

UNIVERSIDAD SAN MARTIN de PORRES

El Potencial de las Energías Renovables en el Perú¹

Alfredo Dammert Lira

Juan José Javier Jara

Liz Bautista

¹ Se agradece la colaboración de *Leslie Astrid Olivera Torres*, por sus comentarios y contribuciones las cuales han enriquecido la presente publicación.

El Potencial de las Energías Renovables en el Perú

Resumen

La presente investigación tiene como objetivo estudiar el desarrollo y la viabilidad de la generación de energía eléctrica con recursos energéticos renovables no tradicionales en el Perú. Asimismo, analiza el rol de estos recursos en el compromiso que ha asumido el Perú para la reducción de los gases de efecto invernadero, y en el objetivo de satisfacer las necesidades de energía del territorio nacional.

Palabras clave: Recursos Energéticos Renovables no tradicionales, Gases de Efecto Invernadero.

Abstract

The objective of this research is to study the development and viability of non-traditional renewable electricity generation in Peru. Likewise, it analyzes the role of these resources with respect to the commitment assumed by Peru for the reduction of greenhouse gases, and its objective of satisfying the electricity needs of the country.

Tags: Non-traditional Renewable Electricity Resources, Greenhouse Gases.

Contenido

INTRODUCCIÓN.....	13
CAPÍTULO 1.	15
OBJETIVO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES NO TRADICIONALES ...	15
CAPÍTULO 2.	22
SITUACIÓN ACTUAL DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES NO TRADICIONALES EN EL PERÚ.....	22
BENEFICIOS EN EL PERÚ DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES NO TRADICIONALES.	23
USOS DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN EL PERÚ.....	24
CAPÍTULO 3.	26
ACTIVIDADES INVOLUCRADAS EN LA PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD	26
CAPÍTULO 4.	29
EL SECTOR ELÉCTRICO EN EL PERÚ.....	29
CAPÍTULO 5.	33
DESCRIPCIÓN DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD.	33
ENERGÍA EÓLICA.....	34
ENERGÍA SOLAR.....	35
ENERGÍA DE BIOMASA.	36
ENERGÍA GEOTÉRMICA.	38
CAPÍTULO 6.	40
USO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN EL PERÚ.	40
SISTEMA ELÉCTRICO INTERCONECTADO	40
ELECTRIFICACIÓN RURAL PARA ZONAS AISLADAS.....	41
MICRORREDES O MICROGRIDS	47

PANELES SOLARES EN EDIFICIOS.....	48
OTROS USOS DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES.	49
VEHÍCULOS ELÉCTRICOS.	50
CAPÍTULO 7.	51
EL SISTEMA REGULADORIO DEL SECTOR ELÉCTRICO EN EL PERÚ. .	51
CAPÍTULO 8.	57
PROMOCIÓN DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN EL PERÚ	57
FACTORES QUE CONDICIONAN EL USO DE ENERGÍAS RENOVABLES	57
• <i>Subastas RER On-Grid</i>	57
• <i>Subastas RER Off-Grid</i>	58
LICITACIONES DE ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES.	59
PROGRAMA DE PANELES SOLARES PARA ÁREAS RURALES.....	63
OTROS AVANCES EN LA PROMOCIÓN DE ENERGÍA RENOVABLES.....	65
CAPÍTULO 9.	67
EXPERIENCIAS EN LA PROMOCIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES EN OTROS PAÍSES.	67
• POLÍTICAS DE APOYO.....	68
• PROMOCIÓN DE MERCADO	69
• INCENTIVOS FISCALES	69
EXPERIENCIAS EN LA PROMOCIÓN DE RER EN PAÍSES DESARROLLADOS.	70
<i>Alemania</i>	70
<i>Estados Unidos</i>	76
<i>España</i>	78
EXPERIENCIAS EN LA PROMOCIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS	83
<i>COLOMBIA: Plan piloto para la incorporación de vehículos eléctricos</i>	83
<i>ALEMANIA: Transición hacia la electromovilidad</i>	84
<i>ESPAÑA</i>	86

<i>Necesidad de reducir la contaminación vehicular en el Perú y potencial de mercado de los vehículos eléctricos</i>	90
<i>Programas</i>	91
CAPÍTULO 10.	93
CÓMO RESOLVER DOS PROBLEMAS DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES NO TRADICIONALES: INTERMITENCIA E INDISPONIBILIDAD.	93
SMART GRIDS.	95
CENTRALES HIDROELÉCTRICAS CON ALMACENAMIENTO DE AGUA.	98
CAPÍTULO 11.	101
COSTO BENEFICIO Y PROMOCIÓN DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES.	101
ROL DE LA GENERACIÓN ELÉCTRICA MEDIANTE RER.....	105
1. RER PARA SU USO EN EL SISTEMA INTERCONECTADO NACIONAL (SEIN).106	
<i>Paneles Solares Fotovoltaicos para el SEIN</i>	107
<i>Generación Eólica.</i>	108
<i>Generación con Biomasa.</i>	111
<i>Fuente: Sistema Integrado de Estadísticas Agrarias(SIEA).</i>	
<i>Elaboración propia.</i>	112
<i>Generación con Biogas.</i>	112
2. PANELES SOLARES PARA ÁREAS RURALES AISLADAS.	117
3. USO DE GENERACIÓN RER PARA ÁREAS LEJANAS A LA RED.	118
4. EMPLEO DE PANELES SOLARES PARA EDIFICIOS Y CASAS.....	120
5. VEHÍCULOS ELÉCTRICOS.....	121
CAPÍTULO 12.	128
ROL DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA TRADICIONAL:	
HIDROELECTRICIDAD Y GAS NATURAL	128
ENERGÍA HIDROELÉCTRICA.....	128
GAS NATURAL.....	131
CAPÍTULO 13.	133

