

## Desarrollo de facilidades nacionales para la promoción de las energías renovables en CIATEQ A.C.

Agustín Escamilla-Martínez <sup>1,\*</sup>, Isaac Hernández-Arriaga <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dirección de Sistemas Mecánicos, CIATEQ A.C., Querétaro, Qro., Méx.

<sup>2</sup> Gerencia de Turbomaquinaria, CIATEQ A.C., Querétaro, Qro., Méx

\* Autor de correspondencia: aguesc@ciateq.mx; Tel.: 55-4421725101

### Otros Temas Relacionados con Desarrollo Sustentable o Energías Renovables.

**Resumen:** Se presenta el resultado de 11 años de trabajo para la creación y fortalecimiento de capacidades de investigación y desarrollo tecnológico en energías renovables en México, realizadas por un Centro Público de Investigación. El proyecto inició de forma incipiente en 2010, con un grupo 6 ingenieros mecánicos y que actualmente suman un total de 19 personas entre doctores, maestros e ingenieros, así como facilidades técnico-administrativa y de laboratorios para la atención de las siguientes líneas: Energía solar térmica y fotovoltaica, Energía eólica, Bioenergía, Minihidráulica, y Eficiencia energética. El crecimiento de la línea de trabajo se fundamentó en la ejecución de proyectos vinculados a necesidades reales y a la gestión de diversos fondos nacionales de investigación, que permitieron la asimilación de conocimiento, la formación de recursos humanos, la creación y difusión de conocimiento, la generación de propiedad intelectual y el establecimiento de alianzas estratégicas. Las líneas de mayor interés tanto gubernamental como del sector productivo son en energía termosolar para el desarrollo de sistemas híbridos en calentamiento de fluidos y la línea de energía eólica para el desarrollo de aerogeneradores de eje horizontal de mediana y baja potencia.

**Palabras clave:** energías renovables, laboratorios, solar, eólica, bioenergía

## Creation of national facilities for the promotion of renewable energies in CIATEQ A.C.

**Abstract:** The result of 11 years of work for the creation and strengthening of capacities for research and technological development in renewable energies in Mexico, carried out by a Public Research Center, is presented. The project began incipiently in 2010, with a group of 6 mechanical engineers and currently there are a total of 19 people including doctors, master degree, and engineers, as well as technical-administrative facilities and laboratories to attend the following research lines: Solar thermal and photovoltaic energy, Wind energy, Bioenergy, Mini-hydroelectric, and Energy efficiency. The growth of the line of work was based on the project execution linked to real needs and the management of various national research funds, which allowed the assimilation of knowledge, the training of human resources, the creation and dissemination of knowledge, the generation of intellectual property and the establishment of strategic alliances. The lines of greatest interest to both the government and the productive sector are in solar thermal energy for the development of hybrid systems in fluid heating, and the wind energy line for the development of medium and low power horizontal axis wind turbines.

**Keywords:** renewable energy, laboratories, solar, wind, bioenergy

### Introducción

Cinco son las grandes preocupaciones de la humanidad en el siglo XXI: calentamiento global del planeta, contaminación ambiental en todas sus formas, provisión de agua potable para la vida humana, seguridad alimentaria y seguridad energética. La era industrial y el crecimiento poblacional ha traído consigo un complicado cambio de los ecosistemas afectando también a la especie humana, y en este entorno de devastación y alta demanda energética, los hidrocarburos han tenido un papel preponderante en el desarrollo tecnológico mundial; y también su contribución al calentamiento global del planeta es considerable, donde los países más desarrollados tienen la mayor responsabilidad. Actualmente existe el consenso científico que el clima global se verá alterado significativamente en el presente siglo, como resultado del aumento de concentraciones de gases de efecto invernadero tales como el dióxido de carbono, metano, óxidos nitrosos y clorofluorocarbonos (Arnell, N. W., et al, 2019). Estos gases promoverán el incremento de la temperatura del planeta entre 1.5 y 4.5 °C. Como respuesta a este incremento, se pronostica que los patrones de precipitación global se alteren, y la vida humana se vea afectada drásticamente por la presencia de inundaciones, tormentas y enfermedades (Becker, 2018) tal como ya está sucediendo, siniestros en cultivos en áreas vulnerables, aumento de sequías, entre otros. Pero más allá del cambio climático y sus efectos, la baja en las reservas mundiales de combustibles de origen fósil son la mayor preocupación, por lo que se deben de buscar fuentes alternativas de energía de manera urgente, así como la adecuación de los sistemas de distribución de dicha energía.

En la Cumbre Mundial de Desarrollo Sostenible (CMDS-ONU, 2002), los gobiernos acordaron “mejorar el acceso a servicios y recursos energéticos fiables, de costo razonable, económicamente viables, socialmente aceptables y ecológicamente racionales”. Los países miembros de las Naciones Unidas acordaron “aumentar considerablemente, con carácter de urgente, la proporción de fuentes renovables de energía utilizadas en todo el mundo con miras a acrecentar su contribución a la oferta total de energía”. Para el año 2000 ya se tuvo un panorama más claro sobre otras fuentes alternas de energía renovables; de la demanda mundial de energía, el 34 % la satisface el petróleo, 21% el gas, 24 % el carbón, 7 % la nuclear y 14 % fuentes renovables.

Algunas consideraciones para la promoción de las energías renovables, implican aceptar nuevas concepciones: el hecho de que se requiera utilizar más espacio para cosechar tales energías respecto a instalaciones compactas con fuentes no renovables; los riesgos que se prevén por el uso intensivo de la tierra y los riesgos a la biodiversidad (Rehbein, J. A., 2020); así como las consideraciones sociales, políticas, técnicas, económicas, administrativas y geográficas como barreras que inhiben cualquier acción, sobre todo en países en vías de desarrollo (Ghimire, L. P., & Kim, Y., 2018) ). Es un hecho que las barreras políticas y económicas son las de mayor relevancia, dado que ofrecen las bases reales para la implementación de lineamientos específicos de trabajo, soportados en leyes y decretos (Dermibas, A., et al, 2016). Sin embargo, y aun cuando el tema del calentamiento global del planeta es un hecho irreversible, se pueden identificar excepciones que se encaminan en sentidos opuestos, dependientes de los gobiernos en turno. Transitar del uso de energías convencional a no convencional es una tarea que solo puede lograrse con el esfuerzo colectivo de toda la sociedad (García-Alcocer, G. I., 2019). En México a partir de 2007 se crearon los primeros programas para la transición energética; en 2014 se creó el concepto de certificado de energías limpias, que a través de subastas permitió incorporar una cantidad importante de megawatts al consumo eléctrico; para 2019 y por cambios en visiones y políticas de la administración en turno, diversos contratos se cancelan, sin definir que mecanismos promoverán el aprovechamiento a gran escala de las energías limpias.

