

Plan integral para el desarrollo de las energías renovables en México 2013-2018

Propuesta de escenarios y acciones necesarias para su desarrollo



Mediante la elaboración de la propuesta “Plan integral para el desarrollo de las energías renovables 2013-2018”, PwC en colaboración con Climate Works Foundation, Iniciativa Mexicana para las Energías Renovables (IMERE) y el World Wildlife Fund (WWF), pretende realizar su aportación a la integración definitiva de las energías renovables dentro de la matriz energética mexicana y, en concreto, dentro del sistema eléctrico nacional (SEN). Esta aportación se plasma en la generación de escenarios costo competitivos de participación de las energías renovables, los beneficios socioeconómicos y medioambientales asociados así como las acciones necesarias para su cumplimiento.

La prestación del servicio público de energía eléctrica se rige por los criterios de eficiencia económica (la generación que resulte de menor costo para la Comisión Federal de Electricidad), sostenibilidad medioambiental (considerando las externalidades ambientales) y de seguridad energética (estabilidad, calidad y seguridad), según se establece en el artículo 36 de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica (LSPEE). Fuera del servicio público las actividades de Autoabastecimiento, Cogeneración Eficiente, Pequeña Producción y Productor Independiente deben de cumplir estos mismos requisitos a fin de garantizar la sostenibilidad del sistema. Junto a esto, existe el compromiso de alcanzar el 35% de la generación de energía eléctrica en 2024 a través de energías limpias, según el artículo transitorio 2º de la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE).

Como consecuencia de lo anterior, y considerando que la participación de estas energías en la generación eléctrica en la actualidad es de tan sólo el c.20%(sin considerar grandes hidráulicas y nuclear este valor se ubica en torno a un c.4%), es necesario realizar una profunda reflexión acerca de las alternativas más eficientes que permitan alcanzar los objetivos definidos de una manera sustentable y competitiva para el país.

México vive en la actualidad un momento clave para el desarrollo del país, la nueva administración federal busca hacer de la reforma energética uno de los elementos fundamentales del motor de la economía nacional en los próximos años. La presente propuesta pretende ilustrar a los agentes públicos del nuevo gobierno federal, a los gobiernos estatales y municipales, así como al sector privado y al público en general, los escenarios plausibles de desarrollo, sus beneficios en términos socioeconómicos y medioambientales, así como las acciones necesarias para el impulso definitivo al sector energético renovable en el país.

Antonio Martínez Dalmau

Director

El presente documento y la visión integral de las energías renovables fue elaborado por PwC junto con Climate Works Foundation, la Iniciativa Mexicana para las Energías Renovables (IMERE) y el World Wildlife Fund (WWF). Adicionalmente los análisis individuales y propuestas de acción son el resultado de más de un año de trabajo en estudios a nivel nacional para la Asociación Mexicana de Energía Eólica, la Asociación Mexicana de Energía Hidroeléctrica y la Secretaría de Energía, estudios que han contado con el apoyo del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), la Corporación Financiera Internacional (IFC por su siglas en inglés) y el Programa de Apoyo al Desarrollo Bajo en Emisiones de México (USAID/México).

Adicionalmente, se ha contado con la participación, a través de entrevistas y/o reuniones de trabajo de más de 70 agentes del sector público y privado, a los que agradecemos de manera sincera el tiempo prestado.

Resumen Ejecutivo

México dispone de un potencial renovable indiscutible, con un amplio porfolio de recursos (eólico, solar, geotérmico, biomasa e hídrico) además de la cogeneración eficiente. En la actualidad ya existe en el país potencial renovable competitivo, como lo demuestran los precios pagados en la licitación de la CFE por los parques eólicos de Oaxaca, la capacidad geotérmica instalada o la producción de biogás a partir de rellenos sanitarios en Nuevo León. México es por tanto una opción viable, rentable y atractiva para la industria renovable mundial, que mira cada vez con mayor interés a este país.

A través de una serie de detallados análisis técnicos, económicos y regulatorios, así como de entrevistas y reuniones con más de 70 agentes del sector renovable en el país, se ha estimado que un **Escenario Competitivo**, en el que se instalasen más de **18,000 MW renovables y de cogeneración eficiente a 2018** en el país, generaría una apuesta decidida de nuevas inversiones por parte del sector privado y contribuiría a la vertebración y desarrollo social de las distintas regiones con recurso competitivo. El escenario señalado generaría un **incremento del PIB de cerca de más de 230,000 MDP**, equivalente a cerca del **2,0% del PIB del año 2011**, generando **en torno a 147,000 empleos**. En términos medioambientales su aprovechamiento situaría **la participación de las energías limpias¹ en el 29% de la capacidad de generación en 2018 y mitigaría la emisión de 21 MtCO₂** (adicionales al escenario actual).

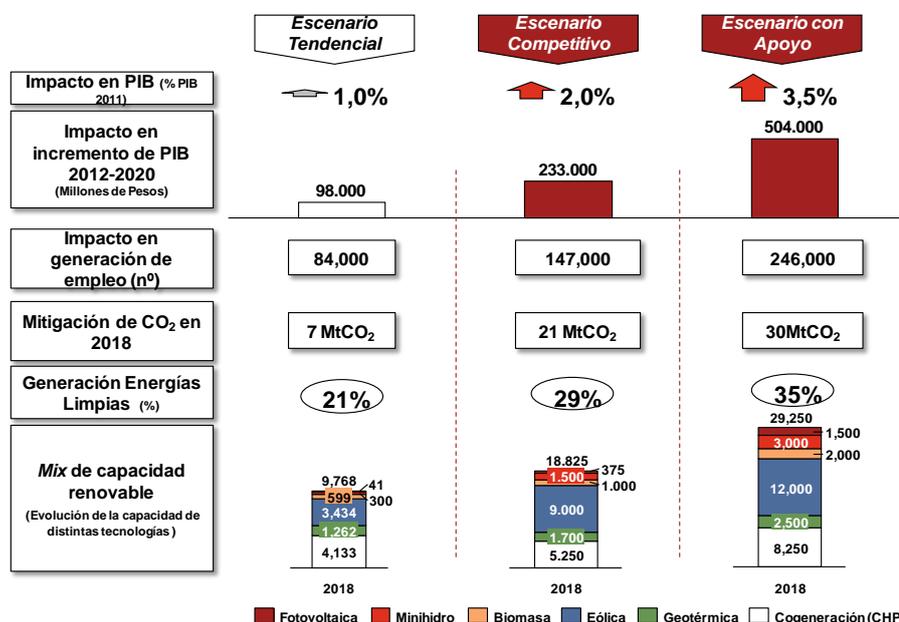


Figura 1: Escenarios de aprovechamiento de las energías renovables a 2018, PwC

¹ Energías limpias incluye tanto a las energías renovables como a las grandes hidroeléctricas y la energía nuclear, según el marco regulatorio actual. La capacidad instalada de estas dos últimas tanto en el escenario competitivo como en el escenario con apoyo se mantienen según valores tendenciales de la planificación de la CFE, según documento POISE 2011-2025

En una propuesta aún más ambiciosa, bajo un **Escenario con Apoyo** de mecanismos de financiación internacional, **el impulso a las renovables podría duplicar los beneficios en materia económica y de empleo.**

Cabe señalar que el desarrollo del sector renovable podría generar impactos positivos adicionales sobre la industria nacional, con la atracción de un nuevo sector manufacturero, como en su momento lo fue el automotriz y más recientemente el aeroespacial.

El próximo gobierno del Lic. Peña Nieto se encuentra ante un momento clave para el impulso de un sector, que si bien ha crecido de manera significativa en los últimos años, necesita un impulso definitivo que permita dotar a México de un componente sustentable y competitivo dentro de la política energética del país.

Este impulso se debe de enmarcar dentro de la ambiciosa agenda de reforma energética que el próximo gobierno persigue como motor decisivo de desarrollo para el país.

Para asegurar este esfuerzo es necesario llevar a cabo una serie de acciones, dentro de las cuales cabe destacar 5 fundamentales:

- i. **Establecimiento de objetivos con una senda de crecimiento gradual y sostenido:** Con el fin de que el sector privado apueste de manera decidida por el sector renovable de México, es necesario que el gobierno defina metas anuales de nueva capacidad, por tecnología, con una visión hasta 2020.
- ii. **Modificación de la metodología de contraprestaciones de pequeña producción y compra excedentes:** La pequeña producción es vista por gran parte de los agentes del sector como el vector de crecimiento e impulso de la energía renovable más viable en el corto plazo más. Se debe de reformar el actual sistema de contraprestaciones y definir un mecanismo de subastas que atraiga la inversión. Asimismo, la compra de excedentes por parte de la CFE a precios competitivos es una herramienta clave para el impulso de la cogeneración eficiente.
- iii. **Impulso al desarrollo de redes de transmisión:** Tan sólo en los estados de Oaxaca, Puebla, Tamaulipas y Baja California existen más de 5,000 MW en proyectos eólicos pendientes de conexión de red. Si finalmente estos proyectos se llevan a cabo supondrán inversiones por más de 130,000 MDP. Se deben de establecer nuevos mecanismos para el desarrollo de la red que no impacten en las cuentas del Estado ni carguen sobre los proyectos costos ajenos a su naturaleza.
- iv. **Modificación de la metodología de cálculo del costo nivelado para la planeación del sistema:** Lo establecido en la legislación actual en referencia a la obligatoriedad de incluir en la planeación del sistema eléctrico el costo de las externalidades debe de trasladarse a las metodologías utilizadas por la CFE para la planeación del servicio público, a fin de que se reflejen los costos reales de las energías renovables.
- v. **Fortalecimiento de otros elementos clave del marco regulatorio:** Entre otras, debe de hacer una reforma de la Ley de Aguas Nacionales que otorgue certeza jurídica y seguridad a las inversiones en el sector de la geotermia. De igual modo es necesario profundizar en mecanismos de aprovechamiento de la biomasa, en base a la Ley de Bioenergéticos.

Índice

1. Introducción: Situación tendencial a 2018.....	7
<hr/>	
<i>Variables para definir la participación de las energías renovables en la matriz de generación</i>	<i>9</i>
<hr/>	
2. México, un país con una mezcla de recursos renovables únicos	10
3. La competitividad de los recursos mexicanos	18
4. La diversificación como elemento de seguridad y sustentabilidad energética ...	25
5. El rol de las energías renovables en el SEN	29
6. La generación de riqueza y empleo asociado a las energías renovables	32
<hr/>	
<i>Escenarios de participación de las energías renovables a 2018</i>	<i>38</i>
<hr/>	
7. Escenarios propuestos a 2018	38
8. Aproximación a la necesidad de apoyo internacional en un escenario más ambicioso.....	39
<hr/>	
<i>Acciones necesarias para el cumplimiento de objetivos</i>	<i>42</i>
<hr/>	
i. Establecimiento de objetivos con una senda de crecimiento gradual y sostenido	42
ii. Modificación de la metodología de contraprestaciones de pequeña producción y compra de excedentes	43
iii. Impulso al desarrollo de redes de transmisión	45
iv. Modificación de la metodología de cálculo del costo nivelado para la planeación del sistema	48
v. Fortalecimiento de otros elementos clave del marco regulatorio y otras medidas	49

1. Introducción: Situación tendencial a 2018

La planificación del Sistema Eléctrico Nacional (SEN) elaborada por la CFE estima alcanzar el objetivo de generar el 35% de la electricidad a partir de energías limpias (se incluyen en este apartado la generación nuclear e hidroeléctrica convencional) en 2024, en línea con lo establecido en la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE)².

Ahora bien, como se puede observar en la figura a continuación (izquierda) la capacidad necesaria para cumplir con el objetivo de generación limpia presenta un crecimiento muy significativo a partir de 2020, la generación limpia pasaría entonces de representar aproximadamente un 25% a un 35% en los últimos 4 años del periodo.

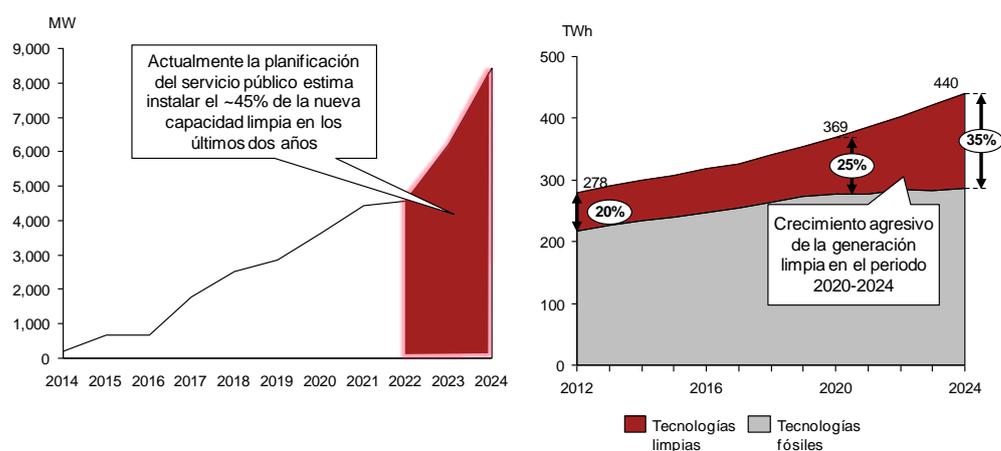


Figura 2: Evolución de la nueva capacidad de generación de tecnologías limpias planificadas (izquierda) y generación total (derecha) 2012-2024; CFE, PwC

Lo anterior conlleva ciertos riesgos:

1. La falta de visibilidad de objetivos a corto y medio plazo sin una senda de crecimiento desincentiva a inversionistas a desarrollar proyectos y, de manera consecuente, al establecimiento de una industria asociada a las energías renovables.
2. Desarrollar gran parte de la capacidad necesaria en los últimos años del periodo, implica que las posibles incidencias en la planificación o construcción del parque retrase la puesta en operación del mismo poniendo en riesgo el cumplimiento de los objetivos en el año fijado.

Es por ello que se deben definir escenarios a más corto plazo, en base a lo establecido en LAERFTE sobre la necesidad de “establecer metas de participación de las energías renovables en la generación de electricidad, las cuales deberán aumentar gradualmente sobre bases de viabilidad económica y potencial técnico existente (...)”³, que permitan dar visibilidad estratégica al sector y generen confianza en los inversionistas, aseguren el cumplimiento de los objetivos establecidos y permitan capturar en el menor tiempo posible los recursos renovables competitivos con los que cuenta el país.

Considerando el momento sociopolítico que atraviesa el país, con el cambio de gobierno federal, tiene sentido que dichos objetivos se establezcan con horizonte 2018 coincidiendo con el fin del sexenio y a medio camino del 2024.

² Artículo transitorio 2do

³ Artículo 11

**El potencial y valor de las energías renovables:
¿Cuáles son las variables para definir su participación en el Sistema Eléctrico Nacional?**

VARIABLES PARA DEFINIR LA PARTICIPACIÓN DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN LA MATRIZ DE GENERACIÓN

¿Cómo valorar la incorporación de las energías renovables en el sistema eléctrico?

El aprovechamiento de los recursos renovables en México para la generación eléctrica debe de seguir los mismos principios que lo establecido para la prestación del servicio público de energía eléctrica: eficiencia económica, externalidades ambientales y seguridad energética⁴.

Para lograr esto, se deben de contemplar **5 factores** clave que responden a preguntas específicas a la hora de planear una matriz de generación a largo plazo:

1. **Recurso disponible** - ¿Qué recursos renovables hay en México? ¿dónde? y ¿en qué cantidad?
2. **Competitividad del recurso** - ¿Cuáles son sus costos actuales y futuros de generación? ¿Son competitivos en comparación a las tecnologías convencionales?
3. **Seguridad Energética y Externalidades** - ¿Cómo impactan a la estabilidad, calidad y sustentabilidad del sistema?
4. **Beneficios macroeconómicos y medioambientales** - ¿Cuál es su impacto en la economía, en el empleo? ¿y en balanza energética y emisiones de CO₂?
5. **Rol en el sistema según modalidad de contrato** - ¿Cuál es su papel en el sistema? y ¿Bajo qué modalidad de contrato se deberían desarrollar?

Una vez analizados estos factores y respondidas dichas preguntas los responsables del diseño y planeación del Sistema Eléctrico Nacional para los próximos años pueden fijar objetivos claros así como establecer acciones para su cumplimiento.

Los próximos capítulos tienen como objetivo responder a cada uno de estos cinco interrogantes a fin de dar paso, posteriormente, a la generación de escenarios posibles y, por último, a las acciones necesarias para su desarrollo.

⁴ Objetivos del servicio público de generación de energía eléctrica según el artículo 36 de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica

2. México, un país con una mezcla de recursos renovables únicos

¿Cuál es el potencial en México?

México cuenta con los recursos naturales óptimos para el desarrollo de las energías renovables. Este recurso se localiza a lo largo de toda la geografía nacional.

En las región norte del país se sitúa una de las zonas de mayor **potencial de generación solar fotovoltaico a nivel mundial**, por su alto nivel de irradiación. Las zonas más ventosas del estado de Oaxaca y otros estados como Tamaulipas, Baja California, Puebla o Veracruz permitirían maximizar las horas de funcionamiento de las **instalaciones eólicas**. El eje neo-volcánico mexicano alberga, a lo largo de sus 800 km de longitud, zonas con elevado potencial para la instalación **de plantas de generación geotérmica**.

