se dan a la tarea de encontrar métodos en los que sea posible potenciar el crecimiento económico de aquellos lugares donde no se satisfagan las necesidades básicas, proponiendo el crecimiento de otros lugares, siempre que la forma de crecimiento se aleje de la explotación irracional, asegure la igualdad de oportunidades para todos y refleje los principios de la sustentabilidad (Barcena, et al., 2000).

La clave del desarrollo reside en combinar tecnología, materias primas y capital. México cuenta con los factores de tecnología, materia prima y capital como ya se mencionó en el capítulo anterior, y en materia de sustentabilidad energética se encuentra en un proceso de transición, pasando de formas de energía contaminante hacia formas de energía limpia que disminuyen las amenazas a la salud, aprovechando fuentes de energía renovables como la eólica, que no suponen emisión de sustancias perjudiciales, ni daños en el entorno físico y social, constituyendo las bases del equilibrio en el medio ambiente.

2.2 Las Energías Renovables

El desarrollo no puede desligarse de las palabras con las que se formó (crecimiento, evolución y maduración) y se relaciona con el uso y explotación eficiente de los recursos¹⁰ energéticos. La humanidad ha utilizado la energía con distintas y crecientes finalidades, y la ha definido como la capacidad de producir un trabajo, en potencia o en acto (Filipovich, 1975).

¹⁰ "Recurso" (resource en inglés) originalmente significaba vida. Su raíz es el verbo latino, *surgere*, que evoca la imagen de una fuente que continuamente surgía del suelo. Como una fuente, un "recurso" surge una otra vez, aun cuando ha sido repetidamente usado y consumido. El concepto destacaba de esta manera el poder de autoregeneración de la naturaleza y llamaba la atención sobre la relación entre los seres humanos y la naturaleza -que la Tierra otorgaba dones a los humanos quienes, a su vez, debían mostrar diligencia para no sofocar su generosidad.

Desde que el hombre aprendió a aprovechar la energía contenida en los combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas natural, uranio, etc.) y condujo a la Revolución Industrial trajo consigo un aumento en la productividad de millones de personas en todo el mundo (Gil García, 2008).

En la actualidad la sociedad busca alcanzar el desarrollo sustentándose en el uso de energías renovables. Cabe destacar que existe una controversia con el uso del lenguaje al hablar de las fuentes renovables de energía, pues ha surgido el término “*Energías Renovables*”, cayendo en un error al hacer alusión a que la energía se puede renovar, cuando lo que se renueva es la fuente, es decir, el viento, una caída de agua, la radiación solar, etc. Esto se sustenta con la primera y segunda ley de la Termodinámica. Una vez aclarado este punto es necesario especificar que en este trabajo se empleará el término “Energías Renovables” con el fin de evitar confusión, ya que en gran parte de la literatura que lo sustenta, el término usado es Energías Renovables.

A pesar de que existe una definición detallada de energía, diferentes estratos sociales usan el término energía de manera indiscriminada y lo explotan para cubrir su necesidad de dar a conocer cualquier tipo de desarrollo; científico, técnico o social. Por ejemplo, la mayoría de los técnicos y científicos definen a la energía en el sentido estricto de la Física como la capacidad de realizar un trabajo; a diferencia de ellos, los empresarios no explican qué es energía pero venden un sinnúmero de productos para “ahorrarla” y con el establecimiento de empresas verdes la energía no es más que un negocio; para la clase política la energía se ha convertido en un sinónimo de calidad de vida representado con cifras, cifras que no acaban de saber qué representan, pero que se mencionan constantemente en el discurso que propone una reforma energética, reforma que se centra exclusivamente en el uso y explotación del petróleo para el caso de México (como se vio en el Capítulo 1), el uso de cifras es la estrategia adoptada para convencer a la población sobre mejoras en el nivel de vida y de desarrollo alcanzado bajo su periodo de administración. Es así como la definición de energía se presta a interpretaciones erróneas.

Dado que son muchos los recursos que se pueden aprovechar para generar energía ha sido necesario tipificarlos como recursos renovables y no renovables.

El grupo de las fuentes renovables de energía se caracteriza por tener recursos abundantes y como su nombre lo indica pueden continuar existiendo mediante procesos de regeneración, siempre que éstos se realicen a una tasa mayor que la de consumo (IILSEN, 2004). Son poco o nada dañinas para el medio ambiente, las tecnologías para su aprovechamiento están en desarrollo por lo que las herramientas para su explotación tienen un costo elevado. Entre las ventajas que tiene esta fuente es ser gratuita, la disponibilidad espacial directa, su disponibilidad ilimitada y la ausencia de contaminantes.

Dentro de este grupo se encuentran la biomasa, la energía hidráulica, la energía geotérmica, la solar y la eólica que ofrecen la posibilidad de construir un sistema sustentable de producción de energía debido a sus ventajas ambientales, sociales, industriales, de impulso al crecimiento económico regional y local y de desarrollo científico y tecnológico (IILSEN, 2004).

El grupo de las energías no renovables se caracteriza por producir residuos dañinos para el medio ambiente, pero tiene la ventaja de que su tecnología está ampliamente desarrollada y extendida desde hace décadas, ya que ha sido la más usada, explotada y explotada. Dentro de este grupo se encuentran el petróleo, el gas natural, el propano, el uranio y el carbón.

La era del petróleo ha traído consecuencias como la división de países compradores de los vendedores, cuya correlación de fuerzas ha sufrido profundos cambios desde el siglo XX; la economía de países explotadores se ve vulnerable respecto a las fluctuaciones de los precios en el mercado petrolero internacional; el hecho de que el petróleo no es un recurso renovable, y que los países con la mayor relación de reservas-producción están concentrados en la región de Medio Oriente, genera una gran incertidumbre en el panorama global por los riesgos políticos que esto implica para las principales potencias mundiales; la dependencia casi total que el sector transporte mantiene respecto al petróleo, sus requerimientos crecientes de energía y la incertidumbre sobre la situación a mediano plazo del motor de combustión interna o de los combustibles fósiles en este sector es otra de las consecuencias de la era del petróleo y aspecto que ha cobrado gran relevancia a nivel mundial es el referente a las afectaciones que los recursos energéticos fósiles generan sobre el ambiente y sobre la salud humana (IILSEN, 2004).

Este tipo de consecuencias nos hace recurrir a fuentes alternativas como las energías renovables; energía eólica, bioenergía, energía solar, la geotérmica, pequeña, mini y microhidráulica, mareomotriz e hidrógeno renovable, sustentadas por el progreso científico y tecnológico que las presentan como alternativas. La mayor parte de estas fuentes, gracias a los altos potenciales regionales de aprovechamiento y al avanzado desarrollo tecnológico son competitivas o se encuentran en el umbral económico para poder satisfacer necesidades energéticas en todos los sectores de consumo final y producción de energía.

En la actualidad existe una contradicción en el uso de tipo de fuente, , científicos y gobernantes hablan con entusiasmo de las energías renovables, pocos niegan que las energías renovables sean la perspectiva para el abastecimiento energético de la humanidad aunque durante muchos años esto parecía una utopía. Sin embargo, a pesar de que han surgido otras fuentes energéticas primarias, en la actualidad se vive bajo el régimen de los combustibles fósiles, como el petróleo y sus derivados, que han ocasionado daños significativos en el medio ambiente, se ha comprobado que la quema de combustibles fósiles contribuye a la contaminación atmosférica enviando dióxido de carbono a la atmósfera y causando un calentamiento global gradual.

Las energías renovables junto con una mayor eficiencia energética pueden contribuir significativamente al desarrollo sustentable de algunas ciudades entre las que se que puede encontrar Pachuca, pues hay amplias posibilidades de proveer acceso a la energía de manera productiva y económica con recurso eólico. Es una zona con presencia de comunidades de bajos recursos en donde es posible adaptarse a los objetivos de un Plan de Desarrollo Urbano promoviendo medidas como la mitigación de gases que causan efecto invernadero y la reducción en la contaminación del aire, creando nuevas oportunidades económicas y aumentando la seguridad energética a través de la cooperación y colaboración.

Es necesario rescatar los beneficios económicos del uso de energías limpias para la población mundial, ya que a pesar de que existen evidencias sustanciales de un cambio climático, ésta se niega a aceptarlo y a tomar medidas preventivas o de mitigación de manera consciente.

Políticamente debe garantizarse que las ofertas de energías convencionales sean sustituidas en la medida en que aumente la contribución de las energías renovables al suministro energético, a través de reglamentos preferenciales legitimados por el indiscutible mayor valor social de éstas (Scheer, 2011).

2.3 La innovación tecnológica

Para que energías renovables como la energía eólica puedan ser consideradas una alternativa para alcanzar el desarrollo, además de considerar los factores económicos y sociales, también deben considerarse los factores científicos y técnicos, y en ese sentido la industria eólica que ha sufrido un proceso de innovación en las últimas décadas.

La innovación es la creación de una nueva función de producción. Esto abarca el caso de un producto nuevo y los de una forma nueva de organización o fusión, o la apertura de nuevos mercados. Los emprendedores buscan la forma de utilizar la innovación tecnológica (un nuevo producto/servicio o un nuevo proceso para hacer las cosas) para obtener una ventaja estratégica (Brambila Rossell, 2010). Si bien es cierto que en generación eléctrica no se crea un nuevo mercado porque el producto final (la electricidad) y los consumidores de ésta ya existen, la industria eoloelectrica es innovadora porque la forma de producción energética se concibe de manera distinta, se cambia la forma y las herramientas para obtener electricidad.

Una de las evidencias tangibles sobre la enérgica inversión para innovar en la industria eólica, se refleja en los aerogeneradores y es que el mercado eoloelectrico actual ofrece máquinas confiables y eficientes que se yerguen a considerables alturas. La diferencia entre la producción de energía de 1980 y la actual es radical, cada turbina promedio con capacidad de 2.1 MW produce más energía eléctrica que 400 de las máquinas comercializadas a finales de la década de 1980.

La innovación tecnológica en maquinaria eólica se ha hecho evidente en la modificación en el diseño de aerogeneradores, a la par ha evolucionando el conocimiento

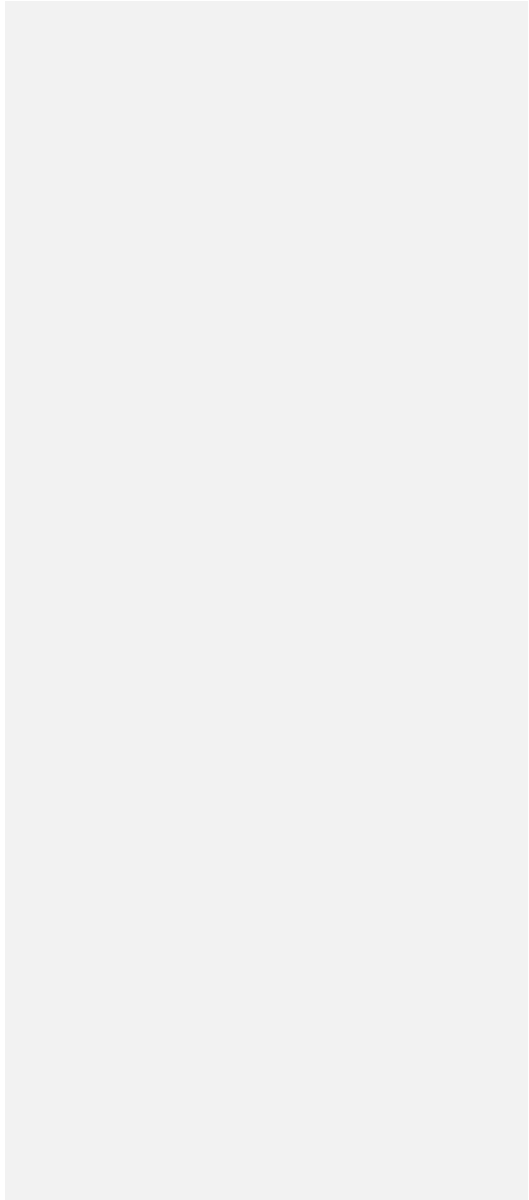
sobre las leyes físicas básicas que permiten eficientar el recurso eólico (Gómez Mercado & Cuevas Roldán, 2011). Uno de los cambios estructurales más evidentes en un aerogenerador, es la modificación en el peso, ya que las aspas de una turbina de mediana potencia pueden llegar a pesar entre 10 y 15 toneladas, y la máquina en su totalidad, cerca de 200 toneladas (Huacuz Villamar, 2010).

El desarrollo de tecnología eoloelectrica, se ha registrado en contados países a lo largo de la historia. El **Cuadro 8** muestra una reseña de los acontecimientos más destacados a lo largo del desarrollo tecnológico eoloelectrico, evidenciando que existe innovación tecnológica regional debido a la naturaleza del producto eólico y de su producción, ya que parte de Europa y Estados Unidos han realizado importantes inversiones y cuentan con la participación de gobierno, empresas privadas, instituciones académicas e instituciones bancarias, que permiten que el uso y transporte de la electricidad sea menos costoso por medio de la configuración de cadenas productivas que detonan en un indudable desarrollo regional y tecnológico, llevando oportunidad de cambio en la sociedad, en la economía y en la demografía.

Las regiones en el mundo en que se observa innovación tecnológica en materia de energía eólica han tenido notables incrementos en la producción de aerogeneradores, instalación y producción de energía eléctrica con esta tecnología, en proyectos conjuntos e integrales a corto, mediano y largo plazo es de más del doscientos por ciento.

Se han realizado varios estudios acerca de la importancia y el impacto que tiene la innovación tecnológica en la industria eoloelectrica en países desarrollados y entre los resultados se encuentra que los costos no recaen en los adelantos o innovación que se llevan a cabo para la construcción y desarrollo de nuevos materiales o de nuevas formas de operación, por el contrario, se reducen drásticamente cuando se encuentren nuevas formas de almacenar la energía.

|



Entre 1980 y 1986	En California, Estados Unidos, se creó el primer mercado eoloelectrico significativo que impulsó notablemente el desarrollo de la industria eoloelectrica tanto en Estados Unidos como en Europa. En 1985 cerca de 95% de la capacidad eoloelectrica instalada en el mundo estaba concentrada en California. Los fabricantes de aerogeneradores de Dinamarca, Reino Unido, Alemania, Japón y Los Países Bajos, compitieron en este mercado con fabricantes estadounidenses. En California, durante la década de 1980, se instalaron cerca de 15, 000 aerogeneradores de los cuales la mitad provenía del mercado europeo, principalmente de Dinamarca. Así, durante esta etapa se diseñaron e instalaron diversos tipos de aerogeneradores, lo que convirtió a California en un inmenso centro de pruebas de aerogeneradores y centrales eoloelectricas.
Entre 1986 y 1990	La industria eoloelectrica pasó por una situación difícil, pues el mercado de California menguó rápidamente con la disminución de los incentivos y apoyos gubernamentales, así como con considerable cantidad de problemas técnicos. El colapso de este mercado ocasionó que varias compañías se declararan en quiebra mientras que otras se aferraron a permanecer en el mercado. Como consecuencia, disminuyó el número de fabricantes de aerogeneradores. La Unión Europea esperó prudentemente a que la tecnología eoloelectrica mejorara. Desde el punto de vista práctico. Al inicio de la década de 1990, ya se habían instaurado algunas condiciones que abrieron los mercados eoloelectricos en Alemania, Dinamarca, Reino Unido, Los Países Bajos y España.
Finales de 1990	El diseño danés (de eje horizontal y tres aspas) se mejoró y amplificó para producir aerogeneradores con capacidad nominal de hasta 250 kW. En esta etapa, las compañías que dominaron el mercado eoloelectrico fueron las que fabricaban los aerogeneradores en lo que se usa el método de desprendimiento de flujo para regular la velocidad de rotación y la potencia eléctrica de salida. No obstante, algunas compañías que fabricaban aerogeneradores en los que se usa el método de regulación de velocidad y potencia por control del ángulo de las aspas comenzaron a ganar terreno en el ámbito comercial.
1990 a 1996	El tamaño promedio de los aerogeneradores comerciales se incrementó de 200 kW a 500 kW. A finales de 1996 la industria eoloelectrica contaba con aproximadamente 6, 000 MW instalados.
1997	A finales de 1997 ya existían en el mundo más de 7, 000 MW eoloelectricos conectados a sistemas eléctricos convencionales. En Europa, durante 1997, el crecimiento de la capacidad eoloelectrica instalada fue mayor que 1, 000 MW. A finales del mismo año la capacidad eoloelectrica en Europa era de más de 4, 000 MW y ya superaba en magnitud al complejo hidroelectrico del Sureste de México, (Angostura, Chicoasén y Peñitas), cuya capacidad era de 3,900 MW.

En 1998	Los promotores de la generación eoloelectrica celebraron el logro de la instalacion de los primeros 10, 000 MW de capacidad eoloelectrica instalada en el mundo. En ese año se instalaron 2,590 MW eoloelectricos que representaron un incremento de 31% respecto a la capacidad total instalada. De estos 2,590 MW, en Europa se instalaron 1,766 MW, mientras que Estados Unidos instaló 577 MW, y lo demás el resto del mundo. De los 29 países que contaban con emplazamiento eoloelectrico, sólo cuatro instalaron más 300 MW en su territorio; Alemania (793MW), Estados Unidos (577 MW), España (368 MW) y Dinamarca (310 MW).
Finales de 1999	Ya había cerca de 13,900 MW eoloelectricos instalados en el mundo. En algunos lugares, la generación eoloelectrica ya había alcanzado niveles significativos de penetración; por ejemplo, el 10% de la electricidad que se consumía en Dinamarca ya provenía de la energía del viento. En la región de Schleswig-Holstein en Alemania, se tenía 15% de penetración eólica. La Provincia de Navarra, en España, ya satisfacía el 23% de su consumo de electricidad con la energía producida por cientos de aerogeneradores instalados en las cimas de sus sierras.
2000	El incremento de la capacidad eólica instalada en el mundo fue ligeramente menor que el de 1999. Se instalaron cerca de 4,600 MW, lo que representó por lo menos cuatro mil millones de dólares. En ese año se logró incrementar la capacidad instalada a 18,500 MW de los cuales 13, 000 MW se encontraban en Europa, de esta cifra, Alemania tenía 6,113 MW, mientras que España contaba con 2,402 MW y Dinamarca con 2,297MW.
2001	La capacidad eoloelectrica en el mundo se incrementó notablemente con la instalacion de 6,800 MW (poco más de 18 MW por día). Tanto el mercado alemán como el mercado de los Estados Unidos mostraron índices de crecimiento elevados. Con un índice de crecimiento de 52%, la capacidad instalada se acercó a 23, 000 MW.
2002	La capacidad eoloelectrica acumulada en el mundo era cercana a 31, 000 MW.
2003	A finales de este año, la industria eoloelectrica contaba con 37, 000 MW instalados.
2007	La capacidad mundial llegó a 93,820 MW
2011	194,390 MW

Cuadro 8. Desarrollo tecnológico eoloelectrico

Fuente: Elaboración propia con datos de “El Primer corredor eólico del corredor del Istmo de Tehuantepec” (Borja Díaz, et al., 2005)

En la actualidad existe una clara disposición en inversión para el avance tecnológico en la industria eólica, como se vio en el capítulo anterior países como China, Estados Unidos, Alemania, España, e India entre otros, encabezan las listas en capacidad instalada a nivel mundial y se debe en gran medida a las mejoras que han presentado en sus diseños.

La innovación en la industria eólica se basa en patentes en métodos de producción, uso de nuevos materiales, creación de nuevos modelos y accesorios que componen un aerogenerador. El **Cuadro 9** muestra la cantidad de patentes por rama entre los países pioneros en materia de energía eólica, resaltando que los esfuerzos mayores para Estados Unidos se llevan a cabo en áreas como la creación de nuevos modelos, accesorios, materiales y métodos de instalación, dejando de lado a los métodos de producción, es importante destacar que este país se caracteriza por contar con una composición climática heterogénea, lo que posiblemente ha fomentado la búsqueda de nuevos métodos de instalación de aerogeneradores y plantas eolieléctricas. Mientras que en el caso de Alemania los esfuerzos se concentran en los métodos de instalación y en la creación de nuevos accesorios, para obtener un mayor desempeño y la máxima eficiencia de los equipos; cabe hacer mención de que en el caso alemán, se han fomentado avances en materia política, lo que ha facilitado el desarrollo en la industria eólica. En el caso de España, es claro que es un fuerte competidor, pues logró obtener por lo menos 30 patentes, a pesar de no competir en los ámbitos de métodos de producción y materiales, es sobresaliente en accesorios, nuevos modelos y métodos de instalación, basando sus esfuerzos en concentrar nuevas formas de hacer más eficiente el sistema de un aerogenerador (USPTO, 2013).

	Métodos de producción	Métodos de instalación	Materiales	Nuevos modelos	Accesorios
Estados Unidos	3	5	5	10	8
Alemania	3	5	1	1	5
España	-	2	-	10	18

Cuadro 9. Cantidad de patentes por rama
Fuente: Elaboración propia con datos de (USPTO, 2013)

El caso mexicano merece mención aparte, pues a finales de la década de los setenta a través del periodo de desarrollo de políticas industriales y tecnológicas en él se observó un marco regulatorio en el que la tecnología, la innovación y la dinámica global-regional se

Con formato: Sin espaciado

Con formato: Sin espaciado

hicieron presentes como factores fundamentales para el desarrollo económico, se buscaba realizar inversiones con capital nacional y extranjero en sectores estratégicos, sin embargo el sector eléctrico a pesar de ser reconocido como uno de los más importantes no contó con apoyo suficiente, pues las instituciones encargadas de investigación y desarrollo tecnológico obtuvieron recursos insuficientes para intervenir con propuestas que amortiguaran la crisis energética nacional.