México desde 1997 se adhirió al protocolo de Kioto de forma voluntaria y a partir de ahí se ha sumado a los esfuerzos que realizan los diversos países, tendiente a mitigar la emisión de gases de efecto invernadero. El acuerdo reciente de París (COP21, 2015), y que entró en vigor a partir de 2020, refrenda el compromiso para un futuro sostenible, donde se deberán conjuntar los esfuerzos de los países en un objetivo común para lograr una transición energética y mitigar el cambio climático. Nuestro país ocupa el 12º lugar mundial como emisor de gases efecto invernadero, teniendo el compromiso de reducir el 25% de sus emisiones globales, reducir las emisiones del sector industrial, generar el 34% de energías limpias para el 2024 y 43 % para el 2030, así como medidas para adaptación al cambio climático (adaptación del sector social al cambio climático, adaptación basada en ecosistemas, adaptación de la infraestructura estratégica) (IMCO, 2016).

Como parte de las políticas de las administraciones federales previas, se estableció la Estrategia Nacional Energética, que definió los objetivos estratégicos, elementos de integración y las medidas políticas. Dentro de las medidas políticas se estableció la transición energética, que debe ser sostenible e incluyente de la sociedad en general; deberá promover la eficiencia y la sustentabilidad energética, y la reducción de la dependencia de los hidrocarburos como fuente primaria de energía. En este sentido México ha incrementado sus esfuerzos para impulsar el aprovechamiento de fuentes de energía renovable y tecnologías limpias para generar electricidad.

En la figura 1 se muestra la situación del potencial energético de las diferentes fuentes de energía con estimaciones desde 2015 (CIDAC, 2015), así como otros datos que están permitiendo disponer de información cada vez más real (SENER, 2015, Energy & Commerce, 2019; AMIF, 2019; ASOLMEX, 2020). Sin embargo, es evidente la brecha entre lo disponible y lo aprovechado, e identificando que la energía eólica y solar han tenido el impacto.

Algunas metas para el proceso de transición energética indican que, para la modalidad de autoabastecimiento, para el año 2026 se deberán incorporar 10,228 MW en el escenario de planeación, con fuentes renovables de energía distribuidas de la siguiente forma: 81.6% (8,352 MW) en plantas eólicas, 7.36% (752 MW) con solar fotovoltaico, 6.9% (701 MW) con pequeña, mini y micro hidráulica y 4.1% (422 MW) con bioenergía. Por su parte, la participación de la generación distribuida, con base en las proyecciones elaboradas por la Secretaría de Energía, tendrá una incorporación en capacidad de 2,156 MW en el escenario de planeación, con 21.1% (461 MW) en plantas eólicas, 6.35% (139 MW) en pequeña, mini y micro hidráulicas, 54.8% (1,170 MW) en solar fotovoltaica, 15.8% (345 MW) en plantas operadas con bioenergía, 0.7% (16 MW) en solar de concentración y 1.15% (25 MW) en geotermia. El gran reto para México es la

búsqueda de soluciones para poder cubrir al menos el 34% de la energía que suministra el petróleo, y es aquí donde se establecen diversas políticas para iniciar acciones para el desarrollo de capacidades nacionales.

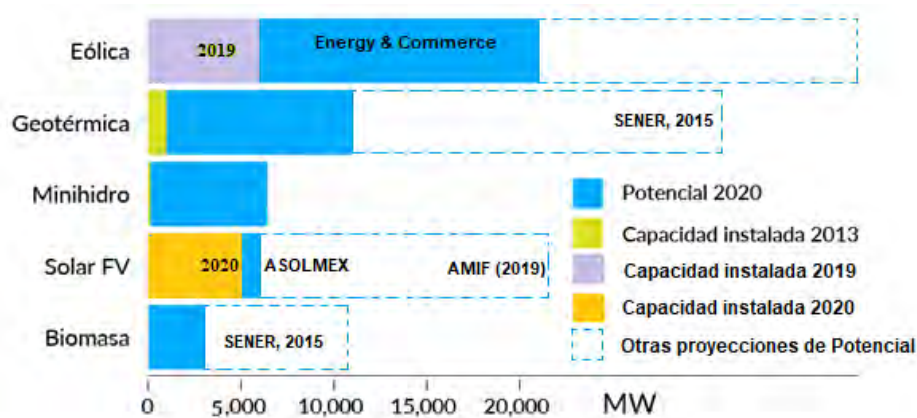


Figura 1. Situación actual de uso y potencial de las energías renovables en México

La actual administración federal ha establecido los Programas Estratégicos Nacionales, PRONACES (CONACYT, 2019), a través de los cuales atenderá problemáticas transversales, urgentes de atender y que requieren una solución integral, profunda y amplia. Dentro de ellos, ha definido la línea de “*Transición energética y cambio climático, con modelos tecnológicos de bajo consumo de energía aplicados a la ciudad y el campo*”, con los siguientes lineamientos:

- *Ahorro energético en el sector del transporte por medio de un transporte público electrificado de calidad, de limitaciones al uso del automóvil particular y de la ampliación de otros modos de transporte.*
- *Descarbonización gradual del uso y generación de la energía en el sector industrial mediante la sustitución de combustibles fósiles por fuentes de «calor verde» (biomasa y energía termosolar, entre otras), así como una mayor eficiencia energética que derive en una reducción absoluta del consumo total de energía.*
- *Impulso de fuentes renovables (fotovoltaica, termosolar, biomasa) para propósitos térmicos y eléctricos en los sectores residencial y comercial, así como eficiencia energética mediante el uso de equipos aptos para tal propósito, normas de aislamiento y ventilación en las edificaciones.*
- *Acciones para la eliminación de la pobreza energética, incluyendo el desarrollo de sistemas energéticos comunitarios basados en un menú amplio de recursos renovables (solar, eólica, biomasa, hidráulica, geotermia) y ecotecnologías de uso final (estufas eficientes, paneles solares, biodigestores, secadores y bombas).*
- *Democratización efectiva de la energía y de los beneficios de su aprovechamiento mediante una fuerte promoción a los «prosumidores» de energía, a través del impulso a cooperativas urbanas y rurales de producción distribuida comunitaria de energía, particularmente de electricidad.*
- *Medidas para alcanzar un sistema alimentario saludable, soberano y cada vez menos dependiente de los combustibles fósiles, mediante una transición agroecológica, la promoción de productos y mercados locales y el uso creciente de energías renovables.*

En este sentido CIATEQ A.C., y como parte del Sistema de Centros Públicos de Investigación (CPI) del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, CONACYT, se ha sumado a los esfuerzos y compromisos del Gobierno Federal, considerando que se trata de un tema relevante de trascendencia mundial. La institución fue creada en 1978, con un enfoque a la vinculación y desarrollo tecnológico con sector social, público y privado, atendiendo el sector de manufactura e industria, y que en los últimos 11 años ha incursionado fuertemente en la asimilación y desarrollo de tecnologías en energías renovables en México. Esta actividad inició con el desarrollo de proyectos vinculados bajo el modelo de innovación de la triple hélice (vinculación academia-gobierno-empresa), y que fueron derivando en la gestión de diversos fondos gubernamentales promovidos por los gobiernos en turno. En la actualidad se tienen facilidades sólidas para realizar investigación y desarrollo tecnológico en las líneas temáticas de energía solar, eólico, bioenergía, minihidráulica y eficiencia energética, en diferentes puntos del país.