El aprovechamiento de los residuos urbanos, agrícolas y forestales generados a lo largo de la geografía nacional permitiría incorporar al mix de generación eléctrica **plantas de biomasa** y lograr beneficios adicionales en lo relativo a la gestión de suelos. Adicionalmente, los ríos, especialmente en la región sur-sureste albergan un alto potencial de instalación de **centrales hidráulicas de pequeña escala**

Por último, la industria mexicana tiene la oportunidad de mejorar su competitividad mediante los ahorros energéticos motivados por el incremento de eficiencia derivada de instalación de **plantas de cogeneración eficiente**.



Figura 3: Ilustrativo de la ubicación geográfica de las zonas con mayor potencial renovable según tecnología, PwC

La figura anterior muestra de manera ilustrativa algunas de las principales zonas con potencial renovable por tipo de recurso, sin embargo cada una de las Entidades Federativas del país cuenta con una alta diversificación de recurso renovable que permite pensar en el sector como un potencial vector de desarrollo nacional.

Potencial Eólico

De acuerdo al Estudio sobre el potencial eólico en México, llevado a cabo por PwC en colaboración con la Asociación Mexicana de Energía Eólica (AMDEE), México cuenta con un potencial eólico superior a los 50 GW con factores de planta superiores al 20%⁵.

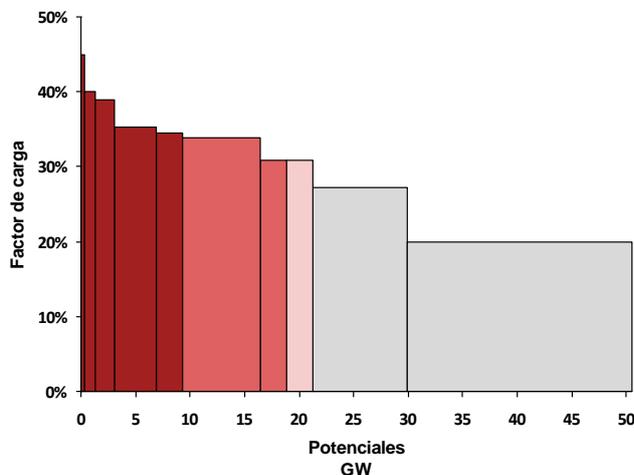


Figura 4: Potencial eólico mexicano según factor de planta; AMDEE, PwC

La región de Oaxaca presenta localizaciones con gran potencial para el desarrollo del recurso eólico. Reflejo de este potencial son los cerca de 1,000 MW en operación y los 1,500 MW en proceso de construcción o por iniciar obra⁶.

No obstante, ésta no es la única región del país con alto potencial eólico, los Estados del norte, así como, San Luis Potosí o Chiapas contabilizan ya una potencia en operación y en construcción de más de 1.000 MW adicionales, asociado a la evolución tecnología del sector y a la búsqueda continua de nuevos emplazamientos con potencial.

Cabe señalar que los factores de planta que se observan en muchas de estas regiones superan a los registrados en geografías que cuentan con un sector maduro de generación eólica.

Por ejemplo, la potencia eólica instalada en España es en la actualidad, próxima a los 21,000 MW, mientras que el factor de planta medio en el periodo 2006-2011 fue de 23%⁷.

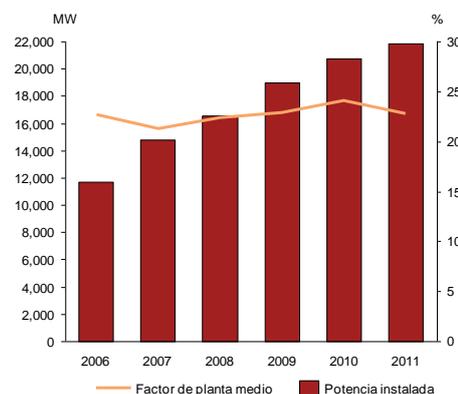


Figura 5: Evolución de la capacidad eólica española vs factor de planta medio 2006-2011; REE, PwC

⁵ El factor de planta se define como la relación entre la energía eléctrica producida por un generador, durante un intervalo de tiempo determinado (por ejemplo un año) y la energía que habría sido producida si este generador hubiese funcionado durante dicho intervalo a su máxima potencia disponible. Se expresa en porcentaje. Fuente: CFE

⁶ Listado de permisos de generación al 30 de agosto de 2012. Fuente: CRE

⁷ Red Eléctrica de España, PwC

Potencial geotérmico

Los estudios realizados a lo largo de los últimos 30 años, si bien varían en función del tamaño del territorio analizado y del espectro de calor estudiado, coinciden en resaltar el gran potencial geotérmico con el que cuenta el país. Los estudios más recientes, llevados a cabo por la Comisión Federal de Electricidad (CFE), estiman el potencial de alta entalpía ($T \geq 200^\circ\text{C}$) en cerca de 10,000 MW probables y posibles⁸

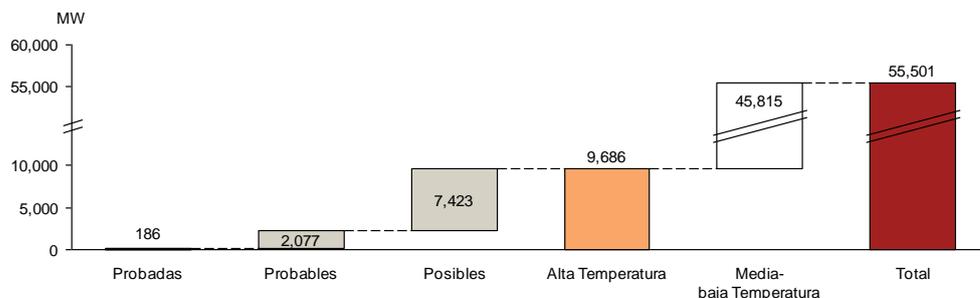


Figura 6: Potencial geotérmico estudiado en México; CFE, IIE, PwC

Las regiones geográficas con mayor potencial geotérmico se ubican en la zona centro de la República Mexicana, donde se encuentra el eje Neovolcánico Transmexicano, y los estados de Baja California Sur, Sonora, Chihuahua y Veracruz.

Cabe señalar que México es ya uno de los países que mayor uso hace de este recurso renovable, lo que demuestra la competitividad de esta tecnología frente a las tecnologías convencionales. Sin embargo, también es necesario señalar que, dentro de este selecto grupo de países “geotérmicos” es uno de los que menor ritmo de crecimiento proyectado de nueva capacidad presenta en el corto plazo.

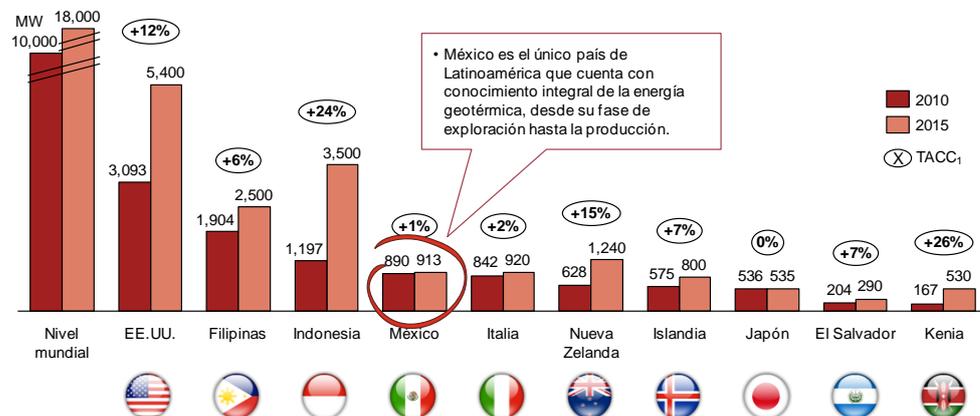


Figura 7: Principales países con capacidad geotérmica para generación eléctrica y su evolución esperada 2010-2015; AIE, IDAE, PwC

⁸ Reservas probadas, son aquellas en que los estudios y las pruebas de pozos realizadas permiten recomendar la instalación de una planta de la capacidad estimada con vida útil de 30 años. Reservas probables, son aquellas zonas en las que se han hecho suficientes estudios de geofísica y geoquímica para delimitar la probable extensión y temperatura de la zona geotérmica. Existe una probabilidad de al menos 50% de que las cantidades recuperables sean iguales o superiores a la suma de reservas estimadas. Reservas posibles, son aquellas que por manifestaciones termales en la superficie y por geología permitan inferir la posibilidad de un recurso geotérmico. Existe una probabilidad de al menos 10% de que las cantidades recuperables sean iguales o superiores a la suma de reservas estimadas.

Potencial solar fotovoltaico

México es el país latinoamericano con mayor potencial solar fotovoltaico, cuenta con altos índices de irradiación solar media a lo largo de toda su geografía – ~6 kWh /m² y día en promedio⁹. En cuanto a las regiones con mayor potencial fotovoltaico, Baja California, Baja California Sur, Sonora, Chihuahua y Coahuila presentan los niveles más altos de irradiación, con medias superiores a ~6,5 kWh/m² y día.

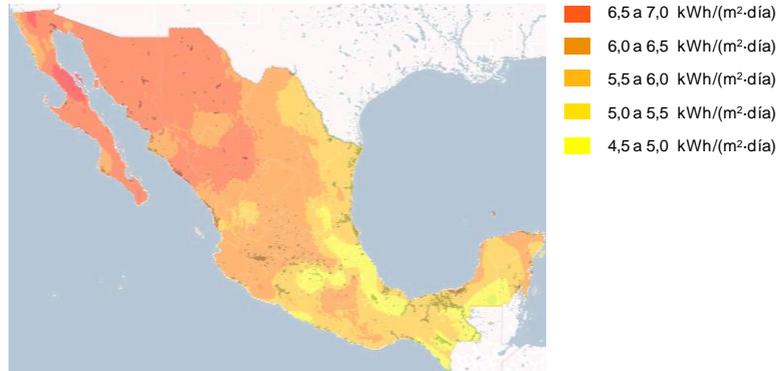


Figura 8: Irradiación solar media a lo largo de la geografía mexicana; NREL

Estos altos niveles de irradiación posibilitan que México pudiese satisfacer la totalidad de su actual demanda eléctrica únicamente mediante la utilización de fuentes de generación fotovoltaica en las regiones de mayor potencial, aprovechando únicamente el 4% de los ~6,500 TWh/año de potencial de generación total que existe en el país.

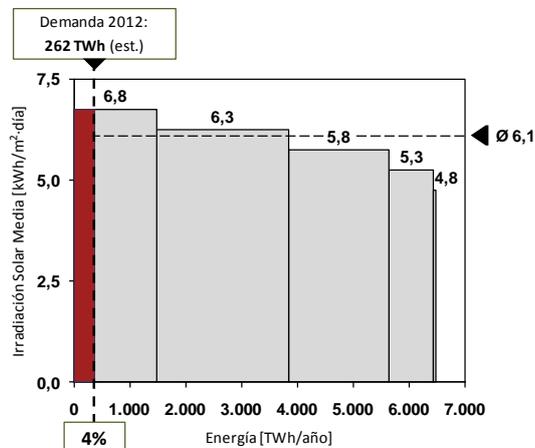


Figura 9: Potencial de generación fotovoltaico en función del índice de irradiación solar; SENER, PwC

Cabe señalar que si bien el potencial solar se encuentra primordialmente en el norte del país, existe gran potencial en las regiones centro y península de Yucatán que podría ser aprovechada a través de paneles fotovoltaicos en techos de casas o edificios.

Con respecto al aprovechamiento del potencial termosolar, la CFE a través del proyecto Agua Prieta II iniciará la aplicación del sistema termosolar de concentración, con la inclusión de un campo solar de canal parabólico con capacidad de 14 MW en una planta de Ciclo Combinado, con fecha estimada de puesta en marcha en el año 2013. Asimismo, otros proyectos en estado de prefactibilidad en Baja California, con una potencia acumulada de 100 MW, dan cuenta el potencial que podría tener esta tecnología en el SEN.

⁹ Chile y Brasil son otros países con alto potencial, pero su irradiación media se ubica en torno a los 5,4 kWh /m² y día en promedio. Fuente NREL

Potencial de la biomasa

A diferencia de otros recursos renovables como el viento o la irradiación solar, la biomasa no es un elemento único, sino que el concepto incluye una gran variedad de insumos, entre los cuales se pueden destacar los siguientes:

- **Residuos agrícolas**, generados en la cosecha de la producción agrícola.
- **Residuos ganaderos**, consiste en aprovechar el metano que generan los purines del ganado bovino o porcino
- **Residuos urbanos**, residuos degradables depositados en ubicaciones controladas
- **Residuos industriales**, consiste en aprovechar los residuos degradables generados en procesos industriales.
- **Residuos forestales**, implica aprovechar los residuos generados en las actividades madera y de limpieza de bosques, así como en la tala de árboles.
- **Cultivos energéticos**, implica desarrollar plantaciones de crecimiento rápido con el objetivo de producir energía térmica, eléctrica o para la producción de biocombustibles

Considerando el amplio abanico de recursos, se llevó a cabo un análisis de aquellos que, a través de entrevistas se definieron como los de mayor viabilidad en el corto plazo: residuos agrícolas, ganaderos, urbanos y forestales.

Incluso, dentro de esta tipología el análisis se limitó a recursos específicos (por ejemplo residuos de sorgo, maíz y trigo) o ubicaciones controladas (por ejemplo, zonas forestales controladas), con el fin de identificar potencial aprovechable de manera factible en el corto plazo. Por ello es importante señalar que el potencial teórico total de la biomasa es sin duda muy superior al que se muestra a continuación.

Así, a partir de la información recopilada a través de numerosas entrevistas y los análisis realizados se ha estimado un potencial teórico de c.3,700 MW considerando los recursos anteriormente mencionados.

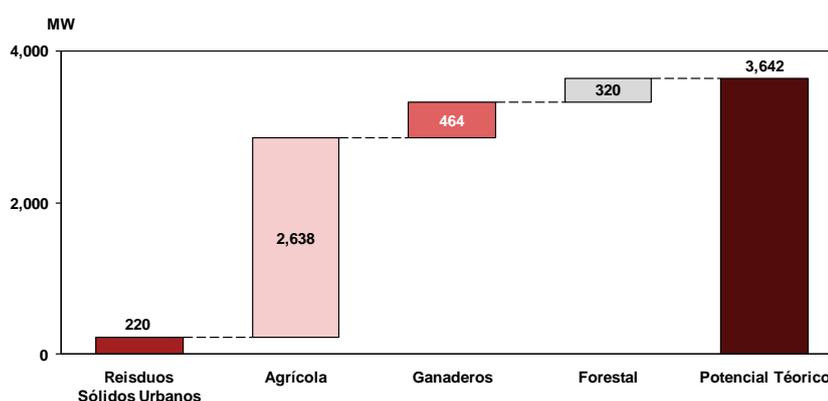


Figura 10: Potencial máximo teórico por tipo de recurso de biomasa; SENER, PwC

Este potencial se encuentra ampliamente diseminado por la geografía nacional. En materia de residuos urbanos el potencial se centra en las ciudades que cuentan con rellenos sanitarios (Monterrey es un ejemplo a nivel mundial de aprovechamiento de este recurso), mientras que el mayor potencial agrícola se encuentra en estados como Sonora, Sinaloa, Jalisco, Michoacán, Tamaulipas y Guanajuato que, por su volumen de producción y la productividad de las tierras, generan un alto volumen de residuos aprovechables.

En el caso del potencial ganadero, este se ubica primordialmente en regiones con un alto número de cabezas estabuladas como la Cuenca de Delicias en Chihuahua¹⁰ y los Estados de Hidalgo o Durango. Finalmente el potencial de residuos forestales se encuentra en Estados como Durango y Chihuahua, así como en varios Estados de la zona pacífico y sureste del país

Potencial Hidráulico Renovable

La hidráulica renovable se basa en el aprovechamiento de pequeños saltos y desniveles de un curso de agua para generar energía eléctrica. Existen 2 ramas tecnológicas, en función de cómo discurre el agua, las centrales de agua fluyente/derivación y las centrales a pie de presa. En las primeras, el agua a turbinar se capta del cauce del río por medio de una obra de toma y, una vez turbinada, se devuelve al río en un punto distinto al de captación. Por su parte, las centrales a pie de presa son centrales con regulación, y el agua a turbinar se almacena mediante una presa.

México cuenta con un alto potencial para la generación hidroeléctrica renovable. Las vertiente del Golfo de México y el Mar Caribe son las regiones con mayor capacidad para esta tipo de generación, con un ~70% del caudal en México, debido al predominio de grandes ríos en el suroeste del país.

