

REPORTE DE ANÁLISIS ECONÓMICO SECTORIAL
ELECTRICIDAD – Las energías renovables en el mundo
Año 5 – N° 8 – Octubre 2016



Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería

Bernardo Monteagudo 222, Magdalena del Mar
Lima – Perú

www.osinerg.gob.pe

Gerencia de Políticas y Análisis Económico

Teléfono: 219-3400 Anexo 1057

http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/institucional/acerca_osinergmin/estudios_economicos

Índice

Presentación.....	3
Las energías renovables no convencionales.....	4
Introducción.....	4
La energía renovable en el mundo.....	4
Costos de generación de electricidad con tecnología renovable	8
Últimas licitaciones de energía realizadas en Perú, México y Chile.....	9
Impacto Económico de los RER sobre el medio ambiente – Perú	13
Comentarios finales.....	15
Notas	17
Abreviaturas utilizadas	19

Presentación

Como parte de sus actividades asociadas a la gestión del conocimiento dentro del Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (Osinergmin), la Gerencia de Políticas y Análisis Económico (GPAE) realiza un seguimiento a los principales eventos y discusiones de política en los sectores energético y minero. Este esfuerzo se traduce en los Reportes de Análisis Económico Sectorial (RAES) sobre las industrias reguladas y supervisadas por Osinergmin (gas natural, hidrocarburos líquidos, electricidad y minería).

Los RAES buscan sintetizar los principales puntos de discusión de los temas económicos vinculados a las industrias bajo el ámbito de competencias de Osinergmin, dando a conocer el posible desarrollo o la evolución futura de estos sectores. El presente reporte correspondiente al sector eléctrico aborda el tema “Las energías renovables no convencionales”.

El reporte presenta de manera resumida los principales avances de las energías renovables en el mundo como consumo, inversiones y reducción de costos de producción eléctrica con Recursos Energéticos Renovables No Convencionales (RER). Asimismo, describe y analiza las características y resultados de las últimas licitaciones de energía realizadas en Perú, México y Chile. Finalmente, se presenta una estimación económica de las emisiones mitigadas de CO₂ que habrían evitado los proyectos de generación RER en operación en el Perú.

Cabe resaltar que el presente reporte constituye una versión preliminar (*background paper*) del segundo, quinto y octavo capítulo del libro “La industria de la electricidad en el Perú: 25 años de aporte al crecimiento” que será publicado por Osinergmin en noviembre del 2016. Además, constituye una parte del libro recopilatorio sobre recursos energéticos renovables y nuevas tecnologías energéticas a publicarse por Osinergmin en el año 2017.

Los comentarios y sugerencias se pueden enviar a la siguiente dirección de correo electrónico: gpae@osinergmin.gob.pe.

Arturo L. Vásquez Cordano
Gerente de Políticas y Análisis Económico

Las energías renovables en el mundo

Introducción

Las tecnologías que utilizan Recursos Energéticos Renovables No Convencionales (RER) han tenido un desarrollo importante a nivel mundial en los últimos años, estableciéndose como una importante fuente de energía, permitiendo avances en la mitigación de los efectos del cambio climático y generando un mayor acceso a la electricidad en las zonas más alejadas.

En el presente reporte se describe en primer lugar los principales avances de la energía renovable en el mundo (inversiones y consumo), así como los principales parques eólicos y plantas fotovoltaicas. En segundo lugar, se analiza la disminución de los costos de generación de las tecnologías RER. Posteriormente, se describe y analiza las principales características y resultados de las últimas licitaciones de energía RER realizadas en Perú, México y Chile. Finalmente, se calcula el impacto económico de los proyectos de tecnología RER sobre el medio ambiente en el Perú.

Es preciso señalar que este reporte se basa en el segundo, quinto y octavo capítulo del libro “La industria de la electricidad en el Perú: 25 años de aporte al crecimiento”, el cual se publicará en noviembre de 2016^[1] y constituye una parte del libro recopilatorio sobre recursos energéticos renovables y nuevas tecnologías energéticas a publicarse por Osinergmin en el año 2017.

La energía renovable en el mundo

Durante el 2015, diversas cumbres de países han permitido que se concreten acuerdos y

compromisos sobre el uso de energías renovables. En la Declaración sobre el Cambio Climático del G7 ^[2] los países integrantes se comprometieron a realizar una transformación en el sector eléctrico para el 2050 y acelerar el acceso a energía renovable tanto en África como en otros países en desarrollo. Por su parte, el G20 ^[3] acordó acelerar el acceso de energía renovable para mejorar la eficiencia energética.

Según el reporte anual del 2016 elaborado por el Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN 21), se estima que unos 147 GW de capacidad de energía renovable convencional y no convencional fueron añadidos en el 2015, siendo mayor en 9% comparado con el 2014. Asimismo, señala que la inversión privada tuvo un incremento significativo durante el 2015, así como el aumento de activos en energía renovable por parte de los bancos. El reporte señala que al 2015 la capacidad renovable era suficiente como para abastecer el 23.7% de la electricidad mundial. Así, la producción de energía renovable en el 2015 alcanzó el 2.8% de la energía consumida a nivel mundial.

La electricidad generada con energía hidráulica, geotérmica y biomasa ha resultado ser competitiva en comparación a la energía generada con combustibles fósiles. Por ello, en el 2015 y para principios del 2016 las expectativas sobre la mejora de los costos se evidenciaron en las bajas ofertas en las subastas de energía realizadas en América Latina, Medio Oriente, el norte de África y la India. Asimismo, las políticas de mercado se han orientado particularmente a la generación de energía con tecnología

renovable, en especial en la generación solar y eólica.

El mercado de energía solar creció 25% (50 GW) más en el 2015 a comparación del 2014. China, Japón y Estados Unidos aportaron la mayor capacidad de energía con esta tecnología. El surgimiento de este mercado en todos los continentes ha contribuido de manera significativa al crecimiento global, permitiendo precios más competitivos.

A la fecha, Bangladesh es el mercado más grande de energía solar en el mundo, y junto a otros países en desarrollo como Brasil en América Latina, están empleando esta tecnología para poder proporcionar energía eléctrica a las poblaciones que aún carecen del servicio por encontrarse más alejadas de las redes de transmisión y distribución.