ESTIMADO DEL POTENCIAL DE ENERGÍAS RENOVABLES EN EL PERÚ	133
CAPÍTULO 14.	140
PROPUESTAS DE POLÍTICAS PARA EL DESARROLLO DE RER EN EL PERÚ	140
MECANISMOS PARA EL DESARROLLO Y PROMOCIÓN DE RER.	140
<i>Cómo Resolver el Problema de Intermitencia de las RER.</i>	140
<i>Promoción de Inversiones en Energía Hidroeléctrica para Respaldo a las RER y Aumentar la Capacidad de Producción Eléctrica.</i>	141
<i>Reducción de la Contaminación y Peligro a la Salud de Residuos Sólidos y Agrícolas.</i>	141
<i>Promoción de Autoconsumo de RER para Incrementar su Utilización Eficiente.</i>	142
<i>Promoción de Vehículos Eléctricos para Reducir la Contaminación.</i>	142
<i>Usos Productivos de las RER para Reemplazar la Generación Aislada con Motores a Petróleo.</i>	142
CAPÍTULO 15.	144
CONCLUSIONES	144
BIBLIOGRAFÍA	147
REFERENCIAS ELECTRÓNICAS	151

Índice de Cuadros

CUADRO 1. <i>PERÚ: ESTRUCTURA EMPRESARIAL DE EMPRESAS DE GENERACIÓN, TRANSMISIÓN Y DISTRIBUCIÓN.</i>	30
CUADRO 2. <i>DESCRIPCIÓN DE LOS TIPOS DE SISTEMA FOTOVOLTAICO-TARIFA RURAL 2014-2018.</i>	42
CUADRO 3. <i>ESTIMADOS DE CONSUMO PARA VIVIENDAS RURALES EN ZONAS AISLADAS.</i>	43
CUADRO 4. <i>POTENCIA INSTALADA Y ENERGÍA PROMEDIO POR INSTALACIÓN AUTÓNOMA.</i>	45
CUADRO 5. <i>CÁLCULO TARIFARIO ZONA NORTE.</i>	46
CUADRO 6. <i>CUADRO DE LICITACIONES.</i>	53
CUADRO 7. <i>CAPACIDAD ADJUDICADA EN LAS SUBASTAS RER NO TRADICIONALES – 2009-2015.</i>	59
CUADRO 8. <i>CONTRATOS DE CONCESIÓN RER.</i>	60
CUADRO 9. <i>ENERGÍA ADJUDICADA TOTAL EN LAS TODAS LAS SUBASTAS RER.</i>	61
CUADRO 10. <i>EMISIONES DE CO₂ SEGÚN EL TIPO DE GENERADOR ELÉCTRICO.</i>	102
CUADRO 11. <i>COSTOS TÍPICOS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA PARA PRECIO DE CO₂ DE 20 EUROS/TM (CÉNTIMO DE EURO/KWH).</i>	103
CUADRO 12. <i>COSTOS TÍPICOS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA PARA PRECIO DE CO₂ DE 80 EUROS/TM (CÉNTIMO DE EURO/KWH).</i>	104

CUADRO 13. ZONAS DE MAYOR POTENCIAL ENERGÉTICO DEL PAÍS EN RELACIÓN CON LA ALTITUD.	107
CUADRO 14. POTENCIAL EÓLICO (MW) EN EL PERÚ (100 M) SEGÚN EL ATLAS EÓLICO.	109
CUADRO 15. POTENCIAL EÓLICO EN OPERACIÓN Y DESARROLLO EN LA ACTUALIDAD (AÑO 2016).	110
CUADRO 16. CAÑA PARA AZÚCAR POR REGIÓN, IV TRIMESTRE DEL 2017.	111
CUADRO 17. EMPRESAS PRODUCTORAS DE AZÚCAR POR REGIÓN.	112
CUADRO 18. PRODUCCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS POR DEPARTAMENTO.	114
CUADRO 19. POTENCIAL DE GENERACIÓN ELÉCTRICA EN EL PERÚ A PARTIR DE RESIDUOS SÓLIDOS (BIOGAS).	116
CUADRO 20. RENDIMIENTO MEDIO DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO SEGÚN LAS PARTES QUE LO COMPONEN.	122
CUADRO 21. EFICIENCIA Y EMISIONES DE CO ₂ “WELL-TO-WHEEL” DE DISTINTOS VEHÍCULOS.	122
CUADRO 22. COMPARACIÓN DE PRECIO DE VENTA (NO INCLUYE IMPUESTO) ENTRE EVs Y ICEVs.	124
CUADRO 23. MERCADO GLOBAL DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS ICCT 2016.	127
CUADRO 24. HIDROELÉCTRICAS-CAPACIDAD Y PRODUCCIÓN MUNDIAL (2008).	129
CUADRO 25. PROYECCIÓN DE CONSUMO DE ELECTRICIDAD EN EL PERÚ, (MILES DE MW).	134
CUADRO 26. POTENCIAL DE GENERACIÓN ELÉCTRICA EN EL PERÚ.	134

**CUADRO 27. VALORACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS POR SU
CONTRIBUCIÓN A FACTORES ECONÓMICOS Y ENERGÉTICOS. . 136**

Índice de Gráficos

GRÁFICO 1. EMISIONES MUNDIALES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO POR SECTOR EN EL MUNDO, 2008.	16
GRÁFICO 2. EMISIONES GLOBALES DE CO ₂ POR SECTOR Y ESCENARIO.	18
GRÁFICO 3. CONTRIBUCIONES A LAS REDUCCIONES DE EMISIONES EN EL 2DS.	19
GRÁFICO 4. GENERACIÓN, TRANSMISIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE SISTEMA ELÉCTRICO PERUANO.	30
GRÁFICO 5. EL SISTEMA ELÉCTRICO INTERCONECTADO NACIONAL (SEIN).	31
GRÁFICO 6. GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA.	35
GRÁFICO 7. PLANTA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA SOLAR.	36
GRÁFICO 8. PLANTA DE GENERACIÓN DE BIOGÁS PROCEDENTE DE RESIDUOS SÓLIDOS.	38
GRÁFICO 9. PLANTA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA GEOTÉRMICA. ..	39
GRÁFICO 10. RESULTADO DE PRECIOS DE LICITACIONES RER 2009- 2015.	60
GRÁFICO 11. CAPACIDAD DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD INSTALADA NETA EN ALEMANIA.	73
GRÁFICO 12. CONSUMO DE ENERGÍA FINAL POR SECTOR EN ALEMANIA.	74
GRÁFICO 13. CAPACIDAD DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD INSTALADA NETA EN ALEMANIA.	75