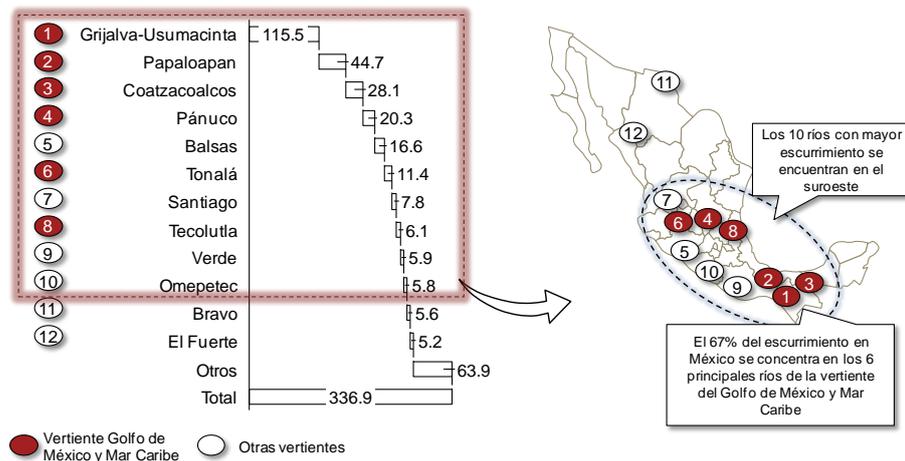


Figura 11: Distribución geográfica de los principales ríos de México y su escurrimiento medio anual histórico; CONAE, PwC

Para el cálculo del potencial del recurso, es importante tener en cuenta el marco regulatorio en México ya que, dentro de éste, y a diferencia del resto de tecnologías renovables, la hidráulica se considera “renovable” solo para instalaciones con una potencia instalada ≤ 30 MW.

De acuerdo a la LAERFTE excluida la “energía hidráulica con capacidad para generar más de 30 megawatts, excepto cuando:

a) Se utilice un almacenamiento menor a 50 mil metros cúbicos de agua o que tengan un embalse con superficie menor a una hectárea y no rebase dicha capacidad de almacenamiento de agua. Estos embalses deberán estar ubicados dentro del inmueble sobre el cual el generador tenga un derecho real.

b) Se trate de embalses ya existentes, aún de una capacidad mayor, que sean aptos para generar electricidad”

La CONAE (CONUEE) realizó estudios entre 1994 y 2004 en Veracruz y Puebla para estimar el potencial técnico de hidráulica renovable, por otra parte, la misma Comisión estimó en 1995 que México contaba con un potencial de hidráulica renovable de 3,235 MW. Sin embargo la CFE ha desarrollado análisis en años más recientes de emplazamientos específicos cuyos datos, proporcionados por la SENER, han constituido la base para el análisis del recurso dentro del Estudio llevado a cabo con la Asociación Mexicana de Energía Hidroeléctrica A.C, el cual contó con el apoyo de la Secretaría de Energía (a través del Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía), la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) en México, a través del Programa de Apoyo al Desarrollo Bajo en Emisiones de México (MLED por sus siglas en inglés), administrado por Tetra Tech, y la Fundación Climate Works.

El potencial total de los emplazamientos identificados a nivel nacional supera los 6,3 GW De éstos, cerca de 670 MW corresponden a sitios con capacidad ≤ 30 MW, por lo que se podrían aprovechar bajo el esquema de hidráulica renovable.

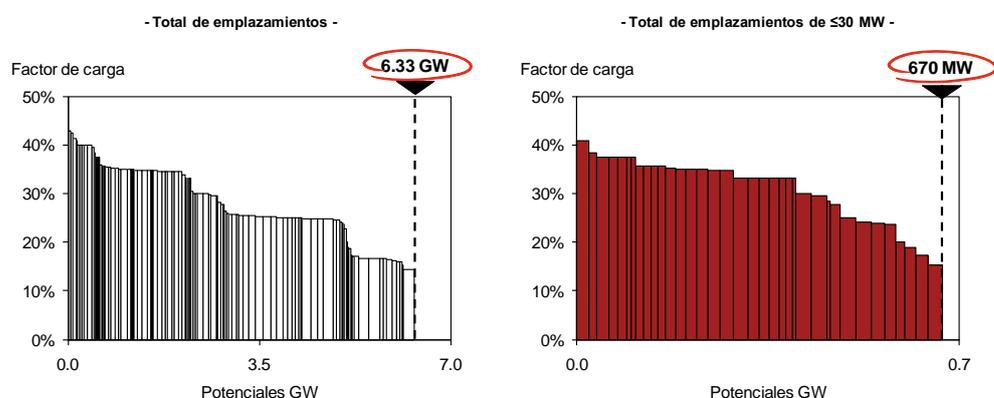


Figura 12: Factor de carga de los emplazamientos identificados; SENER con datos de CFE, PwC

Si bien, los valores de capacidad instalable en cada uno de los emplazamientos corresponden a necesidades específicas de la CFE, las cuales podrían diferir del propósito de un desarrollado fuera del servicio público, por lo que el potencial aprovechable podría ser significativamente mayor¹¹.

Potencial de la cogeneración

Si bien la cogeneración puede no representar una energía renovable (en los casos en que el combustible no es la biomasa sino el gas natural u otro tipo de insumo fósil), dos son las razones por las cuales hemos considerado de importancia incluirla dentro de la presente propuesta:

1. Debido a su nivel de eficiencia, es la tecnología de generación que menores costos de reducción de emisiones presenta¹².
2. En materia de incentivos regulatorios recibe un trato similar en México a las tecnologías renovables¹³.

De acuerdo a Estudios llevados a cabo por la Comisión Nacional del Uso Eficiente de la Energía (CONUEE)¹⁴, México cuenta con potencial de ~12,000 MW sin contar el sector residencial.

¹¹ En el capítulo sobre potencial competitivo se analiza un escenario bajo otros supuestos

¹² "Potencial de mitigación de gases de efecto invernadero en México al 2020 en el contexto de la cooperación internacional" SEMARNAT, INE

¹³ Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética, artículos 7, 17 y 18.

Este potencial técnico será revisado al alza a medida que se crezca el sector industrial mexicano y que las empresas adecuen sus procesos a fin de aprovechar el enorme beneficio que ofrece la cogeneración.

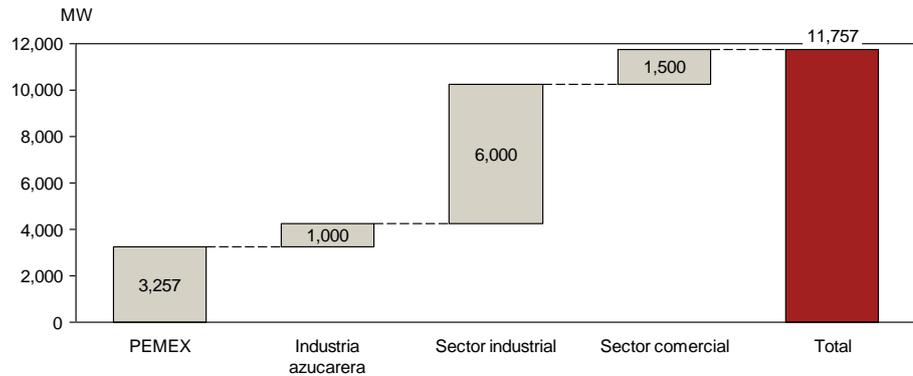


Figura 13: Potencial de cogeneración por industria (MW); CONUEE/GTZ, PEMEX, PwC

La principal fuente de proyectos de cogeneración es PEMEX que representa el 9% del consumo energético nacional. Más del 90% de la demanda energética de PEMEX se concentra en 18 plantas.

El sector industrial, la segunda fuente de proyectos, representa el 25% del consumo energético del país. Las industrias con mayor consumo energético son la siderúrgica, cementera, química y minería. El potencial industrial se ubica principalmente en los Estados de México, Veracruz, Nuevo León, Jalisco, Guanajuato y Puebla. Cada uno de ellos presenta un potencial superior a los 100 MW.

¹⁴ Por ejemplo “Estudio sobre Cogeneración en el Sector Industrial en México” CONUE/GTZ (2009)

3. La competitividad de los recursos mexicanos

¿A qué costo se puede generar electricidad a partir de las energías renovables?

Los costos de generación a partir de las energías renovables se han reducido de una manera drástica en los últimos años, fruto del impulso que se ha dado en muchos países a la instalación de este tipo de centrales, y consecuentemente el camino recorrido en las curvas de aprendizaje.

Estas reducciones hacen de varias tecnologías opciones económicamente competitivas hoy en día frente a tecnologías fósiles convencionales. De éstas últimas, los ciclos combinados (CCGT) son los que mayor auge han tenido en los últimos años, fruto de la reducción en los precios de gas natural.

La figura a continuación muestra, para cada tecnología analizada, una proyección de los costos nivelados de generación o *Levelized Cost of Energy*, (LCOE)¹⁵ actuales y estimados hasta el año 2020. Asimismo se incluye el LCOE estimado de los ciclos combinados en 2012 y 2020.

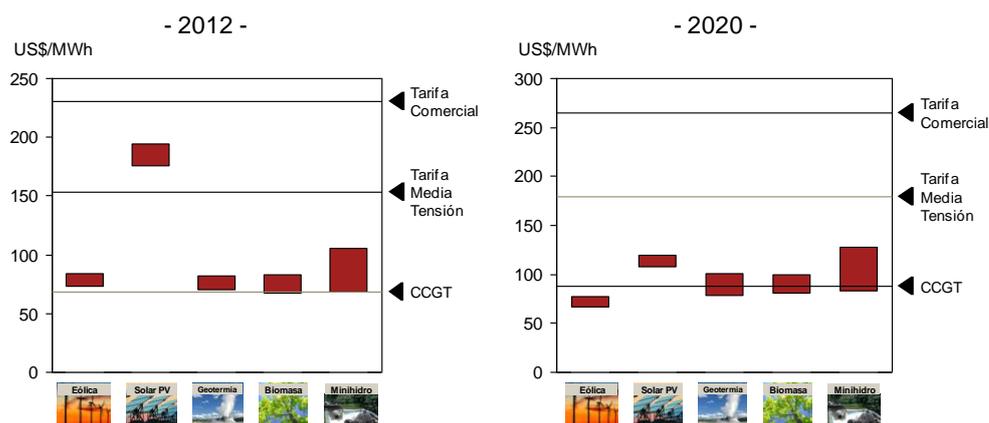


Figura 14: Evolución esperada de los costos nivelados de generación por tecnología 2012-2020; SENER, PwC

El rango en el que se mueve cada uno de los costos dentro de un mismo año varía en función de los parámetros técnicos mínimo y máximo que se han estimado para su cálculo y que responden a la tipología del recurso nacional. Así, los costos de generación solares PV varían en función de la irradiación media en distintas regiones del país. Los costos de generación a partir de la biomasa varían en función del tipo de recurso analizado. Los costos de generación de la energía geotérmica varían en función de la profundidad a la que se encuentra el recurso de alta entalpía. Finalmente los costos de generación eólica varían en función del factor de planta asumido.

¹⁵ La metodología aplicada para el análisis de los costos de generación se basa en el cálculo del *Levelized Cost Of Energy* (LCOE) o costo nivelado. El costo nivelado se expresa en términos monetarios dividido por la electricidad generada y pretende reflejar todos los costos asumidos durante la vida útil de una central. Esta metodología es la seguida por la Comisión Federal de Electricidad en la planeación de la generación eléctrica y se encuentra recogida en los estudios de "Costos y Parámetros de Referencia para la Formulación de Proyectos de Inversión en el Sector Eléctrico" (COPAR), de la CFE.

A continuación se hace una descripción adicional de cada uno de estos costos.

Energía eólica

La energía eólica es hoy en día una de las tecnologías renovables más competitivas y con costos de generación más bajos. Es por ello que a la hora de planear nueva capacidad de generación eólica tiene sentido comparar sus costos con los de los CCGTs.

La figura 11 muestra dos gráficos. El primero (izquierda) compara el costo nivelado de generación en el periodo 2010-2020 de la tecnología eólica frente a los CCGTs. Es importante señalar que mientras los costos eólicos se irán reduciendo por la introducción de equipos cada vez más eficientes, los costos de los ciclos combinados, al ser una tecnología madura, dependerán principalmente del precio del combustible y de la evolución de la inflación. Aquellos parques que por su ubicación tengan factores de planta de entorno a 40% - 45%, son ya competitivos frente a CCGTs.

La segunda figura (derecha) muestra la curva de recurso mostrada en el figura 3 del Capítulo 1 ahora expresada en costo nivelado de generación al año 2020. Se observa cómo en función del escenario de precios del gas natural (US\$ 6,45 /MBTU escenario alcista y US\$ 5,05 /MMBTU escenario bajista ambos en 2020) existirá, de manera creciente hasta dicho año, entre 9,2 y 20,3 GW de potencial competitivo. Es decir, entre 10 y 20 veces lo que hay instalado en la actualidad.

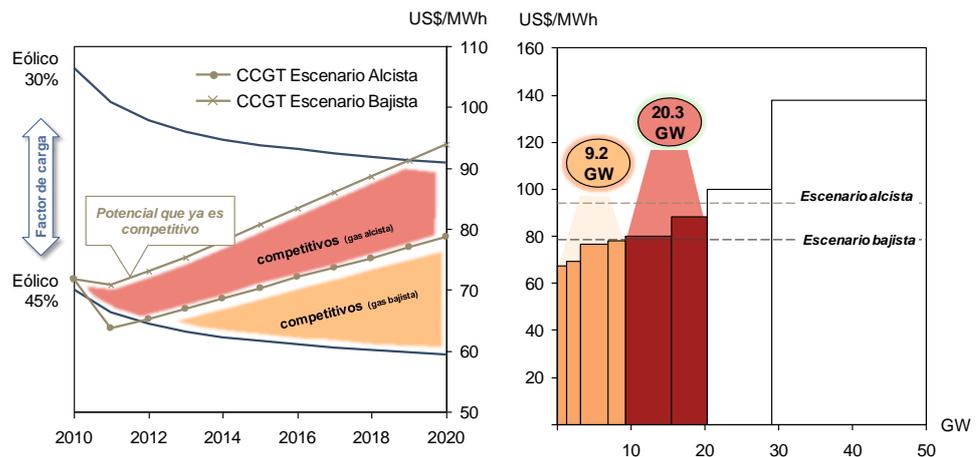


Figura 15: Competitividad de la energía eólica frente a los CCGTs 2012-2020; AMDEE, PwC

Energía geotérmica

A través de los trabajos realizados de manera conjunta Secretaría de Energía y PwC: “Iniciativa para el Desarrollo de las Energías Renovables¹⁶”, se ha identificado que, junto con la energía eólica, la energía geotérmica presenta costos nivelados de generación competitivos frente a los CCGT. La figura a continuación muestra la evolución de los costos nivelados de la geotermia, partiendo de una central tipo de 30MW y pozos a una profundidad media de 2,000m.

¹⁶ Los trabajos incluyeron el análisis de las tecnologías Solar FV, Biomasa, Geotérmica y de Cogeneración Eficiente.

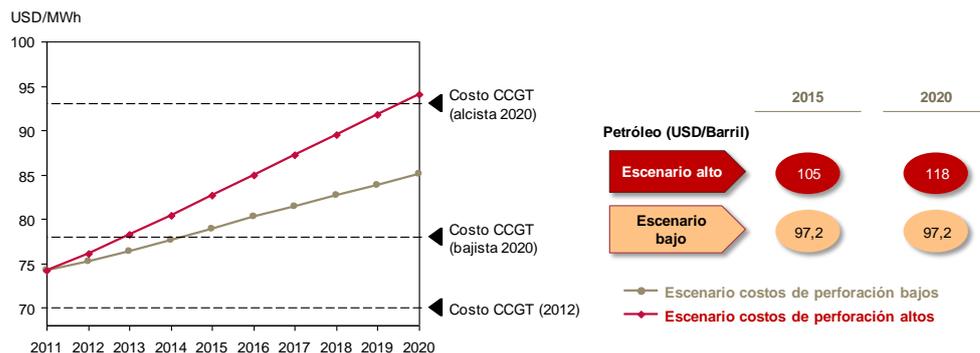


Figura 16: Competitividad de la energía geotérmica frente a los CCGTs 2012-2020; SENER, PwC

A diferencia de otras energías renovables, la tecnología geotérmica es madura y no se espera que tenga grandes curvas de aprendizaje en el corto plazo. Uno de sus costos más importantes es el de la perforación y, debido a la similitud con la actividad de perforación de pozos petroleros, presenta una evolución correlacionada con los precios del petróleo. Por ello, para estimar los costos futuros de generación de esta tecnología se han asumido, al igual que los precios del gas (CCGTs), dos escenarios de precios del petróleo a 2020.

Como se puede observar, en el año 2012 esta tecnología no resulta competitiva frente a los CCGTs, sin embargo por diversos motivos, como se verá posteriormente, la energía geotérmica presenta beneficios adicionales y externalidades que pueden hacer viable esta tecnología. Frente a unos precios del gas con crecimiento moderado, esta tecnología ganará competitividad.

Energía solar

Gracias a las importantes curvas de aprendizaje de esta tecnología, su costo nivelado es cada vez más competitivo frente al del ciclo. Se espera que esta senda continúe hasta alcanzar la paridad con los costos de CCGT en los próximos años.

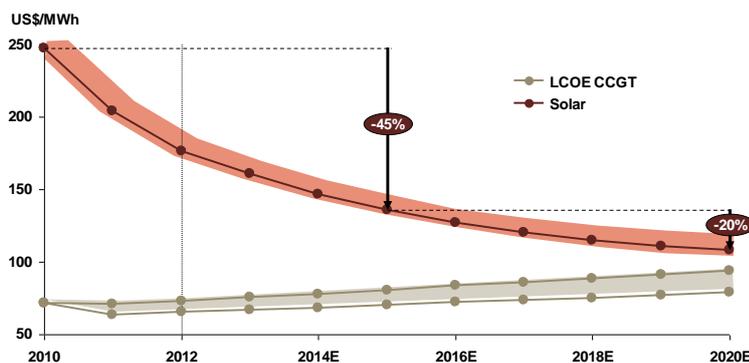


Figura 17: Competitividad de la energía solar FV frente a los CCGTs 2010-2020; SENER, PwC

A la fecha, esta tecnología es ya competitiva en modalidades de autoabastecimiento remoto, en ciertas partes del país, así como frente a la tarifa Doméstica de Alto Consumo (DAC).