Una muestra de la falta de inversión es la existencia de una sola patente denominada IMPI que lleva por nombre “Mejoras en molino de viento para el aprovechamiento de la energía eólica” que data de 1988 (USPTO, 2013). Esto evidencia el rezago en materia de innovación tecnológica en el país y explica una de las causas del por qué se recurre a compañías extranjeras como IBERDROLA para instalar aerogeneradores en proyectos nacionales.

A pesar de que se habla de que a nivel nacional existen instituciones sólidas que desarrollan tecnología de calidad, el hecho de que no se registren patentes desde 1988 para la industria eólica, desmiente que se estén realizando grandes esfuerzos o inversiones significativas para fortalecer a la industria eólica nacional. La gravedad de que no existan patentes no radica en falta de reconocimiento a nivel mundial, sino en que si no hay patentes, no hay innovación, innovación que reditúa en un bienestar económico, social, tecnológico y cultural para el país. Vale la pena invertir en instituciones como la UNAM, el IPN, la UAM y el IIE, para que desarrollen el área de energía eólica generando bienestar, fortalecimiento y crecimiento del sector eléctrico.

Como se ha mencionado en el Capítulo I, es apremiante desarrollar tecnología e innovar en materia de energía eólica a nivel nacional, ha quedado claro que no es fácil, ya que el sector energético se sustenta a base de petróleo y por diversas situaciones como crisis políticas y económicas las buenas intenciones de engrandecer a la industria eólica a nivel nacional se han visto mermadas.

Por otro lado la diversificación de la industria eólica a nivel nacional es risible, pues carece de factores como el mercado y la misma cadena productiva. Es decir, al no fomentarse el uso de la energía eólica, no se demandan herramientas para explotarla y no se crea una

diversificación en el mercado, que permite que las empresas se especialicen incrementando sus productos y áreas básicas, por lo que se recurre a la importación de tecnología. Al fomentar el uso de energía eólica en zonas como Pachuca, se abre la posibilidad de ampliar un mercado insipiente como lo es la industria eólica, demandando de tecnología apta para administrar el viento, recurriendo al avance tecnológico y diversificando el mercado, haciendo a la vez que los costos por el uso de energía eólica disminuyan considerablemente.

A nivel nacional sí se desea impulsar el sector eléctrico y en particular la energía eólica, se requiere de la formación de recursos humanos de calidad para alcanzar el desarrollo y fomentar la ciencia, tecnología e innovación, pues como lo define la OCDE. *“La investigación es hoy la fuente crucial para la competencia efectiva, el desarrollo económico y la transformación de la sociedad”*.

2.4 Los Sistemas de Información Geográfica en las propuestas de Desarrollo Sustentable e Innovación Tecnológica

Aunado al esfuerzo institucional por desarrollar tecnología para el aprovechamiento de la energía eólica, también se encuentra la identificación de zonas potenciales para la explotación del viento. Cada vez es más evidente que el uso de energía eólica para generar electricidad se va extendiendo en el mundo, pues como se dijo anteriormente las energías renovables son una eficaz herramienta para luchar por un nuevo modelo energético basado en un desarrollo sustentable económico, social, ambiental y espacial. Es por eso que la necesidad de conocer la distribución espacial del viento, o de cualquier otro recurso natural va incrementando.

Los problemas que enfrenta la sociedad actual requieren de una diferente manera de enfrentarlos y de un trabajo colectivo, por ello existe la urgente necesidad de que el proceso de toma de decisiones se dirija hacia el uso de nuevas tecnologías y/o la implementación de nuevos programas; llevándose a cabo mediante una metodología de evaluación sistémica que pueda dar una solución integral a los diferentes problemas actuales.

Al hablar de energías renovables se permite la intervención de la disciplina geográfica, ya que en materia de recursos es necesario realizar actividades en las que el

geógrafo tiene un papel trascendente, como la identificación espacial del recurso, su tipificación, clasificación y manejo. Es necesario desarrollar métodos para la evaluación de los recursos energéticos renovables, ya que cualquier sistema energético afecta sensiblemente el territorio y el medio ambiente causando impactos socio-demográficos significativos y esto se puede hacer por medio de técnicas y herramientas como los Sistemas de Información Geográfica.

El uso y manejo de bases de datos se ha visto revolucionado gracias al empleo de los SIG, en el caso de las Energías Renovables, no es la excepción pues desde hace varios años se han llevado a cabo estudios en los que el número de factores a estudiar van en incremento; se hace la determinación espacio-temporal de los recursos y se identifican factores trascendentes en la infraestructura como vías de comunicación, centros poblacionales, tenencia de la tierra, uso potencial de ésta, etc. Esta información procesada representa los resultados obtenidos dentro de un marco geográfico por medio de uno o varios mapas, que expresan la disponibilidad energética de manera mensual, estacional o anual. Vale la pena resaltar que la potencia de las herramientas SIG se manifiesta en la incorporación del análisis geográfico y en la planificación estratégica de nuevas instalaciones, así como en la simulación de escenarios de oferta-demanda con diversas posibilidades tecnológicas de satisfacción.

Una de las ventajas del manejo de un SIG para la evaluación de energía alternativa, es que se puede manipular gran cantidad de información precisa y oportuna con un mínimo de tiempo y esfuerzo. Diversos países han realizado loables esfuerzos dirigidos a acelerar el desarrollo de las tecnologías para el aprovechamiento de las energías renovables. Y un objetivo a cumplir dentro de este trabajo es valorar el conjunto de ventajas que representa el empleo de los SIG en proyectos de electrificación durante las distintas fases (estimación del potencial y necesidades energéticas, selección de la tecnología y planificación del mantenimiento de los sistemas energéticos), para garantizar una integración de los objetivos dentro de un proyecto de electrificación con energía renovable.

La regionalización geográfica de las energías renovables tiene una marcada variabilidad espacio-temporal en comparación con la distribución de los combustibles fósiles. Entre las diversas fuentes renovables existentes el patrón de distribución geográfico es heterogéneo, sin embargo, es esta disparidad la que permite que prácticamente cualquier espacio cuente con al menos una fuente de carácter autóctono. La riqueza y variedad de fuentes renovables de energía es la que hace que implementar un sistema de abasto de energía sea más complejo que aquel que cuenta con energéticos fósiles, ya que el sistema que trabaja con fuentes convencionales ha logrado concentrar su especialización en zonas geográficas estratégicas de acuerdo con la oferta y la demanda (Domínguez Bravo, 2002).

Diversos actores en países desarrollados han impulsado desde hace una década proyectos dirigidos a la creación de SIG a escala regional para determinar las potencialidades de aprovechamiento de las fuentes renovables de energía, tal es el caso de los sistemas REGIS, EPURE, EnTRACK, REPLAN, SOLBIO y SOLARGIS (Miranda & Saldaña, 2003). A continuación se estudian con más profundidad algunos proyectos relevantes en el campo de la integración de las energías renovables utilizando SIG.

- **REGIS:** Desarrollado por una consultora energética belga como instrumento de planificación energética regional, con el objetivo de identificar las áreas potenciales para la implementación de tecnologías de energías renovables, determinando los efectos socioeconómicos y medioambientales. Está dirigido a usuarios técnicos, agentes de decisión y agentes económicos (Miranda & Saldaña, 2003). Este sistema se compone de los módulos; solar, hidráulico, de biomasa y eólico. El *Módulo eólico*, relevante dentro de esta investigación tiene como objetivo la evaluación de emplazamientos para parques eólicos teniendo en cuenta las restricciones ambientales (parques naturales, cercanía a poblaciones, etc.). Para ello utiliza una serie de capas con la siguiente información: infraestructuras viales, aeroportuarias y de distribución eléctrica de AT, núcleos de población, espacios naturales protegidos y Atlas eólico de Cataluña.

- **EPUR:** Tienen el objetivo de identificar qué regiones de las estudiadas en la Unión Europea tienen recursos renovables competitivos económicamente con un aceptable nivel de riesgo, estableciendo un método para la evaluación de recursos considerando tanto las zonas potenciales como los aspectos económicos, técnicos y funcionales (Miranda & Saldaña, 2003).
- **EnTRACK:** Su objetivo es establecer un sistema de soporte de decisiones que evalúe opciones de integración de las energías renovables, se basa en el presupuesto de que las energías renovables pueden ser promovidas en Europa a través de herramientas de planificación y gestión de energía personalizadas con información que describa los aspectos temporales y geográficos de los modelos locales de demanda y suministro. La principal aportación de Entrack respecto a las tecnologías actuales es la evaluación de recursos en función del tiempo. El sistema puede manejar distribuciones temporales de recursos renovables y correlacionarlas con las correspondientes series de demanda, en función de factores económicos, sociales y medioambientales (Miranda & Saldaña, 2003).
- **REPLAN:** Establecer una metodología de integración a gran escala de energías renovables en las regiones europeas. Para ello se ha establecido un proceso que emplea como herramienta base un paquete informático que consta de cuatro módulos organizados e interconectados: demanda de energía, suministro, tecnología y generación de escenarios (Miranda & Saldaña, 2003).

En el caso de México, se ha detectado la existencia de altos niveles de potencialidad de ER dentro de los 2 millones de km² que integran al territorio, por lo que el gobierno ha impulsado el desarrollo tecnológico a nivel municipal, estatal y federal, una muestra de ello es el desarrollo del **SIGER**. Este sistema pretende ser una herramienta, con la cual se promueva la aplicación de las energías renovables para uso doméstico e industrial.

El proyecto denominado Desarrollo del Sistema de Información Geográfica para las Energías Renovables en México (SIGER), desarrollado en 1997 por el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), a través de la Gerencia de Energías No Convencionales

(GENC), está llevando a cabo el mapeo eólico en zonas específicas de la república mexicana, con el fin de participar en el ámbito internacional de este nuevo esquema de manejo de información, este sistema cuenta con una plataforma que permite visualizar información referente a la velocidad del viento en determinadas zonas utilizando un mapa como herramienta, dicha plataforma emplea Sistemas de Información Geográfica como ArcInfo y el modelo de viento Wind Atlas Analysis and Application Program (WAsP). Es un sistema compuesto por mapas en formato raster y vectorial y datos en forma tabular, los cuales contienen información de las energías renovables y de aquellos elementos geográficos que influyen en la determinación de sitios para el aprovechamiento de las energías renovables (Miranda & Saldaña, 2003).

Este sistema fue diseñado para contener información de todo el territorio nacional. La resolución espacial de los mapas es de 100 metros y en el caso de la división política llega hasta el nivel municipal. Utiliza una escala de 1:250 000, pero al trabajar con información procedente de otras instituciones como INEGI utiliza información en otras escalas como son; 1:50 000 y 1: 1 000 000, utilizando una proyección Cónica Conforme de Lambert (Miranda & Saldaña, 2003).

Una de las principales labores del SIGER, ha sido generar resultados, incorporando información de los potenciales de energías renovables. Para el caso de la energía eólica que es trascendental para esta investigación, se modelaron 15 regiones donde el IIE realizó mediciones de viento (Miranda & Saldaña, 2003). Los objetivos planteados a corto y mediano plazo por el SIGER, radican en complementar la información tanto de los potenciales de las ER como de la información de apoyo. También es necesario desarrollar las aplicaciones para hacerlo más manejable y, posteriormente, reestructurarlo en el nuevo sistema geográfico de referencia. Que aunque se trata de una disposición oficial para el INEGI desde hace años, apenas se está realizando.

A nivel nacional la elaboración de atlas eólicos se realiza por instituciones privadas y extranjeras en colaboración con CONAGUA, SENER, el IIE y CFE, la información recabada de acuerdo a tratados internacionales, se almacena en una base de datos internacional, hasta

el momento se cuenta con atlas de las regiones de Oaxaca, Baja California, Baja California Sur y Jalisco.

En 1992, se estudió el potencial eólico del Cerro de la Virgen en Zacatecas, a 10 y 30 metros de altura. En 1995, el National Renewable Energy Laboratory (NREL) del Department of Energy de los EUA publicó un atlas de viento de México. En 1998, se publicó un mapa de ocho zonas específicas donde CFE y el IIE han realizado estudios, indicando un potencial estimado de capacidad de generación eléctrica. En 2001, se realizó un estudio específico del potencial eólico de Santa Catarina, Nuevo León. Entre 2002 y 2003, se midió y se analizó el potencial de viento en cinco polos de desarrollo del Estado de Nuevo León (Anáhuac, Cerralvo, Colombia, Loma Alta y Vallecillos). Los mapas elaborados por NREL para 11 regiones de México se encuentran disponibles en internet. Esta misma entidad generó en 2004, un Atlas de Recursos Eólicos del Estado de Oaxaca.

Además de estimar el recurso eólico explotable, es necesario reconocer la situación del sector energético nacional, ya que esto puede llevar al desarrollo sustentable de municipios como Pachuca, que se encuentran dentro de una regionalización en la que se establecen tarifas energéticas y dan la pauta para que energías renovables se vuelvan competitivas.

CAPÍTULO TRES

SITUACIÓN DEL SECTOR ENERGÉTICO

3.1 Administración de la energía eléctrica

Alcanzar el desarrollo sustentable a nivel mundial representa un gran reto para la humanidad, pues el avance tecnológico no se ha dado de forma homogénea, resaltando regiones con importantes avances en materia de telecomunicaciones, informática, uso y administración de recursos, generando un proceso fragmentado en el desarrollo. Parte de las razones que alimentan este desequilibrio mundial son el uso intensivo de los energéticos, el descuido ambiental y en el caso de México; la intervención del estado en todas las actividades relacionadas con la administración de la energía, con una visión local del entorno económico que se contrapone a las políticas del desarrollo energético integral.

Dentro de este trabajo se aborda la temática energética como prioridad resaltando que la diversidad del país constituye un privilegio y un potencial para el desarrollo. Sin embargo, el manejo de recursos como la energía se enfrenta a problemas de diversa índole haciendo que su administración sea una labor compleja.

El relieve heterogéneo y complejo que definen al territorio mexicano es uno de los principales conflictos dentro de la administración de la energía, pues las diversas estructuras físicas se comportan como una barrera para el flujo de recursos. Ante este panorama se recurre al uso de herramientas metodológicas como la regionalización, que permite organizar el espacio en función de un objetivo definido, en este caso se trata del conocimiento del recurso energético para su manejo adecuado.

Como se mencionó en el Capítulo 1, el único organismo autorizado para la administración del sector energético es la Comisión Federal de Electricidad, quien dentro del Sistema Eléctrico Nacional (SEN) ha regionalizado al país en áreas, regiones, enlaces de transmisión interregionales y centrales generadoras.

Las áreas en las que se divide el sistema eléctrico corresponden con las denominadas “Áreas de Control” del S.E.N. Cada área se divide a su vez en regiones. En una región pueden localizarse centrales generadoras y/o centros de carga. Una región puede conectarse con otras regiones y con sistemas externos a través de enlaces interregionales. Una región está definida por su distancia eléctrica y por las restricciones de transmisión.

Por motivos de planeación y operación del SEN, la CFE divide al país en nueve áreas de Generación y Transmisión que se muestran en la **Figura 4**. Los sistemas eléctricos regionales comparten recursos de capacidad y un funcionamiento económico y confiable más eficiente en su conjunto. De esta manera, así, se logra a enlaces del área Noroeste hasta el Norte y Occidente del país, sin embargo, las dos regiones de la península de Baja California, permanecen como sistemas aislados, ya que hasta el momento, su interconexión con el resto de la red nacional no se justifica desde el punto de vista técnico y económico (SENER, 2013).



Figura 4. Mapa de las áreas de control operativo del Sistema Eléctrico Nacional
Fuente: (SENER, 2013)

El Sistema Eléctrico Nacional comprende nueve áreas eléctricas, de esta manera, las áreas operativas interconectadas pueden compartir recursos de capacidad y lograr un

funcionamiento más económico y confiable del sistema en su conjunto; Noroeste, Norte, Noreste, Occidental, Central, Oriental, Peninsular, Baja California y Baja California Sur. Con excepción de las Baja Californias. A través de dicha regionalización la CFE pretende tener un sector más ágil, que anticipe sus acciones y pueda adaptar su oferta a las tendencias de demanda con productos de calidad y a precios competitivos.

3.1.1 Problemática de la determinación de las tarifas eléctricas

Uno de los principales factores que inhiben la competitividad nacional es el alto costo de bienes y servicios esenciales, y de manera particular los precios de los energéticos, a esto se suma que la determinación de tarifas eléctricas no cuenta con estándares, reglamentación clara y metodologías óptimas para evaluar el costo de la energía.

El estudio “Fuentes de sobre-costos y distorsiones en las empresas eléctricas públicas mexicanas”, realizado por el Banco de México indicó que si bien el incremento en los precios de los combustibles primarios en los últimos años es un factor que determina el alza de los costos y las tarifas eléctricas, también lo hacen la pérdida de energía, los costos de combustible y los costos laborales (Banco de México, 2009).

El sector eléctrico mexicano, al ser una empresa pública, se enfrenta al problema de que la inversión de los incentivos en aquello que puede reducir los costos y en aquello que mejora la calidad o innovación es muy débil:

“En México, las empresas eléctricas públicas parecen enfrentar un esquema de incentivos que dificulta la reducción de costos y la búsqueda de una mejor calidad del servicio eléctrico. En principio, no existe una relación directa entre los costos de operación, no asociados al costo de combustibles y del capital, y los ingresos por venta de energía de las empresas eléctricas públicas”. (Banco de México, 2009)

Por años las políticas públicas se han encaminado a cubrir intereses personales y de grupo, lo que ha tenido consecuencias negativas en diversos ámbitos, uno de estos ámbitos es el manejo y la administración de los recursos naturales.

Al no existir un organismo independiente con capacidad técnica y de acceso a información, capaz de supervisar los costos en los que incurre la CFE, no es posible realizar una evaluación comparativa que permita fijar precios y tarifas competitivas. Esto afecta la competitividad del sector eléctrico.

El costo elevado de las tarifas eléctricas residenciales afecta gravemente la calidad de vida de las familias que habitan sobre todo en las zonas más calurosas del país, particularmente a quienes reciben menos ingresos.

Del año 2000 a la fecha, se han duplicado las tarifas de energía eléctrica para el sector industrial, en tanto que las aplicables a los sectores comercial y residencial, se aumentaron en más de un 70% (CONCAMIN, 2007).

El 30 % de los hogares con menores ingresos destina aproximadamente el 5% de sus percepciones al pago del servicio de energía eléctrica, en tanto que para el 30 % con mayores ingresos el gasto en este servicio representa menos del 2% de su presupuesto mensual (Cámara de Diputados, 2010). En lo referente a la asignación de los subsidio a la tarifa doméstica el 30% de los hogares de menores ingresos captan sólo 23% del subsidio implícito total, mientras que el 30 % de mayores ingresos recibieron en conjunto el 33 % del subsidio (OCDE, 2013).

La tarifa eléctrica para uso doméstico en México es superior a las aplicables en varios países latinoamericanos como; Panamá, República Dominicana, Bolivia, Honduras, Costa Rica, Ecuador, Argentina, Perú, Venezuela y Uruguay, también es mayor que en naciones como Corea, Taiwán, Malasia, Canadá y Australia (Energy Information Administration, 2009).

El hecho de que energía eléctrica no se pueda almacenar y que su generación y suministro se den en el mismo instante que se demanda, hace que la determinación de las tarifas eléctricas sea un proceso de naturaleza compleja.

3.1.2 Descripción de las tarifas de energía eléctrica vigentes en México

El costo de suministrar electricidad depende de muchos factores, incluyendo la cantidad de electricidad generada, el tipo de combustibles empleados y las tecnologías utilizadas, los factores de carga y traslado, la capacidad de las líneas de transmisión y distribución, los niveles de voltaje demandados, así como la ubicación de la demanda, etc. De manera general los componentes de costos de la tarifa eléctrica se han dividido en: Costos de Generación, Costos de Transmisión y Costos de Distribución.

Existen criterios establecidos para fijar las tarifas eléctricas en el país, las tarifas son determinadas por la Secretaría de Hacienda y Crédito Público, a propuesta de CFE y escuchando la opinión de la Comisión Reguladora de Energía y de la Secretaría de Economía. Las tarifas fijadas por la CFE se ajustan mensualmente de acuerdo a la inflación, a los precios de los combustibles fósiles empleados en la generación, a la fracción de generación neta fósil y al tipo de cambio.

La estructura tarifaria para el servicio público de energía eléctrica está constituida por dos categorías de tarifas: tarifas específicas y tarifas generales.

Las tarifas específicas se muestran son aquellas que se determinan por el uso final de la energía; doméstico, doméstico de alto consumo, servicios públicos ó agrícola. Las tarifas domésticas dependen en gran medida de la temperatura, esto significa que la tarifa varía de acuerdo con la temporada, existe una tarifa para verano y otra para invierno porque son épocas donde el consumo energético varía. Las tarifas Doméstica de Alto Consumo (DAC), agrícola y de servicio público, fijan la tarifa a partir de factores fijos¹¹(CFE, 2007).

¹¹ Los factores fijos se autorizan generalmente en forma anual, mediante acuerdos específicos y se relacionan con las estimaciones de la evolucionan inflacionaria esperada.

Las tarifas generales son aquellas que se determinan únicamente por el nivel de tensión que los usuarios reciben servicio, así como de su nivel de consumo, haciendo la clasificación de baja, median y alta tensión, determinada por la cantidad de kw consumidos (CFE, 2007).

En resumen, la CFE tiene ocho tarifas para uso doméstico, de las cuales siete (1, 1A, 1B, 1C, ID, 1E, 1F) se aplican a distintas regiones del país de acuerdo con la temperatura media mínima en verano. El octavo tipo de tarifa no depende de la temperatura imperante en la región, sino en la manera de consumir. Se trata de la tarifa Doméstica de Alto Consumo. Esta tarifa se aplica cuando se excede el límite de consumo mensual promedio establecido para la región.