Respecto al mercado de energía eólica, éste se ha convertido en el líder como fuente de generación de electricidad en Europa y Estados Unidos. Solo en el 2015, la tecnología eólica añadió 63 GW de capacidad instalada en comparación al 2014. Por su parte, los países no pertenecientes a la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE) fueron responsables de la mayor cantidad de instalaciones, liderados por China y los mercados emergentes en África, Asia y Latinoamérica.

Sobre el mercado hidroeléctrico, se ha estimado que 28 GW de capacidad han sido introducidos el 2015. En este mercado resaltan los países de China (27.9%), Brasil (8.6%), Estados Unidos (7.5%) y Canadá (7.4%).

En el siguiente cuadro se presentan algunos indicadores relevantes de la energía renovable a nivel mundial.

Cuadro N° 1: Indicadores de energía renovable a nivel mundial

Indicador	Medida	2014	2015
INVERSIÓN			
Nuevas inversiones en energía renovable y combustibles ¹	Miles de millones de US\$	273	285.9
ENERGÍA			
Capacidad instalada de energía renovable (no incluye Hidro)	GW	665	785
Capacidad instalada de energía renovable (incluye Hidro)	GW	1,701	1,849
Capacidad hidroeléctrica	GW	1,036	1,064
Capacidad geotérmica	GW	12.9	13.2
Capacidad solar	GW	177	227
Capacidad eólica	GW	370	433

¹ Datos de inversión tomados de Bloomberg New Energy e incluye proyectos de generación con biomasa, geotérmica y eólica de más de 1 MW, proyectos hidroeléctricos entre 1 y 50 MW, proyectos solares, los de menos de 1 MW se estimaron por separado junto con proyectos de pequeña escala, proyectos de energía de los océanos, y biocombustibles con capacidad de producción de 1 millón de litros a más.

Fuente: REN 21. Elaboración: GPAE – Osinergmin.

a) Inversiones

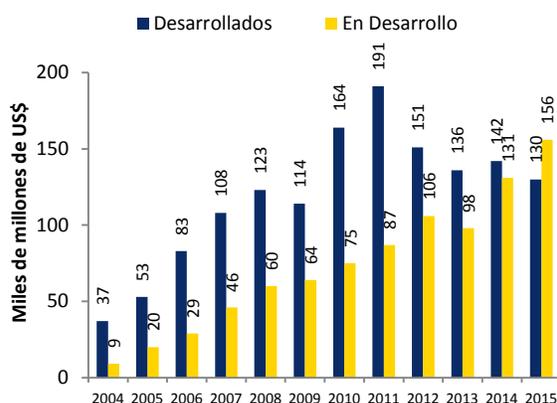
Respecto a la inversión realizada sobre este tipo de tecnologías en el mundo, el 2015 fue un año récord. Excluyendo a los grandes proyectos hidroeléctricos, la inversión se incrementó en 5% respecto al 2014 alcanzando la cifra de US\$ 258.9 miles de millones según Bloomberg New Energy Finance (BNEF), superando el récord de US\$ 278.5 miles de millones del 2011. Con este monto de inversión, el uso de energía generada con fuentes no convencionales representó alrededor del 10% de la electricidad mundial, y evitó la producción de cerca de 1.5 gigatoneladas de CO₂ en el año 2015.

Otro punto a destacar es que en el 2015 la inversión total en energías renovables en países en desarrollo superó por primera vez

a las inversiones de las economías desarrolladas. China, India y Brasil invirtieron alrededor de US\$ 156 miles de millones, representando un incremento de 19% respecto al año anterior. La inversión realizada por China representó 30% de la inversión mundial. De igual manera, otros países que incrementaron su inversión en energía renovables fueron Sudáfrica (US\$ 4.5 miles de millones), México (US\$ 4 miles de millones) y Chile (US\$ 3.4 miles de millones).

Desde el 2004, las inversiones en tecnología RER han acumulado un total de US\$ 2313 miles de millones, de los cuales el 62% se ha realizado en países desarrollados y el 38% en países en desarrollo. En el 2015, la inversión por parte de los países desarrollados y en desarrollo fue de US\$ 130 mil millones y US\$ 156 mil millones, respectivamente. En ambos casos, dichas inversiones representaron una caída de 8% y un crecimiento de 19%, respectivamente, con respecto al 2014. Ver **Gráfico N° 1**.

Gráfico N° 1: Inversión RER en países desarrollados y en desarrollo, 2004 – 2015



Fuente: United Nations Environment Programme (UNEP)/ Bloomberg New Energy Finance (BNEF).
Elaboración: GPAE-Osinerghmin.

Los países que mayor inversión realizaron en energías renovables durante el 2015 fueron China, Estados Unidos y Japón. Cabe

mencionar que las inversiones realizadas por China representaron la tercera parte de las inversiones a nivel mundial.

A continuación, se muestra en el **Cuadro N° 2** a los 10 países que realizaron las mayores inversiones durante el 2015.

Cuadro N° 2: Top 10 de inversiones RER por país, 2015

País	Inversión (miles de millones de US\$)	Variación anual (%)
China	102.9	17%
Estados Unidos	44.1	19%
Japón	36.2	0.1%
Reino Unido	22.2	25%
India	10.2	22%
Alemania	8.5	-46%
Brasil	7.1	-10%
Sudáfrica	4.5	329%
México	4.0	105%
Chile	3.4	151%

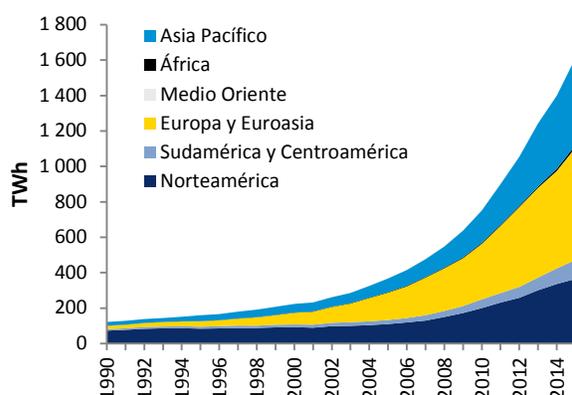
Fuente: UNEP/BNEF. Elaboración: GPAE- Osinerghmin.

b) Consumo de energías renovables

El consumo de electricidad generada por recursos renovables se incrementó en los últimos 25 años. A nivel mundial, en el año 2015 el consumo alcanzó los 1612 TWh. La mayor participación en el consumo ha sido registrada por parte de Europa y Eurasia con 39% (631 TWh), seguido de Asia Pacífico con 30% (490 TWh) y Norteamérica con 23% (365 TWh), y en último lugar se encuentra el consumo de Sudamérica y Centroamérica con 7% (107 TWh). En el **Gráfico N° 2** se puede apreciar que en los últimos 25 años el consumo de energías renovables para la generación de energía eléctrica se ha incrementado de manera exponencial a partir del año 2002. Ello se debe al inicio de los compromisos medioambientales

asumidos por los países firmantes del Protocolo de Kyoto.