La figura a continuación (izquierda) muestra la tarifa mínima que un socio productor debe de recibir por la energía eléctrica de un proyecto solar FV vs la tarifa HM¹⁷ a la que podría estar referenciado un socio consumidor. De manera estructural esta tecnología podría alcanzar plena competitividad a partir del periodo 2016-2018. Sin embargo, considerando la diferencia de tarifas en cada una de las Entidades Federativas, esta tecnología es ya competitiva en ciertas regiones en modalidad de Autoabastecimiento¹⁸.

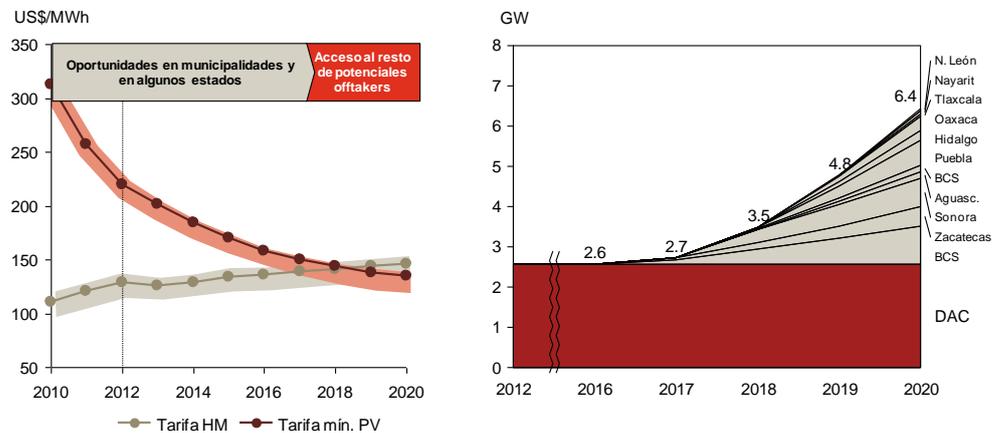


Figura 18: Competitividad de la energía solar FV frente a tarifas HM y residenciales 2010-2020; SENER, PwC

El otro segmento competitivo es el doméstico. En la figura anterior (derecha) se muestra la evolución del potencial económicamente competitivo hasta el 2020. El primer tipo de tarifa contra la cual es ya competitiva esta tecnología es la tarifa DAC¹⁹. A medida que se recorre la curva de aprendizaje tecnológica y se reduzcan los costos de los paneles solares, esta tecnología irá siendo competitiva en otros segmentos residenciales (tarifa 1), hasta alcanzar un potencial superior a los 6,000 MW en el año 2020.

Energía de la biomasa

Como se ha señalado anteriormente, no existe un único tipo de biomasa por lo que su competitividad debe de ser analizada en función del tipo de recurso.

La figura a continuación (izquierda) muestra los costos nivelados de generación considerando cada tipo de biomasa con un rango que varía en función de las características de cada recurso. Así, el **potencial de los residuos urbanos (RSU)** varía en función, entre otras variables, del índice de degradación de la basura en cada región climatológica del país. El **potencial agrícola y forestal** ha sido estimado en función de la productividad de la tierra y el volumen de producción de las autorizaciones forestales. Finalmente el **potencial ganadero** ha sido estimado en función del número de cabezas estabuladas. Como se puede observar en la misma gráfica, este tipo de recurso renovable resulta, en buena parte, competitivo frente a la tarifa HM y por tanto viable a través de la modalidad de autoabastecimiento.

¹⁷ Esta tarifa se aplica a los servicios que destinen la energía a cualquier uso, suministrados en media tensión, con una demanda de 100 kilowatts o más. Excluyendo las tarifas residenciales (Tarifa 1 y DAC) y de servicio público (5 y 5A). Constituye entorno al 50% de las ventas de CFE. Fuente: CFE, PwC

¹⁸ Por ejemplo, la tarifa HM en Baja California Sur es superior a los US\$ 120 /MWh; Fuente: CFE, PwC

¹⁹ Se considera que un servicio es de alto consumo cuando registra un consumo mensual promedio superior al límite de alto consumo definido para cada localidad. Según localidad el rango máximo puede variar entre los 250 y los 2,500 kWh/mes. Fuente: CFE

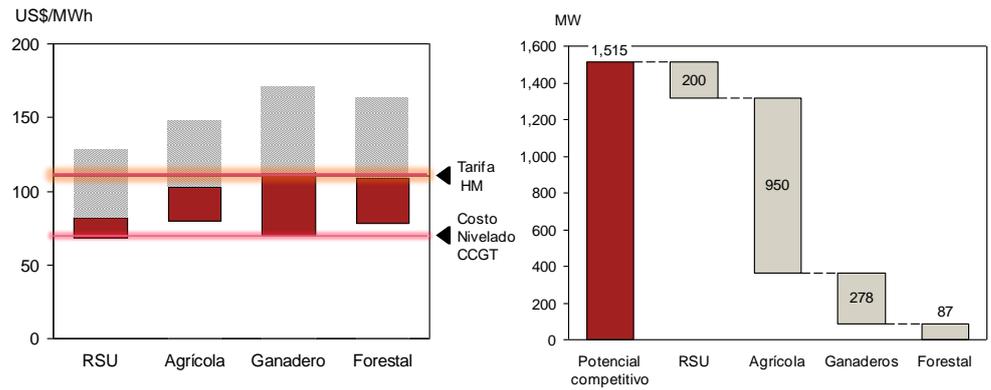


Figura 19: Competitividad de la biomasa y potencial competitivo por tipo de recurso; SENR, PwC

En la figura 17, la gráfica a la derecha muestra una estimación del potencial competitivo considerando los costos nivelados de generación antes citados. Como se puede observar el mayor potencial está en el aprovechamiento agrícola, si bien a medida que se incremente la generación de basura y su depósito en rellenos sanitarios esta tecnología será cada vez de mayor importancia. Además hoy en día este tipo de recurso ya es explotado en ciudades como Monterrey y se espera que lo sea en el corto plazo en el relleno sanitario de Bordo Poniente, ubicado en el Estado de México y que recibe la basura del Distrito Federal.

Energía Hidráulica Renovable

Para el cálculo del potencial económicamente competitivo se han calculado los costos de inversión y operación y mantenimiento de cada uno de los emplazamientos identificados a nivel nacional, atendiendo a sus características fundamentales como el salto (metros de altura), caudal (m³/segundo) y capacidad instalable. De esta manera, se ha calculado un costo de generación específico para cada emplazamiento.

En la figura a continuación se muestra el costo de generación en cada emplazamiento, asociado al salto (izquierda) y al caudal registrado (derecha). Los emplazamientos han sido divididos también en función del tipo de turbina a instalar (en función de las características de las ubicaciones). Para aplicaciones de alta carga son idóneas las turbinas Pelton, para media las Francis y para baja las Kaplan.

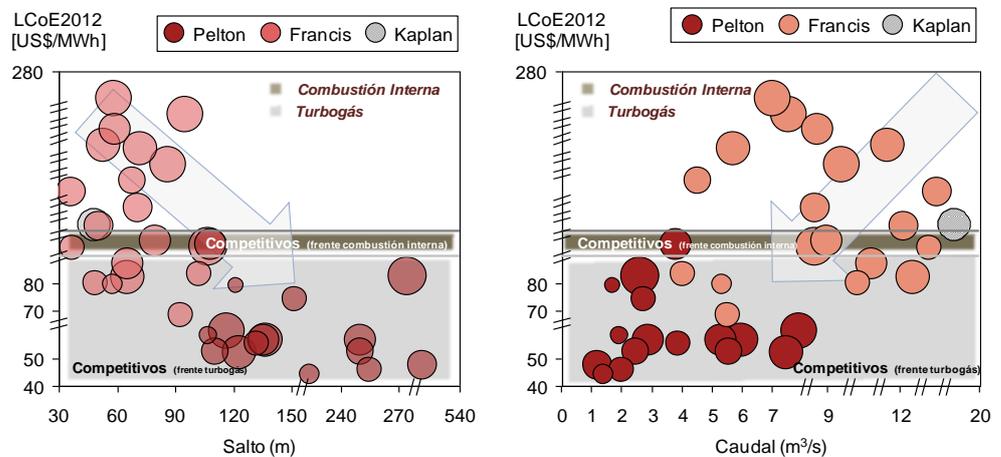


Figura 20: Costos nivelados de generación en función de salto y cauda vs costos del turbo gas y combustión interna.; SENR, PwC

La figura también muestra una comparativa entre dichos costos y los costos nivelados de generación de las tecnologías de turbogás y combustión interna. Lo anterior debido a que por su dimensionamiento y capacidad para generar electricidad en horas punta (flexibilidad) esta tecnología podría ser un sustituto renovable de dichas tecnologías fósiles, actualmente presentes en el Sistema Eléctrico Nacional.

Una vez calculados los costos de generación, se ha analizado su competitividad dentro del sistema eléctrico.

La figura a continuación muestra el potencial económicamente competitivo en 2012 frente a tecnologías de generación en punta (turbogás y combustión interna) y frente a tarifas industriales y comerciales, por su potencial aprovechamiento bajo la modalidad de autoabastecimiento.

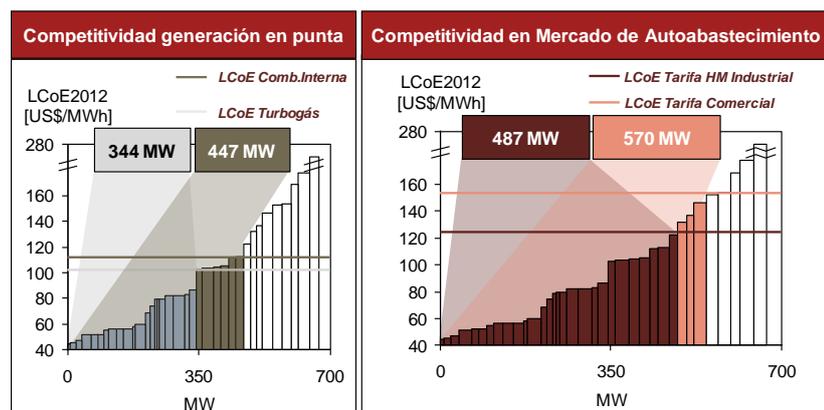


Figura 21: Competitividad del recurso hidráulico renovable frente a costos de generación y tarifas de los emplazamientos de ≤ 30 MW, 2012 SENR, PwC

Adicionalmente se han analizado los emplazamientos con una potencia instalable de hasta 50 MW, reduciendo la capacidad a instalar para cumplir con la regulación actual. Este análisis respeta la regulación vigente, ya que los desarrolladores privados podrían elevar el factor de planta de los emplazamientos identificados por la CFE atendiendo a necesidades del mercado.

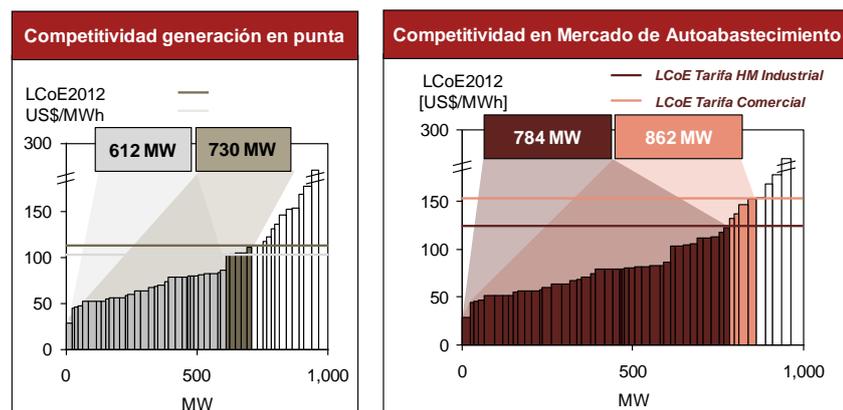


Figura 22: Competitividad del recurso hidráulico renovable frente a costos de generación y tarifas de los emplazamientos de ≤ 50 MW, 2012 SENR, PwC

Finalmente, se han analizado los emplazamientos con una potencia instalable de hasta 100 MW. Se han ajustado los factores de planta a los aplicados por desarrolladores privados (reduciendo en cierta medida la capacidad a instalar). Este análisis se ha llevado a cabo con el fin de reflejar el potencial de hidráulica renovable que se podría desarrollar si se redefiniere el marco regulatorio actual.

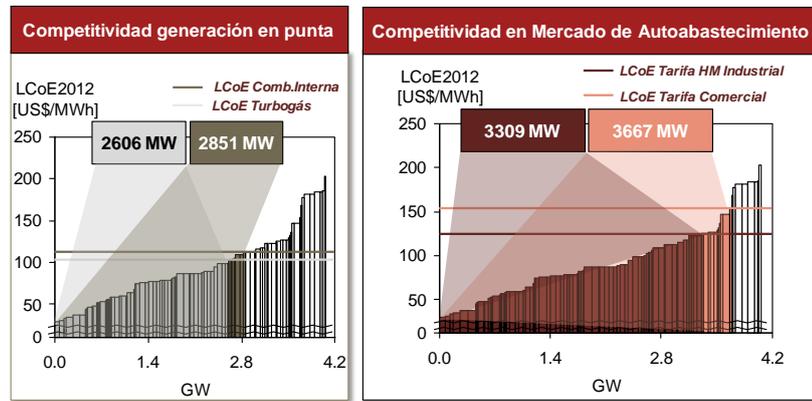


Figura 23: Competitividad del recurso hidráulico renovable frente a costos de generación y tarifas de los emplazamientos de ≤ 100 MW, 2012 SENR, PwC

Cogeneración

Dado que la competitividad de la tecnología varía en función de las necesidades de energía térmica y eléctrica de cada industria o fábrica, a continuación se muestra un ejemplo ilustrativo de los beneficios económicos medidos en USD/MWh, así como una descripción de cada elemento.

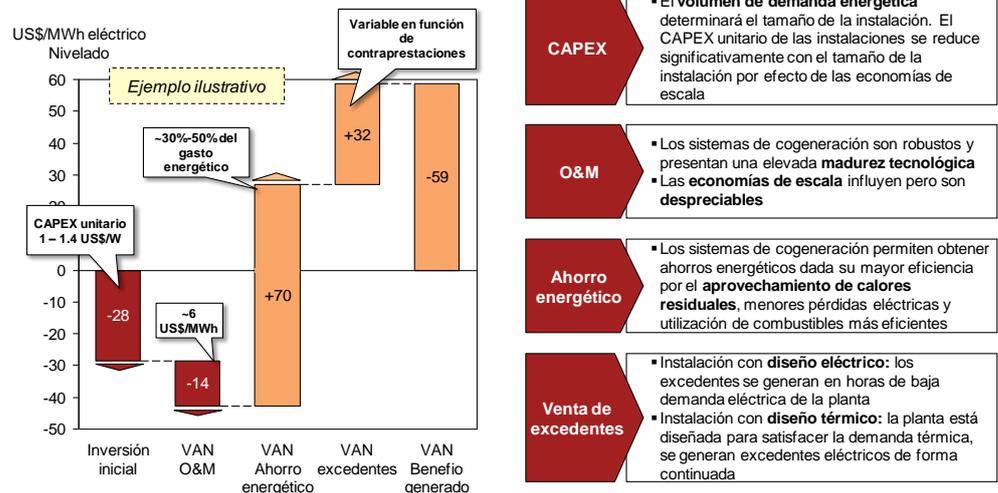


Figura 24: Ejemplo ilustrativo de la competitividad de la tecnología de cogeneración; SENR, PwC

Una vez analizado el recurso disponible y la competitividad económica de cada tecnología, se deben de considerar otros elementos fundamentales para el desarrollo sustentable del Sistema Eléctrico Nacional.

4. La diversificación como elemento de seguridad y sustentabilidad energética

¿Cómo impactan las energías renovables en la seguridad y sustentabilidad del sistema?

Cada una de las energías renovables aporta un valor diferencial a la seguridad energética y a la sustentabilidad del sistema eléctrico. La figura a continuación muestra la aportación de cada una de ellas bajo el análisis de tres vectores:

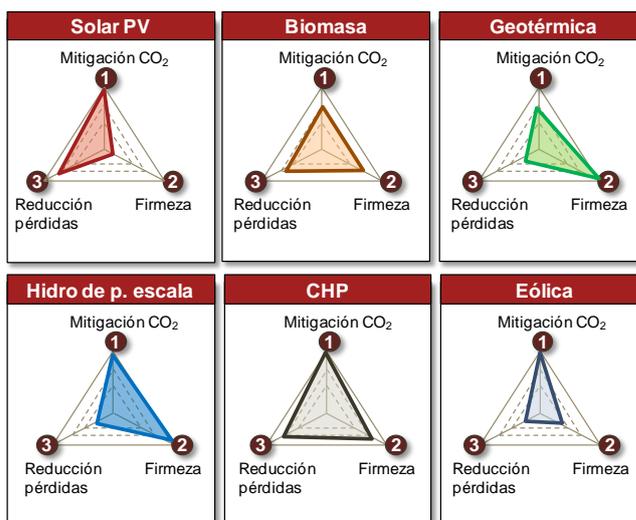


Figura 25: Aportación a la seguridad energética y a la sustentabilidad por tipo de tecnología renovable; SENER, PwC

- Mitigación de CO₂ y externalidades:** En diciembre de 2009 el gobierno mexicano se incluyó en el contexto mundial de metas de reducción de emisiones al 2020. Se asumió el compromiso de alcanzar una reducción, respecto al escenario tendencial, de hasta el 30% para el año 2020.