Fijar las tarifas eléctricas es un mecanismo trascendente para la formulación de la política energética nacional, por lo que la Subdirección de Programación de la CFE tiene por objetivo elaborar propuestas de ajuste, modificación o reestructuración de las tarifas energéticas a partir de un estudio de patrones de consumo y costos del suministro.

A la clasificación de tarifas se suma una división que corresponde al consumo interno de energía eléctrica por sectores; doméstico, general de baja, media y alta tensión, alumbrado y bombeo y bombeo agrícola. En la que se refleja el alza de los costos, como lo muestra el

Cuadro 10.

Precios Medidos (Pesos por kilowatt hora)				
Sector	Enero a Junio de:		Incremento	
	2011	2012	%	
Doméstico	1.219	1.255	3	
General baja tensión	2.641	2.921	1.6	
Alumbrado y bombeo	1.926	2.004	6.1	
Bombeo agrícola	0.515	0.571	11	
General media tensión	1.5	1.653	10.2	
General alta tensión	1.152	1.267	10	
Total a Usuario final	1.391	1.509	8.5	

Cuadro 10. Evolución de los precios por sector
Fuente: (CFE, 2012)

De acuerdo con el informe de labores de la CFE, durante los meses de enero a junio de 2012, el precio medio global de las ventas de energía a los usuarios creció 8.5% con relación al mismo periodo de 2011. Las tarifas sujetas a factores fijos tuvieron un crecimiento de 3.6% en su periodo medio, pero las tarifas sujetas a ajuste tuvieron un incremento de 9.7%, lo cual se explica por el incremento de 12.7% que tuvieron los combustibles utilizados en la generación y de 7.2% de la inflación (CFE, 2007).

La asignación del costo entre los diferentes tipos de consumidores debe buscar condiciones de equidad, esto se puede lograr siempre que a cada tipo de consumidor se carguen los costos marginales que su demanda impone al sistema.

Ante la falta de una política energética nacional clara, resulta complicado desarrollar proyectos de autoabastecimiento de electricidad e impide al sector productivo combatir las altas tarifas eléctricas y mejorar su competitividad.

3.1.3 Subsidio al sector energético

A la falta de políticas claras en materia de energéticos se suma el subsidio tan alto que termina por afectar el desarrollo del sector energético, pues como la SHCP declara; durante 2012, el subsidio a los energéticos a nivel nacional alcanzó los 82, 068 millones de pesos, con los objetivos de beneficiar a los usuarios de ingresos bajos y apoyar a la actividad económica.

Los subsidios a las tarifas eléctricas se definen como la diferencia entre el precio de la electricidad pagada por los consumidores y el costo promedio de suministro. Los subsidios a las tarifas de CFE son financiados mediante una transferencia contable utilizando los recursos provenientes de aprovechamiento. De esta manera, el Gobierno Federal reembolsa a la empresa los subsidios transferidos a sus consumidores a través del aprovechamiento que la CFE está obligado a pagar al gobierno. Sin embargo, se cuenta con registros históricos, en los que el monto de los subsidios ha sido mayor que el aprovechamiento respecto a los subsidios.

Según el Presupuesto de Egresos de la Federación, el objetivo de subsidiar al sector energético es alcanzar una relación precio-costo que permita un sano crecimiento de la empresa y le genere los recursos que requiere para financiar los programas de expansión de infraestructura eléctrica. Sin embargo, a falta de normas claras y huecos legales esto no ocurre así, ya que la población con menores ingresos recibe un subsidio pobre, mientras que la población de mayores ingresos percibe casi el 50% de subsidio en el uso de electricidad. El análisis realizado por la Secretaría de Hacienda y Crédito Público con base en la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares 2010, determinó que el subsidio otorgado a la población de mayores ingresos absorbió el 46%, mientras que la población de más bajos ingresos, absorbió un total del 17.7%, lo cual no se ajustó al criterio de racionalidad establecido en el Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012 (SHCP, 2013).

El monto de subsidio al consumo de electricidad en México es de alrededor de medio punto del producto interno bruto al año, es de unos 75 mil millones de pesos (González Amador, 2013).

Los subsidios a los precios y tarifas en la electricidad son significativos por su contribución a los programas de estabilización económica. Sin embargo, no constituyen un instrumento efectivo de redistribución, por el contrario, sus rezagos propician consumos excesivos, desperdicio de la energía y limitan las posibilidades de autofinanciamiento de las entidades del sector. Según el Fondo Monetario Internacional, el Gobierno de México y la CFE dejan de ingresar cada año 7 mil 600 millones de pesos -equivalentes a 0.5 por ciento del PIB- por subsidios a la electricidad (Herrera, 2013).

En un estudio sobre los subsidios a energéticos en el mundo, elaborado por el Fondo Monetario Internacional, el organismo destaca que las tarifas eléctricas en el país no cubren los costos de generación, transmisión y distribución de la paraestatal, y que estas no se calculan sobre el costo de proveer el servicio, sino únicamente en los precios de los insumos. Aunque en 2002 se hicieron cambios al esquema tarifario y se creó la tarifa Doméstica de Alto Consumo, los subsidios de verano contrarrestaron las reformas, de tal manera que se está subsidiando más consumo de electricidad que hace 10 años (Herrera, 2013).

El Fondo Monetario Internacional refiere que las iniciativas para disminuir subsidios, privatizar el sector, crear un mercado de mayoreo y separar las actividades de generación de transmisión en 1999, 2001 y 2002 fallaron por los intereses sindicales, desacuerdos entre partidos políticos, y el desconocimiento del público sobre los efectos nocivos de los subsidios al desarrollo económico.

Los subsidios otorgados a los usuarios de CFE vía tarifas eléctricas en el primer semestre de 2012, alcanzaron los 47,308 millones de pesos y se muestra en el **Cuadro 11**.

Sector	Subsidios millones de pesos	Relaciones precio-costo
Doméstico	39,142	0.44
General baja tensión		1.17
Alumbrado y bombeo	1,144	0.92
Bombeo agrícola	7,022	0.33
General media tensión		1.06
General alta tensión		1.09
Total	47,308	0.83

Cuadro 11. Subsidios por sector, 2012

Fuente: Elaboración propia con datos de CFE correspondientes al primer semestre de 2012.

El subsidio sobre la energía eléctrica en el sector agrícola cubre más de 60% del costo de la electricidad empleada para bombear el agua usada para riego. Al introducir precios artificialmente bajos por el bombeo de agua para riego, el subsidio ha contribuido a mantener bajos niveles de eficiencia en el uso de agua y a la sobreexplotación de los mantos freáticos. El subsidio además desincentiva la inversión en tecnologías de riego más eficientes. Adicionalmente, tiene una distribución muy inequitativa, ya que es mayoritariamente captado por los propietarios de grandes tierras de riego. Los agricultores en los deciles más altos de ingreso reciben 80% de los subsidios sobre la electricidad para bombeo de agua (OCDE, 2013).

La consecuencia económica del consumo de energía eléctrica sin el correspondiente pago por el servicio trasciende más allá del sector eléctrico: (Banco de México, 2009)

- Es una presión sobre los requerimientos de capacidad del sector sobre el costo de la electricidad. El no pagar nada por el consumo eléctrico induce una mayor demanda de energía, lo que eventualmente se traducirá en una presión adicional sobre la capacidad de generación eléctrica y sobre los requerimientos de inversión en el sector.
- Disminuye los recursos para otros programas. El costo de la electricidad por la que no se paga debe cubrirse a través de tarifas o subsidios. Ante restricciones presupuestales del Gobierno Federal, el aumento de las transferencias al sector impacta la asignación a otros programas.
- Es un incentivo a actividades económicas informales. La posibilidad de obtener energía eléctrica sin pago representa en la práctica la disponibilidad de un subsidio del 100% al consumo de energía eléctrica. El nulo costo de la energía permite que ésta sea utilizada para actividades con baja productividad (ambulante o actividades informales); estas actividades serían menos rentables si tuvieran que pagar su consumo de energía.
- Se reducen los incentivos a pagar por la luz que se consume, y en general crea una cultura de no pago.

3.2 Situación del sector energético en Pachuca de Soto

El acceso a la energía es un medio indispensable para mejorar la calidad de vida de la población y brindar las condiciones necesarias para que cada individuo optimice su desempeño; al igual que la salud y la educación, el acceso a la energía es uno de los principales elementos democratizadores y juega un papel relevante en el desarrollo social y humano. Por tal motivo, el acceso a la energía, oportuno y de calidad, debe ser considerado como una prioridad para el progreso en el municipio de Pachuca.

De acuerdo con cifras oficiales, el total de viviendas particulares habitadas que disponen de energía eléctrica alcanza un 97.8 por ciento (INEGI, 2010). Es decir, de 72,920 viviendas 71,235 viviendas particulares habitadas cuentan con servicio eléctrico.

Para ofrecer un abasto eficiente y oportuno del servicio eléctrico es necesario ampliar y fortalecer la infraestructura eléctrica en el municipio, garantizando así la electrificación de comunidades rurales y colonias populares mejorando la calidad de vida de los habitantes de zonas marginadas a favor del desarrollo.

A pesar de que la LSPEE no permite la venta de electricidad entre privados, autoriza a inversionistas públicos o privados para que formen una empresa de cogeneración y suministren de energía eléctrica a sus socios. El esquema de cogeneración permite que la electricidad se transfiera de un socio de la empresa a los otros socios.

Es así como se ha generado un total de 111,104 contratos. El volumen de las ventas de energía eléctrica en Pachuca alcanza los 264,719 Megawatts-hora (CFE, 2012). Las ventas según el tipo de servicio se muestra en el **Cuadro 12**, donde se hace evidente que el uso industrial y de servicios generan mayores ganancias, por lo que es factible implementar el uso de energía limpias como la eólica en la industria.

Tipo de Servicio	Contrato	Volumen de Ventas (MW/hr)	Valor de ventas (Miles de pesos)
Doméstico	95,643	105,647	138,007
Alumbrado público	2	19,930	44,123
Bombeo de aguas potables y negras	16	1,864	2,659
Agrícola	3	-5	31
Industria y de servicios	15,440	137,283	284,360
Total	111,104	264,719	469,180

Cuadro 12. Volumen de ventas por sector
Fuente: CFE División Centro Oriente (CFE, 2012)

Hasta el 31 de diciembre de 2011 se tienen registradas 111,104 tomas instaladas de energía eléctrica en el Municipio (INEGI, 2010). La cobertura del servicio energético en Pachuca está a cargo de tres líneas, dos de las cuales proceden del sistema Apaxco del Estado de México, denominadas Julia1 y Julia 2, la tercera línea es conocida como Juandhó y pertenece al Municipio de Tetepango, en el Estado de Hidalgo, la capacidad con la que cuentan es de 85 Kv (CFE, 2012).

A pesar de que el municipio no cuenta con subestaciones de transmisión, ni con transformadores de distribución, cuenta con una subestación de distribución con una potencia de 126 megavoltios-amperes, lo que permite a la población de Pachuca tener acceso a la energía eléctrica, tan esencial para su funcionamiento y desarrollo (CFE, 2012).

En cuanto a la ampliación y fortalecimiento de la Infraestructura Eléctrica, es la Estatal de Fomento y Ahorro de Energía quien realiza estudios de eficiencia y modernización de sistemas de alumbrado público municipal y de bombeo de agua potable, con el fin de abatir el gasto corriente de consumo de energía que representa un alto porcentaje en el presupuesto del Municipio. Además de apoyar al sector industrial y comercial en estudios y proyectos de ahorro de energía para la selección de equipos que abatan los costos de operación (CEFAEN, 2013).

El trabajo que realiza este organismo es fundamental, ya que apoya el desarrollo económico y la creación de empleos en el Municipio, así mismo incrementa la electrificación de comunidades rurales y colonias populares para elevar el nivel de vida y bienestar en las zonas marginadas, desarrollando programas y proyectos de electrificación en atención a las solicitudes directas de la ciudadanía y de los municipios.

Como parte de los esfuerzos para promover la eficiencia y la sustentabilidad energética y reducir la dependencia de los hidrocarburos como fuente primaria de energía, Pachuca ha aumentado sus esfuerzos para impulsar el aprovechamiento de fuentes de energía renovable y tecnologías limpias para generar electricidad.

CAPÍTULO CUATRO

PACHUCA DE SOTO, HIDALGO Y LA ENERGÍA EÓLICA

El presente capítulo hace un acercamiento las condiciones físicas, sociales, económicas y energéticas de Pachuca de Soto, Hidalgo con el objetivo de abrir el panorama energético de la zona de estudio construyendo un escenario en el que la energía eólica se presenta como una alternativa económica, práctica y viable para alcanzar el desarrollo sustentable.

4.1 Síntesis geográfica de Pachuca de Soto

Pachuca de Soto es la cabecera municipal y capital del estado de Hidalgo, se localiza al centro sur de la entidad entre los paralelos 20° 01' y 20° 12' latitud norte y los meridianos 98° 41' y 98° 52' longitud oeste. Posición estratégica que permite la presencia del recurso eólico.

Se localiza a una altitud entre 2, 400 y 3, 000 msnm, tiene una superficie de 195.30 km² que representa el 0.93% de la superficie del Estado y se localiza a 95 km de la Ciudad de México sobre la carretera México-Pachuca.

Colinda al norte con los municipios Mineral del Chico y Mineral del Monte; al sur con Zempoala y Zapotlán de Juárez; al este con Mineral de la Reforma y Epazoyucan; y al oeste con San Agustín Tlaxiaca. Cuenta con 20 localidades y una población total de 267,862 habitantes para 2010 (INEGI, 2010).

4.1.1 Fisiografía de Pachuca de Soto

Conocer la fisiografía del área de estudio ofrece una visión general de las formas del relieve que caracterizan al municipio, identificadas y definidas a partir del análisis integral de la información topográfica, geológica, hidrológica y edafológica, para formar unidades relativamente homogéneas.

Pachuca de Soto está situada en la *Sierra de Pachuca* que se extiende por cerca de 20 km hacia el sureste, desde Real del Monte hasta Cuyamola, en la carretera entre Pachuca y Tuxpan; continúa en la misma dirección hasta una distancia de alrededor de 25 km, desapareciendo en forma gradual en los llanos de Apan, donde recibe el nombre local de *Sierra de Singuilucan*, al noroeste de Real del Monte continúa 20 km hasta el Cañón de río de Los Griegos, en este punto toma el nombre de *Sierra de Actopan* y sigue 45 km hasta perderse cerca de El Cardonal, Hidalgo (Geyne, et al., 1963).

La Sierra tiene una orientación oeste-noroeste y se ubica en el borde septentrional de la provincia fisiográfica *Sierra Volcánica Transversal*; específicamente en la *Subprovincia Llanuras y Sierra de Querétaro e Hidalgo Lagos y Volcanes del Anahuac*.

La Sierra tiene dos vertientes; la suroccidental y la nororiental, cada una con características morfológicas propias. La vertiente suroccidental es escarpada y con una pendiente general más pronunciada. Las laderas montañosas desaparecen bruscamente en las planicies contiguas; en algunos casos se encuentran pequeños valles en herradura que se adentran en las laderas de la Sierra, en uno de estos se localiza la Ciudad. La vertiente nororiental es de una morfología más compleja, las laderas presentan una pendiente general menor y están disectadas por valles y barrancos profundos de curso irregular (Salas García, 1995).

La Sierra forma el límite nororiental de la Cuenca de México. La capital del Estado fue fundada en la zona de la unión entre la Sierra de Pachuca y la Planicie acumulativa de la Cuenca endorreica de México, sobre una rampa acumulativa formada por la concordancia de abanicos aluviales, de los que el más importante es del Río Las Avenidas (Salas García, 1995).

4.1.2 Relieve

El relieve es uno de los factores determinantes en la dirección, velocidad y potencia del viento, por lo que definir las formas de relieve predominantes en la zona de estudio permite conocer los patrones de viento.

Como muestra la **Figura 5**, el municipio se caracteriza por tener marcados contrastes orográficos, al norte cuenta con zonas montañosas, al noroeste-suroeste con lomeríos y del centro al sur del municipio predominan las llanuras. El 57% del territorio cuenta con pendientes planas. Las principales elevaciones se encuentran en la Sierra de Pachuca entre las que sobresalen los cerros: Grande, La Cantera, La Crucita, La Ladera, y Las Brujas, así como los de Santa Gertrudis y San Cristóbal.

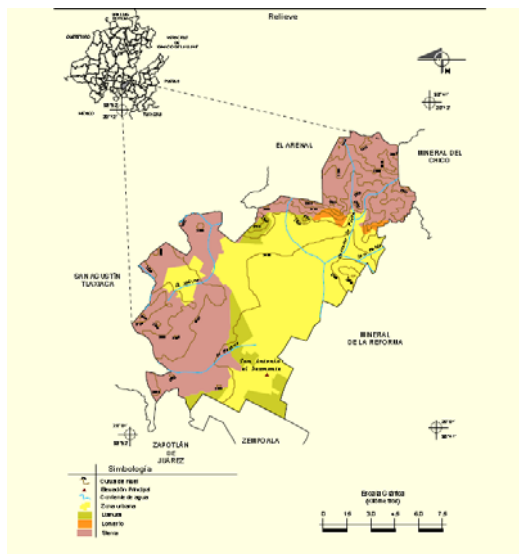


Figura 5. Mapa de relieve
Fuente: INEGI. Marco Geoestadístico Municipal 2010

De acuerdo con lo establecido por el INEGI, los rasgos geológicos predominantes en el municipio son: (INEGI, 2009).

Fallas: Ubicadas en la Sierra de Pachuca, al norte del municipio, donde existen grandes elevaciones y donde la pendiente del terreno es pronunciada, se tiene registradas 4 fallas con una longitud promedio de 6 km con dirección oeste-este.

Fracturas: Se tiene una fractura registrada en la Barranca Las Palmas, con una longitud aproximada de 3.5 km con dirección este-oeste.

Hundimientos y desprendimientos: En la parte norte del municipio existen zonas sujetas a hundimientos, principalmente en la época de lluvias. Estos hundimientos son causados por los túneles que perforaron las compañías mineras con motivo de la extracción de oro y plata. Este fenómeno se ve claramente representado en las faldas del Cerro de Cubitos y en colonias populares como Minerva y Anáhuac.

4.1.3 Clima

Las condiciones climáticas que imperan en la zona de estudio se consideran dentro de este trabajo porque guardan una estricta relación con el régimen de vientos, ya que la zona se ve influenciada por diversos fenómenos climáticos.

En el municipio de Pachuca de Soto predominan los climas semifrío subhúmedo con lluvias en verano de mayor humedad, que abarca el 4% del territorio, mientras que el templado subhúmedo con lluvias en verano, de menor humedad abarca el 43% del territorio y el clima semiseco templado, que cubre el 53% del municipio, como muestra la Figura 6 (INEGI, 2009).

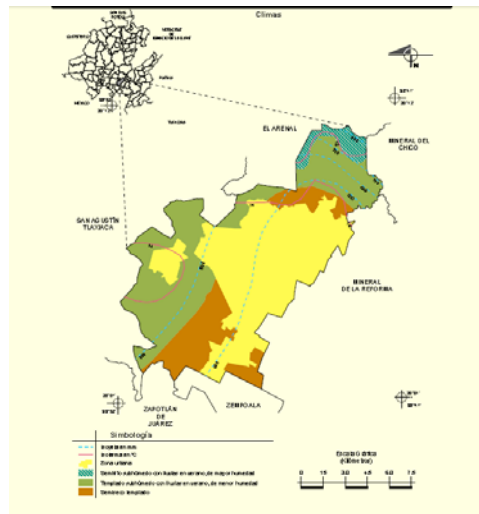


Figura 6. Mapa de climas de Pachuca de Soto, Hgo.
Fuente: INEGI. Marco Geoestadístico Municipal 2010.

La temperatura promedio anual para Pachuca se establece en los 15.8° C, siendo el mes de mayo en el que se registra la máxima (18°C) y diciembre con la mínima (12.7°C) (INEGI, 2009). Como se vio en el Capítulo 3, la CFE fija las tarifas energéticas en relación a la temperatura, asignando un monto dependiendo de la temperatura media mensual que alcanzan las localidades en verano.

Su precipitación pluvial promedio es de 361.5 mm al año, de los cuales se pierde más del 70% a causa de la evaporación. El periodo de lluvias comprende entre los meses de mayo a octubre, y el tiempo seco comprende de noviembre a abril. Sin embargo, la ciudad se ve afectada por los frentes fríos y tormentas tropicales que afectan al Golfo de México, por su cercanía a este (SMN, 2010).

4.2 Condiciones eólicas locales

El conocimiento de los vientos generales no es suficiente para una correcta utilización y ubicación de máquinas eólicas, existen factores que modifican el régimen general y que deben ser conocidos y considerados a la hora de plantear un proyecto eólico.

Como se vio anteriormente, la exploración del potencial eólico en México se encuentra en un nivel de prueba, sin embargo, las mediciones puntuales o de pequeñas redes anemométricas, realizadas principalmente por el IIE, ha servido para regionalizar el potencial eólico del país.

De este proceso surge la **Región Central**, situada en el Altiplano, donde prevalecen los vientos alisios de verano, desde Tlaxcala a Guanajuato, que en Pachuca, la bella airosa, son más conocidos. Estos vientos complementan estacionalmente a los del altiplano norte y los del sur del Istmo de Tehuantepec. La complejidad orográfica de esta región, debe dar lugar a la existencia de innumerables pasos y mesetas donde el viento sea energéticamente aprovechable (CONAE, s.f.). Hasta el momento, la CFE considera a Hidalgo como una zona potencial para la explotación del recurso eólico como lo muestra la **Figura 7**.



Figura 7. Mapa de distribución geográfica del recurso potencial eólico
Fuente: (CFE, 2012)

A principios de 2006 el IIE inició un proyecto para la evaluación del potencial energético de los recursos renovables en el estado de Hidalgo, con patrocinio de Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y el gobierno del estado. Este proyecto contempló el mapeo con herramientas SIG de los potenciales solar, eólico, bioenergético y la identificación de sitios potenciales para la implementación de proyectos minihidráulicos. Los resultados de potencial eólico se muestran en las **Figuras 8 y 9**.