## Materiales y Métodos

Se realizó la recopilación de información histórica de las actividades relacionadas con la temática de energías renovables, para lo cual se utilizaron los diferentes repositorios de información, así como la síntesis de diversos volúmenes de información escrita física y electrónica. Asimismo, se tienen metodologías para la gestión y desarrollo de proyectos de vinculación, proyectos de investigación e infraestructura soportados en la norma ISO-9001:2015 SISTEMAS DE GESTIÓN DE CALIDAD - REQUISITOS, así como procedimientos documentados para incorporar estudiantes, realizar alianzas, generar y difundir conocimiento y proteger propiedad intelectual. A continuación, se describe de forma breve la metodología utilizada por cada tema.

### *Proyectos de vinculación.*

La Institución realiza la vinculación de dos formas, la primera es la relación directa cliente/CPI, y la segunda Cliente/Gobierno/CPI. La primera se refiere a la vinculación directa con un cliente que tiene una necesidad específica de solución, para lo cual la institución realiza visitas o reuniones para acopiar información, prepara una propuesta técnico-económica, suscribe un convenio específico y desarrolla y entrega el proyecto de acuerdo con compromisos contractuales. La segunda opción solamente incluye de forma adicional a la vinculación directa, la gestión del cliente hacia una fuente de financiamiento gubernamental para complementar los recursos financieros para la ejecución de su proyecto; en este caso, la participación de la institución (CIATEQ) es más activa en la gestión de actividades con la fuente de financiamiento gubernamental para lograr un proyecto de innovación y desarrollo tecnológico exitoso.

### *Proyectos de investigación e infraestructura.*

La institución, de acuerdo con sus líneas estratégicas de investigación y desarrollo tecnológico, identifica opciones de financiamiento nacional o internacional. De tener opciones, se prepara una propuesta de investigación, se identifican aliados estratégicos y se aplica a la convocatoria. De tener resultados positivos, se integra el plan de trabajo, se asignan actividades y recursos financieros. Se pueden aplicar dos modalidades, la primera como responsable y la segunda como colaborador; en ambos casos la contribución de las instituciones típicamente es en especie aportando mano de obra de los investigadores.

### *Generación de conocimiento.*

Como resultado de los proyectos de vinculación directa o de investigación e infraestructura, se identifican tema para estructuración de documentos de difusión del conocimiento, con la salvedad de que, para proyectos de vinculación directa y por acuerdos contractuales con el cliente, se solicita autorización para realizar esta actividad y se acuerdan los términos de publicación. En proyectos de investigación, y con excepción de trabajos conjuntos con otros investigadores, el conocimiento generado es propiedad de CIATEQ.

### *Propiedad intelectual.*

Al igual que generación y difusión del conocimiento, la propiedad intelectual de proyectos de vinculación directa se acuerda contractualmente con el cliente sobre los derechos de autoría y explotación. En proyectos de fondos para investigación, la propiedad intelectual es de la institución. Al interior se tiene personal especialista que, junto con el personal técnico, identifican oportunidades de registros. De igual forma se tiene personal para dar seguimiento a temas de transferencia, siendo esta una tarea aún incipiente dentro de la institución.

### *Masa crítica y Formación de recursos humanos.*

Organizacionalmente, se creó una estructura básica para formalizar lo que se denominó la Coordinación de Reciclado y Energías Renovables (2010), que posteriormente se fortaleció y se transformó en la Gerencia de Energías Renovables (2013); esto permitió la estructuración del grupo de trabajo y la incursión en proyectos de vinculación y gestión de fondos diversos. En función de los proyectos, tanto vinculados como de investigación, y sin restricción, se pueden captar estudiantes en prácticas profesionales y para realizar trabajos de tesis; se incluyen desde personal técnicos, de licenciatura, maestría y Doctorado, hasta estudiantes en intercambio de otros países.

### Alianzas estratégicas.

Derivado del desarrollo de proyectos de investigación, se identifican instituciones relacionadas a la temática con quienes se suscriben convenios generales de colaboración y también convenios específicos con actividades bien definidas, y en algunos casos con recursos asignados. Se pueden establecer alianzas con otros centros públicos de investigación, con instituciones de educación superior o con empresas privadas.

### Resultados y Discusión

A través de 11 años de trabajo tomando como base proyectos vinculados con clientes, se ha logrado establecer una base sólida de recursos humanos especializados en el desarrollo tecnológico, así como infraestructura que incrementa las capacidades institucionales. Las diversas necesidades de clientes, permitió orientar esfuerzos a la consecución de diversos fondos de investigación, lo que desencadenó una serie de actividades. A este esfuerzo, se han sumado los requerimientos particulares de gobiernos estatales tales como Jalisco y Tabasco. Actualmente se tienen definidas las líneas de trabajo para el desarrollo de proyectos de investigación y desarrollo tecnológico, y que son las siguientes:

- Energía solar, termo solar y fotovoltaica;
- Energía eólica, en aerogeneradores de eje horizontal y vertical;
- Energía de la biomasa, en transformación termoquímica por pirólisis y gasificación y proceso de biodiesel;
- Energía del agua, en aprovechamiento de pequeñas corrientes de agua por minihidráulica.
- Eficiencia energética, en el consumo de energía eléctrica;

Las capacidades citadas se encuentran localizadas en Querétaro, Qro., en Cunduacán, Tab., y en Zapopán Jal., tal como se muestra en la Figura 2. En Querétaro y Tabasco, se tienen las facilidades de diseño y construcción donde los diferentes proyectos se pueden llevar desde el diseño hasta su construcción. En Querétaro se encuentran concentradas las mayores capacidades en energía eólica, en Jalisco, las mayores capacidades en energía solar y eficiencia energética y en Tabasco las mayores capacidades en Bioenergía y Minihidráulica.