Gráfico N° 2: Consumo de energía renovable, 1990 – 2015



Nota: Basado en generación bruta a partir de fuentes renovables como eólica, geotérmica, solar, biomasa y residuos. No incluye transferencias de electricidad.
Fuente BP. Elaboración: GPAE – Osinergmin.

Por su parte, el consumo de energía eólica y solar ha tenido su repunte sobre todo en Europa y Asia. En el 2015, el consumo de energía eólica fue de 253 TWh a nivel mundial, (44% en Europa, 36% en Asia y 20% en el resto del mundo); y el consumo de energía solar alcanzó la cifra de 841 TWh (39% en Europa, 30% en Asia y 31% en el resto del mundo).

c) Principales parques eólicos en el mundo

El parque eólico más grande del mundo se encuentra en Gansu, China. A la fecha tiene una capacidad instalada de 6000 MW y para el 2020 se espera que tenga una capacidad de generación de 20000 MW. El segundo parque eólico más grande es el Alta Wind Energy Center (AWEC) y es a su vez el más grande de Estados Unidos con una capacidad instalada de 1547 MW. Continúan en la lista el parque eólico de Muppandal (1500 MW) y Jaisalmer (1064 MW), ambos ubicados en India.

En quinto lugar se encuentra el parque eólico Shepherd Flat, ubicado en Estados Unidos, que posee una capacidad de 845 MW.

En Oaxaca (México) se encuentra Eurus, el parque eólico más grande de Latinoamérica, el cual tiene una capacidad instalada de 250 MW. En el Perú existen cuatro parques eólicos de los cuales el Parque Eólico Tres Hermanas (Ica) es el más grande, con una capacidad instalada de 97.15 MW.

En el **Cuadro N° 3** se resume las principales características de las centrales descritas anteriormente.

Cuadro N° 3: Principales parques eólicos en el mundo

N°	Central	País	Capacidad (MW)	Inicio de operación
1	Gansu	China	6,000	2009
2	AWEC	Estados Unidos	1,547	2010
3	Muppandal	India	1,500	2010
4	Jaisalmer	India	1,064	2001
5	Shepherds Flat	Estados Unidos	845	2012
6	Tres Hermanas	Perú	97.15	2015

Fuente: Bloomberg. Elaboración: GPAE-Osinergmin.

d) Principales plantas solares en el mundo

La planta solar de Lomngyangxia, situada en la provincia de Qinghai en China es la planta más grande de tecnología solar en el mundo, con una capacidad instalada de 850 MW y cubre un área de 9.16 km².

La segunda planta solar más grande del mundo es Solar Star que cuenta con una capacidad de 579 MW y se encuentra ubicada en Rosmand, California. Siguen en el ranking las plantas fotovoltaicas de Topaz (550 MW), Desert Sunlight (550 MW) y Copper Mountain (458 MW), ubicadas también en los Estados Unidos.

En el caso de Latinoamérica, la planta solar más grande es la Planta de Nacaome en Honduras (recientemente culminada en el 2015) que cuenta con una capacidad instalada de 145 MW.

En el Perú existen 5 plantas solares, 4 de las cuales poseen una capacidad instalada de 20 MW (central solar Majes, Repartición y Panamericana Solar y Tacna Solar), mientras que la quinta (central solar Moquegua FV) tiene una capacidad de 16 MW. Todas estas centrales se encuentran ubicadas en el sur del país.

En el siguiente cuadro se resumen las principales características de las plantas solares descritas.

Cuadro N° 4: Principales plantas solares en el mundo

N°	Central	País	Capacidad (MW)	Inicio de operación
1	Longyangxia Dam Solar Park	China	850	2014
2	Solar Star	EE.UU.	579	2015
3	Topaz Solar Farm	EE.UU.	550	2014
4	Deser Sunlight Solar Farm	EE.UU.	550	2015
5	Copper Mountain Solar Facility	EE.UU.	458	2010
6	Majes	Perú	20	2012

Fuente: Bloomberg. Elaboración: GPAE - Osinergmin

Costos de generación de electricidad con tecnología renovable

Como se ha visto en la sección anterior, a la fecha, las energías renovables constituyen una fuente importante de energía a nivel mundial. Su rápido crecimiento viene siendo impulsado por diversos factores, tales como los avances tecnológicos, el aumento de la

rentabilidad de las tecnologías renovables y un mejor acceso al financiamiento.

Al respecto, la Agencia Internacional de Energías Renovables ^[4] sostiene que los costos de producción eléctrica de las energías renovables se han reducido en los últimos años siendo ahora competitivos e incluso más bajos en comparación al costo de los combustibles fósiles como el carbón, petróleo o gas natural. Esta competitividad de las energías renovables se da incluso sin apoyo financiero y a pesar de la caída en los precios del petróleo.

En ese sentido, de acuerdo con el reporte anual del 2016 del REN21, el costo nivelado de electricidad (LCOE, por sus siglas en inglés) para los proyectos de energías renovables realizados el 2015 se encontraron alrededor de US\$ 0.06/kWh en biomasa, US\$ 0.08/kWh en geotérmicas, US\$ 0.05/kWh para hidroeléctricas y US\$ 0.06/kWh en energía eólica. Estas tecnologías compiten junto a la energía generada mediante combustibles fósiles los cuales tienen precios entre US\$ 0.045/kWh y US\$ 0.14/kWh.

Entre 1983 y 2015, el costo de inversión en energía eólica pasó de US\$ 4766/kW a US\$ 1550/kW, mientras que se estimó que el LCOE se redujo de US\$ 0.38/kWh a US\$ 0.06/kWh durante el mismo periodo.