GRÁFICO 14. <i>POTENCIA EÓLICA DE CADA COMUNIDAD AUTÓNOMA SOBRE LA POTENCIA EÓLICA NACIONAL (%), 2017.</i>	79
GRÁFICO 15. <i>POTENCIA SOLAR FOTOVOLTAICA DE CADA COMUNIDAD AUTÓNOMA SOBRE LA POTENCIA FOTOVOLTAICA NACIONAL, 2017.</i>	80
GRÁFICO 16. <i>PERFIL MEDIO HORARIO DE SOLAR FOTOVOLTAICA SOBRE LA GENERACIÓN TOTAL, SISTEMA ELÉCTRICO PENINSULAR 2017 (%)</i>	80
GRÁFICO 17. <i>POTENCIAL SOLAR TÉRMICA DE CADA COMUNIDAD AUTÓNOMA 2017 (%)</i>	81
GRÁFICO 18. <i>PARQUE AUTOMOTOR NACIONAL 1990 - 2014.</i>	91
GRÁFICO 19. <i>CONSUMO Y PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD CON COMPLEMENTARIEDAD DE PRODUCCIÓN HIDROELÉCTRICA. (% EN UN DÍA)</i>	95
GRÁFICO 20. <i>VENTAS GLOBALES DE VEBS Y VHEs POR PAÍS (2005-2015).</i>	125
GRÁFICO 21. <i>VENTA DE VEBS POR PAÍS (2005-2015)</i>	126
GRÁFICO 22. <i>POSICIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA EN SU CONTRIBUCIÓN A LA ECONOMÍA Y LA ENERGÍA.</i>	137

Introducción.

Existe la opinión generalizada de que las energías renovables en un país representan un beneficio para la población. Las energías renovables se consideran en general beneficiosas porque: (a) tienen un menor impacto en el medio ambiente que las actividades extractivas para generar energía como son el petróleo y gas natural; (b) no ocasionan impacto de efecto invernadero en algunos casos por no generar gases (eólicas, solares, geotermia) y en otros porque su efecto neto es cero (caso de la generación eléctrica con biomasa que elimina los gases de descomposición si bien produce gases al usarse para generación eléctrica o de los biocombustibles); y (c) en muchos casos (vehículos eléctricos) reducen la emisión de gases contaminantes en las ciudades que afectan la salud de la población. Sin embargo, fuera de indicarse que no son contaminantes, y de la opinión de diversos grupos de que éstas son competitivas o mejores que otro tipo de energía, no existe un análisis en el Perú sobre los beneficios de este tipo de energía ni los mecanismos de promoción para facilitar su uso. La presente propuesta considera un análisis preliminar sobre este tema, así como líneas de política de promoción de energías renovables en función a sus beneficios para el país.

¿Qué son las Energías Renovables no Tradicionales?

Son energías cuyo uso no representa un desgaste del recurso energético. Las energías renovables no tradicionales en el sector eléctrico incluyen: eólicas, solares, biomasa, geotérmica, y mareomotriz. En algunos países como el Perú se incluyen las pequeñas hidroeléctricas (hasta 20MW) más no las grandes, ya que aunque renovable, la energía hidroeléctrica se ha desarrollado en el país desde hace mucho tiempo. Sin embargo, los beneficios de esta última son similares a las renovables no tradicionales, siempre y cuando su impacto en las zonas donde se instalan sea reducido.

Capítulo 1.

Objetivo de las Energías Renovables no Tradicionales

La economía mundial está basada en energía dado que los bienes y servicios la requieren para su funcionamiento, según la Internacional Energy Agency (IEA)², la estructura actual de consumo de electricidad no sería sostenible, dado que aumentos del consumo de energía resultarían en aumentos del precio de la misma junto con un aumento de gases de efecto invernadero. Los expertos (IEA y otros) predicen que los gases de efecto invernadero (CO₂ y otros gases) incrementarían la temperatura de la Tierra en un promedio de 6 °C en el largo plazo (2050).

Por otra parte, la energía es la causante del 68% de los gases de efecto invernadero, mientras que la agricultura es responsable del 11 % y la industria del 5 %. Esto significa que es muy importante a nivel mundial tomar medidas sobre la producción de energía para evitar el aumento de temperatura mundial, lo cual sería desastroso.

²International Energy Agency. (2012). Energy Technology Perspectives 2012 (second edition). France. OECD/IEA. Recuperado de https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/ETP_2012_free.pdf

Gráfico 1. Emisiones mundiales de gases de efecto invernadero por sector en el mundo, 2008.

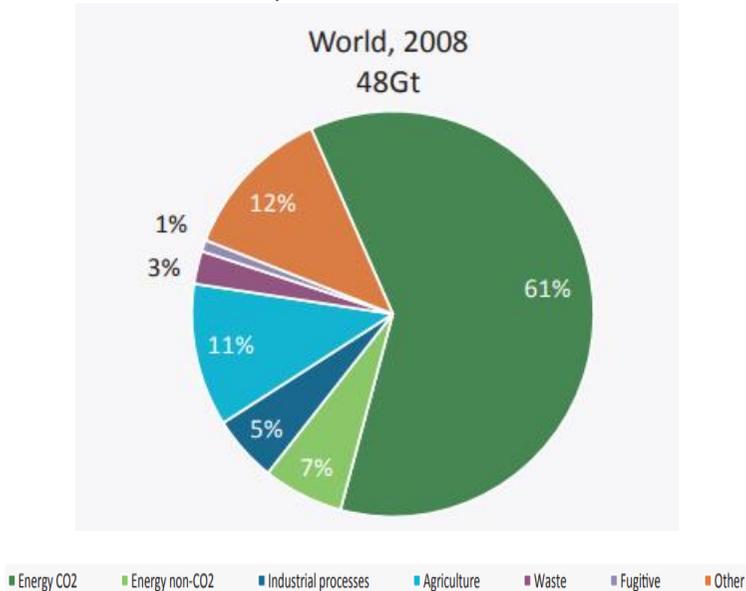


Gráfico 1. Emisiones mundiales de gases de efecto invernadero por sector en el mundo, 2008, donde las emisiones fueron de unas 48 gigatoneladas (Gt). Copyright 2012 por International Energy Agency. Reimpreso con permiso. Fuente: International Energy Agency. (2012). Global greenhouse gas emissions by sector (pág. 32), [Figura 1.2]. Recuperado de https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/ETP2012_free.pdf.