Figura 2. Capacidades en energías renovables de CIATEQ en el país.

### Proyectos de vinculación.

A la fecha se ha realizado 15 proyectos de vinculación, la mayoría de ellos apoyados por algún recurso gubernamental y un porcentaje muy bajo con recursos propios de los clientes. Las líneas temáticas con mayor demanda han sido proyectos relacionados a energía solar (8 proyectos), y los restantes en energía eólica, aunque se han recibido

solicitudes de cotización en bioenergía, específicamente en producción de biogás. El monto contratado por los quince proyectos ha sido de \$ 2.9 MDD, de los cuales el 63.3 % correspondieron a proyectos eólicos y 35.5% a termosolar y fotovoltaica. En los proyectos de energía eólica, la mayor contribución la han tenido proyectos asociados al desarrollo de lo que se denomina la “Máquina Eólica Mexicana, MEM”, de 1.2 MW iniciado en 2009 (IIE, 2013); en proyectos termosolares, la mayor contribución ha sido en calentamiento de fluidos para la hibridación de procesos de alta demanda térmica; se registraron también dos proyectos que combina energía termosolar con paneles fotovoltaicos, un proyecto fotovoltaico/hidrógeno y uno de aprovechamiento de energía residual en calderas. Es importante destacar que, a partir de 2018 y a la desaparición de diversos fondos para la investigación y desarrollo tecnológico, se presentó una disminución drástica en el desarrollo de proyectos vinculados, relacionados a las temáticas de energías renovables.

### *Proyectos de investigación e infraestructura.*

En general, las capacidades de laboratorios en Energías Renovables en CIATEQ A.C., esta distribuidas en tres sitios como se indica en la figura 2 (*op cit*). Ahí se tienen espacios tales como naves, edificios y laboratorios donde se albergan los diferentes equipamientos (Figura 3). Se han gestionado cuatro proyectos para el desarrollo de aerogeneradores de eje horizontal y vertical de baja capacidad (menores a 50 KW), dos proyectos para integrar las líneas de solar, eólica, bioenergía, eficiencia energética, minihidráulica y dos proyectos de energía solar. Los recursos financieros gestionado han ascendido a un monto de \$ 6.14 MDD (2021), de los cuales el 34.6 % fue para proyectos en energía eólica, 44.4 % para proyectos integrales de solar, eólica, bioenergía, eficiencia energética y minihidráulica, y el 17.7 % en energía solar y almacenamiento; otros corresponden a un sistema híbrido eólico-solar. A continuación, se describen las facilidades particulares de cada laboratorio.



Figura 3. Instalaciones en Querétaro, Jalisco y Tabasco, Mex. (Escamilla-Martínez, A., 2020)

#### *a) Capacidades en energía Eólica:*

**Laboratorio de Diseño y Manufactura de aspas.** Aquí se realiza los diseños aerodinámicos, aeroelásticos y de procesos de manufactura, soportado en software especializado tal como Q-Blade, Airfoil, Focus y Ansys ACP (Figura 4). Esto permite realizar diseños estructurales innovadores, innovación en nuevos materiales, análisis de cargas bajo la norma IEC 61400-1 y diseño y análisis de zonas críticas de las aspas (raíz, punta, sistema de descargas atmosféricas). Con respecto a la manufactura de aspas, se tiene equipo especializado para el proceso de transferencia de resina asistida por vacío (VARTM), que incluye: dispensador de resina, bombas de vacío, sopladores-calentadores, entre otros. Por último, en este laboratorio se tiene la capacidad para el diseño y la manufactura de modelos maestros, de moldes (conchas aerodinámicas, larguero principal y refuerzos del borde de ataque y borde de salida) y de herramientas de fabricación, que incluyen su verificación dimensional (Figura 5). El laboratorio también incluye una cabina para pintura y reparación de defectos en la fabricación, la inspección de calidad de manufactura por métodos de inspección mediante termografía y ultrasonido por arreglo de fases.

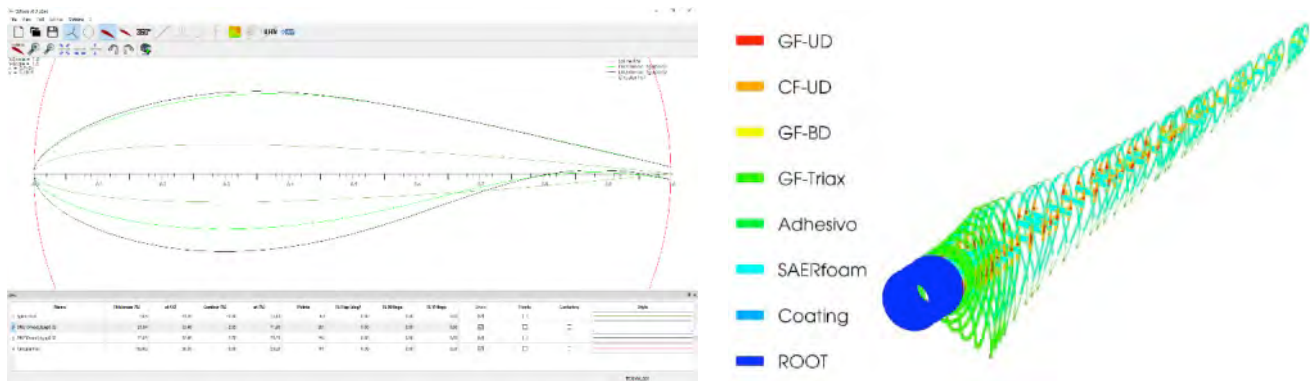


Figura 4. Análisis aeroelástico y aerodinámico de aspas (Hernandez-Arriaga, I., 2019a)

Se dispone también de un túnel de viento de fabricación local, Modelo SD-45S, con las siguientes características:

- Sección de prueba 0.45m x 0.45m x 1.2m, Alimentación 220V CA;
- Velocidad máxima 45 m/s;
- Longitud total 5.5 m, peso 290 kg
- Número de Reynolds nominal para un modelo de perfil con 15.2 cm de cuerda  $4.5 \times 10^5$ ;
- Incluye 1 tubo de Pitot de 18", 1 manómetro diferencial analógico;
- Balanza Aerodinámica de 3 Componentes Modelo3F-SP12 para túnel SD-45S