Dentro de la construcción de estos mapas se identificó que es necesario llevar a cabo mediciones en las zonas donde se detectan mayores potencias a fin de conocer con más detalle el comportamiento del viento, ya que es sabido que en el estado existen zonas con buen potencial, sin embargo el mapeo a nivel anual no lo detecta claramente.

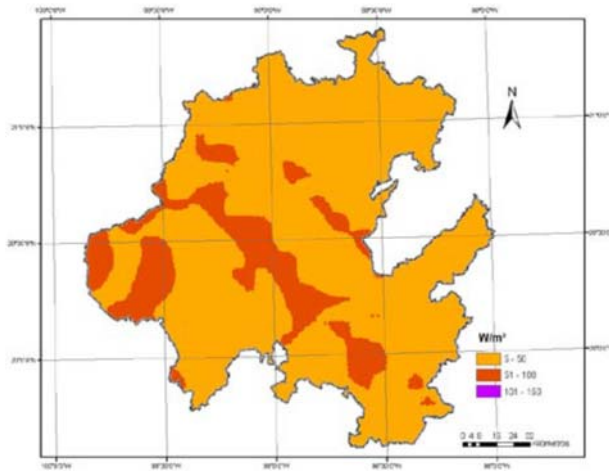


Figura 8. Densidad de potencia del viento a 10 m de altura Hgo.

Fuente: Informe técnico sobre la Evaluación del Potencial Energético de los Recursos Renovables en el Estado de Hidalgo, elaborado por el IIE, Disponible en: http://www.iie.org.mx:8080/SitioGENC/Articulos/Ponencia_CIER_2009_UMM.pdf

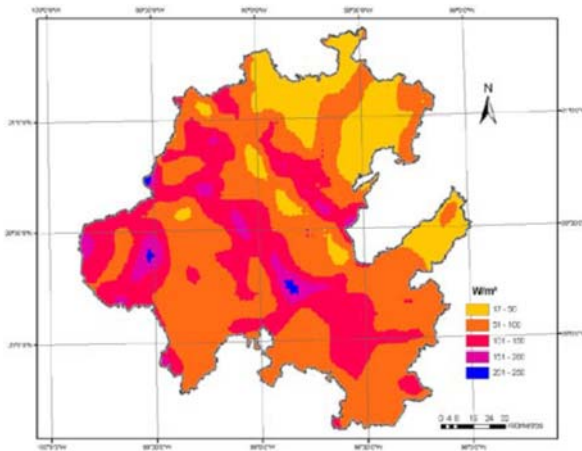


Figura 9. Densidad de potencial del viento a 50 m de altura, Hgo.

Fuente: Informe técnico sobre la Evaluación del Potencial Energético de los Recursos Renovables en el Estado de Hidalgo, elaborado por el IIE, Disponible en: http://www.iie.org.mx:8080/SitioGENC/Articulos/Ponencia_CIER_2009_UMM.pdf

Para el reconocimiento de las características eólicas el municipio cuenta apoyo del Servicio Meteorológico Nacional que ha instalado con una Estación Meteorológica Automática, la cual es administrada por la Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional (CGSMN) cuya clave es 76632, se localiza a 20° 05' 49'' latitud norte y 98° 42' 51'' longitud oeste, y empezó a recabe datos el 4 de marzo de 2000. Esta estación se encuentra a 2,423 msnm (SMN, 2010).

Dentro de los datos recolectados para esta investigación se obtuvieron las mediciones del año 2000 al 2012. La toma de lectura de la velocidad de viento y de parámetros como dirección del viento, temperatura promedio del aire, humedad relativa, presión barométrica, precipitación y radiación solar, entre otros, se realiza cada 10 minutos, por lo que para obtener los datos de velocidad de viento se hicieron promedios mensuales de la variable “Velocidad del viento máximo durante el intervalo de 10 minutos con duración mayor a 5 segundos en km/h” (WSMK).

El incremento en la velocidad del viento se registra entre los meses de marzo y abril, alcanzando su máximo por los meses de julio y agosto, descendiendo nuevamente a partir de septiembre y octubre hasta llegar a diciembre, en donde se registran las velocidades más bajas de viento como lo muestra el **Cuadro 13**. La velocidad del viento presenta poca variación durante el día y la noche, aumenta a partir de la salida del Sol y alcanza un máximo entre las 12 y 16 horas. Los datos correspondientes al año 2006 no fueron considerados para la evaluación de velocidad de viento, ya que presentan una serie de anomalías.

Dentro de los registros la velocidad el viento alcanza los 3.5 m/s que es la velocidad mínima para el funcionamiento de pequeñas turbinas y 6 m/s para el funcionamiento de turbinas grandes como se explicó en el capítulo 1, lo que permite implementar el uso de pequeños aerogeneradores. Cabe señalar que es necesario contar con el registro de más estaciones meteorológicas para asegurar la viabilidad del proyecto. Hasta el momento se cuenta con dos estaciones meteorológicas más, que se encuentran ubicadas en el Parque Ecológico Cubitos y en el Parque el Rehilete, de las cuales no se pudo obtener información.

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2000			4.87	6.12	5.77	6.29	6.81	7.26	6.45	6.07	4.78	4.88
2001	4.33	5.33	5.71	5.92	5.81	6.13	5.99	6.37	5.99	5.58	4.79	4.12
2002	3.03	5.73	6.37	6.25	6.61	6.27	6.11	6.88	5.15	5.4	5.1	4
2003	5	5.44	5.9	5.11	6.11	6.12	6.69	6.15	6.23	5.18	5	4.33
2004	4.66	5.9	6	5.63	5.3	5.89	5.84	6.7	6.09	5.44	4.93	5.27
2005	4.91	5.81	4.49	7.73	4.66	5.36	5.3	4.46	4.81	4.8	3.29	2.14
2007	4.42	4.61	5.3	5	5.47	5.45	5.56	6.59	5.9	5.38	5.34	4.6
2008	4.49	4.78	5.41	5.67	5.55	5.73	5.29	5.36	5.46	5.95	4.83	3.93
2009	4.64	5.26	5.43	5.44	5.66	5.78	6.15	7.05	5.33	4.65	4.61	4.2
2010	4.11	4.34	4.97	4.79	5.48	6.62	5.25	6.27	5.59	5.64	4.71	4.73
2011	4.48	4.66	5.51	5.65	5.9	6.23	6.02	6.46	4.43	6.23	4.78	4.07
2012	4.74	4.48	5.31	5.52	6	5.83	5.95					

Cuadro 13. Promedios mensuales de la velocidad del viento (m/s) de Pachuca, Hgo.
Fuente: Elaboración propia con datos procedentes de la Estación Meteorológica de Pachuca.

4.3 Propuestas de accesibilidad a la energía eólica

El propósito de este trabajo es ofrecer una alternativa energética limpia en Pachuca, Hidalgo, basada en el viento, ya que es técnicamente factible, socialmente aceptable, económicamente rentable y ecológicamente viable. Todos estos elementos posibilitan la implementación de un aerogenerador de baja potencia para uso doméstico o rural.

Elementos considerados para proponer el uso de la energía eólica en Pachuca:

- Elementos
- 1. Técnicos (Fisiográficos y Condiciones)
 - 2. Sociales
 - 3. Económicos
 - 4. Ambientales

Factibilidad técnica

Pachuca es una región que se ve favorecida por un flujo de viento constante en velocidad y dirección, a causa de diversos factores entre los que se encuentran su relieve y

sus condiciones meteorológicas, lo que la hace especialmente aprovechable desde el punto de vista eólico. Para poder evaluar los recursos eólicos de esta área geográfica hay que realizar mediciones continuas de la velocidad y dirección del viento para saber si es apta para la instalación de aerogeneradores. Los resultados obtenidos por la estación meteorológica, como se mencionó anteriormente indican que la zona cubre con el requisito mínimo de 3.5 m/s para la implementación de pequeños aerogeneradores.

Aceptación social

Como se mencionó en el capítulo 1, desde la antigüedad las civilizaciones urbanas han intentado compensar su falta de recursos alimentarios (especialmente de cereales), musculares, tanto de animales como de humanos (representados por esclavos), y térmicos, transportándolos desde otros sitios. El caso de Pachuca no es ajeno a esta realidad, sólo que en su caso, por ser una ciudad fundada a razón de la actividad minera, cuenta con recursos energéticos cercanos, esto modificó el espacio, propiciando adaptaciones físicas para maximizar la eficiencia de los recursos.

Actualmente la ciudad se encuentra en aras de crecimiento, en donde las autoridades trabajan tomando decisiones a conciencia por el bien de la comunidad y utilizan criterios apegados a la sustentabilidad. Cualquier mejora en el rendimiento energético de los hogares repercute tanto en una reducción de trabajo, como en la conservación de los recursos, son consecuencias positiva y a favor del cambio de energía producida por hidroeléctricas a energía producida por el viento. En este año se aprobaron proyectos trascendentales en materia energética, uno de ellos fue la instalación de un sistema de semáforos que funcionan con energía eólica y solar en las calles del centro de Pachuca, los cuales fueron bien recibidos por la población y se abordarán más adelante. La energía ha sido siempre y sigue siendo imprescindible para el desarrollo de toda sociedad.

Es una realidad que la humanidad se enfrenta a problemas que merman su calidad de vida, trayendo problemas en el abasto de alimentación, de salud y de contaminación, pero también existen alternativas que ayudan a disminuir de manera considerable estos problemas. Es aquí en donde la Geografía toma un papel fundamental y en donde propuestas como la

planteada en este trabajo con un enfoque espacial y apoyándose en otras disciplinas, permiten satisfacer necesidades primarias.

La sociedad debe usar cada día con más eficiencia la energía, municipios como Pachuca, Hgo., que se enfrentan a un proceso de desarrollo requieren de más energía para afrontar sus necesidades más apremiantes. El reto al que se enfrenta es satisfacer la creciente demanda de energía y al mismo tiempo afrontar la amenaza igualmente urgente del cambio climático.

Rentabilidad económica

Según datos la CFE y IIE el viento tiene un potencial de generación nacional entre 3000 y 5000 MW, que representa el 14% de la capacidad total de generación eléctrica instalada en el país. Sin embargo, actualmente representa únicamente alrededor del 2% de la producción total, lo cual parecería una producción incipiente y quizá un área estéril para la inversión (CFE, 2012).

En el país ya han iniciado las aplicaciones comerciales de la generación eoloelectrónica, particularmente en la modalidad de centrales interconectadas a red como se presentó en el capítulo 1 al abordar el caso del Istmo de Tehuantepec.

Generar energía limpia presenta un bajo costo nivelado de producción de electricidad, que resulta competitivo con la generada a partir de energía nuclear, carbón e inclusive en algunos casos del ciclo combinado, cuando el precio del gas natural es alto. Está libre de los costos de combustible, dado que emplea un recurso natural inagotable. Proporciona cierto resguardo contra la volatilidad del precio de los combustibles fósiles. Mejora la independencia energética y tecnológica, ya que evita la importación de combustibles. Es compatible su implantación con otras fuentes convencionales y alternas, para la instalación de sistemas híbridos.

La propuesta de que la energía eólica se instale en Pachuca es rentable porque fomenta el desarrollo económico local, ya que las plantas eólicas pueden proporcionar un flujo constante de ingresos a los terratenientes que arriendan sus campos para la explotación del

viento, y un aumento en la recaudación por impuestos territoriales para las comunidades locales, por otro lado es una fuente que genera empleos estables.

La utilización de energía eólica, a través de la diversificación de las fuentes de energía, reduce la dependencia a los combustibles convencionales que están sujetos a variaciones de precio y volatilidad en su disponibilidad generando estabilidad del costo de la energía.

El precio de compra de la energía eoloeléctrica es un asunto de la política energética y de la situación del mercado de la energía en cada país. El costo de esta energía depende del proyecto específico y es sensible a diversos factores, sin embargo cabe mencionar que en el país los recursos económicos, técnicos y políticos se están encaminando a un futuro con energía limpia.

Viabilidad ecológica

El uso de aerogeneradores es noble con el medio ambiente, ya que genera energía limpia con bajo impacto ambiental, particularmente porque no generan contaminantes como el dióxido de carbono, gases de efecto invernadero ni residuos durante su operación. Es modular, rápida de instalar y cuenta con una vida útil de 25 años (OLADE, 2012).

Las turbinas eólicas no emiten sustancias tóxicas o gases, por lo que no causan contaminación del aire, del agua y del suelo, y no contribuyen al efecto invernadero, ni al calentamiento global.

El uso de los suelos a menudo es tema de discusión con respecto al desarrollo de plantas eólicas, ya que requieren de extensiones amplias de terreno, sin embargo, es importante observar que cuando se habla de las tierras usadas por parques eólicos, que muy pocas de ellas son realmente ocupadas, a esto se le suma el avance tecnológico, que hace que se presten perfectamente para compartirlas con otras actividades como el pastoreo y la agricultura. En términos de ocupación real de la tierra, un parque eólico, requiere del 1 al 5% del terreno para las turbinas y vías de acceso (BUN-CA, 2002), capacidades con las que cuenta Pachuca, mientras el resto del terreno se puede utilizar en otras actividades tradicionales.

Con respecto al consumo de agua, la energía eólica necesita mucha menos comparada con otras fuentes de generación. Mientras que las plantas térmicas ocupan mucha agua para el ciclo termodinámico, las turbinas eólicas sólo necesitan agua para limpiar las aspas en áreas secas, es decir, donde la lluvia no lo hace. Se estima que la energía eólica consume 0.004 litros por kWh, frente a 1 ó 2 litros por kWh por las plantas térmicas (OLADE, 2012).

La ubicación preferente de los parques eólicos es, por lo general en zonas montañosas, en posiciones altas, en donde se suele manifestar un alto potencial del recurso, requisito fisiográfico con el que cuenta Pachuca.

La energía del viento no produce ninguna emisión, por lo que es limpia y no se agota en un cierto plazo, es decir, es inagotable. Una sola turbina de viento de un megavatio (1 MW) que funciona durante un año puede reemplazar la emisión de más de 1.500 toneladas de dióxido de carbono, 6.5 toneladas de dióxido de sulfuro, 3.2 toneladas de óxidos del nitrógeno, y 60 libras de mercurio (SEMARNAT, 2013).

La tecnología eoloelectrónica ha alcanzado un nivel importante de desarrollo entre las opciones no convencionales para la generación de electricidad, tanto en lo técnico como en lo económico. Esto la ha colocado en uno de los primeros planos de atención para integrarla a los sistemas eléctricos convencionales.

4.4 Demanda del servicio eléctrico

Pachuca es una ciudad en constante crecimiento y por ello demanda de todo tipo de servicios, entre ellos el eléctrico. Cada vez es más difícil y costoso ampliar la red eléctrica, pues en el proceso se encuentran dificultades como el acceso al suministro, la deficiencia en el servicio, el alto costo que implica instalar torres y cableado, etc.

El sector energético juega un papel preponderante en el desarrollo de Pachuca y para poder plantear un proyecto de energía eólica resulta necesario conocer las condiciones y demandas socioeconómicas de la población que requiere del servicio eléctrico, pues de acuerdo a sus necesidades y actividades depende la viabilidad del proyecto y el grado de aceptación entre dicha población, en este caso se establecen las condiciones de la población

en niveles socioeconómicos, ya que esto permite conocer las posibilidades de implementar proyectos eólicos en el municipio, convirtiéndolo en consumidor de energía eólica.

4.4.1 Población por niveles socioeconómicos

Pachuca es un municipio que en las últimas décadas ha presentado una serie de cambios que han incidido en la forma de vida de sus habitantes. De acuerdo con los datos publicados en el Censo de Población y Vivienda 2010, el municipio cuenta con una población de 267,862 habitantes. Su población es joven el 52% es menor a 29 años (INEGI, 2010).

La composición social de Pachuca es heterogénea y en constante cambio, hay una cantidad importante de población indígena y de inmigrantes. En los últimos veinte años, el ritmo de crecimiento poblacional ha provocado que la ciudad se expanda en gran medida a los procesos migratorios registrados en los últimos años, los cuales se han intensificado debido a que el gobierno federal ha validado créditos hipotecarios con cierta facilidad. Esta medida política económica ha propiciado un fenómeno en el que habitantes de la Ciudad de México buscan viviendas con mayor espacio a bajo costo fuera de la urbe, posicionando a Pachuca como su lugar de asentamiento.

Según INEGI, en 2010 de los 276,862 habitantes, sólo el 76.6% es originario de la región, el resto proviene de la Ciudad de México (44.4%), del Estado de México (14.6%), de Veracruz (11.6%), de Puebla (8.6%) y de Michoacán (2.1%); mientras que la población extranjera representa el 0.5% (INEGI, 2013). Para el municipio, este creciente fenómeno representa un gran reto, pues se encuentra en la obligación de proveer de servicios e infraestructura para acoger a esta población inmigrante.

Por otra parte, la población indígena representa el 3% del total de la población con 8,101 habitantes, los cuales pertenecen a los grupos étnicos Nahuas y Otomíes (INEGI, 2013).

La desintegración de los diversos grupos sociales induce a problemas de marginación, el municipio tiene un Índice de Marginación de -1.77610, considerado como Muy Bajo, como lo muestra la **Figura 10**, las áreas donde el grado de marginación es alto se encuentran a los

alrededores del centro, en la zona menos urbanizada y donde las actividades económicas son primarias, las áreas con índice bajo y muy bajo de marginación corresponde a los primeros asentamientos humanos, donde la cobertura de servicios es casi total y donde las actividades predominantes son las terciarias.

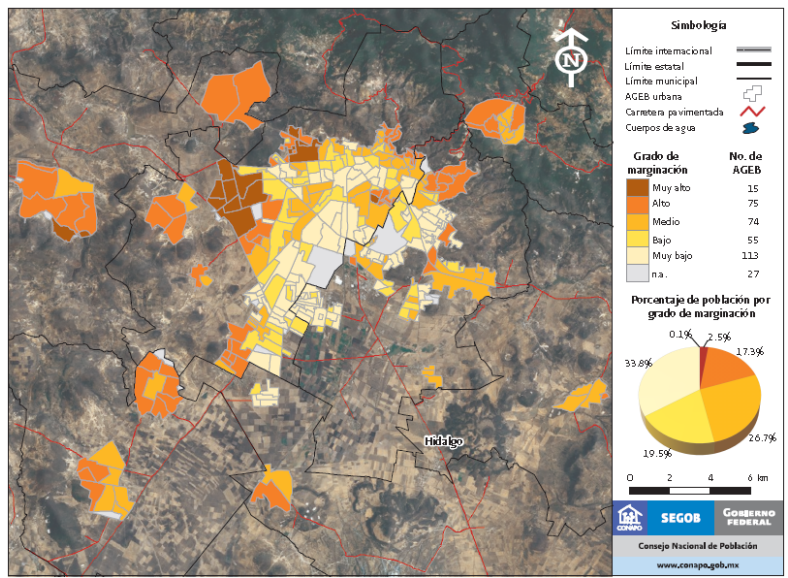


Figura 10. Mapa de degradación de marginación Urbana por AGEb, Pachuca de Soto, Hgo. 2010
Fuente: CONAPO con base en el INEGI, Censo de Población y Vivienda 2010

Una de las razones por las que el índice de marginación no se dispara en el municipio es porque aproximadamente el 22% de la población (67, 000 habitantes) forma parte del padrón de Beneficiarios de la Secretaría de Desarrollo Social en 17 programas de la dependencia como; Oportunidades, Hábitat, 3X1 Migrantes, Programa de Empleo Temporal, Programa para el Desarrollo de Zonas Prioritarias, 70 y más, Liconsa, Programa de Rescate de Espacios Públicos, entre otros programas (SEDESOL, 2013).

La Población Económicamente Activa (PEA) de Pachuca de Soto ha crecido de manera notable en los últimos años, pasó de 25, 000 personas en 1970 a 120, 029 en 2010, representando al 44.8% de la población total (INEGI, 2013).

La población ocupada representa al 95% de la población, de los cuales 4.6% son empleadores, 17.6% son trabajadores por cuenta propia, 74.3% son trabajadores subordinados y remunerados y el 3.5% son trabajadores no remunerados. La población desocupada representa el 5% de la población (INEGI, 2013).

El perfil estándar de Pachuca se localiza en el sector terciario, en las últimas tres décadas la composición del empleo indica un fenómeno de tercerización, pues de acuerdo con cifras oficiales, la estructura de la población ocupada según sector de actividad para el primer trimestre de 2013, que incluye los meses de enero, febrero y marzo es la siguiente; 0.2% en el sector primario, 16.3% en el sector secundario y 83.3% se ocupa en el sector terciario (INEGI, 2013). Los cambios que se han presentado son una reducción en el empleo industrial y un incremento del empleo en los servicios. El sector terciario tiene un papel destacado en la creación de puestos de trabajo, en 1970 la actividad terciaria empleó a más de 13, 000 personas, mientras que en 2010 generó más de 138, 170 empleos.

La distribución de la población ocupada según el nivel de ingreso mensual para 2013 plantea que el 3.5% de la población no recibe ingresos, el 31.4 % recibe hasta 2 salarios mínimos, el 40% tiene acceso entre más de 2 salarios mínimos y 5 salarios mínimos, y únicamente el 16.4% de la población tiene acceso a más de 5 salarios mínimos (INEGI, 2013).

De acuerdo con la distribución porcentual de la población ocupada, el 2% se encuentra laborando en el ámbito agropecuario, el 98.4% no se emplea en el ámbito agropecuario, distribuyéndose de la siguiente manera; el 45.2% forma parte de un micronegocio, el 20.4% labora en un pequeño establecimiento, el 10.7% lo hace en medianos establecimientos, el 6.3% en grandes establecimientos, mientras que el 12.2% lo hace en las filas del gobierno (INEGI, 2013).