Las tecnologías de gran potencial para reducir los gases de efecto invernadero y aumentar la eficiencia energética tuvieron un rápido desarrollo en los últimos años. Además de la energía hidroeléctrica tradicional, la energía eólica y la energía solar se han desarrollado rápidamente

dadas las mejores tecnologías que han reducido sustancialmente sus costos. Por otra parte, los vehículos eléctricos, son mucho más eficientes que los que usan combustibles además de poder utilizar energía procedente de fuentes renovables, por lo que están adquiriendo una importante participación en el mercado mundial.

El estudio citado del EIA considera tres escenarios futuros hasta el 2050 que relacionan las emisiones de gases de efecto invernadero de cada tipo de energía y las condiciones de eficiencia de su utilización con los aumentos de la temperatura mundial para el 2050 (Ver gráfico 2):

- 1) Un escenario de aumento de temperatura de 6 °C si no se implementa ninguna medida.
- 2) Un escenario de aumento de temperatura de 4 °C como resultado de un aumento de emisiones de efecto invernadero de 27% respecto al 2009 basado en las medidas a las que se han comprometido los países bajo la Convención sobre Cambio Climático de las Naciones Unidas (UNFCC), y las iniciativas de los países del G-20 y del APEC.
- 3) Un escenario optimista de aumento de temperatura mundial que reduciría las emisiones de gases de efecto invernadero en 50% respecto a 2009. Ello requeriría avances en desarrollo tecnológico, cambios en el comportamiento de la población, mejoras de eficiencia y el desarrollo de energías renovables con el apoyo de los gobiernos. El gráfico 3 muestra los resultados: mejoras en eficiencia energética, cambio

de insumos energéticos, aumento de energías renovables, y aumento del uso de energía nuclear.

Gráfico 2. Emisiones globales de CO₂ por sector y escenario.

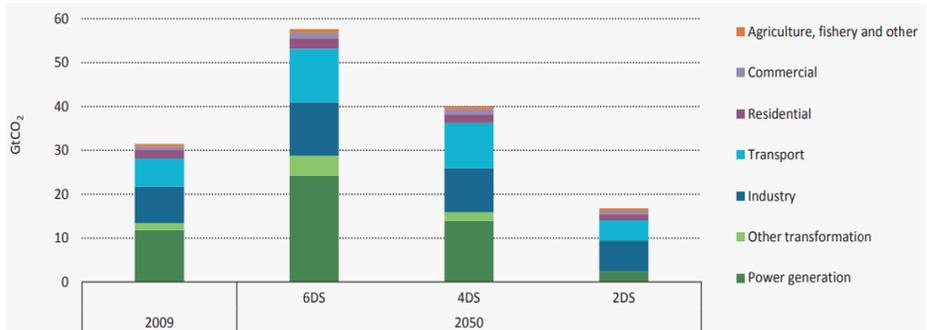


Gráfico 2. Las emisiones de CO₂ en este gráfico se contabilizan en el sector, donde el CO₂ es físicamente emitido. Copyright 2012 por International Energy Agency. Reimpreso con permiso. Fuente: International Energy Agency. (2012). Global greenhouse gas emissions by sector (pág. 35), [Figura 1.5]. Recuperado de: https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/ETP2012_free.pdf

Gráfico 3. Contribuciones a las reducciones de emisiones en el 2DS.

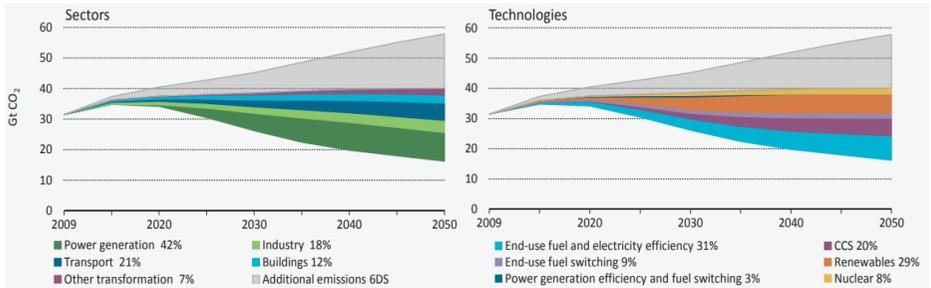


Gráfico 3. Los porcentajes representan contribuciones acumulativas a las reducciones de emisiones en relación con el 4DS. Copyright 2012 por International Energy Agency. Reimpreso con permiso. Fuente: International Energy Agency. (2012). Global greenhouse gas emissions by sector (pág. 39), [Figura 1.9]. Recuperado de: https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/ETP2012_free.pdf

Un gran número de países se ha comprometido a tomar medidas contra el cambio climático bajo diversos acuerdos: Protocolo de Kioto (1997), Acuerdo de Copenhague (2009), Plataforma de Durban (2012) y Acuerdo de París (2015), con diferentes medidas incluyendo la promoción de energías renovables, junto con otras destinadas a mantener el incremento de la temperatura global muy por debajo de los 2°C. El Perú es signatario de estos acuerdos comprometiéndose, entre

otras acciones, a la promoción de las energías renovables.