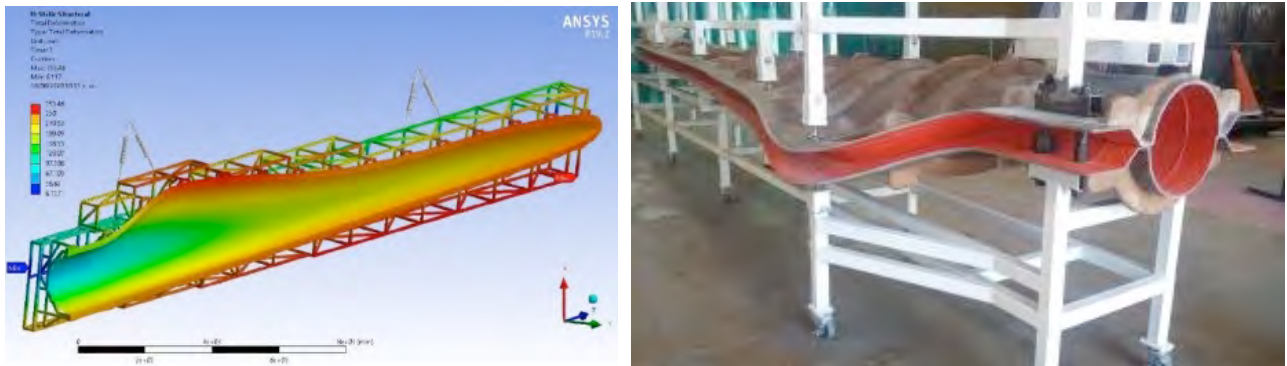


Figura 5. Diseño y manufactura de moldes (Hernández-Arriaga, I., 2009b)

**Banco de Pruebas Mecánicas de Aspas.** Permite la realización de pruebas en aspas de hasta 14.5 m de longitud, y su objetivo es validar los diseños y la manufactura de los fabricantes (Figura 6). Los tipos de pruebas que se pueden realizar son: medición de propiedades, pruebas estáticas y pruebas de fatiga. Dentro de la medición de propiedades se encuentran: frecuencias naturales, coeficientes de amortiguamiento, centro de gravedad y peso. Dentro de las pruebas estáticas se encuentran: centrifugas (carga estática en el eje axial del aspa) y flexión y dentro de las pruebas de fatiga se encuentran: resonancia por actuador y excitación biaxial (*flap-* y *edge-wise*) y/o torsional. Actualmente está en proceso de diseño e implementación un cubo de reacción (banco de pruebas) de concreto para la prueba de aspas hasta de 30 m.

**Laboratorio de Energía Eólica para Ambientes Urbanos y Laboratorio de Evaluación de Recurso Eólico.** Incluyen equipo para la medición de parámetros medioambientales y software para la evaluación del recurso eólico; se tiene instalada una torre anemométrica de 20 m en Zapopan, Jalisco y otra en Cunduacán (30 m), Tabasco (Figura 6). Aquí se han instalado anemómetros THIES Clase I, veletas, un barómetro K611P, un sensor de temperatura y humedad Galtec KPC. Se tiene también un Data Logger CR1000X Campbell con software de procesamiento de Datos, y el software de evaluación del recurso eólico OPENWIND. El laboratorio se complementa con dos aerogeneradores de eje vertical, cada uno de 1 kW, uno comercial y otro de diseño propio, ambos del tipo Darrieus-Savonius.

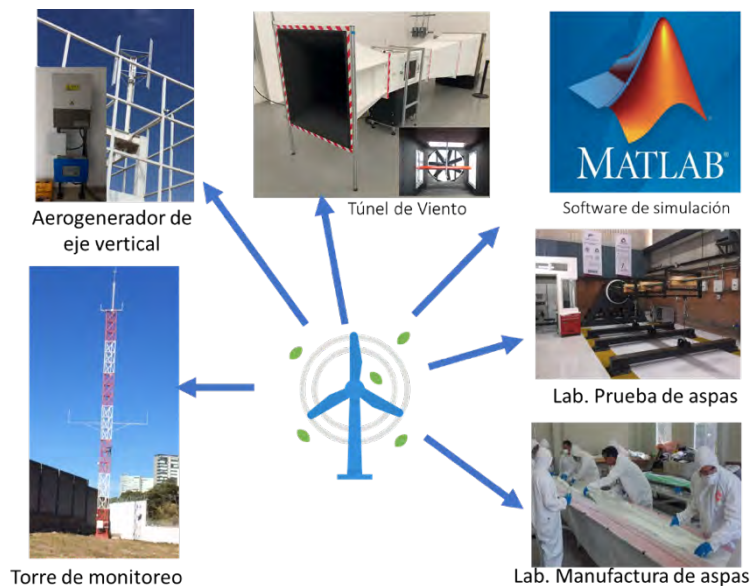


Figura 6. Capacidades de la línea de energía eólica

*b) Energía solar*

Los laboratorios de energía solar, en su parte termosolar y fotovoltaica se encuentran localizados en Zapopan, Jal., y en Cunducacán, Tab., (Figura 7). Estos incluyen los siguientes equipos e instrumentos: una estación solarimétrica, emisómetro térmico, analizador de potencia, sistema termosolar, seguidor solar, calibrador de temperatura y de presión, estación meteorológica, sistema fotovoltaico de 5 kW interconectado, sensores de flujo para agua y aceite. Incluye también una cámara termográfica FLIR para análisis de equipos y procesos térmicos, ya sea mediante energía solar o energía convencional, un medidor de radiación solar, para medición de recurso y caracterización de procesos que involucran energía solar, y medidor portátil de sombreado para determinar el impacto de sombras en sitio y prospectar generación de sistemas solares; adicionalmente se incluye software para la simulación de procesos energéticos termosolares, como el TRNSYS, que permite diseñar, analizar y optimizar procesos energéticos que involucren distintas fuentes (solar, eólica e hidrógeno, entre otras); otra herramienta es PVSYST, que permite el estudio, dimensionamiento, simulación y análisis de sistemas fotovoltaicos completos, ya sea como nuevas plantas de generación o cómo sistemas ya instalados.