Adicionalmente, la reciente Ley General de Cambio Climático indica:

“El país asume el objetivo indicativo o meta aspiracional de reducir al año 2020 un treinta por ciento de emisiones con respecto a la línea de base; así como un cincuenta por ciento de reducción de emisiones al 2050 en relación con las emitidas en el año 2000 (...)”²⁰

Para alcanzar esta meta, la utilización de las energías renovables juega un papel fundamental, ya que mitigan las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) que hubiesen sido generadas a través de la producción eléctrica con fuentes fósiles.

Las energías eólica y solar son las energías renovables que mayor impacto positivo tienen sobre la mitigación de GEI, la biomasa es considerada como una tecnología neutra mientras que la geotérmica presenta emisiones asociadas a los yacimientos, sin embargo inferiores al valor de 0,5 tonCO₂/MWh. Por último los beneficios medioambientales de la cogeneración serán muy positivos de usarse con combustibles como la biomasa o el gas natural (por el grado de eficiencia de la tecnología).

²⁰ Artículo transitorio 2do

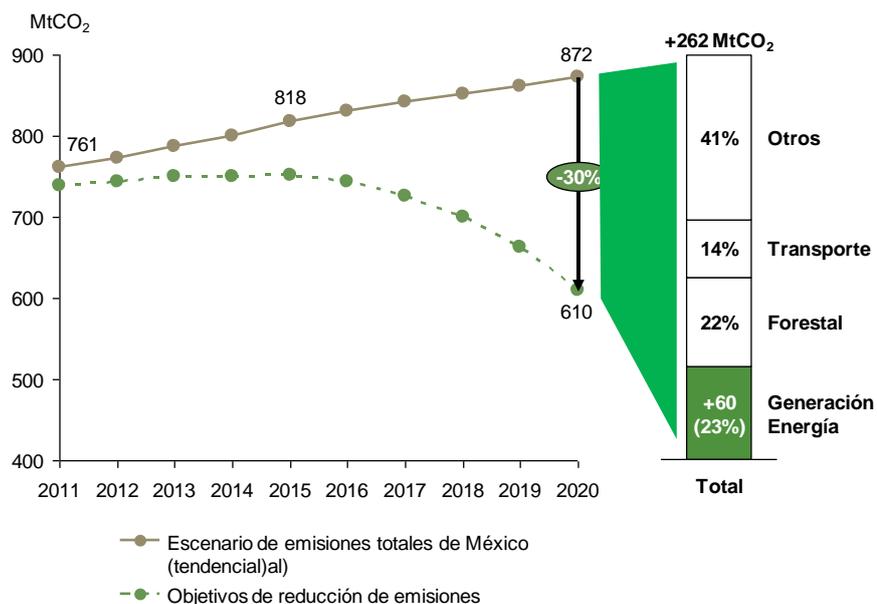


Figura 26: Objetivos de mitigación de CO2 y contribución por sector, SEMARNAT; AMDEE, PwC

Como se muestra en la figura anterior, se estima que el 23% de la mitigación de CO2, en 2020, provenga del sector energético. Si bien existen varias actividades dentro del mismo para alcanzar este objetivo (mejora de la eficiencia de las plantas, reducción de pérdidas, etc.), resulta evidente que uno de los factores clave para llegar a la meta, por lo anteriormente descrito, es la utilización de energías renovables. Como se verá en la generación de escenarios, su participación a 2018 podría implicar la reducción de cerca 30 MtCO2/año adicionales.

Adicionalmente, en diciembre del 2012 se publicó la nueva **Metodología para valorar externalidades asociadas con la generación de electricidad en México**. En ella se establece que las nuevas planificaciones de generación del SEN deben de considerar el valor de las externalidades. Dichas externalidades quedan definidas como:

“(...) los impactos positivos o negativos, asociados a la generación de energía eléctrica, que genera la provisión de un bien o servicio y que afectan o que pudieran afectar de manera local, regional o global a una tercera persona en México en el corto, mediano y largo plazo. Estas ocurren cuando el costo pagado por un bien o servicio es diferente del costo total de los daños y beneficios en términos económicos, sociales, ambientales y a la salud, que involucran su producción y consumo, y por lo cual no se está ya compensando o retribuyendo.”

Para la valoración del impacto de las Sustancias Contaminantes, que dan como resultado dichas externalidades negativas, la SEMARNAT, en coordinación con la SENER deberá desarrollar estudios que permitan medir en pesos por tonelada de Sustancia Contaminante, el impacto o valor que tienen las emisiones asociadas a la generación de electricidad en la economía, la sociedad, el ambiente y la salud en México. Este valor, junto con los ingresos provenientes por bonos de carbono, deberá de ser considerado por la CFE en el desarrollo de su planificación del Sistema.

Cabe señalar que si bien aún no se determinan los valores económicos asociados a las Sustancias Contaminantes, el presente estudio, dentro de su valoración económica de las tecnologías renovables, ha incluido ya el impacto positivo de la venta de bonos de carbón, como se indica en la metodología antes citada.

Firmeza: Todo sistema requiere de una base sólida de tecnologías que ofrezcan un alto nivel de disponibilidad a fin de garantizar la firmeza del sistema (poder entregar energía siempre que se necesite).

Para el Sistema Interconectado Nacional SENER adopta un valor mínimo de Margen de Reserva Operativo²¹ del 6%²². En la actualidad el margen de reserva se encuentra en el 26%, la CFE estima que para el año 2018 el margen se ubique en el 15%²³.

Por lo anterior se pueden considerar dos cuestiones: La primera es que la instalación de tecnología intermitente que proyectamos en este estudio puede continuar con carácter general añadiéndose al sistema sin necesidad de incrementar capacidad de respaldo, y por ello sin costos adicionales al Sistema (sin embargo es necesario un análisis en profundidad del margen de reserva en cada uno de los nodos donde finalmente se interconecte la fuente renovable). La segunda es que la incorporación de tecnologías como la geotérmica, con un alto grado de disponibilidad, puede contribuir a mantener el margen de reserva en niveles por encima del valor mínimo. Tecnologías como la biomasa además de disponibilidad ofrece flexibilidad de arranque de las plantas.

Si bien es importante señalar que los sistemas de operación y control de sistema deben de incorporar nuevas herramientas de análisis y planificación de la operativa a fin de administrar adecuadamente este tipo de generación dentro del sistema. Otras inversiones asociadas a este efecto serían necesarias.

- **Reducción de pérdidas:** En el año 2010 el valor registrado de pérdidas dentro del Sistema Eléctrico Nacional fue del 18%²⁴. Existen distintos mecanismos para reducir este valor, muchos de los cuales ya los lleva a cabo la CFE (por ejemplo el Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía, PRONASE).

Varias de las energías renovables ofrecen una importante contribución a la eliminación de pérdidas, que por la ubicación del recurso permiten acercar la generación a punto de consumo. Los ejemplos más claros son los paneles solares en casas o edificios, los equipos de cogeneración en la industria, así como las centrales de biomasa en granjas.

La interconexión de este tipo de centrales denominadas de “generación distribuida” permite no sólo reducir las pérdidas por el hecho ya citado sino que ofrece dos elementos adicionales de beneficio:

En términos de **calidad del servicio**, la energía eléctrica producida de manera local permite reducir o mitigar el número de interrupciones del servicio en un punto de consumo dado. En 2011 la CFE reportó cerca de 50min de interrupciones por usuario a nivel nacional.

²¹ SENER define el margen de reserva operativo como la diferencia entre la capacidad disponible y la demanda máxima coincidente de un sistema eléctrico, expresada como porcentaje de la demanda máxima. Donde la capacidad disponible es igual a la capacidad efectiva del sistema, menos la capacidad fuera de servicio por mantenimiento, falla, degradación y causas ajenas.

²² Prospectiva del sector eléctrico 2011-2025, SENER

²³ El margen de reserva se puede expresar en porcentaje (p.e. 10%) o como valor absoluto (p.e. 1,1). Ambos ejemplos expresan el mismo valor.

²⁴ CFE

Teniendo en cuenta el valor de la energía para los procesos industriales y la competitividad del país, resulta importante tener en consideración este elemento. Tan sólo 1 MWh no suministrado a la industria puede tener un impacto de más de 5,000 USD²⁵, 55 veces su precio medio al consumidor.

El segundo beneficio potencial asociado a la generación distribuida es la reducción en la necesidad de invertir en nuevas redes de transporte, si bien ciertas modificaciones se deben de llevar a cabo en la red de distribución para integrar estas tecnologías de una manera adecuada. Inversión que además fortalecerá las redes locales y por ello la calidad del servicio.

²⁵ Resultado del producto interior bruto entre el total de generación eléctrica en México

5. El rol de las energías renovables en el SEN

¿Bajo qué modalidades deben de impulsarse las energías renovables?

La Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica establece en su artículo primero que:

“Corresponde exclusivamente a la Nación, generar, conducir, transformar, distribuir y abastecer energía eléctrica que tenga por objeto la prestación de 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.”

Adicionalmente en el artículo 3 de dicha Ley se indica que no se consideran servicio público las siguientes actividades:

- i. *La generación de energía eléctrica para autoabastecimiento, cogeneración o pequeña producción;*
- ii. *La generación de energía eléctrica que realicen los productores independientes para su venta a la Comisión Federal de Electricidad;*
- iii. *La generación de energía eléctrica para su exportación, derivada de cogeneración, producción independiente y pequeña producción;*
- iv. *La importación de energía eléctrica por parte de personas físicas o morales, destinada exclusivamente al abastecimiento para usos propios; y*
- v. *La generación de energía eléctrica destinada a uso en emergencias derivadas de interrupciones en el servicio público de energía eléctrica.*

El gobierno federal, más allá de ser el responsable del servicio público de generación eléctrica, tiene como misión a través de la Secretaría de Energía:

“Conducir la política energética del país, dentro del marco constitucional vigente, para garantizar el suministro competitivo, suficiente, de alta calidad, económicamente viable y ambientalmente sustentable de energéticos que requiere el desarrollo de la vida nacional.”²⁶

Es en esta misión donde reside la responsabilidad y el compromiso del gobierno sobre la planificación energética del país y sobre la definición del rol que las energías renovables han de jugar en el Sistema Eléctrico Nacional Mexicano.

Dicho rol debe de definirse considerando el potencial de los distintos recursos a lo largo del territorio nacional, los costes actuales y futuros de las distintas tecnologías, las externalidades de cada una de ellas así como el impacto de su desarrollo sobre los compromisos internacionales y sobre los objetivos de sustentabilidad establecidos en la legislación nacional.

En base a las características de cada tipología de energía renovable y a las principales modalidades de generación existentes, la figura a continuación muestra una valoración ilustrativa y consensuada a lo largo de los análisis, del rol que de manera estructural podrían jugar cada una de ellas.

²⁶ Misión y Visión de la Secretaría de Energía

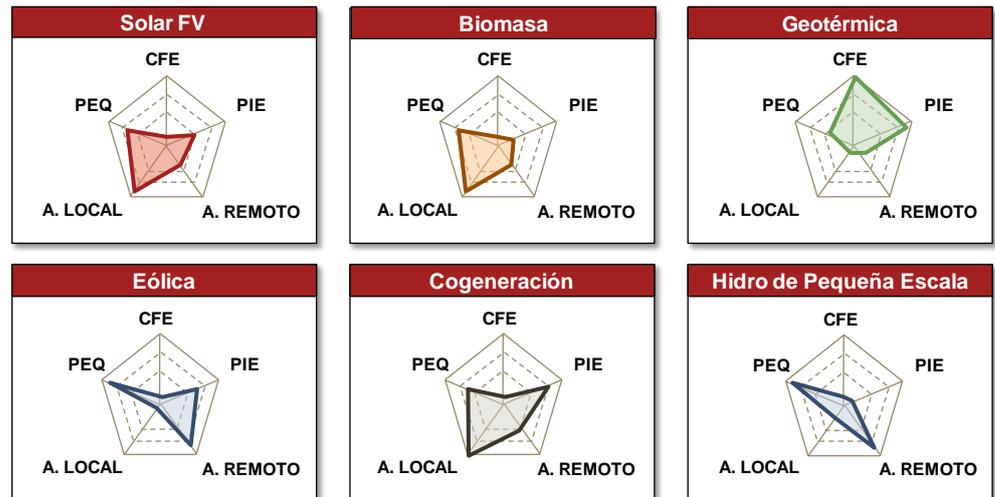


Figura 27: Valoración del rol de las energías renovables según las modalidades de generación dentro del SEN; SENER, PwC

- Solar FV:** A corto plazo esta tecnología tiene encaje natural en el desarrollo de las energías renovables del país a través de la figura jurídica de *pequeño productor* o *productor independiente de energía*. Fuera de estos esquemas podría desarrollarse bajo esquemas de autoabastecimiento local, aprovechando los mecanismos de *netmetering* desarrollados por la CRE. En regiones del país con una alta irradiación y donde el costo de generación de la CFE sea elevado, caso de Baja California Sur, esta tecnología puede jugar un rol significativo a través del autoabastecimiento remoto.

Caso de éxito en México: Enercity

Esta empresa establece contratos de “Servicios ENERCITY” focalizándose en el segmento DAC, la empresa se encarga del diagnóstico de beneficios, las gestiones administrativas ante la CFE, la instalación de paneles y el mantenimiento de los mismos a cambio de un pago fijo en un plazo definido. Al término de dicho plazo, el sistema pasa a ser propiedad del cliente

- Biomasa:** El principal reto de esta tecnología reside en el acceso al recurso de manera sostenible en el largo plazo, y requiere por sus costes de generación de apoyo regulatorio bajo modalidad de servicio público. Por ello, al igual que la tecnología Solar PV, para que su energía pueda ser adquirida por la CFE debe de impulsarse vía pequeña producción primordialmente. La biomasa cuenta a través del uso de purines y aserraderos con un alto potencial en autoabastecimiento local. Por su parte la biomasa agrícola o el biogás de rellenos sanitarios pueden abastecer a la industria o al servicio público, bajo autoabastecimiento remoto.

Caso de éxito en México: Relleno Sanitario en Nuevo León

Este es el primer proyecto de energía en México y Latinoamérica que utiliza como combustible el biogás extraído de rellenos sanitarios (Municipio de Salinas Victoria, Nuevo León). SIMEPRODE y la empresa privada Bioeléctrica de Monterrey, a través de Bioenergía de Nuevo León, operan desde septiembre del 2003 la planta BENLESA (Proyecto Monterrey I). La planta tiene una capacidad de generación de energía de 12.72MW

- **Geotérmica:** El agua del subsuelo es un recurso público al igual que los hidrocarburos por lo que su desarrollo se entiende de manera natural desde la CFE y a través de licitaciones de PIE, vía concesiones para el aprovechamiento del recurso. Además existe potencial como autoabastecimiento remoto o pequeña producción, en yacimientos con potencial inferior a los 30MW de potencia instalable.

Caso de éxito en México: Planta de Cerro Prieto, Baja California

La principal central en México, operada por la CFE es la Central de Cerro Prieto con una capacidad de generación de 645MW en Mexicali, Baja California. Cuenta además con planes de expansión. Es una de las plantas más grandes del mundo y está en operación desde 1973.

- **Eólica:** Existe potencial competitivo con los CCGTs en el corto y medio plazo. Se ha establecido ya en el mercado de autoabastecimiento con éxito y podría tener un mayor impulso vía productor independiente de energía y pequeña producción

Caso de éxito en México: Parques Oaxaca II, III y IV

La capacidad combinada de los tres parques más recientes construidos bajo el esquema de de producto independiente de energía fueron adjudicados a un precio de entre US\$ 65,8/MWh y US\$ 67,8/MWh.

- **Cogeneración:** Constituye una gran herramienta de generación distribuida en punto de consumo, los excedentes podrían venderse a la CFE aumentando la competitividad de la industria mexicana.

Caso de éxito en México: Proyecto de Cogeneración Nuevo Pemex

Primer proyecto de este tipo para Petróleos Mexicanos. Será desarrollado bajo el esquema de prestación de servicios por un tercero, a través de un contrato a veinte años para la transformación de agua en vapor que será entregado al Complejo Procesador de Gas Nuevo Pemex, y de gas natural en energía eléctrica, para su entrega a dicho complejo y porteo a otros centros de trabajo de Pemex.

La planta producirá el 11.2% del total de la electricidad generada vía cogeneración en el país. En el contexto regional, su producción equivaldrá al 77% de la demanda de electricidad de la zona conurbada de la ciudad de Villahermosa en Tabasco.

6. La generación de riqueza y empleo asociado a las energías renovables

¿Cuál es su impacto en la economía y el empleo?

Más allá de las implicaciones e impactos en el sector eléctrico del país, el desarrollo de las energías renovables, tal y como se ha visto en otras geografías, lleva asociado significativos impactos sobre la economía y la vertebración social de los territorios.

Dos efectos concurrentes configuran al sector renovable en este tiempo, como uno de los grandes vectores de desarrollo y crecimiento del país. De una parte la curva de aprendizaje recorrida por las diferentes tecnologías abaratando sus estructuras de costes hasta ser competitivas incluso hoy día vs. otras energías convencionales. De otra, la profunda crisis en la que se encuentran los mercados maduros pioneros en el desarrollo del sector, hacen que unido al gran potencial existente en el país, México sea en la actualidad un polo de atracción a nivel de los flujos de inversión en materia renovable.