La energía solar también mostró una reducción significativa en costos. Entre 2010 y 2015 el promedio ponderado del LCOE para instalaciones fotovoltaicas se redujo casi 60%. Las últimas licitaciones realizadas durante el 2015 y 2016 en Perú (US\$ 0.05/kWh), México (US\$ 0.035/kWh) y Chile (US\$ 0.029/kWh) demuestran esta tendencia.

Últimas licitaciones de energía realizadas en Perú, México y Chile

En América Latina el mecanismo más utilizado para promover las energías renovables en el sector eléctrico son las subastas, las cuales se utilizan en 13 de los 20 países de la región. Los países que tienen experiencia en subastas de energías renovables son Argentina, Brasil, Perú, Chile, Costa Rica, El Salvador, Uruguay, Panamá, Nicaragua, México, Belice, Guatemala y Honduras. Desde el año 2009, se han realizado en la región 54 subastas.

En esta sección se va a describir y analizar los últimos procesos de subastas realizados en México, Perú y Chile debido a los resultados exitosos que obtuvieron para la incorporación de energías renovables a la matriz de generación de esos países con bajos precios.

a) Perú

Marco Normativo

En el Perú, el marco normativo sobre los recursos energéticos renovables (RER) ^[5] está constituido en la Ley de Promoción de la Inversión para la Generación de Electricidad con el Uso de Energías Renovables (Decreto Legislativo N° 1002), en el Reglamento de Generación de Electricidad con Energías Renovables (Decreto Supremo N° 012-2011-EM) y en Reglamento para la Promoción de la Inversión Eléctrica en áreas No Conectadas a Red (Decreto Supremo N° 020-2013-EM).

Este marco normativo introdujo, desde el 2008, la realización de subastas competitivas y periódicas para viabilizar la explotación y participación de proyectos de generación RER dentro de la matriz del sector eléctrico del país.

Diseño de la subasta

Las características de las subastas RER convocadas en el Perú se resumen en que se convocan por tecnologías cada dos años, se señala la energía requerida en MWh/año para las fuentes con biomasa, eólica, solar, etc. además de solicitudes de energía de pequeñas centrales hidroeléctricas hasta alcanzar el 5% de participación en la matriz eléctrica del país contándose en consecuencia con una definición de las cantidades requeridas por cada tipo de fuente, fijándose en cada oportunidad precios tope para cada tecnología.

El marco normativo cuenta con un sistema de garantías que permite la remuneración de los precios resultantes en las tarifas mediante dos mecanismos: los costos marginales y las primas adicionales hasta cubrir los precios de las subastas. El principal requerimiento es entregar la energía comprometida independientemente de su capacidad para lo que se otorga prioridad en el despacho. Además, para obtener un mayor número de postores, los requerimientos técnicos para participar en la subasta son muy flexibles y se basan fundamentalmente en declaraciones juradas.

Resultados

A la fecha, se han llevado a cabo cuatro procesos de subasta RER para el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) y un proceso de subasta RER *off-grid* para áreas no conectadas a la red

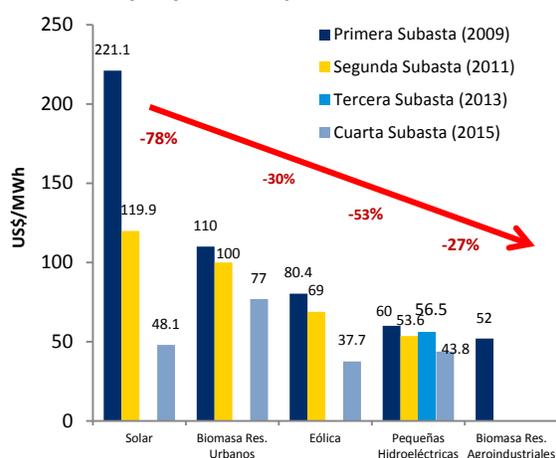
En total, durante las tres primeras subastas RER para el SEIN se han adjudicado 52 proyectos equivalentes a 843.8 MW que representan una inversión estimada de US\$ 1957 millones, habiéndose puesto en servicio la mayoría de las plantas adjudicadas. Los resultados en mayor detalle de las tres primeras subastas pueden

encontrarse en el Reporte de Análisis Sectorial del Sector Eléctrico (2014) ^[6].

En la cuarta subasta, convocada en septiembre de 2015 y adjudicada en febrero de 2016, se adjudicaron 13 proyectos de generación eléctrica (dos con biogás, tres con tecnología eólica, dos con tecnología solar y seis pequeñas hidroeléctricas). Estos proyectos aportaran al SEIN 1740 GWh de energía al año. En la subasta se logró adjudicar el 99% de la energía requerida.

Respecto a los precios, los resultados de las cuatro subastas se pueden resumir en el siguiente gráfico:

Gráfico N° 3: Precios promedio de los proyectos adjudicados



Fuente y elaboración: Osinergmin

Como puede observarse, los precios de la cuarta subasta alcanzaron valores de referencia internacional muy competitivos al obtener un precio promedio de 43.1 US\$/MWh en comparación a la primera subasta de largo plazo realizada por México en abril de 2016 (47.7 US\$/MWh) y a la última realizada por Chile en julio de 2016 (47.5 US\$/MWh).

Los sistemas fotovoltaicos han reducido sus precios desde 221 US\$/MWh a 48 US\$/MWh en seis años. Asimismo, en el caso de los

proyectos eólicos el precio se ha reducido a 38 US\$/MWh frente a los 80 US\$/MWh registrados en la primera subasta. Estos precios se obtuvieron como resultado de la disminución de los costos de cada tecnología y de la competencia dada en el proceso, dónde la oferta de propuestas excedió 16 veces la demanda para las fuentes eólicas, 21 veces para las fuentes solares y tres veces para las centrales hidroeléctricas; es decir, un proceso con muchos postores interesados.

Por otra parte, en el marco de política de electrificación rural (Plan de Acceso Universal a la Energía y Plan Nacional de Electrificación rural 2016-2025), cuyo desafío es llevar electricidad con energías renovables y a gran escala a los peruanos de las zonas rurales y aisladas del país, en el 2013 se ejecutó la primera subasta RER de sistemas fotovoltaicos para suministro de energía a áreas no conectadas a la red. Como resultado, en el 2014 se adjudicó una licitación a la empresa Ergon Perú S.A.C. para suministrar electricidad con sistemas fotovoltaicos a cerca de 15 mil localidades de las zonas rurales del norte, centro y sur del país que no cuentan con redes tradicionales de electricidad.

b) México^[7]

Marco Normativo

La Reforma Energética en México introdujo mecanismos de mercado para fomentar las inversiones en generación, transmisión y distribución, así como en el abastecimiento de energía para los usuarios finales.