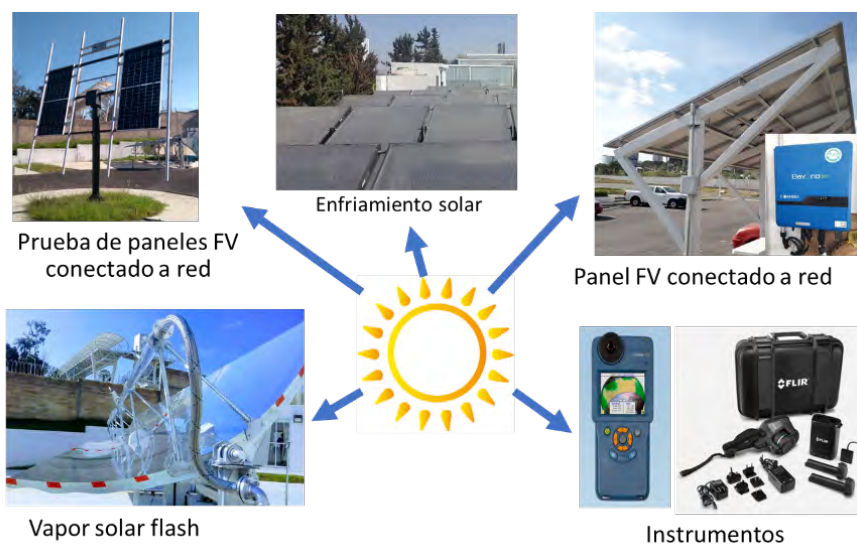


Figura 7. Facilidades en energías solar

### c) Bioenergía

El laboratorio de bioenergía incluye las siguientes facilidades (Figura 8): Equipo experimental para pirolisis de biomasa por microondas, baja temperatura y magnetrón de 12 kW para conversión de cualquier material “carbonoso” con potencial energético a combustible líquido; un equipo piloto para producción de biodiesel por transesterificación SOLVEN MB-400 de 440 lts/día, con reactor de acero inoxidable de 150 lts, columna de purificación, sistema de agitación de 1 hp, sistema de calentamiento de 5 kW hasta temperaturas de 150 °C, bomba neumática de 20 lt/min, bomba centrífuga, e intercambiador de calor. Incluye también un gasificador de biomasa de flujo descendente, marca GEK TOTTI de 10 kw-20 kW para generación de energía eléctrica con receptor de biomasa peletizada o a granel y un reactor, una unidad de limpieza de gases y unidad de conversión de gases a potencia mecánica por motor de combustión interna y energía eléctrica (motogenerador), que puede producir electricidad a 120 y 240V, con consumo de 12 kg de biomasa/hr. Un cromatógrafo de gases modelo 7890B marca Agilent Technologies para determinar propiedades en bioetanol, biodiesel y compuestos asociados a ellos. Adicionalmente se tiene equipo básico para trituración de biomasa seca, con un molino de martillos de 5 hp, así como una briqueteadora portátil de 5 hp.

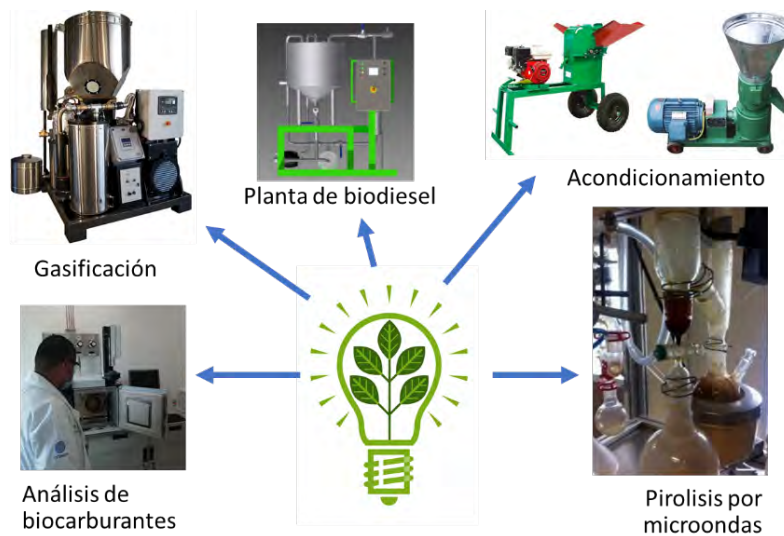


Figura 8. Facilidades del laboratorio de bioenergía

### d) Minihidráulica

El sistema de generación de energía por medio de minihidráulica está conformado por dos circuitos que permiten la operación de dos tipos de turbinas, Kaplan y Pelton (Figura 9); la turbina Kaplan genera la energía mediante la caída de agua en una altura de 1.5 metros, requerimiento mínimo para generar una fuerza en el vórtice que genera el impulso en la turbina, generando 110 v de corriente alterna. La operación de la turbina Pelton se realiza mediante la recirculación del agua en un circuito de tubería de 2”, e impulsada por una bomba vertical de 5 H.P; el caudal se controla mediante una válvula manual. El sistema incluye también un caudalímetro y un indicador de presión que permite verificar y registrar diversas condiciones de operación de la turbina, la cual puede generar 24 VDC y tres fases de corriente alterna 220 VCA, trifásica. Todo el sistema se alimenta desde un tanque 5,000 litros de agua que permite el suministro continuo, y un sistema de 8,000 litros que simula la caída de una cascada.

### e) Eficiencia energética:

Este laboratorio tiene la capacidad de realizar diagnósticos de calidad de energía y su análisis, así como la mejora de la eficiencia energética en instalaciones eléctricas, permitiendo la identificación y localización de fallas. Se trata de análisis metódicos para determinar los consumos eléctricos en un periodo de tiempo específico en diferentes puntos clave dentro una instalación eléctrica residencial, comercial o industrial, lo que permite detectar usos significativos de la energía eléctrica (USEE). El análisis permite que una vez detectados los USEE se puedan ofrecer opciones para incrementar el rendimiento del consumo de energía con los consecuentes ahorros económicos y los beneficios

ambientales inherentes, (Figura 10). El laboratorio incluye un banco de pruebas de motores eléctricos con freno electromagnético, acoplamiento para prueba de generadores, y control de velocidad para simulación de variaciones de carga. Incluye un simulador de microrredes eléctricas que permite el análisis de diferentes elementos de generación, consumo y almacenamiento de energía, en operación independiente o coordinada con otra red eléctrica; incluye también un equipo para monitoreo de instalaciones y un equipo para medición de calidad de la energía.