Resulta evidente que gran parte de la población realiza una actividad situada en el sector terciario, el cual ha incrementado drásticamente, modificando la distribución espacial de las actividades y demandando mayores extensiones de espacio y de recursos energéticos, como electricidad, la cual podría ser sustituida si se fomenta el uso de energías limpias y sí

se promueve el uso de pequeños aerogeneradores que permitan alimentar energéticamente a un pequeño negocio.

4.4.2 Población residencial

El incremento de la población conlleva a cambios en la dinámica del municipio que se reflejan en las actividades económicas y en el crecimiento espacial de la urbe, conocer esta evolución permite elaborar planes para un desarrollo sano.

De acuerdo con el estudio “Movilidad y cambios residenciales en la aglomeración urbana de Pachuca”, realizado por José Granados Alcantara, la estructura poblacional del municipio se ha visto modificada por diferentes factores, uno de ellos corresponde al proceso de descentralización de industrias en la Ciudad de México, postulando a Pachuca como opción y generando con ello movimientos migratorios.

Según la información censal del año 2000, solo 47 personas del municipio Mineral de La Reforma emigraron a la parte urbana del municipio de Pachuca. En cambio 2, 540 habitantes de la zona rural de Pachuca hacia la parte urbana de Mineral de La Reforma. Estos datos avalan el proceso de suburbanización que se está dando en el área metropolitana de Pachuca donde la expansión territorial de dicha ciudad se propaga en territorios del municipio vecino. La ciudad de Pachuca junto con otras 19 ciudades de México se encuentra en la segunda etapa del proceso de metropolización que consiste en que la periferia alcance altas tasas de crecimiento poblacional respecto a la ciudad central. La estructura de edad de este grupo de personas muestra un contexto de movilidad residencial de familias jóvenes, ya que hay una alta participación de menores de edad, pues el 30.0% de las personas que cambiaron su residencia es menor de 15 años. El 32% es jefe de hogar y el 24% son cónyuges, es decir el 57% de las personas que se mudaron a otra vivienda son los responsables económicos y de la reproducción de los hogares (Granados Alcantara, et al., 2011).

Las cuatro etapas importantes en el poblamiento de Pachuca, se caracterizan por el cambio de actividad económica; la primera de ellas se da con los asentamientos habitacionales que se desarrollan en los alrededores de los centros mineros y en el cuadrante conocido como centro histórico; la segunda se define a partir de 1979 con la promoción de

los programas de fondo para la vivienda; la tercera etapa se identifica en 1993, caracterizado por el crecimiento poblacional y el establecimiento de nuevos conjuntos habitacionales en el municipio; la última etapa se da en el año 2000, cuando empiezan nuevos proyectos dirigidos a la oferta de vivienda en: *Bosques del Peñar, Cipreses, Forjadores, Nuevo Hidalgo, Fraccionamiento Prismas I y II, Providencia, Fraccionamiento Punta Azul, El Saucillo, Los Tuzos, Unidad ADM, San Antonio y El Roble* (Granados Alcantara, et al., 2011).

El cambio residencial dentro de la ciudad de Pachuca, se muestra en la **Figura 11** que señala las cuatro etapas de crecimiento, en el se identifican la desconcentración poblacional en el centro histórico, representada con colores rojos, mientras que el incremento poblacional en las áreas y su extensión de la región oriental hacia el centro y sur del municipio, se representa en tonos de amarillo, estos movimientos se relacionan con la oferta de vivienda, la creación de nuevas vías de comunicación, la reubicación de los centros administrativos y comerciales, y las oportunidades de empleo, entre otros.

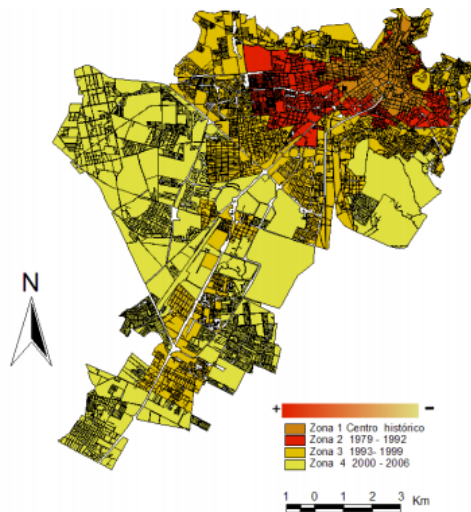


Figura 11. Mapa de cambio residencial dentro de la Ciudad de Pachuca

Fuente: Artículo Movilidad y cambios residenciales en la Aglomeración Urbana de Pachuca (Granados Alcantara, et al., 2011)

Como se observa en el mapa entre 1993 y 2000 hubo un importante crecimiento residencial en el municipio y no sólo eso, sino que a la par hubo una inversión importante para ampliar la red eléctrica garantizando su acceso a la población residente.

El mercado cautivo de las energías renovables en Pachuca se centra en la población residente alejada del centro histórico, ya que a causa de una concentración poblacional se ha dado una concentración en los servicios, dejando si no desprovista del servicio al resto de los asentamientos poblacionales, si con grandes retos en el abasto energético. **La Figura 12** representa la concentración de población por AGEB y señala en rojo y naranja las áreas con mayor concentración, éstas se localizan en el centro del municipio, la población residente cuenta con infraestructura eléctrica que fue instalada con el objetivo de desarrollar la actividad minera, mientras que las áreas marcadas con tonos de verde tienen menor concentración poblacional y como se puede observar se localizan al sur del municipio, ésta zona urbana de reciente creación (1993) cuenta con energía eléctrica, que es más costosa en cuanto a suministro y a abasto se refiere pues está alejada de las líneas de torre del municipio. Es en esta zona donde desarrollar proyectos energéticos sustentables significaría un acierto que puede beneficiar a un sector residencial importante.

De acuerdo con datos procedentes de la Secretaría de Energía, el sector residencial fue el tercer consumidor de energía, tanto a nivel mundial, con una participación de 24 % en 2008, como a nivel nacional, con un consumo de 16.7% de la energía final total en 2009. (SENER, 2011)

La SENER menciona que conocer el detalle del comportamiento sobre el consumo de energía y su uso final dentro de los hogares no es tarea sencilla dada las diferencias en la estructura, comportamiento y costumbres de la población. Sin embargo, hasta el momento se han identificado indicadores claros como el consumo de energía eléctrica por aparato, intensidad energética tanto por vivienda, como por habitante, así como intensidad energética por metro cuadrado. Conocer la disposición, uso y características de los equipos y aparatos que utilizan electricidad en el hogar, permite calcular indicadores de consumo por tipo de energético por hogar.

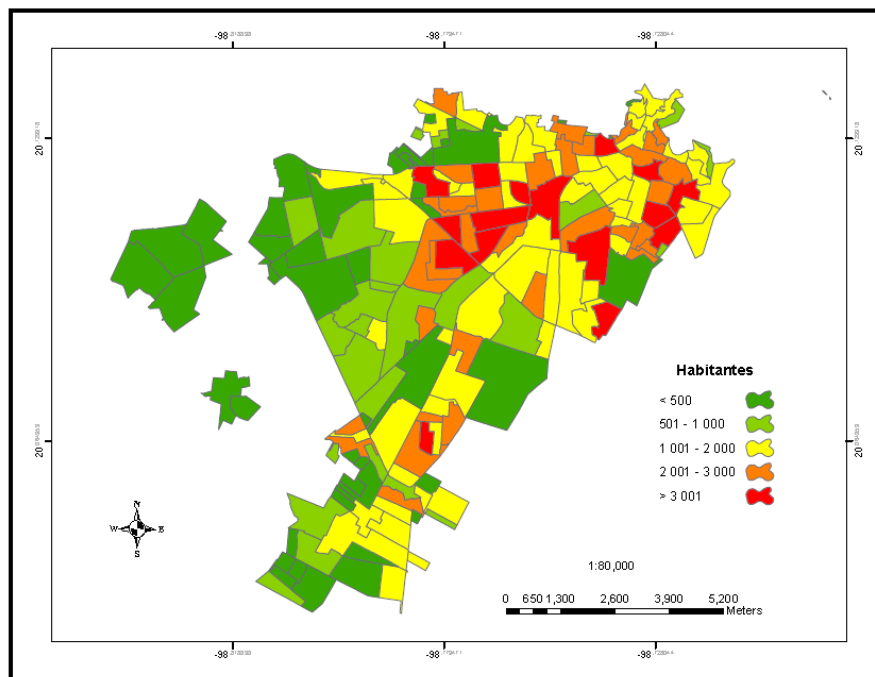


Figura 12. Mapa Población por AGEB, Pachuca de Soto, Hgo.

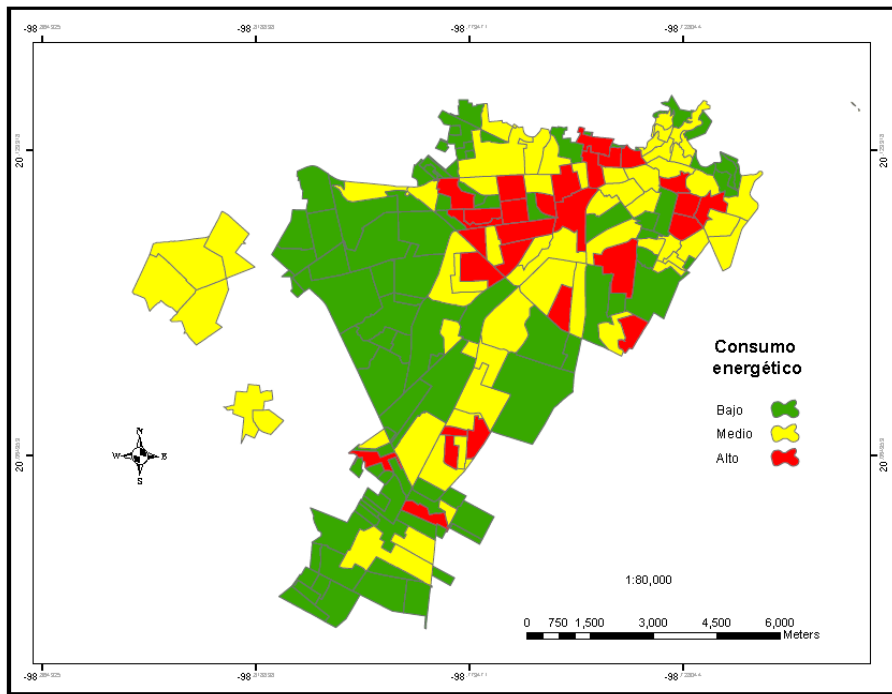
Fuente: Elaboración propia

En este sentido, para el caso de Pachuca se realizó un índice de consumo energético residencial, en el que se tomaron las variables proporcionadas por INEGI, los elementos evaluados fueron; total de viviendas con electricidad, con radio, televisión, refrigerador, lavadora, PC, teléfono, celular e internet. En relación con los usos finales, el de mayor demanda energética es el calentamiento de agua, le siguen el uso de energía para la cocción de alimentos y la refrigeración. Los resultados se pueden observar en la **Figura 13**.

Es necesario desagregar el consumo energético en zonas rurales y urbanas, porque esto permite tener una dimensión social del consumo de energía en el sector, así se refleja la equidad existente en el acceso y distribución de los recursos energéticos en los hogares. En la zona urbana de Pachuca, el porcentaje de hogares con acceso a la electricidad, ya sea a través del servicio público, de una planta particular, de un panel solar u otra fuente, es del 97%, en tanto que en zonas rurales se alcanza un 94%. Estos datos indican que las zonas

urbanas cuentan con una cobertura mayor de energía eléctrica, por lo que las políticas orientadas al incremento en el suministro de electricidad por aerogeneradores deberían concentrarse en las zonas rurales.

Figura 13. Mapa de Índice de consumo energético residencial en Pachuca de Soto, Hgo.



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con los resultados arrojados por el mapa, en la zona norte del municipio, correspondiente al centro histórico, el índice de consumo energético es alto, así como de pequeñas zonas ubicadas en el sur del municipio, en las que por la cercanía a las líneas de alta tensión es posible proporcionar del servicio a la población. Por otra parte las zonas marcadas en amarillo, representan a las viviendas con consumo energético medio, representando a un 25% del total del área. Y las zonas con consumo energético bajo, representadas en color verde, representan aproximadamente el 50% del municipio, si se sobrepone esta información con un mapa topográfico, la zona ubicada en el centro-este del

municipio, se encuentran en zonas elevadas, cercanas a los cerros Grande, La Cantera, La Crucita, La Ladera, y Las Brujas, así como los de Santa Gertrudis y San Cristóbal, en donde existen asentamientos poblacionales irregulares y el perfil socioeconómico de la población es bajo.

Al conocer las condiciones de la población residencial se pueden focalizar las políticas energéticas públicas existentes hacia objetivos más concretos y diseñar e implementar programas de eficiencia energética en los hogares usando energías limpias como la eólica

4.4.3 Actividades económicas industriales y comerciales

El tipo de actividades que realiza la población del municipio, se ha modificado a lo largo del tiempo y al igual que el crecimiento residencial y representa una oportunidad de desarrollo para las energías limpias.

De acuerdo con la Secretaría de Economía, en Pachuca existen 6, 737 empresas registradas. En el Sistema de Información Empresarial Mexicano (SIEM) se encuentran los datos de las empresas desglosados en razón social, giro, número de empleados y rango de ventas. Los cuales se pueden observar en el **Cuadro 14**, que evidencia una importante cantidad de pequeñas y medianas empresas, las cuales con la debida planeación pueden explotar los beneficios de las energías renovables. Como se vio anteriormente, dentro del municipio existen condiciones eólicas favorables para implementar instalaciones de bajo costo y eficientes, trayendo ahorro en el gasto eléctrico y cuidado para el medio ambiente.

El sector empresarial es un foco importante para la realización de diversos proyectos energéticos que proponen soluciones enfocadas al desarrollo, sectores como el inmobiliario de tipo comercial, turístico, residencial e industrial gozarían de los beneficios con el uso de energías renovables. Por otra parte, la inversión en infraestructura, productos y procesos a favor del desarrollo de la energía eólica genera ventajas competitivas que pueden capitalizarse para que las empresas reduzcan costos energéticos y seas rentables. Usar al viento como fuente energética les permite a pequeñas, medianas y grandes empresas reducir sus gastos en energía, realizar estimaciones financieras con un costo fijo, pues la energía no está condicionada al mercado de hidrocarburos, y cumplir con los compromisos

medioambientales establecidos. Las oportunidades que ofrece el mercado eólico deben aprovecharse por los tomadores de decisiones de los sectores empresarial e industrial.

	Giro	Empresas	Empleados
1	Manejo de desperdicio industrial	4	6
2	Funeraria	6	17
3	Eficiencia energética	14	30
4	Mensajería y paquetería	16	29
5	Plásticos y desechables	17	33
6	Material eléctrico	19	33
7	Purificadora de agua	20	31
8	Fotografía y video	28	42
9	Gimnasio y artículos deportivos	29	44
10	Transporte y verificación vehicular	38	408
11	Jardinería	40	50
12	Imprenta y librería	42	205
13	Veterinaria	45	53
14	Fiestas	45	116
15	Turismo, hoteles y agencia de Viajes	49	131
16	Acero, aluminio y vidrio	59	87
17	Estacionamiento, autolavado y gasolinería	89	166
18	Bisutería, relojería, joyería y artesanía	90	109
19	Educación; Escuelas e Institutos	96	373
20	Telecomunicaciones	98	250
21	Estética, peluquería y artículos de belleza	104	142
22	Otros	117	377
23	Mueblería y blancos	123	163
24	Servicios financieros y consultoría	130	282
25	Centro comercial, boutique, artículos para el hogar	164	204
26	Entretenimiento; Cine, videojuegos, etc.	264	531
27	Ferretería, plomería, tlapalería, herrería, etc.	283	607
28	Consultorio médico, farmacia y laboratorio	333	307
29	Construcción	397	1889
30	Mecánica automotriz y refacciones	487	771
31	Equipo de cómputo, internet y fotocopiado	518	595
32	Ropa, calzado y textiles	528	2327
33	Abarrotos y alimentos preparados	2444	4335
	Total	6736	14743

Cuadro 14. Empresas del municipio de Pachuca de Soto, Hgo.
Fuente: Elaboración propia con datos de (Secretaría de Economía, 2013)

La **Figura 14** representa espacialmente la concentración de empresas, como puede observarse hay aglomeración en la zona perteneciente al centro histórico, sin embargo dentro de las colonias cercanas a las principales vías de comunicación se ofrecen una gran variedad de servicios, dentro de los que se pueden usar las energías limpias como forma de abasto energético. Los centros educativos que promueven el desarrollo sustentable y cuidado del medio ambiente pueden proveerse de energía limpia, desarrollando sus propios aerogeneradores. Otro sector que puede favorecerse del uso de este tipo de energías es el entretenimiento, o los centros comerciales, pues dentro de un mismo espacio se congregan diversos establecimientos como cinemas, restaurantes de comida rápida, servicios financieros, venta de ropa y calzados, entre otros, dichos establecimientos exigen del uso de energía eléctrica en alto grado, pues aparadores, o refrigeradores deben estar encendidos por largos lapsos de tiempo y el ahorro que puede traer el uso de energías limpias es considerable. Por las necesidades energéticas que requiere una empresa, se convierte en un potencial usuario de energías limpias.

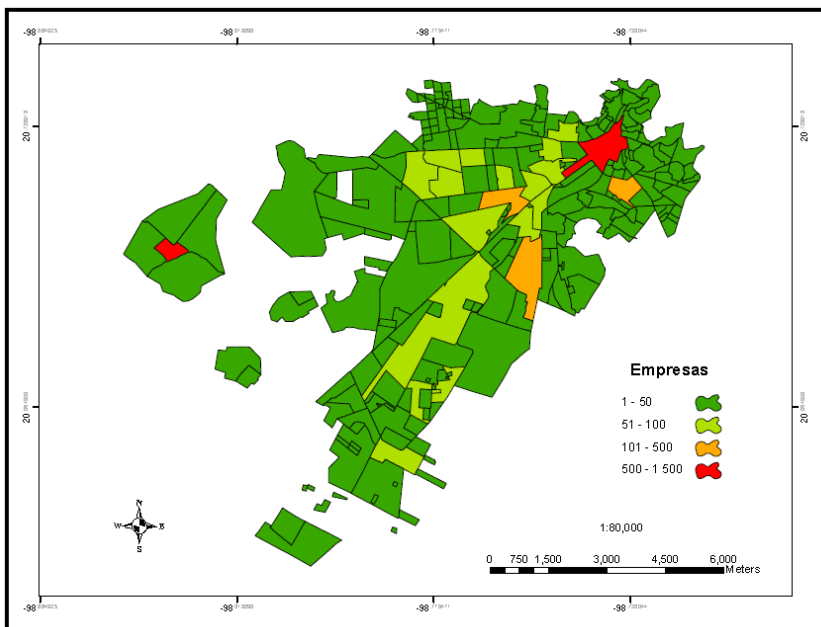


Figura 14. Mapa Densidad de Empresas de Pachuca de Soto, Hgo.

Fuente: Elaboración propia con datos de Sistema de Información Empresarial Mexicano SIEM, 2013

4.5 Uso de la energía eólica en Pachuca

Una vez reconocido el espacio de la zona de estudio y sus características, así como el tipo de población residente y el tipo de actividad que desarrolla, es necesario encaminar el uso de la energía eólica, dando opciones de uso y beneficios. Los lugares en los que se pueden instalar pequeños aerogeneradores son amplios y diversos, ya que estos mecanismos de tamaño pequeño son muy versátiles y se instalan con mucho menos dificultades respecto a los grandes.

El impacto al medio ambiente de los aerogeneradores micro-eólicos es bajo, ya que estos equipos tienen un tamaño mucho más pequeño respecto a los grandes aerogeneradores, por lo que necesitan espacios reducidos y son relativamente poco visibles, están muy avanzados en términos técnicos, económicos y en sus aplicaciones. Favorecen la generación de energía eléctrica, evitan recurrir a otras formas de energía contaminantes como motores de combustión interna que utilizan combustibles fósiles como diesel o gasolina, representan una forma de generación eléctrica distribuida, sencilla y limpia, es decir que la energía se consume en el sitio en donde se genera.

Además, las aplicaciones micro-eólicas están siendo favorecidas por la creciente sensibilidad hacia la problemática energética y de cambio climático actuales. Esta nueva conciencia induce a los ciudadanos a buscar y contribuir directamente con soluciones sustentables, adoptando para sus propias exigencias civiles o de pequeña empresa (turismo rural, granjas, refugios, usuarios domésticos aislados, etc.) micro instalaciones de fuentes renovables, en lugar de sistemas de generación convencionales.

En el Municipio de Pachuca se han puesto en funcionamiento semáforos híbridos que ahorran el 90% de electricidad y promueven las tecnologías sustentables. Estos semáforos operan mediante plantas con turbinas eólicas y celdas solares, como lo muestra la **Figura 15**, estos sistemas sustituyen a las tradicionales plantas eléctricas, cuyo sistema se basa en la quema de carbón.