Uno de estos mecanismos son las subastas a largo plazo reservadas exclusivamente para tecnologías renovables. Están diseñadas para satisfacer las necesidades de los Suministradores de Servicios Básicos (SSB), a fin de asegurar un precio fijo para los usuarios finales.

Cabe mencionar también que, a través de la promulgación de la Ley General del Cambio Climático y la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética, el gobierno mexicano se ha comprometido a reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en 30% para el 2020 y ha establecido como meta que para el 2024, el 35% de su generación eléctrica provenga de fuentes de energías renovables convencionales y no convencionales.^[8]

Diseño de la subasta

El diseño de las subastas a largo plazo permite licitar tres productos: i) energía, ii) potencia y iii) certificados de energía limpia (CEL). Cada oferente puede ofrecer paquetes por uno, dos o tres de estos productos. Los contratos se firman por un periodo de vigencia de 15 años para energía y potencia, y 20 años para los CEL. En ese sentido, está orientada a las energías renovables cuyo costo de “combustible” es prácticamente cero.

Las ofertas se ajustan de acuerdo a factores geográficos. Es decir, si el precio de la energía en una determinada zona es superior a la media del país, la empresa puede vender su energía en ese lugar a un precio mayor que si se ubica en otras zonas de precios inferiores.

Los resultados de la subasta se obtienen a través de un programa que calcula entre todas las ofertas el paquete óptimo ponderando precios, ubicación geográfica, horarios de demanda, tecnologías y limitantes del sistema.

Resultados

En abril y setiembre del 2016 se llevaron a cabo la primera y segunda subasta, respectivamente, de largo plazo para energías renovables no convencionales.

En la primera subasta se logró la adjudicación de 1700 MW de energía solar fotovoltaica y 480 MW de energía eólica a un precio promedio de adjudicación de 47.7 US\$/MWh. Este precio promedio incluye solo el precio por energía y CEL debido a que no se adjudicó potencia.

En esta subasta 69 empresas presentaron 227 ofertas siendo ganadoras 18, las cuales deberán construir, para el 2018, 16 centrales solares y eólicas con una inversión aproximada de US\$ 2600 millones.

Por otro lado, en la segunda subasta se logró adjudicar más del 80% de las cantidades que se licitaron para cada producto lográndose la adquisición de casi el 3% de la demanda eléctrica de México para el periodo 2019-2034. Se presentaron en total 57 empresas, quienes ofrecieron 475 ofertas económicas, siendo 56 proyectos los ganadores.

Del total de ofertas adjudicadas en el caso de energía, el 54% fue para la tecnología solar, el 43% para la energía eólica, el 3% para la hidroeléctrica y el 2% para la geotérmica. En el caso de los CEL, el 54% fue para energía solar FV, el 43% para la eólica y el 2% para geotérmica. Mientras que para potencia^[9], el 72% fue para tecnologías de ciclos combinados a gas natural, 15% para energía solar FV, 11% para eólica y 2% para geotérmica.

El precio promedio de adjudicación para todas las energías renovables fue 33.8 US\$/MWh, lo cual representó una reducción del 29% con respecto a la primera subasta. Estos precios permiten validar que los costos mundiales de generación de las energías renovables vienen disminuyendo y que es rentable invertir en proyectos de desarrollo sustentable.

Los resultados de la segunda subasta permitirán construir 36 centrales de generación solar, eólica y geotérmica con

una inversión aproximada de US\$ 4000 millones.

Como resultado de las dos subastas se establecerán 34 empresas de generación en México, quienes aportarán 5000 MW de nueva capacidad de generación limpia, lo cual permitirá a dicho país acercarse a su meta nacional de tener al 2024 al menos el 35% de su matriz eléctrica en base a energías renovables limpias.

c) Chile

Marco Normativo

En el marco de la Ley General de Servicios Eléctricos, la nueva Ley de Transmisión Eléctrica y la Ley N° 20.805 (nueva ley de licitaciones), el gobierno chileno, mediante la Comisión Nacional de Energía (CNE), concretó en agosto de 2016 la mayor licitación de suministro energético de dicho país desde que se realizaron las primeras licitaciones en el año 2006.

En la subasta se licitaron en total 12 430 GWh/año con el fin de cubrir la demanda de los clientes regulados (hogares y pymes) de los dos mayores sistemas eléctricos del país: el Sistema Interconectado Central (SIC) y el Sistema Interconectado Norte Grande (SING).

El proceso de licitación se inició en mayo de 2015 con el llamado a licitación y en julio de este año 84 empresas nacionales e internacionales presentaron sus ofertas económicas con distintos tipos de energías renovables y no renovables (en la licitación previa del 2015 solo se presentaron 38).

Diseño de la subasta

La energía ofertada (12 430 GWh/año) se dividió en cinco Bloques de Suministro, los cuales a su vez se dividieron en sub-bloques

de igual tamaño o cantidad de energía anual. El **Cuadro N° 5** muestra las características de cada uno de los Bloques de suministro.

Cuadro N° 5: Características de los bloques de suministro

Bloques de Suministro	Energía	Horario en que abastece	Sub-bloques
Bloque de Suministro N° 1	3080 GWh	Las 24 horas	250
Bloque de Suministro N° 2-A	680 GWh	00:00 - 07:59 23.00 - 23:59	50
Bloque de Suministro N° 2-B	1000 GWh	08:00 – 17:59	50
Bloque de Suministro N° 2-C	520 GWh	18:00 – 22:59	50
Bloque de Suministro N° 3	7150 GWh	Las 24 horas	325

Fuente: CNE-Chile

Como puede observarse en el cuadro, los bloques de suministro N° 2 se subdividieron en bloques horarios para abastecer periodos horarios diferentes del día, con el objeto de aprovechar las ventajas particulares de cada tecnología y así obtener las ofertas más competitivas posibles.

La fecha de vigencia de las licitaciones de todos los bloques comprende desde el 01 de enero del 2021 hasta el 31 de diciembre del 2040 a excepción del bloque de suministro N° 3, el cual tiene como fecha de inicio el 01 de enero de 2022 y vence el 31 de diciembre del 2041.