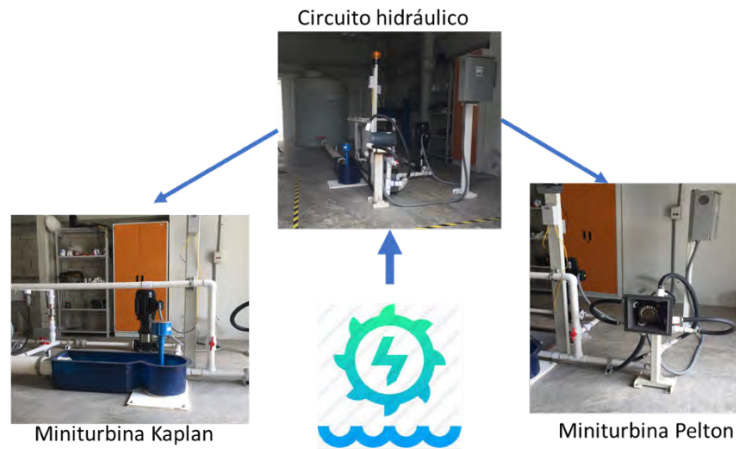


Figura 9. Facilidades de laboratorio en minihidráulica



Figura 10. Facilidades de laboratorios en eficiencia energética

### *Generación de conocimiento y propiedad intelectual.*

La generación de conocimiento ha sido moderada, pero equilibrada, en un nivel básico, intermedio y avanzado, publicando trabajos de ingeniería, de desarrollo tecnológico y de investigación aplicada. La razón fundamental de ellos es que la mezcla de actividades de la institución se orienta desde siempre a la vinculación con el sector productivo, a través del desarrollo de proyectos, con los cuales se generan parte de los recursos financieros para la operación. Desde 2010 a la fecha se han publicado 26 artículos, donde el 80 % han sido en energía eólica, 15 % en energía solar, y solo una publicación de un sistema híbrido eólico/solar; solamente el 23 % han sido publicaciones internacionales. En lo referente a libros, solamente se ha participado en un capítulo relacionado al tema de diseño de aspas para

aerogeneradores de baja potencia. En propiedad intelectual, a la fecha se han registrado 5 patentes nacionales, aun sin otorgamiento, 3 en sistemas eólicos y dos en energía solar.

#### Masa crítica y Formación de recursos humanos.

El desarrollo de proyectos de vinculación y de investigación, permitió la evolución del grupo de 2010 a 2021, iniciando de forma incipiente con personal de doctorado y licenciatura. A partir de ahí, y a la formalización del grupo de energías renovables en la institución, se ha logrado conformar un grupo de 19 investigadores, trabajando en las diferentes líneas y locaciones en el país (Figura 11).



Figura 11. Evolución del grupo de trabajo en Energías Renovables

Asociado al crecimiento del grupo de trabajo y a los proyectos, a través del tiempo se ha atendido a estudiantes de licenciatura, maestría y doctorado, así como una cantidad importante de practicantes. Se han atendido un total de 20 tesis, de los cuales 12 son de licenciatura, 6 de Maestría y 2 de doctorado; el 90% de ellos ha sido en temas de energía eólica y el resto en energía solar. En cuanto a practicantes en periodos de estancias industriales, se han atendido a más de 60 estudiantes nacionales y 5 internacionales (Alemania, Polonia, Turquía y Marruecos).

#### Alianzas estratégicas.



Figura 12. Alianzas estratégicas principales

A continuación, se describen las alianzas realizadas (Figura 12):

*Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias, INEEL.* Se tiene colaboración desde 2010 con el desarrollo de ingeniería para el sistema de transmisión de potencia de una máquina eólica de 1.2 MW; la relación ha continuado con proyectos de la iniciativa de SENER-CONACYT de los Centros Mexicanos de Innovación en Energía (CEMIE) Eólica, desarrollando capacidades nacionales para la asimilación, formación de capital humano y desarrollo tecnológico en turbinas eólica de mediana y baja potencia. Actualmente, se continua la relación de colaboración con el desarrollo de un aspa de 30 metros de longitud y con la construcción de un bloque de reacción para ensayos mecánicos de aspas de este tamaño.

*Instituto de Investigación en Energías Renovables de la UNAM.* Dentro del proyecto CEMIE Solar, se desarrolló e implementó un sistema de enfriamiento solar a través de paneles solares planos. También se realizaron pruebas de pirolisis de pet utilizando un horno solar de alto flujo radiativo.

*Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) de España.* Se inicio la colaboración con este Centro desde el año 2014 para la asesoría en la realización de ensayos de pequeños aerogeneradores y ensayos mecánicos de aspas de aerogeneradores de hasta 10 metros de longitud. En el año 2018 se firmó un convenio general de colaboración con este Centro para trabajar en las temáticas no solo de energía eólica sino de varias energías renovables. En el 2019 este Centro realizó una visita técnica a CIATEQ para la puesta en operación del banco de pruebas mecánicas para aspas de 14 metros de longitud.

*Centro Nacional de Energías Renovables (CENER) de España.* Se tiene colaboración con este Centro desde el año 2017 en la temática de energía eólica, en particular con el desarrollo de un aspa de 30 metros de longitud, este Centro fungió con asesor tecnológico en el proceso de diseño y certificación del aspa y en los procesos de manufactura y ensayos mecánicos de aspas de estas longitudes.

*NABRA WIND TECHNOLOGIES.* La colaboración con esta empresa comenzó en el año 2017 y de la misma manera que el CENER, se ha colabora con el desarrollo de un aspa de 30 metros de longitud, esta empresa fungió con asesor tecnológico en el proceso de diseño y fabricación de moldes y herramientas para la manufactura del aspa de estas longitudes.

*Red de Energía Eólica para la Generación Distribuida en el Ámbito Urbano (REGEDIS).* Esta Red Temática dio inicio en el año 2018, aquí se coordinan varios grupos de investigación y empresas pertenecientes a 13 países Iberoamericanos, para facilitar el desarrollo de los sistemas eólicos distribuidos (tanto aislados como integrados en la red eléctrica) en entorno urbano, periurbano y rural, para el uso residencial, comercial e industrial, mediante el intercambio de conocimiento y experiencias. CIATEQ participa y coordina dos grupos de trabajo (Tecnología Eólica de Pequeña Potencia y Calidad) con 4 investigadores.

*CIO y CIATEJ.* Ambos son centros pertenecientes a la red de centros públicos del CONACYT en México. Se tiene colaboración directa con ellos desde 2018; con CIO se atiende la línea de energía termosolar, específicamente en el diseño de captadores solares parabólicos, y con CIATEJ, se atiende la línea de bioenergía, específicamente para la caracterización energética de biocarburantes de alto desempeño.

Aun cuando no se tienen los datos actualizados y únicos del potencial energético del país, es evidente la amplia disponibilidad de energía extraíble de las fuentes renovables. De igual forma, a pesar de los cambios sucedido en las políticas energéticas actuales, respecto a las decisiones del pasado, la problemática del calentamiento global del planeta es un asunto de orden mundial, y lo más grave es que ya es urgente de atender. En administraciones federales pasadas, se dio un fuerte impulso a iniciativas para la creación de facilidades para la investigación, el desarrollo tecnológico y la formación de recursos humanos, lo que permitió sentar las bases para avanzar hacia la transición energética en beneficio del país y del planeta. Con las facilidades creadas en CIATEQ A.C., se está en posibilidades de potencializar la asimilación y desarrollo de tecnología nacional, orientando los esfuerzos hacia grandes proyectos que se puedan implementar de manera inmediata, aprovechando todos los recursos disponibles y promoviendo el aprovechamiento de fuente renovables que se han explorado poco, tales como la energía de la biomasa o la mini y micro hidráulica.