Es imprescindible por tanto, considerar el impacto socioeconómico a la hora de valorar políticas que apoyen el impulso definitivo del sector renovable.

Al igual que no todas las tecnologías tienen el mismo costo de generación, cada tecnología tiene distintos impactos sobre la economía. Utilizando metodologías estándar de cálculo de impactos macroeconómicos (tablas input-output, matrices de Leontieff) que permiten medir el impacto sobre toda la cadena de valor y la economía en su conjunto, cuantificamos el impacto que la instalación de la capacidad necesaria para la generación de 10,000 GWh²⁷, por cada tecnología, tendría sobre el PIB, el empleo²⁸ y la recaudación fiscal²⁹.



Figura 28: Comparativo de impacto en PIB, generación de empleo y recaudación fiscal; SEN; SENER, PwC

²⁷ Debido a que existen diferencias en el factor de planta medio de cada tecnología, es necesario un volumen de capacidad distinto para cada una, a fin de generar de manera homogénea 10,000 GWh al año

²⁸ Nuevos empleos generados como consecuencia de la inversión realizada

²⁹ Impuesto sobre la renta, Impuesto Empresarial de Tasa Única, Impuesto sobre el Valor Añadido y Contribuciones a la Seguridad Social

El análisis anterior se ha realizado considerando el porcentaje de la inversión que corresponde a bienes nacionales, así como los impactos indirectos e inducidos³⁰.

Energía eólica

El desarrollo del sector eólico industrial cuenta con grandes oportunidades de desarrollo en México, de enviarse las “señales de mercado” adecuadas, que podrían atraer importantes inversiones al sector manufacturero nacional.

Lo anterior debido, entre otros elementos, a las altas sinergias con sectores de valor añadido que ya se encuentran implantados en México, tales como la industria aeroespacial. Asimismo, el posicionamiento geográfico de México le sitúa, en una posición predilecta para no solo atraer inversiones que atiendan la demanda doméstico, sino también a la de exportación, de la misma manera que ha sucedido en la industria automotriz.

Los valores de impacto en PIB y generación de empleo en la figura a continuación se han estimado en base al potencial económicamente competitivo de 12,000 MW. En una primera instancia, los sectores productivos de la economía nacional que mayoritariamente se verían beneficiados por el desarrollo de parques eólicos serían el de la construcción, equipos metálicos y equipos de generación eléctrica.

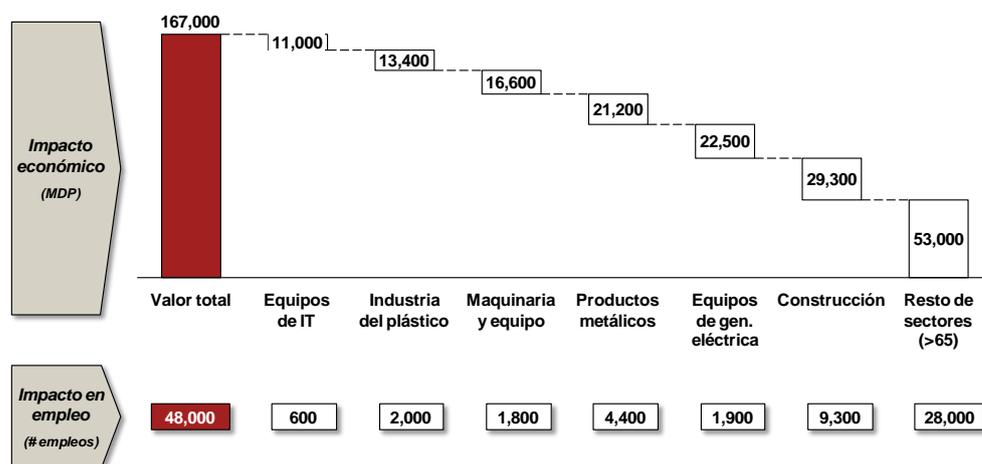


Figura 29: Impacto en el PIB y empleo por el desarrollo de 12,000 MW eólicos; AMDEE, PwC

Energía solar FV

Con respecto a la instalación de capacidad solar FV, si bien existen diferencias en los impactos económicos asociadas al desarrollo de centrales a gran escala (concentradas) y a las de autoconsumo local (distribuida), en general se observa que los sectores más beneficiados son el de servicios técnicos, así como los trabajos especializados para la construcción. Cabe señalar que, en el caso de generación distribuida, el número de empleos generados se incrementaría como consecuencia de la necesidad de instalar un gran número de paneles de manera atomizada.

Los valores de impacto en PIB y generación de empleo en la figura a continuación se han estimado en base a una potencia instalada de centrales concentradas de 500 MW.

³⁰ Incremento de producción y empleo en los proveedores de bienes y servicios de los sectores directamente afectados por la inversión y gasto, que, a su vez, también generan nuevas demandas en la economía así como el incremento de la actividad y el empleo generado por el consumo de bienes y servicios provocado por el aumento en las rentas del trabajo

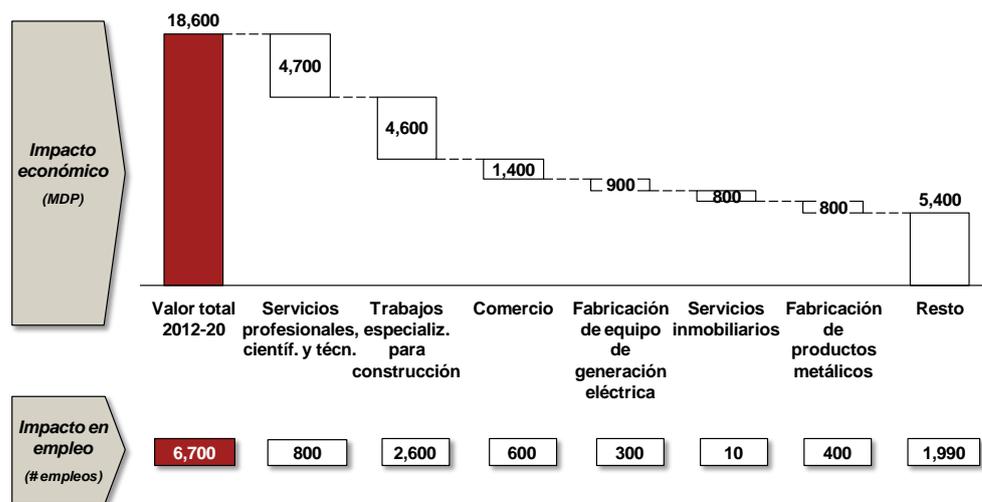


Figura 30: Impacto en el PIB y empleo por el desarrollo de 500 MW solares FV concentrados; SENER, PwC

Energía geotérmica

La industria geotérmica es un claro ejemplo de cómo la apuesta de un país por la utilización de sus recursos renovables conlleva la atracción de inversiones en la rama industrial.

Como se ha señalado, México es uno de los cinco países con mayor capacidad instalada geotérmica a nivel mundial. Lo anterior ha permitido que Alstom, productor de equipos geotérmicos, haya establecido en Morelia una planta de fabricación de turbinas.

La empresa ha creado en dicha ciudad en torno a 600 empleos e invertido cerca de 50 millones de dólares en los últimos 5 años. Desde su planta no sólo se fabrican componentes para el consumo interno sino que se abastecen mercados internacionales, como Indonesia o el Caribe.

Los valores de impacto en PIB y generación de empleo en la figura a continuación se han estimado en base a una potencia instalada de 1,500 MW.

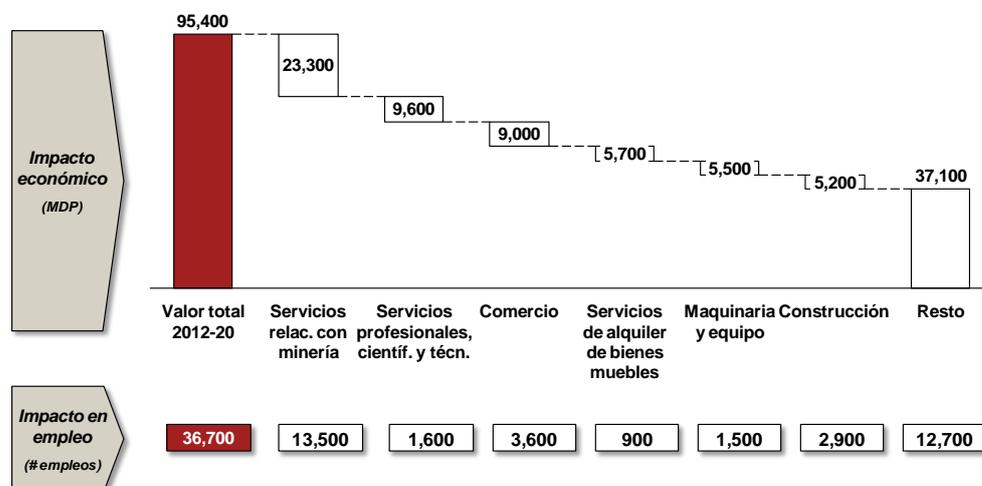


Figura 31: Impacto en el PIB y empleo por el desarrollo de 1,500 MW geotérmicos; SENER, PwC

Biomasa

El desarrollo de capacidad de biomasa, al igual que el resto de tecnologías, ofrece importantes beneficios al país. En este caso, uno de los sectores más beneficiados es el agrícola, por el aprovechamiento de residuos generados en la cosecha.

Algunas de las zonas con mayor potencial, para la instalación de plantas de biomasa, como Guanajuato, Jalisco o Michoacán, se caracterizan por ser las zonas con mayores tasas de migración a los Estados Unidos. Además, estas zonas muestran, en su mayoría, tasas de desocupación elevada, superior a la media nacional.

Los valores de impacto en PIB y generación de empleo en la figura a continuación se han estimado en base a un objetivo de instalación de 1,000 MW.

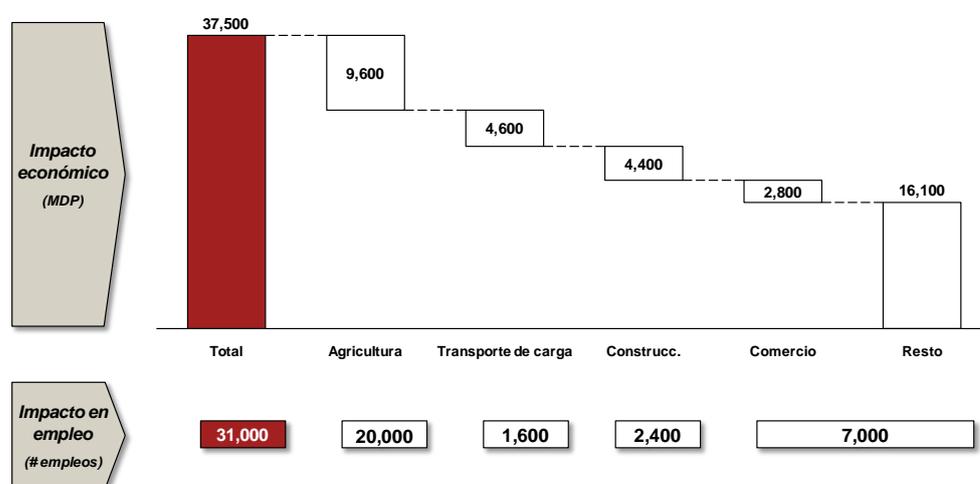


Figura 32: Impacto en el PIB y empleo por el desarrollo de 1,000 MW de biomasa; SENER, PwC

Hidráulica Renovable

La hidráulica renovable es una de las tecnologías que en la actualidad presenta un mayor porcentaje de contenido local. Lo anterior asociado a las inversiones en obra civil (canales o presas) que son requeridas alrededor de la central. Ello implica además que buena parte de los empleos podrían generarse en las mismas ubicaciones en las que se instalen las plantas.

Los valores de impacto en PIB y generación de empleo en la figura a continuación se han estimado en base a un objetivo de alcanzar los 1,000 MW instalados en el año 2020.

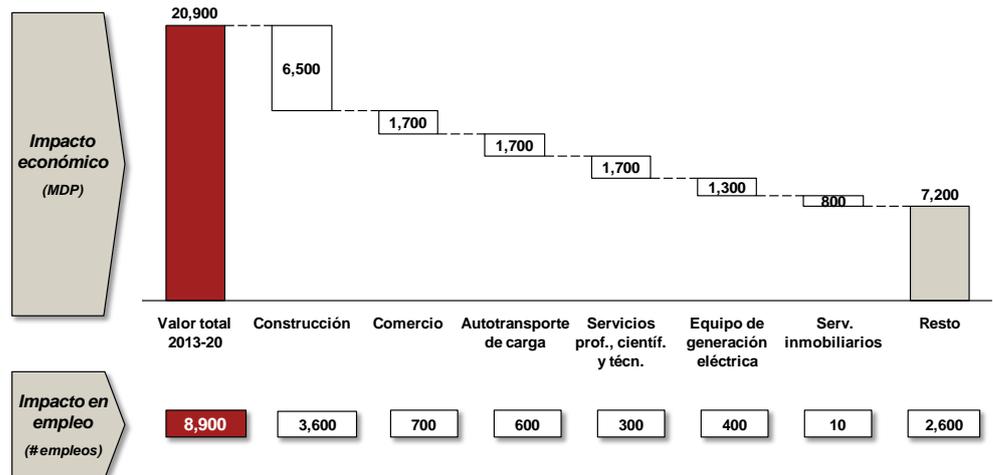


Figura 33: Impacto en el PIB y empleo por el desarrollo de 1,000 MW de hidráulica renovable; AMEXHIDRO, PwC

Cogeneración

El desarrollo de inversiones para el impulso de la generación tendría importantes beneficios, de manera especial, en los sectores de extracción de gas y en el de infraestructuras asociadas al transporte por ducto.

Este último punto es de especial importancia, ya que, al igual que tecnologías como la eólica o la hidráulica renovable requieren de programas de impulso al desarrollo de redes de transmisión eléctrica, la cogeneración requiere de un impulso al desarrollo de las redes de transporte y distribución de gas.

Los valores de impacto en PIB y generación de empleo en la figura a continuación se han estimado en base a un objetivo de instalación de 8,000 MW nuevos de capacidad.

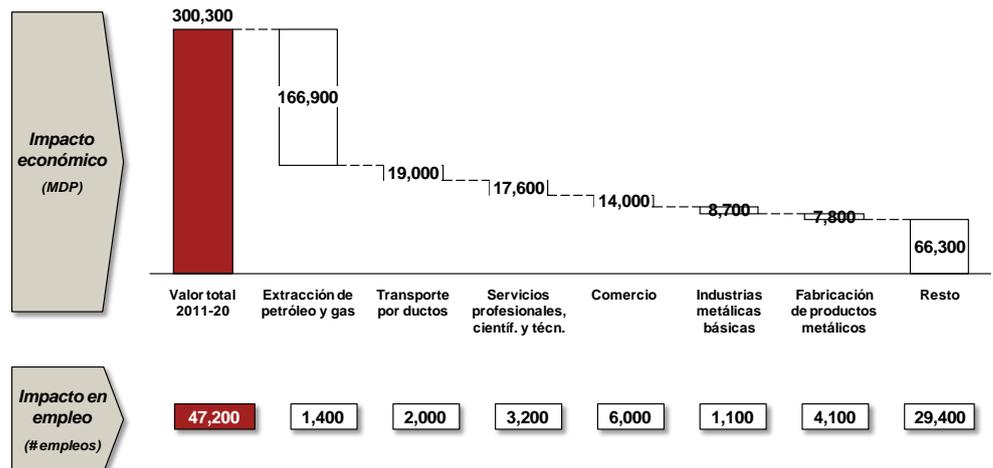


Figura 34: Impacto en el PIB y empleo por el desarrollo de 8,000 MW de cogeneración; SENER, PwC

***Posibles escenarios de
incorporación de las
energías renovables a
2018***

Escenarios de participación de las energías renovables a 2018

7. Escenarios propuestos a 2018

A fin de contribuir en el ejercicio de planeación energética, se han elaborado tres escenarios en función de la penetración de energías renovables, los cuales se describen a continuación:

- **Escenario tendencial:** Escenario estimado según el estado actual del sector y los planes vigentes
- **Escenario competitivo:** Escenario que aprovecha en mayor medida los recursos renovables y fija un objetivo puente del 29% de participación de energías limpias a 2018, con el objetivo de facilitar el cumplimiento del objetivo a 2024, establecido en la LAERFTE.
- **Escenario con apoyo:** Considerando lo establecido en la Ley General de Cambio Climático sobre la necesidad de apoyo internacional para el cumplimiento de objetivos de sustentabilidad, donde se indica que:

*“Las metas [de mitigación de CO₂] podrán alcanzarse si se establece un régimen internacional que disponga de mecanismos de apoyo financiero y tecnológico por parte de países desarrollados hacia países en desarrollo entre los que se incluye los Estados Unidos Mexicanos (...).”*³¹

El escenario con apoyo propone una meta más exigente que debería de contar con apoyo internacional para su cumplimiento. La figura a continuación muestra el escenario tendencial frente a los dos escenarios propuestos