El mecanismo de adjudicación establecido en las bases de la licitación permite que la oferta de la energía se efectuó por una parte o por el total de los sub-bloques que componen cada bloque de suministro. Asimismo, busca minimizar el precio del suministro eléctrico separadamente para cada uno de los bloques y así reducir el precio medio de suministro al consumidor final.

Resultados

La gran participación de las empresas, las cuales ofertaron casi siete veces el total requerido de energía, hizo posible que el precio promedio de la subasta fuera de US\$ 47.5 por MWh, el más bajo desde que se inició el proceso de licitaciones en el 2006 y que representa una caída de 65% y 40% con respecto al máximo alcanzado en el 2013 y en el 2015, respectivamente.

En el cuadro siguiente se muestra los precios más bajos ofertados en la subasta por tipo de tecnología.

Cuadro N° 6: Precios más bajos ofertados, por tipo de tecnología

Tipo de energía	Precio por MWh
Eólica	US\$ 41
Gas Natural	US\$ 47
Carbón	US\$ 57
Hidroeléctrica	US\$ 60
Geotérmica	US\$ 66
Solar	US\$ 29.1

Fuente: Diario El Mostrador, 22/08/2016

Como se observa en el cuadro, las energías renovables no convencionales tuvieron los mejores precios con respecto a las convencionales. Se destaca el precio ofertado por la empresa española Solar Pack (US\$ 29 por MWh), la cual según Bloomberg, es el precio más bajo registrado por la electricidad de la luz solar a nivel mundial y el más barato para cualquier tipo de energía renovable.

Impacto Económico de los RER sobre el medio ambiente – Perú

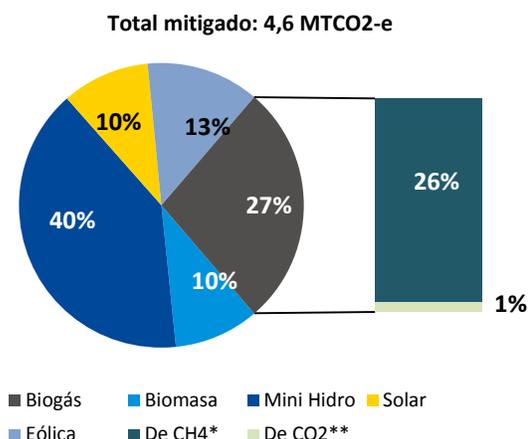
Uno de los principales beneficios de las tecnologías de generación RER es la mitigación de emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y otros gases de efecto

invernadero al ambiente. Esta se da porque las fuentes RER reemplazan el uso de otras fuentes de energía contaminantes como el petróleo, carbón y gas natural. Sobre este particular, es importante mencionar que a nivel mundial el sector eléctrico constituye la fuente predominante de emisiones de GEI al representar un 25% del total (IPCC, 2014) ^[10].

Como resultado de la política de promoción RER en el Perú, al 2015 se encuentran en operación comercial en el SEIN 30 proyectos de tecnologías RER. Estos proyectos mitigan las emisiones de CO₂ debido a que no realizan ningún proceso de combustión fósil ^[11] en sus procesos de generación eléctrica. Los proyectos de biogás, además de reducir las emisiones de CO₂, mitigan las emisiones potenciales de metano (CH₄) provenientes de los restos orgánicos de la basura si no son tratados.

Siguiendo la metodología establecida en Vásquez *et al.* (2014) ^[12] se estima que los proyectos de generación RER habrían evitado la emisión de **4.6 millones de toneladas de CO₂ equivalentes** (MTCO₂-e) desde el inicio de operaciones de la primera central RER hasta el 2015. La mayor mitigación de CO₂ se habría obtenido de las centrales mini hidráulicas (40%), las centrales de biogás (27%) y los parques eólicos (13%), como se puede apreciar en el **Gráfico N° 4**.

Gráfico N° 4: Mitigación acumulada de las emisiones de CO₂-e según tecnología RER, 2008-2015



*Emisiones evitadas de CH₄ equivalentes en CO₂ del proyecto Huaycoloro desde su operación.
**Emisiones evitadas de CO₂ del proyecto Huaycoloro desde su operación.

Fuente: Vásquez et al., 2014.
Elaboración: GPAE – Osinergmin.

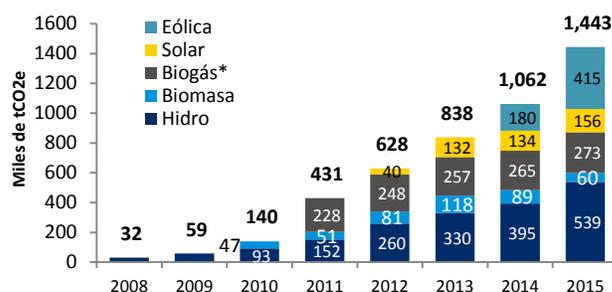
Es importante resaltar que a la fecha, en el SEIN se encuentran en operación comercial 17 centrales mini hidráulicas, mientras que solo hay una central de biogás (la Central Termoeléctrica de Huaycoloro). Como se mencionó anteriormente, las centrales de biogás, además de reducir CO₂, reducen emisiones potenciales de CH₄, siendo este último su principal aporte en la mitigación del cambio climático (26% del total de emisiones mitigadas).

Si se analiza solamente el 2015, año en que había cuatro parques eólicos en operación en el SEIN, el porcentaje de participación en la mitigación de emisiones de CO₂ cambia. Si bien las centrales mini hidráulicas siguen teniendo mayor relevancia con 37% de participación (539 mil TCO₂-e), la energía eólica se ubica en segundo lugar representando el 29% (415 mil TCO₂-e) del total de las emisiones mitigadas, mientras que la de biogás desciende al tercer lugar

con 19% (273 mil TCO₂-e) (ver año 2015 del Gráfico N° 5).

El impacto de los proyectos RER en la mitigación del CO₂ y de otros GEI toma mayor relevancia en la medida que estas fuentes energéticas continúen expandiéndose y representen un mayor porcentaje dentro de la matriz energética nacional. Así, en 2008, cuando las tecnologías RER representaban menos de 0.01% del total de la energía eléctrica producida, se habría mitigado solo 32 mil TCO₂-e; mientras que en 2015, año en que la participación de los RER fue de 4.1%, se habría mitigado en total 1.4 millones de TCO₂-e. En el Gráfico N° 5 se puede ver la evolución de las emisiones mitigadas desde 2008 hasta 2015.