La promoción de las energías renovables bajo estos acuerdos es muy importante porque: (a) tienen un nulo impacto de efecto invernadero mientras que las energías a partir de hidrocarburos (petróleo y gas natural) y de carbón son los principales causantes del efecto invernadero; (b) reducen la emisión de gases contaminantes en las ciudades los cuales afectan la salud de las personas (por ejemplo, vehículos eléctricos en vez de vehículos a gasolina); (c) afectan menos el ambiente que las actividades extractivas como fuente de energía (petróleo, gas, carbón); (d) algunas de estas actividades, como son la generación de electricidad a través de biomasa y biogás provenientes de residuos agrícolas y residuos sólidos urbanos, ayudan a descontaminar el ambiente como resultado del procesamiento de material contaminante.

A pesar de los beneficios de las energías renovables, éstas presentan limitaciones en cuanto a la capacidad disponible, pueden experimentar grandes variaciones en la producción a lo largo del día (energía eólica y solar), algunas aún son costosas (energía a partir de residuos sólidos y costo de almacenamiento de energía eólica y solar por encima de ciertos volúmenes),

además de requerir cambios en la legislación que permitan su desarrollo. Estos temas se tratarán en el presente volumen.

Capítulo 2.

Situación Actual de las Energías Renovables no Tradicionales en el Perú.

En el Perú, en los últimos años, se han promovido las energías renovables no tradicionales principalmente a través de dos mecanismos:

- (a) Licitaciones bajo el Decreto Legislativo 1002, que incluyen energía eólica, solar, biomasa de residuos agrícolas y de residuos urbanos, y pequeñas hidroeléctricas de 20 MW o menos. Este decreto ha establecido un objetivo de llegar al 5% de participación de las energías renovables en el consumo eléctrico nacional, excluyendo a las pequeñas hidroeléctricas. Para ello se considera realizar licitaciones en las cuales el MINEM determina la fecha de las mismas, y asigna las capacidades para cada tipo de energía, mientras que OSINERGMIN define los precios máximos para cada tecnología y participa en las licitaciones. Las empresas ganadoras obtienen un

contrato de largo plazo bajo el cual el sistema eléctrico debe pagarles el precio otorgado a través de un sistema de pagos que incluye el costo marginal del sistema y un pago adicional que se carga al costo de la transmisión. A la fecha se han dado 4 licitaciones entre 2009 y 2018 asignándose una capacidad por tecnología de: 394 MW de eólicas, 280 MW de solares fotovoltaicas, 23 MW de biomasa de residuos agrícolas y 11 MW de biomasa de residuos urbanos (basura).

- (b) Un contrato por 15 años para instalar y operar 150,000 paneles solares en áreas rurales alejadas de la red eléctrica celebrado en 2015 por el MINEM con un consorcio italiano-chino. Los paneles están destinados a pobladores que por la distancia no tienen acceso a la red eléctrica nacional e incluyen un subsidio de aproximadamente 75 % del costo. La instalación de los paneles se inició en el año 2017.

Beneficios en el Perú de las Energías Renovables no Tradicionales. La política actual en el Perú sobre las energías renovables no tradicionales no considera un análisis costo beneficio de las mismas. En términos generales, en el primero de los casos mencionados en el párrafo anterior, la ley indica que son beneficiosas para

el país sin mayor análisis. Sin embargo, a la fecha el MINEM tiene un estudio que contrató a COSANAC, el cual fue entregado a fines del 2017. Dicho documento podría sentar las bases para un análisis más exhaustivo. El segundo caso es más específico pues está dirigido a los pobladores rurales de bajos ingresos, aunque el decreto bajo el cual se estableció no presenta un análisis a fondo sobre por qué es la mejor opción.

Usos de las Energías Renovables en el Perú. El uso de las energías renovables en el Perú se ha considerado de forma general como un tipo más de energía eléctrica. No se han considerado los diversos nichos de mercado donde éstas podrían tener ventajas sobre otros tipos de energía ni las posibilidades futuras. Por ejemplo, los paneles solares podrían colocarse en edificios nuevos y existentes, lo cual podría ser beneficioso para la economía y para los usuarios al poder consumirse directamente sin el costo de redes. Para ello se necesita legislación adecuada como la promulgada en otros países que permite que el exceso de energía de los edificios pueda inyectarse a la red eléctrica. Esta legislación ha sido promulgada, pero falta su reglamentación. Tampoco se ha considerado el potencial de los vehículos eléctricos y como estos podrían utilizar energía producida por renovables en horas en que estas estuviesen operando (la energía solar durante el día, por

ejemplo). Otro tema importante es la utilización de residuos sólidos y agrícolas contaminantes para producir electricidad; pero faltan aún medidas de promoción para su empleo efectivo. Tampoco se ha cuantificado el efecto de los bonos de carbono que deben pagar los países industrializados para reducir sus emisiones de carbono, los cuales pueden ser aplicado como incentivo para proyectos de energía renovable en países en desarrollo.

Capítulo 3.

Actividades Involucradas en la Producción de Electricidad

Para una comprensión del rol y funcionamiento de las energías renovables no tradicionales es necesario conocer el funcionamiento del sector eléctrico. A continuación, se presenta un resumen del mismo.

Las funciones productivas del sector eléctrico son:

- Generación, que consiste en la producción de electricidad mediante generadores eléctricos constituidos por turbinas que impulsadas por un fluido (gas, agua, vapor) giran dentro de una bobina que produce un campo magnético, las cuales están conectadas a un sistema de conductores de cobre. Con la rotación de las bobinas, éstas impulsan a los electrones del cobre cuyo flujo se denomina corriente eléctrica. La excepción la constituyen los paneles solares que generan electricidad mediante un proceso químico resultado de la radiación solar sobre los paneles que contienen un compuesto de sílice.
- Transmisión, que tiene la función de conducir la electricidad a través de grandes cables de

aluminio o cobre desde los centros de generación hasta los distribuidores que la distribuyen a consumidores domésticos y comerciales o directamente hasta grandes usuarios.

- Distribución, que consiste en un conjunto de líneas eléctricas que reciben la electricidad a través de las líneas de transmisión para llegar a los pequeños consumidores.