## Conclusiones

Como resultado de acciones y políticas previas a la administración actual, el Gobierno Federal mexicano ha tenido una contribución fundamental al fortalecimiento de la creación de facilidades para la asimilación, formación de capital humano y desarrollo de tecnológico en energías renovables, lo que se ha reflejado en la creación de diversas capacidades implementadas en diferentes puntos del país. Esto ha permitido fortalecer actividades de vinculación y reconocimiento de necesidades, identificando que las mayores oportunidades detectadas con clientes han sido en proyectos de energía termosolar, para aplicaciones de calentamiento de fluidos de mediana temperatura, donde se combina la energía solar con una fuente convencional de energía tal como gas o electricidad. Asimismo, se ha identificado grandes oportunidades de desarrollo tecnológico con clientes muy localizados en energía eólica, y orientados hacia el desarrollo de un proyecto emblemático mexicano (Máquina Eólica Mexicana, MEM), lo que ha representado importantes ingresos y generación de conocimiento. Por otro lado, y siendo una parte fundamental para

promoción y difusión de las bondades de estas energías, se ha identificado que el desarrollo de proyectos con clientes ha estado impulsado fundamentalmente por la aportación de apoyos federales o estatales. Las mayores contribuciones en difusión y protección del conocimiento han sido para los temas de energía eólica y energía termosolar, y a aun cuando la inversión supera los ingresos (\$6.14/\$2.9) del proyecto global, el impacto se ha fortalecido con la vinculación con el sector gubernamental y productivo, la formación de recursos humanos y la difusión del conocimiento, habiendo quedado sentadas las bases para el emprendimiento de más y mejores proyectos. Las alianzas más importantes dada su contribución técnica, han provenido de España, fundamentalmente en la línea de energía eólica, para el desarrollo de aerogeneradores de eje horizontal de pequeña y mediana capacidad. Como resultado de todo este esfuerzo, se ha logrado la formación de recursos humanos y la generación de propiedad intelectual directamente asociados a proyectos de investigación, esto debido a que, en proyectos vinculados a clientes privados, existen restricciones contractuales que limitan esta actividad.

## Bibliografía

- Arnell, N. W., Lowe, J. A., Challinor A. J., Osborn T. J. 2019. Global and regional impacts of climate change at different levels of global temperature increase. *Climatic Change* (2019) 155:377–391; <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02464-z>
- Becker, G. 2018. Climate Change Education for Sustainable Development in Urban Educational Landscapes and Learning Cities. Experiences and Perspectives from Osnabrück. UmweltBildung für nachhaltige Entwicklung Osnabrück (UBINOS) c/o Universität Osnabrück Kolpingstr. 7, 49069 Osnabrück, Germany.
- CMDS-ONU. 2002. Cumbre de Johannes Burgo 200. Cumbre Mundial Sobre el Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/spanish/conferences/wssd/documents.html>.
- Rehbein, J. A.; Watson, J. E.; Lane, J. L. 2020. Renewable energy development threatens many globally important biodiversity areas. *Global Change Biology*. <https://doi.org/10.1111/gcb.15067>.
- Ghimire, L. P., & Kim, Y. 2018. An analysis on barriers to renewable energy development in the context of Nepal using AHP. *Renewable energy*, 129, 446-456.
- Demirbas, A., Kabli, M., Alamoudi, R. H., Ahmad, W., & Basahel, A. 2017. Renewable energy resource facilities in the Kingdom of Saudi Arabia: Prospects, social and political challenges. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*.
- García Alcocer, G. I. 2019. La transición Energética hacia las tecnologías limpias: Un motor para el desarrollo de México. Instituto de Investigaciones Jurídicas de la UNAM.
- UNITED NATIONS Climate Change. 2015. ¿Que es el acuerdo de Paris? <https://unfccc.int/es/process-and-meetings/the-paris-agreement/que-es-el-acuerdo-de-paris>.
- IMCO. 2016. México ratifica el acuerdo de París sobre el cambio climático. Centro de Investigación Política. <https://imco.org.mx/mexico-ratifica-el-acuerdo-de-paris-sobre-el-cambio-climatico/>.
- CIDAC. 2015. Los obstáculos de la transición energética". <http://cidac.org/los-obstaculos-de-la-transicion-energetica/>.
- SENER, AMDEE, BID. 2012. Iniciativa para el desarrollo de las energías renovables en México, Energía Eólica. Gobierno Federal, Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía, Méx.
- Energy & Commerce. 2021. Potencial de la energía eólica en México 2021. <https://energyandcommerce.com.mx/potencial-de-la-energia-eolica-en-mexico-2021/>
- Statista Research Department. 2021. México: Capacidad Instalada de energía solar 2011-2020. <https://es.statista.com/estadisticas/1238183/capacidad-instalada-energia-solar-mexico/#:~:text=La%20capacidad%20instalada%20para%20la,1%25%20en%20relaci%C3%B3n%20a%202019.>
- ASOLMEX. 2020. Asociación Mexicana de México alcanza 5,510 MW de capacidad fotovoltaica instalada: Asolmex. Global Energy. <https://globalenergy.mx/noticias/alternativas/mexico-alcanza-5510-mw-de-capacidad-fotovoltaica-instalada-asolmex/>.
- SENER. 2015. Prospectiva de Energías Renovables 2016-2030. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/177622/Prospectiva\\_de\\_Energias\\_Renovables\\_2016-2030.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/177622/Prospectiva_de_Energias_Renovables_2016-2030.pdf)
- CONACYT. 2019. Programas Nacionales Estratégicos. <https://conacyt.mx/pronaces/pronaces-energia-y-cambio-climatico/>.
- González-Galarza, R.; Franco Nava, J. M., Torres. 2013. Desarrollo de la Máquina Eólica Mexicana en el IIE: proyecto MEM. *Boletín IIE*, Escamilla Martínez, A.2020. "Propuesta para la implementación del Centro de Tecnología e Innovación en Energías Renovables del Estado de Jalisco". Fondo Mixto CONACYT-JAL JAL-2016-02-01-278982. Responsable Técnico. 2016-2020, CIATEQ A.C. Informe técnico final.
- Hernández Arriaga, I. 2019a. Desarrollo de aspas para pequeños aerogeneradores (hasta 50 kW). Proyecto 206842 CEMIE-Eólico. Fondo sustentabilidad Energética SENER-CONACYT. Informe Técnico final.
- Hernández Arriaga, I. 2019b. Diseño del prototipo de aspas para la MEM de 1.2 MW, su certificación y asesoría durante la fabricación. Banco Interamericano de Desarrollo (BID)-INEEL. Informe Técnico final.