Gráfico N° 5: Estimación de las emisiones mitigadas de CO₂, por tipo de tecnología RER, 2008-2015



* Considera las emisiones mitigadas de metano (CH₄) en términos equivalentes de CO₂
Fuente y elaboración: Estimación de GPAE – Osinergmin.

Valorización de las emisiones mitigadas de CO₂-e

Los proyectos de generación eléctrica RER en el Perú son promovidos y desarrollados bajo la denominación de Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL)^[13]. En tal sentido, al ser proyectos que certifican la mitigación de emisiones de CO₂, pueden acceder a los

Certificados de Emisiones Reducidas (CER) ^[14] y venderlos como bonos ^[15] en un mercado de carbono de referencia.

Este mercado se creó como un sistema de comercio de emisiones de GEI (también llamado sistema *cap-and-trade*) con la finalidad de asignar un precio a las mismas e incorporar las externalidades negativas que generan en las decisiones de los agentes económicos. Sin embargo, el mercado presenta algunos problemas puesto que a la fecha los precios se encuentran en niveles históricamente bajos, los cuales no generan los incentivos suficientes para que los actores cambien sus tecnologías a unas menos contaminantes. Por ejemplo, en el 2008 el precio promedio de los CER era US\$ 25.7, mientras que en el 2015 fue US\$ 0.43.

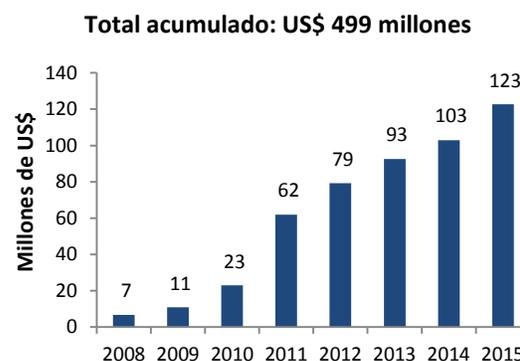
Los problemas que distorsionan este mercado y que no permiten una fijación adecuada de los precios del CER se deben a: i) la falta de decisiones políticas en torno al mercado del carbono, ii) el MDL no es vinculante ni obligatorio para todos los países, iii) no hay una entidad que ejecute o verifique su cumplimiento (no hay un *enforcement*); iv) la no ratificación de Estados Unidos, Rusia y Canadá con el Protocolo de Kioto, v) la existencia de sobreoferta de proyectos de MDL mientras que la demanda es altamente volátil y es la que finalmente determina el precio.

Dado que la fijación adecuada del precio del carbono es importante para reflejar en el mercado los verdaderos costos de los combustibles fósiles y los beneficios de una energía limpia, se ha valorizado las emisiones mitigadas de CO₂ de los proyectos RER considerando el valor del costo social del carbono, el cual se estima en **US\$ 85 por TCO₂** según el Informe sobre la Economía del Cambio Climático presentado por Nicholas

Stern (2006) ^[16]. Este valor incorpora los riesgos e impactos de las emisiones de una tonelada de carbono sobre la salud humana, el ambiente, el clima y el mercado (ingreso y consumo en diversos sectores económicos). En ese sentido, es mayor al precio de mercado de los CER.

Al respecto, los proyectos RER habrían mitigado, desde 2008 hasta 2015, un equivalente financiero de US\$ 499 millones en términos monetarios de 2015 (**ver gráfico N° 6**).

Gráfico N° 6: Valorización de las emisiones de CO₂-e por los proyectos RER a valores de 2015



Nota: A valores del 2015 con una Tasa Social de Descuento de 14.01%.

Fuente: Informe Stern (2006). Elaboración: GPAE-Osinergmin.

Comentarios finales

A la fecha, las energías renovables constituyen una fuente importante de energía en el mundo. Su crecimiento, especialmente en el sector eléctrico, viene siendo impulsado por diversos factores, tales como: el aumento de la rentabilidad de las tecnologías renovables, la disminución de sus costos, un mejor acceso al financiamiento, mayor demanda de energía

y una mayor preocupación por el medio ambiente.

En ese sentido, en el 2015 el 10% de la electricidad mundial fue generada con fuentes de energía renovable no convencional. Respecto a las inversiones, excluyendo a los grandes proyectos hidráulicos, éstas habrían alcanzado un monto de US\$ 259 miles de millones aproximadamente, representando un crecimiento de 5% respecto al 2014, y añadiendo unos 147 GW de capacidad energía renovable en el mundo.

En el 2015, por primera vez, las inversiones de países en desarrollo superaron a las inversiones de las economías desarrolladas. Los países que lideraron las inversiones a nivel mundial fueron China, Estados Unidos y Japón, mientras que en Latinoamérica fueron Brasil, México y Chile con más de 100% de crecimiento respecto al 2014.

El parque eólico más grande del mundo se encuentra en China con una capacidad de 6000 MW, mientras que el más grande de Latinoamérica se encuentra en México con una capacidad instalada de 250 MW. En el Perú, el parque eólico más grande es la central eólica Tres Hermanas, la cual tiene una capacidad de 97 MW. Respecto a centrales solares, la más grande a nivel mundial también se encuentra ubicada en

China y tiene una capacidad instalada de 850 MW. En el caso de Latinoamérica, la más grande es la Planta de Nacaome ubicada en Honduras con una capacidad instalada de 145 MW. En el Perú, se tiene 4 plantas solares, tres de una capacidad 20 MW y una 16 MW.

Como se mencionó, uno de los factores que han hecho posible la expansión de las energías renovables ha sido los avances tecnológicos, lo cual ha permitido reducir los costos de producción eléctrica de los RER siendo ahora competitivos e incluso más bajos en comparación al costo de los combustibles fósiles como el carbón, petróleo o gas natural. Esta reducción de costos, especialmente de la tecnología solar y eólica, se ha manifestado en las últimas licitaciones realizadas durante el 2016 en Perú, México y Chile donde se obtuvieron precios promedios de 43.1 US\$/MWh, 33.8 US\$/MWh y 47.5 US\$/MWh, respectivamente.