Además, existe un ente encargado de coordinar la producción de los generadores eléctricos con la demanda o carga requerida para mantener estable el sistema de transmisión llamado Operador del Sistema. El Operador del Sistema tiene la función de garantizar la estabilidad de la red en cuanto a balance entre producción y consumo, frecuencia, energía reactiva, reposición rápida de la generación de electricidad, etc. por medio de servicios complementarios y equipos. Estos servicios son fundamentales para poder responder adecuadamente a las variaciones en la producción de electricidad que para algunos tipos de energías renovables como son la energía eólica y solar son más pronunciadas. Otro ente se encarga de coordinar las operaciones de mercado para asegurar el equilibrio de precios entre oferta y demanda en el corto y largo plazo denominado Operador del Mercado (en el caso peruano

ambas funciones están a cargo de una sola entidad – el Comité de Operación Económica del Sistema, COES).

Desde el punto de vista de consumidores existen dos tipos: los consumidores de gran volumen, que en gran parte obtienen la electricidad directamente de la línea de transmisión, excepto aquellos que se encuentran en las ciudades para lo cual utilizan parte de la red de distribución (también se llaman consumidores libres por no estar sujetos a regulación tarifaria excepto para el costo de transmisión); y los consumidores de pequeños volúmenes (hogares y pequeña industria y comercio que obtienen la electricidad de las redes de distribución. Por lo tanto, el costo de la electricidad es diferente para estos dos tipos de consumidores: en el caso peruano un consumidor de gran volumen puede pagar USc6-10/kWh compuesto del precio de generación (USc4-5/kWh) y transmisión (USc2/kWh aproximadamente) y en algunos casos parte de la distribución; mientras que un consumidor de pequeño volumen puede pagar USc12-14/kWh compuesto del precio de generación, transmisión y distribución.

Capítulo 4.

El Sector Eléctrico en el Perú

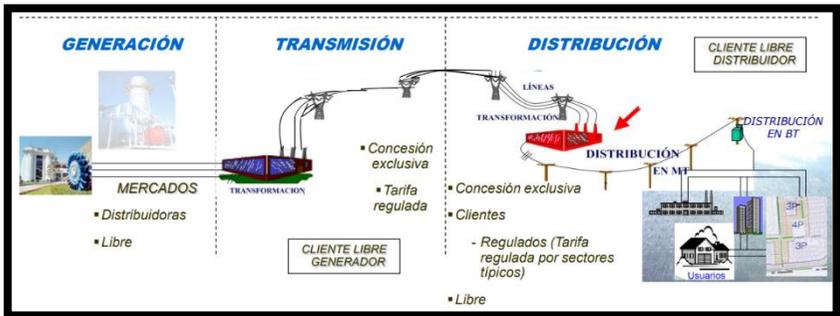
El sector eléctrico peruano está formado por: (a) las entidades normativas y regulatorias que consisten en el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) a cargo del otorgamiento de concesiones, generación de normas y planificación del sector, el Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN) a cargo de la regulación y supervisión, el Comité de Operación Económica del Sistema (COES) cuyo fin es lograr la operación coordinada del sector eléctrico y supervisar el funcionamiento diario del mercado; y el Instituto Nacional de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (INDECOPI) a cargo de velar por la competencia en el sector; y (b) las empresas prestadoras del servicio eléctrico de generación, transmisión y distribución que a la fecha consisten en 33 empresas de generación eléctrica, 11 empresas de transmisión eléctrica, y 11 distribuidoras de electricidad (ver Cuadro 1, y Gráficos 3 y 4).

Cuadro 1. Perú: Estructura Empresarial de Empresas de Generación, Transmisión y Distribución.

Tecnología	Capacidad (MW)	Número Empresas
Hidráulica	2,961	16
Térmicas	5,458	
Energías Renovables no Convencionales	616	18
Total	9,035	33

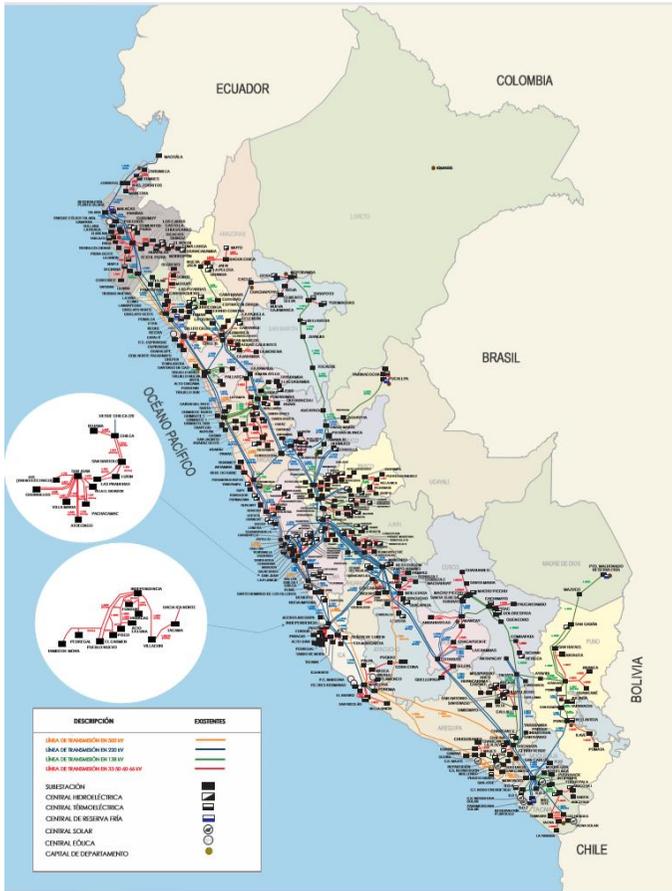
Fuente: Dammert, Alfredo, Renewable Energies in Peru, op. cit.

Gráfico 4. Generación, transmisión y distribución de sistema eléctrico peruano.