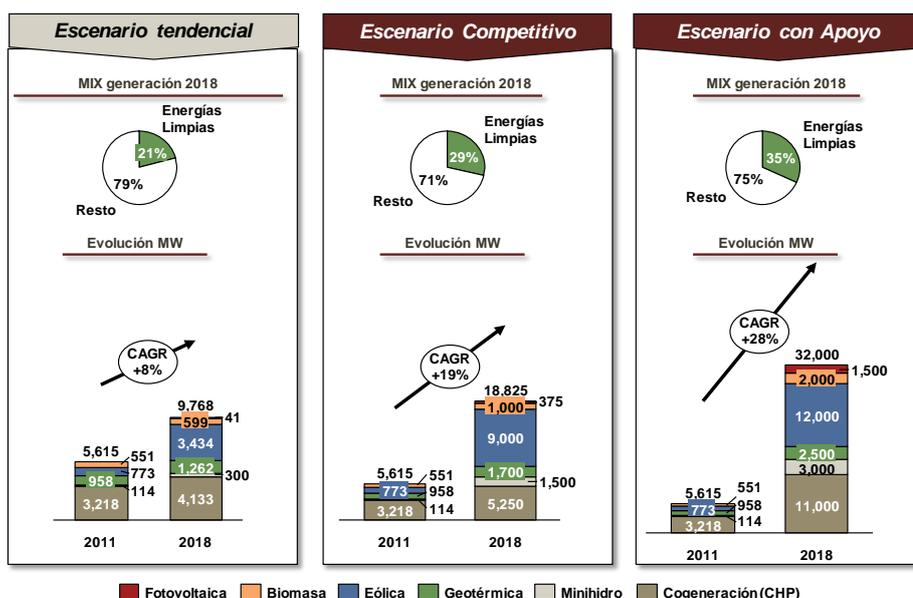


Figura 35: Propuesta de escenarios a 2018; PwC

³¹ Artículo transitorio 2do

En términos de mitigación de CO₂, la figura a continuación muestra el abatimiento generado por los escenarios antes descritos. De esta manera el sector de las energías renovables jugaría un papel fundamental en el cumplimiento de los objetivos de mitigación de CO₂ dentro del sector energético para el año 2020 (60tCO₂)

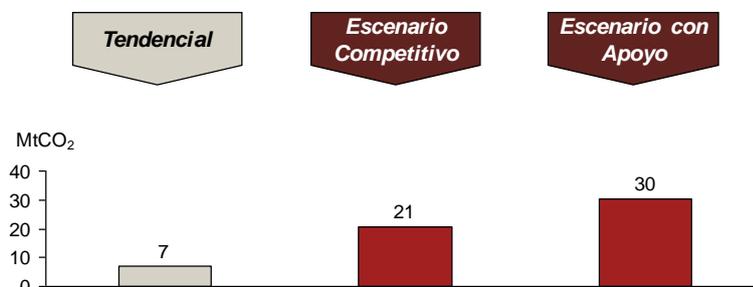


Figura 36: Escenarios de mitigación de CO₂ por nueva capacidad 2012-2018, valor anual al final del periodo; PwC

8. Aproximación a la necesidad de apoyo internacional en un escenario más ambicioso

El *Escenario Competitivo* está basado, en el aprovechamiento del recurso renovable competitivo existente en el país frente a los ciclos combinados (eólico y geotérmico) y frente a tarifa (solar PV, biomasa y cogeneración). El *Escenario con Apoyo* como mencionábamos anteriormente requiere de asistencia económica, fundamentalmente para el desarrollo de las tecnologías solar y de biomasa, ya que tanto las capacidades planteadas para la energía eólica como para la geotérmica son competitivas y se mantienen en ambos escenarios.

Para poder ilustrar en una primera aproximación la asistencia económica requerida en el *Escenario con Apoyo*, se ha realizado el ejercicio de estimar la energía generada por la capacidad no competitiva que se añadiría bajo dicho escenario y su sobre costo nivelado de generación con respecto a la energía que sería producida por ciclos combinados.

Para el ejercicio se ha considerado una capacidad adicional de 1,125 MW solares FV³² y 1,000 MW de biomasa (ver figura 23) y un periodo de producción de 20 años.

Por último, al monto total de la “asistencia económica requerida” por organismos internacionales, se le ha restado el beneficio fiscal que el gobierno mexicano tendría por las inversiones asicadas a la instalación de la capacidad adicional planteada (Como se analizó en el capítulo 6, cada MW desarrollado conlleva un incremento de recaudación para el gobierno)

La fórmula aplicada se presenta en la figura a continuación.

$$[MWh \text{ solar } E. \text{ Apoyo} - MWh \text{ solar } E. \text{ Competitivo}] * [LCOE \text{ solar} - LCOE \text{ CCGT}] * 20 \text{ años} - \text{Impacto en recaudación fiscal} = \text{Necesidad de apoyo económico}$$

Figura 37: Fórmula de primera aproximación a cuantificar el apoyo económico internacional; PwC

³² La capacidad Solar FV planteada correspondería a centrales de PIE o pequeña producción, ya que a escala doméstica de autoconsumo existe amplio potencial competitivo como se mencionó anteriormente

Bajo esta aproximación el apoyo internacional necesario ascendería a valores cercanos a los **US\$ 3,000 millones**, permitiendo cumplimiento del mix definido en el Escenario con Apoyo a 2018. La aportación se daría bajo mecanismos de apoyo a la compra de energía durante la vida de las plantas. Considerando una vida media de los activos de 20 años, la necesidad de apoyo ascendería a ~ US\$ 140 millones anuales.

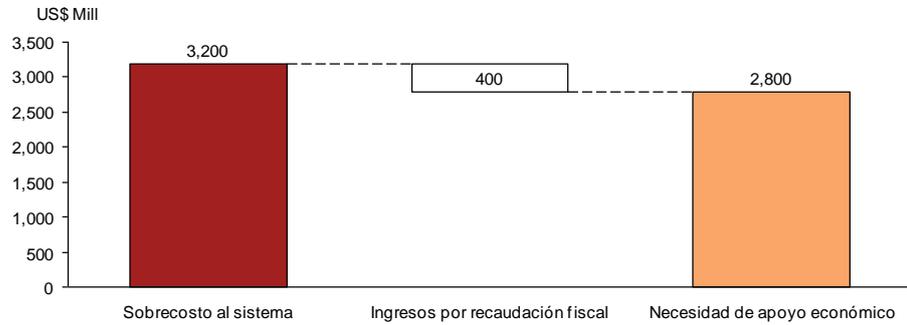


Figura 38: Aproximación a las necesidades de apoyo económico para el Escenario con Apoyo; PwC

Otra de las acciones que potencialmente es objeto de significativo apoyo económico internacional es el desarrollo de las redes de transmisión. Como se verá en la próxima sección conforma, junto con otras acciones clave, elemento esencial e imprescindible en el desarrollo de las energías renovables y el cumplimiento de los objetivos definidos por el Gobierno Mexicano.

*Acciones necesarias
para el cumplimiento
de los objetivos*

Acciones necesarias para el cumplimiento de objetivos

Potencial aprovechable sí... pero hacen falta acciones de impulso

En las secciones anteriores se ha descrito el potencial de las energías renovables con el que cuenta México, su competitividad, así como su aportación a la seguridad energética y a la sustentabilidad. En base a estas variables se ha valorado qué rol pueden jugar de manera eficiente dentro del Sistema Eléctrico.

Ahora bien, para cumplir con estos objetivos es necesario llevar a cabo una serie de acciones estratégicas, regulatorias, económicas y administrativas que aseguren su cumplimiento de una forma eficaz.

Si bien existe una gran cantidad de retos y acciones necesarias para impulsar el desarrollo del sector, son 5 las acciones clave que la próxima administración debe de llevar a cabo a fin de impulsar de una manera definitiva el desarrollo de las energías renovables en el país y enviar un mensaje de confianza a los inversionistas y público en general

i. Establecimiento de objetivos con una senda de crecimiento gradual y sostenido

En base a un número elevado de entrevistas con distintos agentes privados, desde desarrolladores, productores de equipos, financiadores y fondos de inversión, se ha identificado que una de las acciones fundamentales a llevar a cabo es el establecimiento de objetivos anuales hasta 2024, por tecnología. Esta acción otorga una mayor visibilidad de los objetivos a corto y medio plazo del gobierno y permite apostar de una manera decidida a los agentes privados en el desarrollo del sector.

El establecimiento de objetivos está en línea con los requerimientos de la LAERFTE en lo referente a la definición de metas de participación con crecimiento gradual y aprovechando la capacidad competitiva.

La LAERFTE estipula que la Secretaría de Energía debe de:

*“establecer objetivos y metas específicas para el aprovechamiento de las energías renovables, así como definir las estrategias y acciones necesarias para alcanzarlas”.*³³

³³ Capítulo III, artículo 11

Además añade que debe de:

*“establecer metas de participación de las energías renovables en la generación de electricidad, las cuales deberán aumentar gradualmente sobre bases de viabilidad económica y potencial técnico existente (...)”.*³⁴

Es necesario por tanto significar qué participación se requiere en el mix eléctrico mexicano de cada una de las energías renovables, así como un entendimiento de la capacidad de interconexión disponible y prevista en cada región a fin de ubicar las regiones en las que es factible el desarrollo de dicha capacidad renovable. La participación activa y coordinada entre los distintos agentes: SENER, CRE, CFE y SEMARNAT, resto de organismos públicos, así como asociaciones del sector y desarrolladores es clave en este proceso.

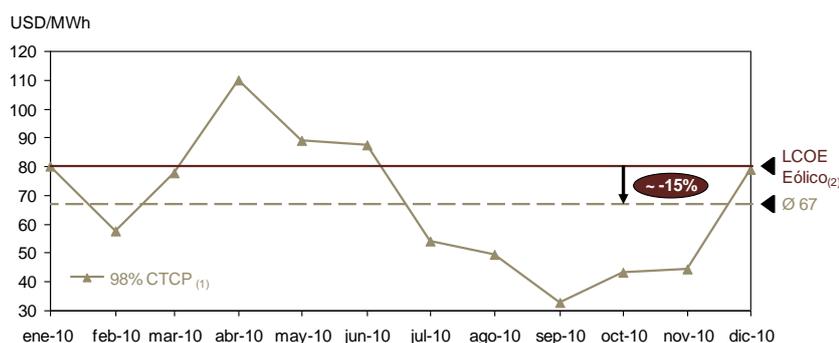
ii. Modificación de la metodología de contraprestaciones de pequeña producción y compra de excedentes

Dada las características de las energías renovables, la modalidad de pequeña producción es valorada por una amplia mayoría del sector como el mecanismo más eficiente a corto plazo para impulsar el desarrollo de la generación renovable.

La Ley del Servicio Público define a la pequeña producción como proyectos que:

*“(...) destinen la totalidad de la energía para su venta a la Comisión Federal de Electricidad. En este caso, la capacidad total del proyecto, en un área determinada por la Secretaría, no podrá exceder de 30 MW”*³⁵

Hasta agosto de 2012 la CRE había concedido permisos a tan sólo 7 proyectos, totalizando una capacidad de 80 MW. El discreto volumen de proyectos se entiende, en parte, por el bajo nivel de contraprestaciones (actualmente fijado como el 98%³⁶ del valor del Costo Total de Corto Plazo³⁷ en la región en que se ubica la central) y la volatilidad del índice de referencia, dificultando la bancabilidad de los proyectos.



- (1) Datos para el nudo Sureste asumiendo una tasa de cambio anual constante de 12,6 \$/US\$
(2) Costo nivelado de un parque eólico, asumiendo un factor de planta del 40%

Figura 39: Ilustrativo del Costo Total de Corto Plazo frente a los costos nivelado de la energía eólica, AMDEE; PwC

³⁴ Idem (26)

³⁵ Artículo 36 de la LSPEE.

³⁶ 98% para centrales de energías renovables y 95% en el caso de las energías fósiles o con una eficiencia térmica promedio inferior a los establecido por la CFE.

³⁷ Se calcula como el costo unitario, en \$/kWh, que se refiere al costo variable por conceptos de combustibles, de operación y de mantenimiento de la planta generadora, obtenido como el menor precio o costo posible para suministrar un kWh adicional en una región, tomando en cuenta las ofertas de los generadores, las restricciones de transmisión y las pérdidas en la red.

A continuación se muestran tres mecanismos de asignación de capacidad aplicados en otros países.



Subasta descendiente por tecnología

El organismo público publica con antelación las bases del proceso, incluyendo la tarifa base, energía y capacidad a subastar. Para la adjudicación, se ordenan los precios ofrecidos de mayor a menor, verificando que no se exceda la tarifa base, se comprueba que los MW no excedan los límites de potencia y que los MWh ofertados sean menores a la energía requerida.

En el caso peruano, la determinación de la tarifa base considera una rentabilidad no menor al 12% anual, calculada en base a costos de referencia internacional y costos de conexión al sistema.



Subasta híbrida por tecnología

Igualmente, el organismo público publica con antelación las bases del proceso, incluyendo la tarifa base, energía y capacidad a subastar.

En la 1era fase, se solicitan volúmenes de energía a un precio alto, con el fin de generar exceso de oferta. En cada ronda se establece un precio descendiente hasta que la demanda virtual se iguala a la oferta. Posteriormente se solicita a los ganadores que oferten en sobre cerrado su oferta final, que no podrá ser superior al precio de la última ronda de la 1era fase.



Sistema de cupos de potencia

El mecanismo de los cupos de potencia desarrollados en España a partir de 2008, es una alternativa a las subastas de energía. Este mecanismo fija en una 1era asignación un precio base que se va retroalimentado en función de la demanda. La capacidad que desee vender su energía bajo este régimen debe de solicitar su inscripción en un pre-registro de asignación.

Los valores de los precios correspondientes a las instalaciones que sean inscritas en el registro de pre-asignación asociadas a la convocatoria n , se calculan en función de los valores de la convocatoria anterior $n - 1$, de la siguiente forma:

Si $P \geq 0,75 \times P_0$, entonces: $T_n = T_{n-1} [(1 - A) \times (P_0 - P) / (0,25 \times P_0) + A]$

Si $P < 0,75 \times P_0$, entonces: $T_n = T_{n-1}$

Siendo: P , la potencia pre-registrada en la convocatoria $n-1$; P_0 , el cupo de potencia para la convocatoria $n-1$; T_{n-1} , la tarifa para las instalaciones pre-registradas asociadas a la convocatoria $n-1$; T_n , la tarifa para las instalaciones pre-registradas asociadas a la convocatoria n , y; A , el factor $0,91/m$ y m el número de convocatorias anuales.

Si durante 2 convocatorias consecutivas no se alcanzara el 50% del cupo de potencia objetivo, se podrá incrementar, mediante resolución del regulador, el precio unitario de la convocatoria siguiente en el mismo porcentaje que se reduciría si se cubriera el cupo.

Figura 41: Esquemas de subasta aplicados a nivel internacional, AMDEE; PwC

De igual manera, es importante para el impulso de la cogeneración eficiente que la energía eléctrica que resulte excedentaria se adquirida por la CFE a un precio competitivo, por lo que se podría establecer un valor de referencia similar al aplicado para la pequeña producción.

iii. Impulso al desarrollo de redes de transmisión

Numerosas regiones del país con significativos recursos renovables no cuentan en la actualidad con el desarrollo de la red de transmisión necesario para evacuar dicha capacidad. Este hecho vertebra uno de los grandes limitantes al desarrollo las energías renovables.

En los últimos años la CRE ha llevado a cabo una serie de iniciativas llamadas “Temporadas Abiertas” con el fin de impulsar el desarrollo de redes de transmisión en regiones del país con recurso renovable competitivo y con un volumen significativo de proyectos en la modalidad de autoabastecimiento.

Si bien estas iniciativas han configurado un impulso inicial innegable al sector, ejemplos como el caso de la segunda temporada abierta de Oaxaca, con un volumen de capacidad inferior al inicialmente proyectado (de 3,030 MW con capacidad reservada se pasó a tan sólo 1,130 MW con carta de crédito³⁸), u otras como la temporada abierta mini hidráulica que se declaró desierta.

Una de las razones que explican el limitado éxito de estos esquemas está asociada al impacto que las Temporadas abiertas provocan sobre el costo de los proyectos (hasta 270,000 MW en el caso de la 2ª TA de Oaxaca), al tener que incluir como parte de la inversión inicial el desarrollo de redes de transmisión, más allá de la convencional (desarrollo de la red hasta un punto de interconexión cercano).

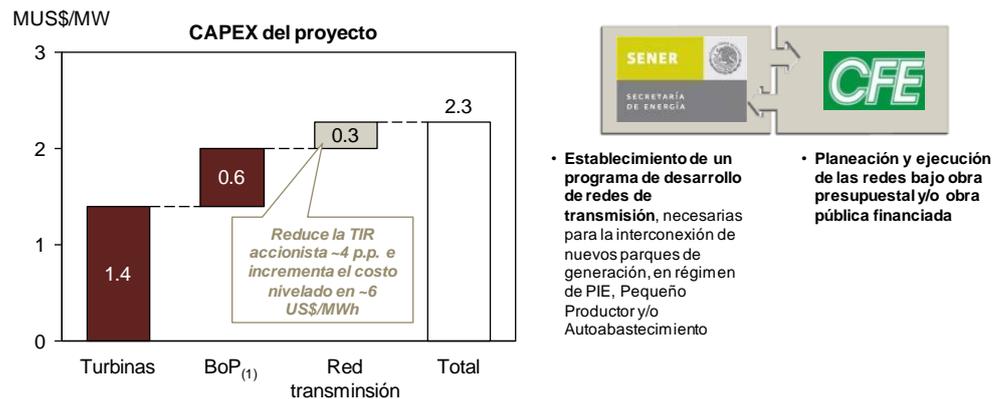


Figura 42: Sobre costo de inversión por el desarrollo de redes de transmisión y propuesta de esquema general de desarrollo, AMDEE; PwC

Bajo un esquema de apuesta decidida hacia el sector renovable es imprescindible asegurar el desarrollo de la red de transmisión del país bajo mecanismos eficientes que garanticen la capacidad de evacuación de la energía renovable competitiva. Si el ejecutivo no asume éste como el driver fundamental del impulso a la generación renovable el desarrollo del sector se enfrenta a un complejo futuro.