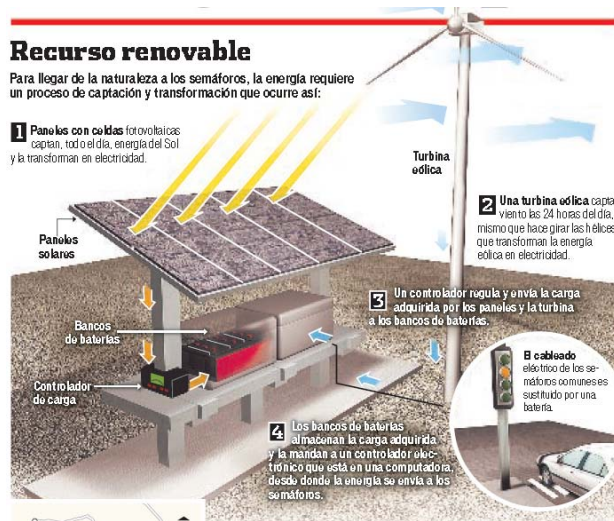


Figura 15. Funcionamiento de semáforos híbridos
 Fuente: Periódico Reforma, 10 de enero de 2008

La tecnología incluye un sistema híbrido que obtiene energía proveniente del sol y del aire para alimentar los semáforos. Cuenta con dos vertientes para que los equipos funciones de acuerdo a la condición presente, es decir, pueden operar únicamente con viento o con radiación solar. La unión de varias tecnologías y la fabricación de semáforos propios, permite a un municipio como Pachuca cubrir sus necesidades energéticas a un costo más bajo.

La empresa fabricante de estos semáforos es el Grupo Corporativo Fersamex, con sede en Tulancingo, entre los objetivos planteados por esta empresa está la activación de la economía local usando materia prima nacional y evitando importaciones (López, 2008). Entre la tecnología empleada se ocupan diodos emisores de luz, conocidos como LED¹².

¹² Un tipo de dispositivo semiconductor que hace más eficiente el consumo de energía eléctrica y reduce el consumo de ésta en un 10%, por sus siglas en inglés Light Emitting Diode.

Para llegar de la naturaleza a los semáforos, la energía requiere un proceso de captación y transformación que inicia en un grupo de paneles solares dotados de celdas fotovoltaicas que captan, durante todo el día, energía del Sol y la transforman en electricidad, la cual es almacenada en un banco de baterías.

Por otro lado, una turbina eólica capta viento las 24 horas del día; éste hace girar sus hélices, que, como un generador, transforman la energía del viento en electricidad y “cargan” de energía el banco de baterías. Un control electrónico captura la energía de las baterías y la envía a una computadora diseñada por el Corporativo Fersamex, la cual se encarga de alimentar y controlar el cruce de semáforos híbridos. Los bancos de baterías están diseñados para funcionar aun cuando no se tenga energía solar durante varios días y el viento sea escaso, pues acumulan la energía.

La empresa Fersamex diseñó el “cerebro” de cómputo y todo el equipo para alimentar el banco de baterías sin inversores de corriente. Además de los semáforos, esta tecnología ya se prueba en alumbrado público y en energía doméstica.

Estos semáforos operan de forma regular las 24 horas del día, con ellos se alcanza una distancia de 1.8km de luminosidad visible, se ahorra el 90% de electricidad, son sistemas con una vida útil de 25 años y el equipo garantiza 200 mil horas de funcionamiento (López, 2008).

4.5.1 Ventajas- Desventajas

La industria eólica mexicana enfrenta el gran reto de su consolidación y crecimiento, ofreciendo oportunidades para la inversión nacional y extranjera, la creación de cadenas de valor para manufactura y suministro de bienes y servicios, con sólidas proyecciones hacia el futuro inmediato y en el largo plazo.

La energía eólica tiene muchas ventajas que la hacen una fuente de energía atractiva tanto a gran escala como para pequeñas aplicaciones. Las características positivas de la energía eólica incluyen:

Energía limpia e inagotable: La energía eólica no produce ninguna emisión y no se agota en un cierto plazo.

Desarrollo económico local: Las plantas eólicas pueden proporcionar un flujo constante de ingresos a los propietarios de las tierras en donde existe el potencial eólico, quienes las arriendan para su aprovechamiento y permiten, además aumentar la recaudación de impuestos territoriales para beneficio de las comunidades locales.

Tecnología modular, escalable y flexible: Las aplicaciones eólicas pueden tomar muchas formas, incluyendo grandes granjas de viento, de generación distribuida y de pequeños sistemas eólicos para aplicaciones de uso final. Las aplicaciones se pueden planear inclusive, utilizando de manera adecuada y suficiente los recursos del viento para reducir los riesgos que surgen en el tiempo por el aumento del consumo final o por los costos adicionales e inesperados producidos por cortes de energía.

Estabilidad en el costo de la energía: La utilización de la energía eólica contribuye a reducir la dependencia de la energía convencional mediante la diversificación de fuentes de energía. La energía convencional, que utiliza combustibles fósiles como el petróleo y el gas natural, está sujeta a variaciones de precio y a una alta volatilidad en su disponibilidad. Por ello, la energía eólica es una excelente alternativa para estabilizar y homogeneizar los costos de energía de cualquier país.

Reducción de la dependencia hacia combustibles importados: La energía eólica no se ve afectada por la compra de combustibles importados, permitiendo reducir la dependencia de productos derivados del petróleo y el gas natural necesarios para la generación convencional de energía eléctrica. Esto permite a un país mantener fondos disponibles dentro de su propia economía y destinarlos a otros programas sociales prioritarios.

A pesar de las ventajas medioambientales incuestionables de la energía eólica, es preciso reconocer que la instalación de aerogeneradores puede producir impactos ambientales negativos, que dependen fundamentalmente del lugar de emplazamiento elegido. El impacto paisajístico, los efectos sobre la avifauna y el ruido, son los efectos negativos que generalmente se citan como inconvenientes medioambientales.

Alteraciones paisajísticas: Los impactos visuales durante la etapa de construcción pueden derivarse de; actividades en el sitio para la conformación y construcción de plataformas; por el levantamiento de aerogeneradores; por la acumulación temporal de materiales; y por la presencia de máquinas de gran tamaño como grúas. Unos de los impactos especialmente en el paisaje durante la fase de operación se asocia con el impacto visual por la presencia de aerogeneradores en virtud de su tamaño.

Efectos sobre la avifauna: Sí en la construcción de parques eólicos no se hacen los estudios pertinentes que incluyan los efectos sobre la avifauna, un mal emplazamiento puede originar afecciones en la nidificación y la alteración de rutas migratorias.

Emisión de ruidos: El ruido que originan los aerogeneradores en funcionamiento ha dejado de ser preocupante debido a la evolución de la tecnología eólica en este terreno. De las mediciones directas del ruido producido por aerogeneradores de 660 kW se concluye que a más de 400 metros de la instalación no se oye el ruido del parque; a 45 metros, con una velocidad del viento de 8 m/s, la sonoridad es de 57,2 decibeles disminuyendo a 51,6 dB(a) a 100 m de distancia y a 45,6 dB(a) a 200 metros. El nivel sonoro aumenta en 0,45 dB(a) por cada m/s que se incrementa la velocidad del viento. Como este gradiente es inferior al del ruido ambiental, a velocidades altas de viento (entorno de 15 m/s) y distancias cortas del aerogenerador, el ruido ambiente sobrepasa al producido por el molino. La instalación de aerogeneradores de mayor potencia, como consecuencia de la evolución tecnológica, no conlleva incrementos significativos del nivel de ruido (CAPV, 2013).

Almacenamiento: La energía eléctrica producida se puede almacenar, aprovecharla *in situ* contrarresta el problema de conectarla a la red energética, pero esto conlleva un costo elevado y pérdida de energía. Por otra parte, el banco de batería en los sistemas híbridos presentan un envejecimiento prematuro y un incremento en los requerimientos de su mantenimiento debido a que son expuestas a periodos prolongados de sobrecarga. La mala administración de la energía de la batería incrementa un 40% el costo de operación del sistema total sobre tiempo de operación, causado por la necesidad de reemplazar tempranamente el banco de baterías. También se puede presentar un bajo aprovechamiento del recurso eólico debido a que el controlador del sistema no utiliza la energía cuando está disponible (Wichert & Lawrence, 1997).

4.5.2 Posición de la CFE respecto al uso de energía eólica

La investigación y desarrollo de nuevos diseños y materiales para aplicaciones en aerogeneradores eólicos, hacen de esta tecnología una de las más dinámicas, por lo cual el mercado eólico se rediseña constantemente poniendo al alcance de diversas instituciones productos cada vez más eficientes y con mayor capacidad y confiabilidad.

Las instituciones gubernamentales como CFE no se quedan atrás en el proceso de desarrollo e innovación tecnológica en energía eólica, pues a pesar del poco presupuesto asignado para acelerar el proceso en pro de una independencia energética, se han hecho diversos estudios para su implementación. Muestra de ello es la Estación Experimental Eoloeléctrica de El Gavillero, la cual se inauguró en 1977 bajo la dirección del IIE en Huichapan, Hidalgo, en donde el objetivo principal era energétizar el ejido ya electrificado y con servicio, a partir de una microcentral eólica, integrada por dos aerogeneradores australianos Dunlite de 2 Kw cada uno, un banco de baterías, y un inversor de 6 Kw para alimentar la red de distribución del poblado (CONAE, s.f.).

En la búsqueda para desarrollar herramientas que facilitaran la explotación del recurso eólico en Hidalgo, la Estación Experimental Eoloeléctrica de El Gavillero contó con información de los promedios horarios de velocidad del viento y de las características de respuesta de los aerogeneradores, para con ello hacer estimaciones numéricas de la energía que podría suministrarse al ejido.

Sin embargo, los resultados obtenidos presentaron que el régimen de vientos del lugar producía exceso de energía en verano y déficit en invierno para el consumo normal del poblado y el inversor, construido por personal de CFE, fallaba arriba de los 2 Kw de demanda por problemas de calidad de componentes (CONAE, s.f.).

La estación experimental de El Gavillero se habilitó como centro de prueba de pequeños aerogeneradores y en ella se construyó un simulador de pozo de agua para la prueba

y caracterización de aerobombas. La estación estuvo en operación hasta 1996 en que fue desmantelada.

A pesar de las barreras a las que se enfrentaba el proyecto, personal de CFE y en específico del IIE trabajó por más de diez años para desarrollar y probar los siguientes prototipos de aerogeneradores (CONAE, s.f.):

1. De 1.5 Kw, tres aspas de aluminio, con control centrífugo de ángulo de ataque (1977-1978).
2. El Fénix, de 2 Kw, eje horizontal y tres aspas fijas de lámina de hierro, y control de cola plegable (1981-1983).
3. El Albatros I, de 10 Kw, eje horizontal, 11 m de diámetro, tres aspavelas de estructura de Al y forradas de tela de dacrón de alta resistencia (1981-1985)
4. El Albatros II, de 10 Kw, eje horizontal, tres aspas de fibra de vidrio superdelgada con control por torcimiento del aspa (1986-1987).
5. La segunda versión del Fénix, con tres aspas de fibra de vidrio (1992-1995).
6. La Avispa, de 300 Watts, eje horizontal, tres aspas de fibra de vidrio y control por timón de cola plegable (1990-1995).
7. También se desarrolló una aerobomba mecánica, denominada "Itia", de eje horizontal, 5 aspas metálicas, con potencia del orden de $1/4$ de HP¹³, que bombeaba agua de pozos de hasta 50 m de profundidad. Este sistema, probado también en El Gavillero, en el simulador de pozos, fue objeto de una patente para el IIE, y aunque se concedió licencia para su fabricación y comercialización, la carencia de un mecanismo de financiamiento de riesgo compartido, la dificultad para la creación de la red de distribución y servicios, como la falta de financiamiento a los usuarios potenciales, impidió su diseminación.

A grandes rasgos, la estación experimental obtuvo resultados positivos durante su funcionamiento, entre ellos destacan la creación, desarrollo y modificación en el diseño de aerogeneradores y aerobombas.

¹³ HP: Potencia de la bomba en caballos de fuerza

Entre los logros conseguidos sobresale la obtención de una patente por el sistema Avispa, un pequeño aerogenerador de 300 watts que utiliza un alternador de automóvil y que permite generar la energía de seis paneles fotovoltaicos de 50 Watts, dando considerables ventajas a una vivienda rural, siempre que las condiciones del viento sean adecuadas (5 m/s) (CONAE, s.f.).

Destaca de igual manera el desarrollo de un pequeño aerogenerador de 50 Watts de 90 centímetros de diámetro, cuyo objetivo inicial era la recarga de las baterías automotrices usadas en energizar los anemómetros electrónicos con los que se realizaban los estudios del viento en los sitios de interés. Los anemómetros requerían al cabo de un mes de mediciones continuas que se reemplazaran las memorias y la batería por una recién cargada. La instalación de un pequeño aerogenerador en el mástil de los anemómetros mantendría permanentemente un nivel adecuado de carga en la batería. El desarrollo de la electrónica de estado sólido, permitió diseñar anemómetros electrónicos de muy bajo consumo eléctrico, siendo suficiente un par de pilas alcalinas para sustituir la batería automotriz. (CONAE, s.f.).

No obstante lo anterior, dentro de la ejecución del experimento ocurrieron una serie de errores dentro de los prototipos que llevaron a reconsiderar los componentes, materiales y controles de calidad en los procesos de fabricación de aerogeneradores. Existen antecedentes en donde fuertes ráfagas de viento provocaron la ruptura de prototipos que habían dado resultados satisfactorios en las pruebas de caracterización, diseño y materiales. Los estudios posteriores evidencian errores en los procedimientos de soldadura que degradaron las características de resistencia a la tracción, provocando fracturación por esfuerzo.

Sumado a esto, se encuentran los recortes presupuestales, pues la falta de financiamiento impidió que los prototipos probados fueran mejorados, generando como consecuencia el cierre de la estación experimental.

A pesar de estas aversiones, la postura de la CFE ante la posibilidad de generar energía eléctrica a través del viento se mantiene a favor del desarrollo y cede al IIE la dirección para continuar trabajando en el proceso de consolidación de elementos que permitan definir las posibilidades técnicas y económicas de las energías limpias. Siendo así el IIE la única institución que por más de veinte años se ha mantenido en una ruta consistente de desarrollo de sistemas conversores de energía eólica, obteniendo como resultado el desarrollo de anemocinemógrafos electrónicos, sistemas de prueba y adquisición de datos y en su momento, la creación de una estación experimental en Hidalgo.

Actualmente el IIE en el área de Sistemas Híbridos realiza investigación aplicada, para contribuir al avance de esta tecnología y contar con herramientas necesarias para probar nuevas técnicas de control y de administración de la energía, con la finalidad de aumentar la confiabilidad y abatir los costos de implementación de estos sistemas en comunidades aisladas. Ha instalado estaciones experimentales; en Baja California Sur en las Zonas I, II y III; en la Isla del Carmen, Campeche; en La Venta, Oaxaca; en Playa Paraíso, Quintana Roo; Mironcarit, Sonora; en Laguna Verde, Veracruz; en La Virgen, Zacatecas y en Pachuca Hidalgo. Estos sistemas cuentan con la capacidad de programación y control para la administración y operación eficiente de aerogeneradores y sistemas fotovoltaicos, también desarrollo de sistemas y herramientas de cómputo adecuadas para la simulación y dimensionamiento de sistemas híbridos, desarrollando con esto nuevos elementos tecnológicos capaces de generar energía eólica y forma recursos humanos capacitados (Huacuz Villamar, 2010).

4.6 Localización de áreas de aplicación de la energía eólica

Dentro del esquema de Planeación Urbana en Pachuca elaborado en 2012 se contempla un cambio energético, el cual se está llevando a cabo de manera paulatina, una evidencia es la instalación de semáforos híbridos en el Eje Vial Río las Avenidas, que cruza el municipio de norte a sur.

Otras muestras del trabajo constante por mejorar la calidad de la vida de la población son la modificación paisajística y el aprovechamiento de áreas como el camellón que divide el Eje Vial Río las Avenidas donde se llevó a cabo la construcción de un parque y una ciclo vía, esta es una medida de inclusión y participación ciudadana, pues se promueve el uso de medios de transporte no contaminantes como lo es la bicicleta y se acerca a la comunidad la propuesta del uso de energías limpias, haciendo que los aerogeneradores formen parte del paisaje.

La instalación de estos sistemas representa un gran avance para el municipio en materia energética, aprovechan condiciones y recursos locales para funcionar. Recordemos que Pachuca no cuenta con los medios para generar electricidad, históricamente era un espacio desprovisto de pobladores y servicios, hasta que se instalaron las primeras compañías mineras, ante la llegada de éstas se encontró la manera de suministrar servicios energéticos a la zona y por su importancia económica se creó infraestructura para comunicarla con otras poblaciones.

Pachuca se reconoce por ser uno de los primeros sitios a nivel nacional en extraer recursos por medio de la minería, por sus tradicionales pastes y por sus fuertes ráfagas de viento, característica que le ha dado el nombre de “*La Bella Airosa*”, sin que de ello se obtengan beneficios. En la actualidad el sobrenombre que se le ha dado, está generando beneficios sociales, ambientales y económicos trascendentes, ya que la posibilidad de generar energía por medio del viento disminuye la dependencia energética y da muestra de desarrollo local.

El uso de energías alternas para Pachuca es un hecho, pues dentro del municipio se encuentran otros sistemas operando además de los semáforos híbridos, que a diferencia de éstos prestan servicio a instituciones privadas. El **Cuadro 15**, muestra la ubicación de estos sistemas y el servicio que ofrecen, estos datos fueron obtenidos en campo con ayuda de GPS.

Dirección	Uso	Aerogeneradores
Río las Avenidas y Francisco I. Madero	Semáforos Híbridos	2
Río las Avenidas y Javier Rojo Gómez	Semáforos Híbridos	1
Río las Avenidas y Jaime Nuno	Semáforos Híbridos	1
Boulevard Luis Donaldo Colosio	Plaza Comercial Gran Patio	3
Luis Donaldo Colosio y San Javier	Semáforos Híbridos	1
Carretera México-Pachuca	TEC de Monterrey	3
Carretera México-Pachuca	Terminal de Autobuses ADO	1
Antigua Carretera La Paz	Semáforos Híbridos	1
Calle Panorámico	Instituto Frenet	2
Calle Panorámico	Empresa Privada	1
Calle Vicente Seguro	Parque Ecológico Cubitos	2

Cuadro 15. Aerogeneradores en funcionamiento, 2014.
Fuente: Elaboración propia con datos recopilados en campo

Estos sistemas operan en una vialidad principal del municipio, conocida como Río de las Avenidas, en una distancia aproximada de 1 km se encuentran tres sistemas, los cuales se muestran en las **Figuras 16, 17 y 18**. Con estos sistemas se ahorra aproximadamente el 90% de energía en comparación con la luz convencional porque usan focos LED (López, 2008).

En Viaducto Río Las Avenidas, se encuentran dos aerogeneradores con un arreglo fotovoltaico integrado por 32 módulos de silicio monocristalino de 75 Wp cada uno, interconectados en 2 subarreglos de 16 módulos fotovoltaicos. Un control electrónico captura la energía de las baterías y las envía a una computadora diseñada por la empresa Fersamex, la cual se encarga de alimentar y controlar el cruce de semáforos híbridos. La superficie que ocupa cada subarreglo es de aproximadamente 10 m².

A diferencia de los sistemas híbridos presentados anteriormente, los ubicados sobre Río las Avenidas esquina Javier Rojo Gómez, y Río las Avenidas, esquina Jaime Nuno cuentan con un aerogenerador y un arreglo fotovoltaico con 16 módulos cada uno. Estos se muestran en las **Figuras 17 y 18**.



Figura 16. Sistema híbrido ubicado entre Río las Avenidas y Francisco I. Madero
Fuente: Tomada por Cristina Olmedo Santiago, 2014.



Figura 17. Sistema híbrido ubicado entre Río las Avenidas y Javier Rojo Gómez
Fuente: Tomada por Cristina Olmedo Santiago, 2014.



Figura 18. Sistema híbrido ubicado entre Río las Avenidas y Jaime Nuno
Fuente: Tomada por Cristina Olmedo Santiago, 2014.

Esta vialidad principal atraviesa el municipio de norte a sur (Ver **Figura 19**) y no cuenta con barreras orográficas, ni urbanas que impidan el paso de viento, por lo que es un excelente sitio para implementar sistemas eólicos. A lo largo de estos corredores viales es posible implementar corredores eólicos, por una parte se aprovecharía la infraestructura establecida para sostener el crecimiento urbano en el que se forjan vías de comunicación y por otro lado es posible aprovechar el flujo del viento de manera constante, ya que están en una zona sin elevaciones o barreras orográficas que impidan el paso del viento.



Figura 19. Río las Avenidas, Pachuca de Soto, Hgo.
Fuente: Elaboración propia con datos de Google earth

El uso de energía eólica y solar para controlar el tránsito en la ciudad se ha dado en diversos puntos como la Antigua Carretera La Paz y el Boulevard Luis Donaldo Colosio esquina con San Javier, como lo muestra la **Figura 20**. Este sistema híbrido cuenta con un aerogenerador y un arreglo fotovoltaico con 16 módulos, ocupando una superficie aproximada de 10m².



Figura 20. Semáforos híbridos ubicados entre Avenida Colosio y San Javier
Fuente: Tomada por Cristina Olmedo Santiago, 2014

Al suroeste de la ciudad se encuentra el Parque Ecológico Cubitos, un área natural protegida en el que opera el Centro de Información y Documentación del Medio Ambiente, que realiza estudios para medir la calidad del aire, por lo que cuenta con una estación meteorológica, que cuenta con datos de velocidad y dirección del viento desde 2010, el personal del centro de investigación ha registrado velocidades mayores a 5 m/s, velocidad mínima para explotar el recurso eólico, por lo que se han instalado dos aerogeneradores Avispa de 500 W cada uno.

Cada aerogenerador tiene un rotor de fibra de vidrio de 3 aspas de eje horizontal y 1.8 m de diámetro, tiene una velocidad nominal de 11.5 m/s, una velocidad de inicio de 3.5 m/s y una velocidad de salida de 20 m/s. como generador eléctrico cuenta con un alternador automotriz. Este proyecto está a cargo del Centro de Investigación y Asistencia Técnica del Estado de Querétaro (CIATEQ) que ha contado con el apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) en coordinación con el gobierno del estado de Hidalgo. Estos aerogeneradores se encuentran en una fase piloto, el objetivo es que puedan alimentar energéticamente parte del predio en el que se encuentra el parque, para posteriormente llevarlo a comunidades de difícil acceso que no cuenten con el servicio eléctrico.