Fuente: Alfredo Dammert. (2012). Presentación Rol del Organismo Regulador en la Promoción de Energías Renovables. Osinergmin. Recuperado de [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/D0A63D4162DB917205257CC5006EDB25/\\$FILE/OSINERGMIN_RolOrganismoReguladorEnerg%C3%ADAsRenovables.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/D0A63D4162DB917205257CC5006EDB25/$FILE/OSINERGMIN_RolOrganismoReguladorEnerg%C3%ADAsRenovables.pdf).

Gráfico 5. El Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN).



Fuente: COES SINAC (Comité de Operaciones del Sistema Interconectado Nacional). Actualizado: abril 2018.

El COES debe balancear durante todo el día el consumo con la producción de electricidad. Para ello, excepto en casos de interrupciones, debe ordenar a los generadores eléctricos que aumenten o disminuyan su producción para abastecer el consumo.

Los generadores hidroeléctricos moderan su producción a lo largo del día produciendo más en las horas de mayor consumo o conforme se reduce la generación de otras fuentes, lo cual cobra más significancia con las energías renovables.

Los generadores eléctricos a gas natural tienden a producir a máxima capacidad, pues bajo la reglamentación actual deben pagar por mínimo el 80 por ciento de gas contratado el cual por tanto lo consideran como costo fijo.

Otro aspecto importante es que las interrupciones súbitas obligan al COES a tomar medidas de respuesta inmediata en diversas partes del sistema, lo cual se hace más importante cuando fallan grandes unidades.

Capítulo 5.

Descripción de las Energías Renovables en la Generación de Electricidad.

Existen diversos tipos de energías renovables no tradicionales para generar electricidad (la energía hidroeléctrica es una forma de energía renovable clasificada como tradicional):

- Energía eólica
- Energía solar
- Energía de biomasa (residuos sólidos y residuos agrícolas)
- Energía geotérmica
- Energía mareomotriz

Las energías renovables se caracterizan por ser no contaminantes y por no ocasionar daños a la atmósfera a través del efecto invernadero. En el caso de la energía proveniente de la biomasa, se considera que, si bien en su producción pueden ser contaminantes, también reducen la contaminación ocasionada por los

insumos contaminantes que consumen, por lo que generalmente sus efectos netos son de reducción de la contaminación.

A continuación, se resumen las características de los principales tipos de energía renovable (véase por ejemplo Dammert, Alfredo y Raul García - Economía de la Energía, y OSINERGMIN, La Industria de Energía Renovable en el Perú):

Energía Eólica. (Gráfico 6) Es la energía eléctrica producida por generadores eléctricos que consisten en torres sobre las cuales están conectadas hélices que giran al ser propulsadas por el viento y que hacen girar a su vez una turbina en la base produciendo electricidad. Los generadores eólicos actuales son tripala y sus dimensiones han venido aumentando incrementando la eficiencia en la producción de electricidad. Inicialmente las hélices de los generadores tenían una capacidad de generación eléctrica de 50 kW y actualmente llegan a 5000kW. Los aerogeneradores se instalan agrupados en parques eólicos con objeto de optimizar la ocupación del espacio y la evacuación de la electricidad hacia las líneas de transmisión. La ventaja de este tipo de energía es que no produce emisiones y que puede ser instalada en espacios utilizados para otras actividades. El precio de generación de energía eólica ha venido reduciéndose de

US\$8c/kWh a US3.5\$c/kWh en el 2017. Sin embargo, una desventaja es su variabilidad de producción, la cual en el Perú se compensa con la generación hidroeléctrica que puede moderar su flujo por lo que no representa costo por almacenamiento o por generación de reserva en el caso de hidroeléctricas con represamiento de agua.

Gráfico 6. *Generación de Energía Eólica.*



Fuente: Parque eólico más grande del Perú, Wayra I. (Ica, 2018). Archivos fotográficos Enel. Recuperado de <https://elcomercio.pe/economia/peru/enel-green-power-inaugura-parque-eolico-grande-pais-noticia-536962>.

Energía Solar. (Gráfico 7) Es la energía obtenida mediante la captación de la luz del Sol. Utiliza placas de compuestos de silicio que se alteran químicamente con la radiación solar produciendo electricidad. El precio ofrecido de producir electricidad con esta tecnología se

ha reducido de más de US20c/kWh a US3.5c/kWh en 2017. La energía solar es muy flexible en sus aplicaciones por la facilidad de colocar paneles de dimensión pequeña para bajo consumo, pero tiene la limitación de que sólo es económica en áreas con abundancia de sol y durante ciertas horas.

Gráfico 7. *Planta de generación de Energía solar.*



Fuente: Planta solar fotovoltaica Rubí. (Moquegua,2018). Recuperado de <https://elcomercio.pe/economia/peru/enel-inaugura-rubi-planta-solar-grande-peru-noticia-505857>.

Energía de Biomasa. (Gráfico 8) Esta se obtiene a través de la combustión de materia orgánica procedente de la basura o de desechos vegetales (bagazo de caña de azúcar, por ejemplo). La combustión de los mismos produce biogas – con un 45-60 por ciento de metano y el

resto de CO₂, que es utilizado para la producción de electricidad. El biogas se utiliza en motores de combustión interna para producir electricidad y vapor o en turbinas a gas para producir electricidad y calor residual. Su uso en motores de combustión interna conectados a alternadores que generan energía eléctrica es la opción más utilizada por su flexibilidad y por no necesitar un tratamiento especial. Estos motores pueden ser configurados para generar electricidad de manera exclusiva o como plantas de cogeneración que incluyen la producción de energía térmica. Requieren, además del motor, una caldera para recuperar el calor producto de la combustión y un intercambiador para usar los gases con objeto de calentar agua para no desperdiciar el calor. En cuanto a las turbinas a gas, los gases se queman directamente haciendo girar la turbina como en las turbinas de aviación, pudiéndose instalar un ciclo combinado con una unidad adicional de generación que utiliza vapor de agua producido por el gas de salida de la primera etapa. En el caso del biogas de la caña de azúcar, su costo es más bajo y la organización más sencilla pues depende de la administración de los ingenios azucareros. En cambio, para el biogas procedente de residuos sólidos (basura), su abastecimiento depende de la organización de recojo, administración e inversión en generadores eléctricos que están en manos, de las municipalidades, empresas de

recojo de basura, entidades encargadas del almacenamiento de basura e inversionistas potenciales en generar electricidad a partir de estos residuos. Además, en este caso, se requiere contar con un volumen mínimo para que la operación sea relativamente económica.