Ya en términos del artículo 27 Constitucional, la transmisión es un servicio público, lo cual se regula y confirma por el artículo 4 de la LSPEE, el cual señala que la prestación del servicio público de energía eléctrica comprende:

- I. *La planeación del sistema eléctrico nacional;*
- II. *La generación, conducción, transformación, distribución y venta de energía eléctrica, y;*
- III. *La realización de todas las obras, instalaciones y trabajos que requieran la planeación, ejecución, operación y mantenimiento del sistema eléctrico nacional.*

Es necesario por tanto explorar esquemas que sin comprometer la capacidad de endeudamiento del gobierno mejoren las condiciones de eficiencia y calidad en la prestación de dicho servicio público.

³⁸ Acuerdo Núm. A/025/2012, CRE

De este modo, y salvo una acción de reforma constitucional, se considera que los esquemas de Asociación Público Privadas (APP) podrían resolver una parte importante del problema de transmisión satisfaciendo los principales reclamos tanto del sector público como del privado.

En México existen varios tipos de APP. Entre los principales se encuentra la Contratación Integral que incluye los Proyectos de Prestación de Servicios (PPS). Los PPS consisten en contratos de largo plazo (5 - 30 años) mediante los cuales el gobierno contrata a empresas del sector privado para que éstas se encarguen de diseñar, financiar, construir, mantener e incluso operar determinada infraestructura a cambio de una contraprestación periódica.

El pago periódico que realiza el gobierno por el servicio contratado es considerado gasto corriente, y por lo tanto no genera deuda. Este esquema permite un uso más eficiente de los recursos públicos, pues le permite a la dependencia o entidad contratante delegar actividades a empresas del sector privado con mayor experiencia y capacidad de ejecución.

Si analizamos esquemas comparados internacionales que han probado su eficiencia y eficacia, el esquema aplicado en Brasil es uno de los ejemplos que mejor pudiera satisfacer la demanda de crecimiento de la red eléctrica mexicana.

De manera muy resumida, en el modelo brasileño, el gobierno a través de sus empresas estatales de electricidad somete a un esquema de subasta ciertos proyectos de transmisión y distribución de energía eléctrica. A aquel licitante que mayor precio ofrezca a las empresas de electricidad estatales por energía transmitida o distribuida (sea propia o de terceros), se le adjudica el financiamiento, diseño, construcción y operación de la infraestructura a largo plazo.

Claro está, a diferencia del modelo brasileño, la potencial traslación de dicho modelo al caso Mexicano debe de hacer referencia a aquellas actividades no consideradas reservadas al Estado.

Sin embargo, bajo el esquema PPS este último punto estaría cubierto, la propia naturaleza de una estructura PPS implica la existencia de un servicio público. Es importante por tanto reiterar que sin abandonar su naturaleza constitucional y sin realizar reforma legal alguna, la CFE a través de estructuras PPS podría convocar y licitar al inversionista privado que ofrezca las mejores condiciones para que el mismo, financie, diseñe y construya ciertas infraestructuras de transmisión a largo plazo.

Finalmente, se ha realizado una primera aproximación estimativa del volumen de inversión que sería necesario para interconectar la capacidad de energías renovables definida en los Escenarios *Competitivo* y *con Apoyo*.

Si bien no se cuenta con información sobre capacidad de interconexión disponible, el ejercicio de aproximación se ha realizado considerando que no existe dicha capacidad y que por ende se deberían de llevar a cabo acciones similares a las recientemente propuestas en Oaxaca, Tamaulipas, Puebla y Baja California. Para la generación de escenarios se ha aplicado el costo por MW superior e inferior observadas en los concursos llevados a cabo por la CRE en dichos estados, 270,000 US\$/MW en Oaxaca y 95,000 US\$/MW en Tamaulipas.

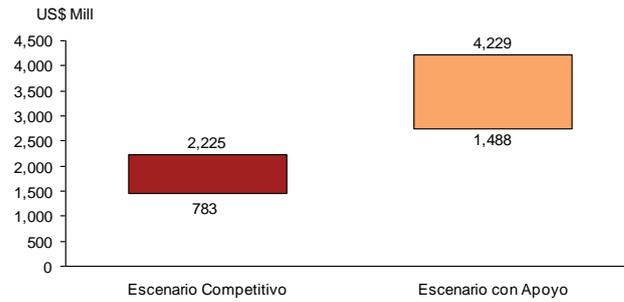


Figura 43: Aproximación a las inversiones necesarias para interconectar la capacidad adicional en los Escenarios Competitivo y con Apoyo al SEN; PwC

Es importante significar que bajo el esquema señalado, la inversión no tendría que ser acometida por la CFE ni adelantada por los agentes que buscan desarrollar proyectos, sino más bien por empresas o fondos especialistas en el desarrollo de infraestructuras. Esto no sólo reduciría la necesidad de recursos públicos sino que impulsaría el desarrollo de las energías renovables al reducir la carga en la inversión inicial. La operación continuaría siendo llevada a cabo por la CFE con el fin de garantizar la seguridad energética, mientras que el desarrollador de la red cobraría a las centrales de generación interconectadas un peaje por kWh transportado a través de la misma.

iv. Modificación de la metodología de cálculo del costo nivelado para la planeación del sistema

Como se ha señalado anteriormente, el costo nivelado de generación LCOE es la metodología común utilizada por los planificadores energéticos a la hora de identificar la competitividad de una tecnología frente al resto, permitiendo el desarrollo costo eficiente del sistema. La CFE utiliza en su planeación dicha herramienta.

Se propone que la CFE incorpore las variables de apalancamiento y externalidades (emisiones de CO₂) dentro de su metodología de planeación, logrando de este modo una visión mas precisa y real de los costos del sistema.

La figura a continuación muestra esquemáticamente esta propuesta.

El impacto del apalancamiento y de la venta de derechos de CO₂ son ya una realidad en los proyectos renovables...

... su incorporación permitiría obtener el valor real de los costos de generación, mitigando su actual diferencia en costos con los CCGTs

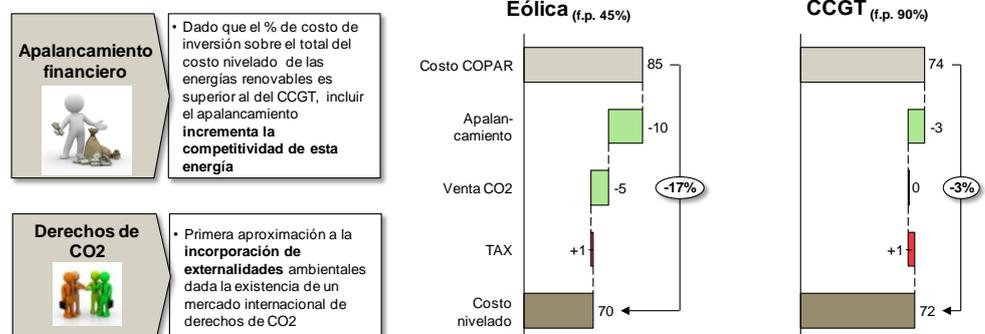


Figura 44: Propuestas de modificación de la metodología de costos nivelados; AMDEE, PwC

Reconocimiento del apalancamiento y Tasa de Descuento diferenciada

El Art 7. de la LAERFTE establece que es responsabilidad de la CRE:

“expedir las metodologías para determinar la aportación de capacidad de generación de las tecnologías de energías renovables al Sistema Eléctrico Nacional. Para la elaboración de dichas metodologías considerará la información proporcionada por los Suministradores, las investigaciones realizadas por institutos especializados, las mejores prácticas de la industria y demás evidencia nacional e internacional”.

En este contexto la información proporcionada en el análisis de la figura anterior es una herramienta para la inclusión de las variables de apalancamiento y tasa de descuento diferenciada, que permitan el cálculo del costo nivelado de una manera más certera y por ende refleje de una manera más transparente la competitividad de las energías renovables.

Reconocimiento del valor de las externalidades

El Art 13. de la LAERFTE establece que será la Comisión quien previa opinión de las SHCP, SENER, SERMARNAT y Salud

“determine las contraprestaciones mínimas y máximas que pagarán los suministradores a los generadores que utilicen energías renovables. Dichas contraprestaciones deberán incluir pagos por los costos derivados de la capacidad de generación y por la generación de energía asociada al proyecto.”

Además establece que:

“el cálculo de las contraprestaciones tomará en cuenta la tecnología, la ubicación geográfica de los proyectos y las externalidades derivadas, con respecto a la electricidad generada con energías no renovables.”

Por lo anterior está dentro del propio marco regulatorio actual el reconociendo de estos factores. Siendo el apalancamiento y el valor de las emisiones de CO₂ un primer paso para el pleno reconocimiento del valor de las externalidades.

v. Fortalecimiento de otros elementos clave del marco regulatorio y otras medidas

Adicionalmente a las acciones antes señaladas, y por la naturaleza de ciertas energías renovables (geotérmica, minihidráulica y biomasa), existe determinada regulación adicional y específica que requiere modificaciones que permitan el impulso definitivo de dichas tecnologías.

La Ley de Aguas Nacionales (LAN)

Para el caso de la energía geotérmica, **se debe de aclarar el uso de las aguas del subsuelo en estado de vapor o líquido superior a los 80°C**. Para ello, se debe de reformar la LAN para que, sin ser contraria a la disposición Constitucional, cubra la indefinición al establecer que las aguas del subsuelo en estado de vapor o líquido superior a los 80°C (como ya lo define la LAN), son diferentes a las aguas del subsuelo para usos agrícolas o consumo humano y, por ende, no les es aplicable las vedas que señala la disposición Constitucional.

Asimismo, **las concesiones deben abarcar una superficie predeterminada** de terreno y no regirse por volumen de extracción (como está establecido actualmente). Esta modificación es imprescindible para salvaguardar la protección de los derechos de exploración y explotación.

Es necesario el **desarrollo de una regulación clara de derechos de exploración, exclusividad y no competencia**. Para ello la LAN debe de establecer que aquellos que inicien u obtengan de la Comisión Nacional del Agua (“CONAGUA”) una concesión de exploración para fines de potencial geotérmico, tengan el derecho de exclusividad sobre el yacimiento en exploración.

Existe en la Ley Minera vigente, un ejemplo trasladable a la Ley de Aguas Nacionales. En su artículo 12, señala que toda concesión debe de referirse a un lote minero, con profundidad indefinida y limitado por planos verticales, cuya cara superior es la propia superficie del terreno. Con esto se limita el yacimiento de forma más clara a lo señalado por la LAN cuya filosofía actual es identificar el punto de extracción del yacimiento, pero no protege los derechos del concesionario sobre el yacimiento en sí.

La Ley de Bioenergéticas

Para el impulso del uso de la biomasa y siguiendo experiencias internacionales, un potencial dinamizador relevante del sector sería la definición de una regulación que imponga la obligación de dar un fin determinado a cierto volumen de residuos. Se podría establecer la creación de una norma fundada en los artículos 12, inciso II y 13 de la Ley de Bioenergéticas a ser emitida por la SEMARNAT y en coordinación con CRE y SENER, en los que se imponga la obligación de cuotas mínimas de disposición final de RSU para fines de generación de energía eléctrica.

La norma debería establecer: cuotas anuales que deben ser cumplidas por las entidades y mecanismos o tecnologías aprobadas, así como mecanismos de coordinación intermunicipal para oferta y entrega conjunta de insumos a un solo proyecto.

Índice de figuras

Figura 1: Escenarios de aprovechamiento de las energías renovables a 2018, PwC	4
Figura 2: Evolución de la nueva capacidad de generación de tecnologías limpias planificadas (izquierda) y generación total (derecha) 2012-2024; CFE, PwC.....	7
Figura 3: Ilustrativo de la ubicación geográfica de las zonas con mayor potencial renovable según tecnología, PwC.....	10
Figura 4: Potencial eólico mexicano según factor de planta; AMDEE, PwC	11
Figura 5: Evolución de la capacidad eólica española vs factor de planta medio 2006-2011; REE, PwC.....	11
Figura 6: Potencial geotérmico estudiado en México; CFE, IIE, PwC	12
Figura 7: Principales países con capacidad geotérmica para generación eléctrica y su evolución esperada 2010-2015; AIE, IDAE, PwC	12
Figura 8: Irradiación solar media a lo largo de la geografía mexicana; NREL.....	13
Figura 9: Potencial de generación fotovoltaico en función del índice de irradiación solar; SENER, PwC.....	13
Figura 10: Potencial máximo teórico por tipo de recurso de biomasa; SENER, PwC.....	14
Figura 11: Distribución geográfica de los principales ríos de México y su escurrimiento medio anual histórico; CONAE, PwC	15
Figura 12: Factor de carga de los emplazamientos identificados; SENER con datos de CFE, PwC	16
Figura 13: Potencial de cogeneración por industria (MW); CONUEE/GTZ, PEMEX, PwC	17
Figura 14: Evolución esperada de los costos nivelados de generación por tecnología 2012-2020;	SENER, PwC
Figura 15: Competitividad de la energía eólica frente a los CCGTs 2012-2020; AMDEE, PwC 19	
Figura 16: Competitividad de la energía geotérmica frente a los CCGTs 2012-2020; SENER, PwC	20
Figura 17: Competitividad de la energía solar FV frente a los CCGTs 2010-2020; SENER, PwC	20
Figura 18: Competitividad de la energía solar FV frente a tarifas HM y residenciales 2010-2020;	SENER, PwC
Figura 19: Competitividad de la biomasa y potencial competitivo por tipo de recurso; SENR, PwC	22
Figura 20: Costos nivelados de generación en función de salto y cauda vs costos del turbo gas y combustión interna.; SENR, PwC.....	22
Figura 21: Competitividad del recurso hidráulico renovable frente a costos de generación y tarifas de los emplazamientos de ≤ 30 MW, 2012 SENR, PwC.....	23
Figura 22: Competitividad del recurso hidráulico renovable frente a costos de generación y tarifas de los emplazamientos de ≤ 50 MW, 2012 SENR, PwC.....	23
Figura 23: Competitividad del recurso hidráulico renovable frente a costos de generación y tarifas de los emplazamientos de ≤ 100 MW, 2012 SENR, PwC.....	24
Figura 24: Ejemplo ilustrativo de la competitividad de la tecnología de cogeneración; SENER, PwC	24
Figura 25: Aportación a la seguridad energética y a la sustentabilidad por tipo de tecnología renovable; SENER, PwC	25
Figura 26: Objetivos de mitigación de CO ₂ y contribución por sector, SEMARNAT; AMDEE, PwC	26
Figura 27: Valoración del rol de las energías renovables según las modalidades de generación dentro del SEN; SENER, PwC	30
Figura 28: Comparativo de impacto en PIB, generación de empleo y recaudación fiscal; SEN; SENER, PwC.....	32

Figura 29: Impacto en el PIB y empleo por el desarrollo de 12,000 MW eólicos; AMDEE, PwC	33
Figura 30: Impacto en el PIB y empleo por el desarrollo de 500 MW solares FV concentrados; SENER, PwC.....	34
Figura 31: Impacto en el PIB y empleo por el desarrollo de 1,500 MW geotérmicos; SENER, PwC	34
Figura 32: Impacto en el PIB y empleo por el desarrollo de 1,000 MW de biomasa; SENER, PwC	35
Figura 33: Impacto en el PIB y empleo por el desarrollo de 1,000 MW de hidráulica renovable; AMEXHIDRO, PwC	36
Figura 34: Impacto en el PIB y empleo por el desarrollo de 8,000 MW de cogeneración; SENER, PwC.....	36
Figura 35: Propuesta de escenarios a 2018; PwC.....	38
Figura 36: Escenarios de mitigación de CO2 por nueva capacidad 2012-2018, valor anual al final del periodo; PwC	39
Figura 37: Fórmula de primera aproximación a cuantificar el apoyo económico internacional; PwC	39
Figura 38: Aproximación a las necesidades de apoyo económico para el Escenario con Apoyo; PwC	40
Figura 39: Ilustrativo del Costo Total de Corto Plazo frente a los costos nivelado de la energía eólica, AMDEE; PwC.....	43
Figura 40: Ilustrativo de esquema de contraprestaciones a la pequeña producción, AMDEE; PwC	44
Figura 41: Esquemas de subasta aplicados a nivel internacional, AMDEE; PwC.....	45
Figura 42: Sobre costo de inversión por el desarrollo de redes de transmisión y propuesta de esquema general de desarrollo, AMDEE; PwC	46
Figura 43: Aproximación a las inversiones necesarias para interconectar la capacidad adicional en los Escenarios Competitivo y con Apoyo al SEN; PwC	48
Figura 44: Propuestas de modificación de la metodología de costos nivelados; AMDEE, PwC	48