La **Figura 21** muestra el equipo instalado dentro del parque. En esta zona el establecimiento y la dinámica de los aerogeneradores puestos en función cambia, ya que se localizan en una zona elevada, en el Cerro Cubitos, formación perteneciente al Eje Volcánico Transversal, lo que le da cierta peculiaridad a la zona es que aquí ocurren procesos adiabáticos, pues por la presencia de estas elevaciones, el comportamiento del viento se relaciona con cambios de presión y temperatura, pues cuando una masa de aire cálido y húmedo es forzada a ascender para salvar el obstáculo del cerro Cubitos el vapor de agua se enfría y se condensa, precipitándose en las laderas de barlovento. Cuando esto ocurre existe un fuerte contraste climático entre dichas laderas, calentándose a medida que aumenta la presión al descender y con una humedad escasa.



Figura 21. Aerogeneradores ubicados en el Parque Ecológico Cubitos
Fuente: Tomada por Cristina Olmedo Santiago, 2014

Con fines de investigación, se han situado aerogeneradores en el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey campus Pachuca (TEC de Monterrey), entre sus principales objetivos esta disminuir las emisiones contaminantes aprovechando las energías limpias, dicha instalación se encuentra dentro de la zona ecológica en Santiago Tlapacoya, por lo que requiere de permisos que garanticen el respeto al entorno natural y en donde además se hace labor por cuidar y mantener sanas las áreas verdes y se cuida el uso de agua potable. Un claro ejemplo de la labor de instituciones educativas nacionales a favor del uso de energías alternas. **Figura 22.**



Figura 22. Aerogeneradores ubicados en el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey campus Pachuca
Fuente: Tomada por Cristina Olmedo Santiago, 2014

Otra institución educativa comprometida con el desarrollo sustentable es el Centro de Estudios Superiores Elise Freinet, que ha implementado el uso de dos aerogeneradores en el suroeste del municipio, las cuales dan servicio a los planteles de educación media superior y superior de Enfermería.

La empresa privada de origen mexicano Lightcom, ofrece al municipio una visión moderna de desarrollo urbano integrando el concepto de sustentabilidad a su trabajo, y desarrollando el Centro Comercial “*Plaza Gran Patio*”, proyecto con el que se hizo acreedora al Premio Estatal de Ciencia y Tecnología en 2010, este centro comercial emplea energía eólica, por medio de un aerogenerador que explota el aire existente en la entidad, lo cual disminuye el consumo de electricidad en 85 % y minimiza su costo operativo. Este generador eléctrico (**Figura 23**) funciona por medio de una turbina accionada por la fuerza del viento, que como resultado ha dado un ahorro energético, pues compensa la cantidad del recurso consumido por las noches reduciendo el uso de electricidad 10 veces, en comparación con lo que requería en su etapa inicial.



Figura 23. Aerogenerador de la Plaza Gran Patio, ubicada en el Boulevard Luis Donaldo Colosio
Fuente: Tomada por Cristina Olmedo Santiago, 2014

La compañía de autobuses ADO, ha instalado un edificio que opera con tecnología sustentable por medio de aerogeneradores para surtirse de electricidad, éste se localiza sobre la carretera México-Pachuca.

Como estos ejemplos cada vez se encuentran más dentro del municipio, y con la correcta utilización de información y recursos, pronto podría contar con programas que fomenten la independencia eléctrica, reduciendo los costes energéticos y mejorar la calidad de vida de sus habitantes al usar un recurso presente y constante en la región.

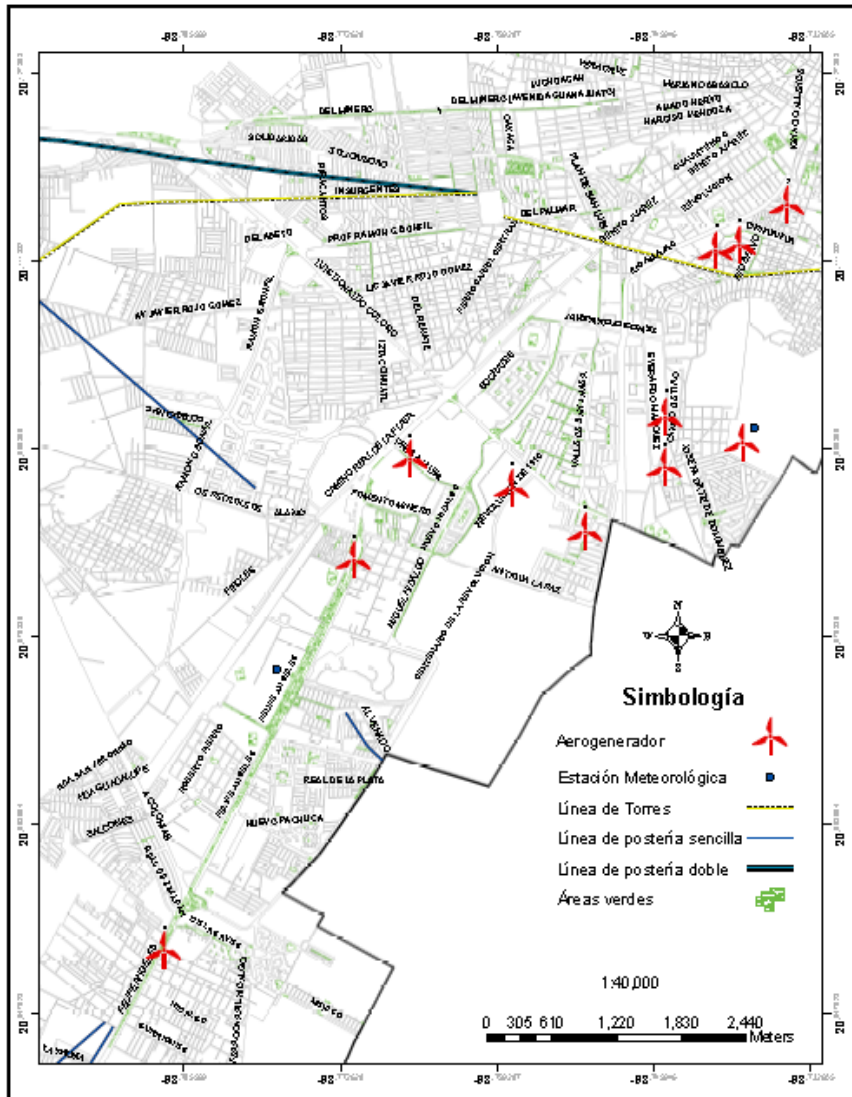


Figura 24. Mapa Aerogeneradores operando en Pachuca de Soto, Hgo, 2014
 Fuente: Elaboración propia con datos recolectados en campo

La **Figura 24** representa los aerogeneradores operando en Pachuca de Soto, localiza de manera puntual los aerogeneradores antes descritos y señala la localización de las líneas de torre y de poste, que como puede observarse no cubren por completo al municipio. Al encontrarse alejados de la infraestructura eléctrica, el municipio debe buscar la forma de proveer de servicio eléctrico a toda la localidad o ciudad, el lado Este comienza por operar con energías alternas. La zona correspondiente al centro histórico, por ser el principal asentamiento de la urbe cubre sus necesidades eléctricas de manera convencional, pero el rápido desarrollo urbano exige cubrir las resientes áreas urbanas y para ello se presenta la posibilidad de ejecutar proyectos eólicos en pequeña escala. Dentro de los aerogeneradores en operación encontrados, pocos están sirviendo como pilotos y cuentan con el patrocinio de instituciones educativas con la cooperación del gobierno estatal, el resto operan de forma eficiente y confiable y están siendo operados por instituciones privadas que han visto enormes beneficios económicos para proveerse de electricidad.

DISCUSIÓN

En este trabajo se definieron y evaluaron los factores que intervienen en la generación de energía eólica como una alternativa en la búsqueda de alcanzar el desarrollo sustentable, los factores primordiales para la generación de energía eólica son los geográficos; la localización, la incidencia de los rayos del sol, la forma del relieve y la dinámica de la atmósfera, entre otros, determinan el potencial de explotación del recurso. Sin embargo, por su naturaleza, el recurso eólico no se distribuye en zonas que necesariamente demandan energía. En la mayoría de los casos las zonas con gran potencial se encuentran alejadas de las grandes urbes, que es en donde se demanda de manera exacerbada el recurso. Es aquí donde factores económicos, sociales y políticos intervienen.

A lo largo de la historia la energía ha sido empleada para cubrir las necesidades básicas del hombre, necesidades que se han ido modificando a lo largo del tiempo. Desde tiempo remotos los recursos naturales han garantizado la satisfacción del hombre y éste ha evolucionado en el proceso de explotarlos para aprovecharlos al máximo, a pesar de ello, la evolución más grande representada con la Revolución Industrial ha significado también un gran retroceso para la humanidad, pues la depredación de los recursos y la quema de combustible fósiles modificaron los patrones de consumo energéticos hasta llegar a la actualidad, donde el reto más grande para la sociedad es desarrollarse encontrando un equilibrio entre el bienestar social con el medio ambiente y la bonanza económica.

En la actualidad la sociedad lucha con procesos que han creado desigualdades que impiden el desarrollo homogéneo en el mundo, y carga con lastres producidos por guerras mundiales, el proceso de globalización y calentamiento global que han dejado secuelas significativas.

El reencuentro de la humanidad con las energías limpias surge por la necesidad de mantener a flote las economías locales después de las crisis petroleras, el desabasto de petróleo generó que los costos se elevarán, obligando a buscar nuevas formas de proveerse de energía. El petróleo es un recurso escaso en el mundo y a nivel internacional son pocos los países que cuentan con este combustible fósil, lo que ha provocado un desequilibrio en la

economía mundial. Naciones como Alemania, España, Dinamarca y Suecia que no cuentan con el recurso energético fósil han buscado alternativas energéticas, priorizando el desarrollo de nuevas tecnologías para explotarlas.

En la búsqueda por lograr un desarrollo independiente energético ha surgido importantes bloques que controlan el mercado eólico mundial, países como China, Estado Unidos de América, Alemania, España e India han logrado posicionarse en los primeros sitios en capacidad eólica instalada. El éxito que han tenido estos países no se debe únicamente a la presencia del recurso eólico, pues existe una serie de condicionantes que van más allá de la simple presencia de éste, factores como el desarrollo de políticas públicas que promuevan el uso de la energía eólica, modificaciones en el marco legal y regulatorio del sector eléctrico, así como el diseño de instrumentos de apoyo de tipo económico y financiero se han puesto en marcha asegurando su futuro energético.

En un análisis comparativo de los apoyos regulatorios para la generación eoloelectrónica entre España y México, los resultados arrojan que el éxito del país europeo se debe a que existe un importante subsidio en la generación de energías renovables, pues en los primeros años de emplazamiento los proyectos no pagan impuestos, amortiguando los gastos. Por otra parte, se establecen metas a mediano y largo plazo para incrementar la capacidad instalada, mientras que para México las metas planteadas corresponden a periodos políticos y administrativos que se truncan en cuanto la administración cambia. En cuanto al establecimiento de costos, España fija un precio mínimo que garantiza la viabilidad financiera del proyecto a largo plazo, en el caso mexicano los precios se pactan entre los desarrolladores del proyecto y los compradores de energía respondiendo a intereses que beneficia a cierto sector. Las instituciones bancarias españolas comparten riesgos asociados a aspectos políticos, económicos, sociales y de localización, también se han creado fondos para la explotación de energía renovables. A nivel nacional, no invertir en innovación tecnológica y en educación representa la participación del país e un proceso que resulta costos, pues tiene que importar equipo y tecnología poniéndose en una condición desventajosa si se compara con el alto potencial alternativo para generar electricidad.

Hablar de la existencia de un mercado eólico parece una frivolidad que demerita el gran esfuerzo por resarcir el daño ambiental que por décadas el consumo desmedido de

recursos ha provocado. Sin embargo detrás del lema “Desarrollo sustentable y compromiso con el medio ambiente” se encuentra un negocio multimillonario, en el que países como China y Estados Unidos participan bajo un doble discurso, pues son países que cuentan con mayor capacidad eólica instalada y al mismo tiempo emiten grandes cantidades de dióxido de carbono a la atmósfera contribuyendo al cambio climático, y por su posición fijan un sistema de precios en el mercado eólico.

A pesar de esto, no se puede negar que el avance en el desarrollo de tecnología para explotar el viento ha traído beneficios que resaltan su bondades; principalmente se trata de un recurso abundante que continua existiendo por un proceso de regeneración, usar energía proveniente del viento es poco o nada dañino para el medio ambiente, no genera residuos, también brinda la oportunidad de proveer energéticamente a localidades alejadas de la red de transmisión y su precio no depende del petróleo como el gas y el carbón.

En un mundo con desigualdades han existido crisis financieras generadas entre otras razones más por la dependencia de combustibles fósiles; el mercado eólico también tiene variaciones lo que puede fomentar el uso de energías alternas dando estímulos fiscales, permitiendo que el mercado eólico crezca sin pagar impuestos en sus primas etapas y destinando recursos a la investigación. Un ejemplo de progreso ante la crisis energética es Alemania, que con el apoyo gubernamental ha logrado consolidarse como uno de los países con mayor desarrollo eólico. En el sentido opuesto, una crisis energética también puede frenar el desarrollo eólico, en 2010 Estados Unidos dejó de invertir en la generación de energía eléctrica, disminuyendo su capacidad eólica instalada y quedando un lugar debajo de China.

Además de las crisis energéticas, los factores geográficos limitan la explotación del recurso eólico, ya que los centros de generación son dispersos y en ocasiones se encuentran alejados de los centros poblacionales por lo que es importante integrar este sector de generación a ciertos elementos de la vida en las zonas urbanas. A pesar de esto el desarrollo tecnológico ha hecho que esto pase a segundo plano, pues en la actualidad se diseñan proyectos que integran diversos factores para garantizar su éxito por lo que es necesario contemplar sistemas físicos o geográficos, sociales, políticos y económicos que proveen

información variada que posibilita plantear estrategias, tomar decisiones y planear a corto, mediano y largo plazo, involucrando a los sectores académico, ambiental y político.

Implementar un sistema eólico requiere de una fuerte inversión por lo que se necesitan datos sólidos que sustenten la hipótesis de que implementar el proyecto es viable, y para eso los Sistemas de Información Geográfica (SIG) podrá aportar información suficiente que servirá de guía y apoyo para aquellos que toman decisiones. Es ahora una herramienta eficiente para la determinación espacial de un área potencial de explotación que de manera específica permiten estimar el potencial de diversas fuentes de energía.

Los esfuerzos para seguir generando información de calidad no deben limitarse en las regiones como América Latina ya cuentan con infraestructura de datos espaciales administrada en portales que facilitan el acceso a la información digital de regiones rurales, haciendo viable el empleo de SIG en proyectos de electrificación rural, ya que estiman además del potencial energético, la demanda de comunidades sin servicio y las distancias más cercanas para la extensión de red. La posibilidad que brindan los SIG de involucrar un conjunto mayor de aspectos para la selección de la tecnología abre la alternativa de seguir incorporando métodos, como el análisis multicriterio que complementa la capacidad de análisis para determinar las mejores opciones de electrificación.

A nivel nacional se hace uso de esta tecnología, el Instituto de Investigaciones Eléctricas ha desarrollado el Sistema de Información Geográfica para las Energías Renovables (SIGER), con el objetivo de promover la aplicación de las energías renovables.

El reto para el IIE es grande, ya que se enfrenta a romper con el esquema tradicional de suministro energético, al ser México un país petrolero es difícil contar con apoyo presupuestario para el desarrollo de tecnología útil para explorar y explotar fuentes alternas. Por otra parte las metodologías utilizadas a nivel nacional para evaluar los costos económicos de la generación de energía se basan en planes a corto plazo, lo que impide que se valoren los beneficios que pueden traer a la economía nacional las fuentes alternativas, desestimando la estabilidad de precios en largo plazo y la reducción de riesgo del abasto energético, aunado al hecho de contar con “Importantes recursos energéticos fósiles de amplio alcance”. Todo esto contribuye a que las políticas y prospectivas energéticas nacionales sigan basándose en

el consumo del combustible fósil. Resulta necesario hacer mención de que la dependencia de combustibles fósiles en México sobrepasa los promedios mundiales. En un panorama en el que se apuesta por el petróleo como eje energético, el futuro es desolador.

En términos generales, se ha reducido de forma considerable la autonomía energética del país por diversos factores; el primero de ellos es el agotamiento de los yacimientos más importantes como Cantarell; el segundo corresponde al costo elevado que conlleva la exploración de yacimientos de hidrocarburos en altamar; y el último se refiere al hecho de no haber descubierto ningún pozo capaz de solventar la industria energética como en otros tiempos, en los que la demanda era incluso menor.

México representa un gran potencial para el desarrollo de energías limpias y para la generación de beneficios para toda la población. A pesar de esto, las políticas de explotación de recursos naturales a lo largo de la historia no han favorecido la conservación de ese capital ni su uso sustentable, y tampoco han mejorado el bienestar social de su población rural. La riqueza en la diversidad biológica y cultural es parte inherente del país y para ser explotada y administrada requiere ser valorada. La valoración de dichos recursos exige inversión en investigación científica y desarrollo tecnológico.

Compañías extranjeras o privadas llevan la batuta en la generación eléctrica con fuentes alternas, como ocurre en el Istmo de Tehuantepec, donde compañías españolas como Iberdrola operan proyectos eólicos. Las limitaciones en el marco legal promueven que casi el 40% de la electricidad generada en el país provenga de compañías privadas.

El caso de Oaxaca es único por diversas cuestiones; la principal es porque la región del Istmo de Tehuantepec alcanza vientos con velocidades consideradas dentro de las mejores a nivel mundial, pues durante nueve meses al año la calidad del viento es excelente y alcanza sus puntos máximos entre marzo y abril, permitiendo que el recurso eólico se explote ampliamente.

Otra razón por la que esta región sobresale es porque evidencia la falta de compromiso del gobierno por invertir en investigación, pues pasaron años para que el ingeniero Enrique Caldera Muñoz obtuviera el presupuesto para iniciar con un proyecto que rendiría frutos hasta 1980. Por otra parte la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica (LSPEE) brindó todas

las posibilidades para que particulares extranjeros explotaran el recurso nacional por medio de contratos expedidos por la CFE para posteriormente vender la energía a la compañía nacional. Con este acto inició un proceso de robo, despojo y opresión, un importante porcentaje de la población en esta zona es de origen indígena y vive bajo un grado de marginación alto, rasgo que ha alentado abusos por parte de las compañías privadas que pagan cantidades ridículas por la renta de terrenos, y que han amenazado y violentado a la población para despojarla de sus tierras, la falta de información e integración de la comunidad ha causado que el proyecto se vea opacado.

La región del Istmo de Tehuantepec es un claro ejemplo de que el recurso eólico en el país está presente y es de buena calidad, que puede competir con las formas tradicionales de generación eléctrica, y con el apoyo necesario y la modificación del marco regulatorio podría traer grandes beneficios a la población propiciando herramientas para el desarrollo sustentable.

La CFE tiene importantes huecos legales que limitan la explotación de las energías alternas y en las condiciones críticas en que se encuentra el sector petrolero, resulta prioritario explorarlas. El país cuenta con los recursos necesarios para que el sector eléctrico funcione de manera óptima, disminuyendo la carga que tienen las hidroeléctricas y termoeléctricas.

El sistema eléctrico nacional requiere dar una solución integral a los diferentes problemas actuales, es apremiante desarrollar una metodología de evaluación sistémica. El reto es crear mecanismos que introduzcan la reducción de costos y la mejora de la calidad del servicio, para esto se necesita transparencia y regulación en las operaciones de CFE, la redefinición de objetivos y metas a cumplir, la separación de sus diferentes segmentos, la revisión de sus criterios para decidir los incrementos salariales y la contratación de personal, la regionalización de las zonas administrativas, la creación de un nuevo órgano capaz de acceder a la información para supervisar el desempeño de CFE, pues al no existir un organismo independiente con la capacidad técnica y de acceso a la información, capaz de supervisar los costos en los que incurre la CFE, no es posible realizar una evaluación comparativa que permita fijar precios y tarifas competitivas.

Resulta importante y quizá prioritario el restablecimiento de las regiones administrativas, pues la regionalización actual que comprende nueve áreas de control operativo no coinciden con las regiones fisiográficas establecidas en el país, las repercusiones son que en el proceso de electrificar al país se encuentran barreras físicas que incrementan los costos del abasto energético y dificultan la tarea de llevar energía eléctrica por la presencia de obstáculos naturales.

Deben considerarse condiciones climáticas, delimitación de cuencas, patrones de consumo, pues no es posible que en regiones como el sureste del país que cuentan con importantes presas un sector de la población esté desprovisto del recurso energético, porque la energía es llevada a zonas con desarrollo industrial en el centro y norte del país.

Los temas de tarifa y subsidio energéticos están entorpeciendo el desarrollo de las energías renovables, pues los costos de la electricidad generada por fuentes convencionales no permiten la competencia de nuevas fuentes energéticas.

El sector eléctrico mexicano está dominado por la Comisión Federal de Electricidad, quien ha determinado desde mediados de la década de los 90, la capacidad de generación eléctrica a través de la modalidad de “Productores Independientes”, lo que constituye el 23% de la capacidad total instalada y representa el 31% de la electricidad generada a nivel nacional, estas cifras no incluyen la energía eólica.

La mayor limitación para la energía eólica bajo el esquema de productor independiente es la metodología de planeación energética utilizada por la CFE, porque se basa en la evaluación de corto plazo de la generación de energía.

Dentro de los beneficios que pueden aportar las energías renovables, se encuentra la de una mayor estabilidad de precios de generación y mejor seguridad en el abastecimiento de energía, sin embargo, CFE no ha considerado esto y responde a las demandas de particulares, impidiendo la participación de México en el mercado eólico con la generación de electricidad por hidroeléctricas.