Respecto a la mitigación de emisiones de CO₂, los proyectos de generación RER en operación en el Perú habrían evitado la emisión de 4.6 millones de toneladas de CO₂ equivalentes desde el 2008 hasta el 2015, monto que representa un equivalente financiero de US\$ 499 millones en términos monetarios de 2015.

Notas

[1] Tamayo, Jesús; Salvador, Julio; Vásquez, Arturo y Carlo Vilches (Editores) (2016). *La industria de la electricidad en el Perú: 25 años de aportes al crecimiento económico del país*. Lima: Osinergmin.

[2] G7 o Grupo de los 7 es un grupo de coordinación de políticas, en las cuales las decisiones no son vinculantes. Se encuentra integrado por Alemania, Canadá, Estados Unidos, Francia, Italia, Japón y Reino Unido, que se caracterizan por poseer un peso político, económico y militar relevante a escala global.

[3] G20 o Grupo de los 20 es un foro de 20 países, más la unión Europea, donde se reúnen jefes de Estado. Está constituido por el G7, Rusia, Arabia Saudita, Argentina, Australia, Brasil, China, Corea del Sur, India, Indonesia, México, Sudáfrica, Turquía y la Unión Europea.

[4] Renewable Power Generation Costs in 2014.

[5] De acuerdo con la norma, son RER todos los recursos energéticos tales como la biomasa, eólico, solar, geotérmico, mareomotriz y las pequeñas hidroeléctricas hasta una capacidad instalada de 20MW.

[6] Vásquez, A.; Vilches, C.; Miranda, C.; Salazar, C.; Aurazo, J. y Esquivel, D. (2014). “El Uso de los Recursos Energéticos Renovables No Convencionales y la Mitigación del Cambio Climático en el Perú”. *Reporte de Análisis Económico Sectorial – Sector Electricidad*, Año 3 - Número 4. Oficina de Estudios Económicos, Osinergmin - Perú.

[7] La información presentada en la presente sección se basa en datos obtenidos de la página web del Centro Nacional del Control de Energía de México (<https://www.gob.mx/cenace>), así como en los siguientes documentos:

- Jimenez, M. (2016). *Primera subasta de largo plazo de energía en México*.
- PWC (2016). *Segunda subasta de largo plazo. Reflexión sobre el proceso y los resultados*.

[8] De acuerdo con el marco legal vigente en México, las energías renovables convencionales incluyen a las grandes centrales hidroeléctricas y centrales nucleares, mientras que las no convencionales incluye a las centrales solares, eólicas, mini-hidro, de biomasa, geotérmicas y de energía mareomotriz.

[9] En la segunda subasta se logró adjudicar potencia debido a que la Comisión Federal de Electricidad (CFE) triplicó su oferta de compra.

[10] IPCC (2014). Quinto informe de evaluación del grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático. Disponible en:
https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/WG3AR5_SPM_brochure_es.pdf

[11] La combustión (quema) de los combustibles fósiles produce grandes cantidades de dióxido de carbono y otros GEI, los cuales contribuyen a generar y potenciar el efecto invernadero, la lluvia ácida, la contaminación del aire, suelo, agua y otros efectos del cambio climático.

[12] Vásquez, A.; Vilches, C.; Miranda, C.; Salazar, C.; Aurazo, J. y D. Esquivel (2014). “El uso de los recursos energéticos renovables no convencionales y la mitigación del cambio climático en el Perú.” *Reporte de*

Análisis Económico Sectorial – Sector Electricidad, Año 3 – Número 4. Oficina de Estudios Económicos, Osinergmin – Perú.

[13] El MDL permite a los países desarrollados reducir sus emisiones de GEI mediante la promoción y financiamiento de proyectos concretos de mitigación de GEI en los países en vías de desarrollo. Al implementar un proyecto de MDL se generan Certificados de Emisiones Reducidas (CER), cada uno equivalente a una tonelada de CO₂ (tCO₂), los cuales se venden a los países desarrollados para que puedan contabilizarlos como reducciones propias y cumplir sus compromisos asumidos con respecto a la reducción en su nivel de emisiones. Por otra parte, los países en desarrollo se benefician en la medida que el MDL permite financiar proyectos de desarrollo sostenible.

[14] Los CER son unos documentos emitidos por los países en vías de desarrollo a los países desarrollados que certifican la reducción de emisiones de GEI a la atmósfera, mediante la implementación de proyectos definidos bajo el MDL, tales como la aplicación de mejoras tecnológicas en las industrias, la sustitución de combustibles, la generación de energía renovable, entre otros.

[15] Los bonos de carbono son instrumentos que certifican la reducción de la emisión de GEI, medido en términos de toneladas de dióxido de carbono equivalente (TCO₂-e). Los bonos de carbono de proyectos de MDL se denominan Certificado de Emisiones Reducidas (CER). En este sentido 1 CER = 1 Bono de carbono = 1 tonelada de dióxido de carbono equivalente (TCO₂-e) dejada de emitir o capturada.

[16] Stern, N. (2006). Review on the Economics of Climate Change. Disponible en:
http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20100407172811/http://www.hm-treasury.gov.uk/stern_review_report.htm

Abreviaturas utilizadas

AWEC	Alta Wind Energy Center
BNEF	Bloomberg New Energy Finance
BP	British Petroleum
CEL	Certificados de Energía Limpia
CER	Certificados de Emisiones Reducidas
CH ₄	Metano
CNE	Comisión Nacional de Energía
CO ₂	Dióxido de Carbono
EE.UU.	Estados Unidos
FV	Fotovoltaica
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GPAE	Gerencia de Políticas y Análisis Económico
GW	Gigavatio
GWh	Gigavatio-hora
kWh	kilovatio-hora
MDL	Mecanismos de Desarrollo Limpio
MTCO ₂ -e	Millones de toneladas de CO ₂ equivalentes
MW	Megavatio
MWh	Megavatio-hora
OCDE	Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos
OFF-GRID	Áreas No Conectadas a la Red

Osinergmin	Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería
REN21	Renewable Energy Policy Network for the 21st Century
RER	Recursos Energéticos Renovables No Convencionales
SEIN	Sistema Eléctrico Interconectado Nacional
SIC	Sistema Interconectado Central
SING	Sistema Interconectado Norte Grande
SSB	Suministradores de Servicios Básicos
TWh	Teravatio-hora
UNEP	United Nations Environment Programme
US\$	Dólares Americanos