Se tienen aproximaciones de la capacidad de potencial eólico a nivel nacional que se acercan a los 10, 000 MW, no obstante, la meta fijada por CFE para el año 2017 es del 5%,

es decir, aproximadamente 500 MW. Se espera que el sector privado desarrolle 3, 500 MW bajo las modalidades de autoabastecimiento y exportación.

Por otra parte, la modalidad de autoabastecimiento, que plantea que es posible generar energía eléctrica para fines de autoconsumo con el fin de satisfacer las necesidades de personas físicas y morales siempre que no represente inconvenientes para el país, puede parecer un acierto, que beneficiaría a sectores rurales a los que la electricidad no llega, sin embargo, existen restricciones que limitan la explotación por esta modalidad, ya que pese a que la Comisión Reguladora de Energía (CRE) ha publicado la metodología para calcular el costo de generación, los flujos de carga son desarrollados por CFE, que establece los cargos de transmisión de manera arbitraria. El hecho de que en el proceso de la licitación para generación de electricidad de autoconsumo intervengan dos organismos entorpece y frena la posibilidad de que esta modalidad se explote.

Los subsidios elevados, que se traducen en un gasto del 1.7% del PIB anual, obstaculizan el desarrollo y la competencia de la energía eólica, pues a nivel internacional México se encuentra dentro de los países con niveles elevados de subsidio en el sector energético. Los subsidios van dirigidos en gran porcentaje al sector residencial, cubriendo el 40% de los costos agregados de generación y transmisión, estos subsidios se financian a través de transferencias del presupuesto federal y otra parte se hace a través del subsidio cruzado con la industria y el comercio, estos sectores cuentan con una de las tarifas más altas de toda América.

A pesar de que los precios en las tarifas eléctricas son elevados, esto ha permitido que el número de contratos para autoabastecimiento crezca, en la última década se ha registrado un incremento del 10.2% en la tasa media anual. La consecuencia de esto es que el sector industrial ha puesto en riesgo el esquema de subsidios porque el 15% del consumo industrial se realiza con la modalidad de autoconsumo.

Los subsidios para generar energía por medio de combustibles fósiles promueven una ruta equivocada, porque no promueven la transformación tecnológica de los negocios hacia un marco más redituable por los ahorros energéticos que las prácticas sustentables representa. Proponer un nuevo modelo de apoyo a las energías renovables parece imposible cuando se

gastan cerca de 230, 000 millones de pesos al año en subsidios energéticos por combustibles fósiles. Remover esta errónea práctica no es labor sencilla, pues estos subsidios llevan años aplicándose con el propósito de aliviar la pobreza. En México la tasa de pobreza es la más alta de la OCDE, siendo particularmente alta entre la población indígena. No obstante, la mayoría de estos subsidios resultan más benéficos para los ricos que para los pobres. El 20% de la población más pobre captura únicamente 11% de los subsidios sobre la tarifa residencial de energía eléctrica y menos de 8% de los subsidios sobre los combustibles para transporte; de manera semejante, 90% de los apoyos a los precios agrícolas y 80% de los subsidios a la electricidad para el bombeo de agua son captados por el 10% más rico de los agricultores.

En 2008, los subsidios sobre la energía costaron más del doble que el monto gastado en programas de lucha contra la pobreza. Estos subsidios ineficientes podrían ser reemplazados con gasto social directo, con beneficios considerablemente mayores para los pobres. Programas como el que reemplaza los subsidios sobre la electricidad para el bombeo de agua de riego con transferencias directas en efectivo muestran el camino a seguir y deberían ser ampliados.

El gasto en el subsidio al consumo de energía compite en el uso de recursos que podrían utilizarse para otras prioridades energéticas, los subsidios con costosos tanto para el gobierno como para los contribuyentes. En México la enorme lista de beneficiados del subsidio energético ha incrementado el gasto público.

Es probable que durante los siguientes años, en el país los precios de la electricidad sigan siendo mayores a los de otros países como Estados Unidos. En gran medida por la estructura tecnológica de las plantas hidroeléctricas disponibles en el territorio y por la volatilidad de los precios de los hidrocarburos. A pesar de esto, el incremento en los precios de los hidrocarburos y por ende de la electricidad, ha traído un beneficio del que las energías renovables se pueden aprovechar, pues gracias a los altos costo se ha hecho evidente que existen fallas estructurales en CFE, y conocer estos problemas permite proponer soluciones que abran paso al uso de energías limpias.

Hablar de reducción de costos en generación eléctrica es complejo porque no hay un factor único que explique el aumento de los costos de operación de CFE, también se

encuentran involucrados problemas de pérdidas de energía, baja productividad laboral, crecimiento en los salarios por encima de la producción laboral, exceso en las prestaciones para jubilados de CFE en comparación con las prestaciones que perciben otros trabajadores, entre otros.

El esquema de incentivos para el control de costos de CFE no es congruente con la realidad que opera en el país, el costo social es mayor que el costo sobre las finanzas de la empresa eléctrica pública y sobre el erario. Los costos sociales a los que se hace referencia, son a la baja calidad del suministro y que en la actualidad existen comunidades enteras que no cuentan con servicio eléctrico.

Una política energética nacional clara permitiría desarrollar proyectos de autoabastecimiento que combatan con las altas tarifas eléctricas mejorando los estándares de competitividad. Y para ello resulta apremiante promover e incentivar el uso y la aplicación de tecnologías para el aprovechamiento de las energías renovables, la eficiencia y el ahorro de energía, esta promoción de fuentes primarias de energía daría la pauta para incrementar la oferta de fuentes de energía renovables, su uso y aplicación va desde el sector doméstico hasta el uso industrial, lo que beneficiaría a la población en situación de marginación, es importante incluir programas de microcréditos y elaborar proyectos que promuevan el desarrollo de las comunidades, con todo esto sería posible reducir los subsidios en la energía eléctrica, haciendo competitivas a las energías alternas.

Elaborar estudios de prospección del recurso eólico permite plantear adecuadamente el desarrollo de diversas localidades en crecimiento, el incremento de la población trae consigo demanda de energía, de ahí que las inversiones económicas de los estados se dan en materia energética porque es el motor del funcionamiento de cualquier sociedad. Población, electricidad y medio ambiente son tópicos inherentes al desarrollo que no se pueden abordar de manera individual.

Diseñar programas educativos que incentiven el uso eficiente de los recursos energéticos, que recalque los beneficios que tienen respecto a las tecnologías convencionales y que modifiquen los hábitos de consumo energético, es una forma de abrir nuevos caminos para las energías renovables.

La energía es un medio indispensable para mejorar la calidad de vida de la población y comunidades en crecimiento como Pachuca de Soto la emplean para optimizar el proceso de desarrollo. La hipótesis planteada al inicio de este trabajo trata del progreso en el desarrollo sustentable de Pachuca por medio del uso de la energía eólica, situación que se ha comprobado, pues el municipio cuenta con características, geográficas, físicas, sociales y técnicas que han permitido que este espacio heterogéneo tome medidas para implementar estrategias y proyectos que están mejorando la calidad de vida de sus habitantes asegurando un desarrollo en armonía con el ambiente.

Por el rápido desarrollo urbano del municipio resulta necesario fortalecer su infraestructura eléctrica para garantizar la electrificación en comunidades rurales y urbanas. La limitante de no contar con subestaciones de transmisión, ni con transformadores de distribución, se convierte en una oportunidad para explorar nuevas formas de electrificación.

Dentro de los elementos técnicos a favor de la explotación del recurso eólico en la zona se encuentra la fisiografía del lugar, Pachuca de Soto se sitúa entre la *Sierra del mismo nombre*, y en un extremo de la *Sierra Volcánica Transversal*; esto lo hace un municipio con marcados contrastes físicos, al norte cuenta con zonas montañosas, en la parte noreste y sur se encuentran algunos lomeríos y en la parte central extensas llanuras. El potencial eólico de la región es reconocido por la CFE sin contar con datos exactos de velocidad y dirección del viento, pues para ello requiere de inversión para investigación, implantación de estaciones meteorológicas y personal calificado, los costos de esta inversión se recuperarían a mediano o corto plazo cuando se logre identificar de manera puntual espacios potenciales.

El reconocimiento del potencial eólico por parte de la población se hace de manera subjetiva al reconocer al municipio con el sobrenombre de “La bella airosa”. Este sobrenombre se justifica científicamente al analizar la complejidad orográfica de la zona y se asocia a su localización, pues al encontrarse en la Región Central, está en contacto con vientos provenientes de altiplano en el norte y del Istmo de Tehuantepec en el sur, que al entrar en Pachuca se intensifican.

El análisis de la orografía se debe complementar con las condiciones eólicas locales, y en este sentido el municipio se enfrenta a importantes retos; por una parte cuenta con una

estación meteorológica que arroja resultados positivos para la explotación del recurso eólico, pues registra velocidades por encima de los 5 m/s, que es el valor mínimo para tener éxito. Pero por otra parte, es preciso reconocer que se necesita contar con el registro de más estaciones meteorológicas y acceso a la información para asegurar la viabilidad del proyecto. De las estaciones ubicadas en el Parque el Rehilete y en el Parque Ecológico Cubitos no se pudo obtener información, existe un hermetismo exagerado acerca de los proyectos eólicos en proceso.

CONCLUSIONES

Resulta contradictorio que hoy la humanidad busque formas de sustituir a los combustibles fósiles por energías renovables, cuando hace apenas un siglo el 90% de la energía consumida provenía de fuentes renovables.

A pesar del significativo hueco de información la explotación del recurso eólico es un hecho, se localizaron al menos 18 aerogeneradores distribuidos por en el municipio, no se cumplió el objetivo de identificar zonas para el aprovechamiento del recurso pues la información de una estación meteorológica es insuficiente para establecer patrones en el régimen de los vientos, sin embargo, se logró identificar en un mapa los puntos donde están operando sistemas eolieléctricos.

Pachuca ha apostado por tecnología confiable y eficiente para explotar un recurso local y cuenta con el apoyo de instituciones gubernamentales, educativas y sociales. En el pasado CFE realizó proyectos de investigación en Hidalgo que fueron suspendidos por falta de recursos, las fortalezas y oportunidades que ya se reconocen en la región con relación a la energía eólica abren la posibilidad de retomar el curso de la investigación imprimiendo recursos financieros que aceleren el proceso de desarrollo sustentable.

Es indispensable considerar al factor social en este proyecto, el incremento demográfico en la zona y el cambio de actividades derivadas del crecimiento urbano han cambiado la dinámica de la región. Dentro de este proyecto se elaboró un mapa de densidad de población y se identificó que el centro y sur del municipio está creciendo aceleradamente, haciendo de estos residentes posibles consumidores de energías limpias, pues instalar pequeños aerogeneradores resulta más económico que extender las líneas de la red eléctrica, expandir la infraestructura eléctrica es un negocio poco rentable considerando los costos de la electricidad y el subsidio tan alto que recibe.

El eje empresarial del municipio también es un posible consumidor de energía eólica, pues existen más de 6 000 empresas, de las cuales una cantidad importante se localiza en zonas alejadas a la red eléctrica. La inversión en infraestructura, productos y procesos a favor

del desarrollo de la energía eólica genera ventajas competitivas que pueden capitalizarse para que las empresas reduzcan costos energéticos y seas rentables.

Las ventajas del uso de esta energía se ven a mediano y largo plazo, pues los costos disminuyen, haciendo autosustentable a la región, fomentando el desarrollo económico local, reactivando pequeñas industrias y dejando de consumir energía eléctrica procedente de hidroeléctricas situada fuera del municipio y que además cuenta con un subsidio elevado.

La aceptación social es esencial para que un proyecto funcione y los habitantes han encontrado ventajas en el uso de energías alternas, en cuestiones ambientales, la energía eólica es una alternativa viable, ya que no genera desechos, ni emisiones de CO² y contribuye a mejorar la calidad de vida de los habitantes.

BIBLIOGRAFÍA

- AMDEE, 2013. *Asociación Mexicana de Energía Eólica*. [En línea]
Disponible en: <http://www.amdee.org/> [Último acceso: 4 Julio 2013].
- Angeles Camacho, C. & Jaramillo Salgado, O. A., 2012. *Granjas eólicas*. Primera Edición ed. México: Terracota.
- Banco de México, 2009. *Fuentes de Sobre-Costos y Distorisiones en las Empresas Eléctricas Públicas Mexicanas*, México: Banco de México.
- Barcena, I., Ibarra, P. & Zubiaga, M., 2000. *Desarrollo Sostenible: Un concepto polémico*. Primera Edición ed. España: Bilbao.
- Borja Díaz, M. A., Jaramillo Salgado, O. A. & Mimi, 2005. *Borja Díaz, M. A., Jaramillo Salgado, O. A. & Mimiaga Sosa, F., 2005. Primer documento del proyecto eólico del corredor eólico del Istmo de Tehuantepec*. Primera edición ed. México: Instituto de Investigaciones Eléctricas.
- Brambila Rossell, A., 2010. *Un estudio sobre la energía eólica en México: Aplicación de innovaciones tecnológicas posibles para la generación de energía eléctrica*. Primera edición ed. México: Instituto Politécnico Nacional.
- BUN-CA, 2002. *Manuales sobre energía renovable. Eólica.* Primera edición ed. San José, Costa Rica: BUN-CA.Biomass User Network Centroamerica.
- Cámara de Diputados, 2010. *Tarifas Eléctricas: Impacto en los hogares mexicanos por el incremento de las tarifas eléctricas residenciales. Análisis por deciles de ingresos.*, México: Dirección de Servicios de Bibliotecas. Servicio de Investigación y Análisis.
- CAPV, 2013. *Comunidad Autónoma del País Vasco. La energía eólica: ventajas e inconvenientes*. [En línea] Disponible en: <http://www.industria.eigv.euskadi.net/c.pdf> [Último acceso: 20 Noviembre 2013].
- CDI, 2013. *Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas*. [En línea] Disponible en: <http://www.cdi.gob.mx/> [Último acceso: 20 Febrero 2013].
- CEFAEN, 2013. *Comisión Estatal de Fomento y Ahorro de Energía*. [En línea] Disponible en: <http://cefaen.hidalgo.gob.mx> [Último acceso: 25 Julio 2013].
- CFE, 2007. *Progama de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico 2007-2016*. México: CFE.
- CFE, 2012. *Sexto Informe de Labores CFE 2011-2012*, México: Comisión Federal de Electricidad.
- CONAE, s.f.. *Tecnología de la energía eólica*, México: CONAE.
- Conapo, 2010. *Índice de marginación por localidad, 2010*. [En línea] Disponible en: <http://www.conapo.gob.mx> [Último acceso: 20 Febrero 2013].
- CONCAMIN, 2007. *Energy Information Administration*, México/USA: Confederación de Cámaras Industriales.

CRE, 2004. *Estructura Tarifaria del Sector Eléctrico Mexicano*, México: Comisión Reguladora de Energía.

de Tapia Martín, R. I. y otros, 2005. *Manual sobre el Protocolo de Kyoto. ¿Cómo puede contribuir la sociedad civil a su cumplimiento?*. Primera edición ed. España: Fundación Tormes e Iberdrola.

Domínguez Bravo, F. J., 2002. *La integración económica y territorial de las Energías Renovables y los Sistemas de Información Geográfica*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.

Elliott, D. y otros, 2004. *Atlas de Recursos Eólicos del Estado de Oaxaca*. Primera edición ed. México: Laboratorio Nacional de Energía Renovable.

Energy Information Administration, 2009. *Electricity Prices for Households*. [En línea] Disponible en: <http://www.eia.gov/countries/> [Último acceso: 4 Julio 2013].

Escudero López, J. M., 2004. *Manual de energía eólica. Investigación, diseño, promoción, construcción y explotación de distintos tipos de instalaciones*. Segunda edición ed. Madrid: Mundi-Prensa.

Filipovich, J., 1975. *Las fuentes de energía*. Primera Edición ed. Madrid: Prensa Española S. A.

Foladori, G. & Pierri, M., 2005. *¿Sustentabilidad? Desacuerdo sobre el Desarrollo Sustentable*. Primera Edición ed. México: Miguel Ángel Porrúa.

Geyne, A. R. y otros, 1963. *Geología y Yacimientos Minerales del Distrito de Pachuca-Real de Monte, estado de Hidalgo*. Primera Edición ed. México: Consejo de Recursos Naturales no Renovables.

Gil García, G., 2008. *Energías del siglo XXI. De las energías fósiles a las alternativas*. Primera Edición ed. Madrid, España: Mundi-Prensa.

Gómez Martínez, E., 2005. *Diagnóstico regional del Istmo de Tehuantepec*. Primera edición ed. Oaxaca, México: Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social.

Gómez Mercado, A. & Cuevas Roldán, L., 2011. *Diseño de un aerogenerador de baja potencia 12KW*, Pachuca: Instituto Tecnológico de Pachuca.

González Amador, R., 2013. México, caso fallido de reforma al sector eléctrico, señala el Fondo Monetario Internacional. *La Jornada*, 28 Marzo, p. 31.

Granados Alcantara, J. A., Franco Sánchez, L. M. & Carrillo Medina, L. S., 2011. *Movilidad y cambios residenciales en la Aglomeración Urbana de Pachuca*. Hidalgo, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

Henestroza Orozco, R., 2009. Desarrollo del proyecto eólico en la Región del Istmo de Tehuantepec. *Revista Universidad y Ciencia*, 1(42), pp. 18-21.

Herrera, X., 2013. *Medios México*. [En línea] Disponible en: <http://mediosenmexico.blogspot.mx> [Último acceso: 10 Junio 2013].

Huacuz Villamar, J. M., 2010. La energía del viento ¿Cómo aprovechar su valor?. *Ciencia y Desarrollo*, 36(250), p. 53.

IILSEN, Instituto de Investigaciones Legislativas del Senado de la República, 2004. *Nuevas Energías Renovables: Una alternativa energética sustentable para México*, México: Senado de la República.

INEGI, 2009. *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Pachuca de Soto, Hidalgo.* México: INEGI.

INEGI, 2010. *Censo de Población y Vivienda 2010*. Primera Edición ed. México: INEGI.

INEGI, 2010. INEGI Indicadores de medio ambiente. [En línea]
Disponible en: <http://www.inegi.org.mx> [Último acceso: 11 julio 2012].

INEGI, 2013. *Resultados de la encuesta nacional de ocupación y empleo en el segundo trimestre de 2013 para el estado de Hidalgo*, México: INEGI.

Lacomba, R., 2008. *La Ciudad Sustentable. Creación y Rehabilitación de Ciudades Sustentables*. Segunda Edición ed. México: Trillas.

López, P., 2008. Sol y Viento nutren equipos viales en Hidalgo. *Reforma*, 10 Enero.

Madrid, A., 2009. *Energías Renovables (Fundamentos, Tecnologías y Aplicaciones)*. Primera edición ed. Madrid, España: Mundi-Prensa y AMV Ediciones.

Miranda, M. U. & Saldaña, F. R., 2003. *Las energías renovables y los sistemas de información geográfica*, México: Instituto de Investigaciones Eléctricas.

OCDE, 2013. *Evaluaciones del Desempeño Ambiental México 2013*. [En línea]
Disponible en: <http://www.oecd.org> [Último acceso: 10 Junio 2013].

OLADE, O. L. d. E., 2012. *Desarrollo y situación actual del sector eólico en América Central*, Quito: OLADE.

Organisation of United Nations, 1987. *Development and International Cooperation: Environment. Report of the World Commission on Environment and Development*. Estocolmo, Organisation of United Nations.

Petróleos Mexicanos, 2007. *Exploración y Producción. Las preguntas y respuestas más frecuentes de Pemex, Exploración y Producción*, México : Petróleos Mexicanos.

Poggi V., H. M., 2009. *Libro de Ciencias y Tecnología No. 2.* Primera edición ed. México: Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec.

Salas García, O., 1995. *Estudio de riesgos naturales en la ciudad de Pachuca de Soto, Hgo.: Un enfoque geomorfológico*. México: UNAM.

Scheer, H., 2011. *El imperativo energético. 100% ya: Cómo hacer realidad el cambio integral hacia las energías renovables*. Primera Edición ed. Barcelona: Icaria Antrazyt.

Secretaría de Economía, 2013. *SIEM*. [En línea] Disponible en: <http://www.siem.gob.mx> [Último acceso: 20 Octubre 2013].

SEDESOL, 2013. Secretaría de Desarrollo Social. [En línea]
Disponible en: <http://www.sedesol.gob.mx> [Último acceso: 20 Noviembre 2013].

SEMARNAT, 2013. [En línea]

Disponible en: <http://sinat.semarnat.gob.mx> [Último acceso: 20 noviembre 2013].

SENER, 2011. *Indicadores de Eficiencia Energética en México: 5 sectores, 5 retos*, México: SENER.

SENER, 2013. *Secretaría de Energía*. [En línea] Disponible en: <http://www.sener.gob.mx/> [Último acceso: 24 Junio 2013].

SHCP, 2013. *Subsidio al Consumo de Energía Eléctrica*. Primera Edición ed. México : SHCP.

SMN, 2010. *Normales climatológicas*, México: CONAGUA.

Toledo, A., 1995. *Geopolítica y Desarrollo en el Istmo de Tehuantepec*. Primera edición ed. México: Hoja Casa Editorial Centro de Ecología y Desarrollo.

USPTO, 2013. *United States Patent Collection*. [En línea] Disponible en: <http://patft.uspto.gov> [Último acceso: 20 noviembre 2013].

Wichert, B. & Lawrence, W. B., 1997. *Application of Intelligent Control Methods to the Management of Modular Hybrid Energy System*. Australia, Australian and New Zealand Solar Energy Society.

World Wind Energy Association, 2011. *windea*. [En línea] Disponible en: <http://www.windea.org> [Último acceso: 20 Febrero 2013].