Gráfico 8. *Planta de generación de biogás proveniente de residuos sólidos.*



Fuente: [Ing. Juan Cabrera García]. (Huarochirí,2011).PETRAMÁS SAC., CENTRAL TERMICA BIOMASA-HUAYCOLORO.Recuperado de http://minagri.gob.pe/portal/download/pdf/especiales/bioenergia/foro-seg-alimentaria/petramas_basura_elect.pdf.

Energía Geotérmica. (Gráfico 9) Es la producción de electricidad generada aprovechando el calor de la Tierra. Si bien en algunos países (Italia, por ejemplo) es

aprovechada en gran escala requiere un esfuerzo importante de exploración y desarrollo.

Gráfico 9. *Planta de Generación de Energía Geotérmica.*



Fuente: Planta Bagnore 3 Toscana.(Italia,2018). Archivo fotográfico de ENEL Green Power.

Capítulo 6.

Uso de las Energías Renovables en el Perú.

Sistema Eléctrico Interconectado. Como se ha indicado, el COES como Operador del Sistema está a cargo de garantizar la estabilidad de la red en cuanto a frecuencia, energía reactiva, reposición rápida de la generación de electricidad, etc. por medio de servicios complementarios y equipos. Estos servicios son fundamentales para poder responder adecuadamente a las variaciones en la producción de electricidad de las Energías Renovables.

La mayor parte de la electricidad consumida en un país se obtiene de las redes eléctricas tendidas a lo largo del mismo. Los generadores eléctricos de diversos tipos: hidroeléctricas, generadores a gas natural, generadores a carbón, generadores a diesel, eólicas, paneles solares, y generadores a partir de biomasa o biogas inyectan electricidad en distintos puntos del país a las líneas de transmisión eléctrica. La electricidad transportada por estas líneas llega a los centros de consumo, sean estos distribuidores que abastecen a los consumidores domésticos y otros de menor cuantía, o grandes

consumidores (empresas mineras o industriales), los cuales se alimentan directamente de electricidad a través de sus propias extensiones a las líneas de transmisión. La entidad que administra el sistema eléctrico (el COES en el caso peruano) debe asegurar el balance entre producción y consumo de electricidad a lo largo del día. Como se ha mencionado, las energías renovables no tradicionales forman parte de los generadores que abastecen al sistema. En el Perú éstas representan, actualmente, menos del 5% del total de electricidad generada.

Electrificación Rural para Zonas Aisladas. En el caso de zonas de bajo consumo alejadas de la red puede ser más económico el abastecimiento de electricidad por medio de paneles solares. Dado que, si bien éstos ofrecen menores costos, éstos son significativamente mayores que los del sistema interconectado, por lo que los estados en su mayoría subsidian el abastecimiento a los pobladores rurales de menores ingresos. En el caso peruano existen diversos programas, tanto de origen gubernamental como privado. El más significativo en cuanto a volumen de producción es el programa que está llevando a cabo el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) para la instalación de 150,000 paneles inicialmente con la perspectiva de alcanzar los 500,000

paneles en el mediano plazo. La colocación de estos paneles se inició en el año 2017.

Cuadro 2. Descripción de los tipos de sistema fotovoltaico-

N°	Tipo de Sistema		Energía Disponible		Potencia Instalada (W)	Tensión (V)	Pérdidas (%)	Capacidad Batería (Ah)	Capacidad Regulador (A)	Capacidad Inversor (W)
			Costa-Sierra	Selva						
1	Módulo 50	1x50	238,50	202,50	75,00	12 CC	79,36	100,00	10,00	No
2	Módulo 80	1x80	381,60	324,00	93,00	12 CC	79,36	150,00	10,00	No
3	Módulo 160	2x80	763,20	648,00	240,00	200 CA	69,44	200,00	20,00	300,00
4	Módulo 240	3x80	1 144,80	972,00	360,00	200 CA	69,44	300,00	30,00	400,00
5	Módulo 320	4x80	1 528,40	1 296,00	319,00	200 CA	69,44	400,00	40,00	500,00

tarifa rural 2014-2018.

Fuente: Fijación de la Tarifa Rural para Sistemas Fotovoltaicos 2014-2018(junio,2014), Osinergmin.

Los valores de consumo que se presentan en las áreas rurales son muy bajos a comparación de las zonas urbanas, debido a la poca cantidad de artefactos que utilizan las familias de dichas zonas.

Según las especificaciones técnicas de Osinergmin (Informe,2015)³, el consumo energético mínimo

³Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (Osinergmin). (2015). Determinación de la tarifa y mecanismos de remuneración para suministros en áreas no conectadas a red (Segundo informe). Recuperado de <http://www2.osinerg.gob.pe/ProcReg/FijacionCargoRERAutonomo/fijacionCargoRERAutonomo2015/INF%20Determinacion%20de%20la%20tarifa%20RER.pdf>.

es de 230 Wh/día para las viviendas de zona rural no conectadas a la red eléctrica.

Cuadro 3. *Estimados de Consumo para viviendas rurales en zonas aisladas.*

Unidades	Carga	Potencia Unitaria (Watt)	Potencia Total (Watt)	Horas de funcionamiento al día (Horas)	Consumo energético proyectado (Wh/día)	Consumo energético proyectado (KWh/mes)
3	Lámparas	10	30	4.5	135	4.05
1	Radio	10	10	3	30	0.9
1	Cargador de pilas	15	15	3	45	1.35
1	Cargador de celular	5	5	4	20	0.6
TOTAL		40	60	14.5	230	6.9

Fuente: Osinergmin. (2015). Determinación de la tarifa y mecanismos de remuneración para suministros en áreas no conectadas a red(pág.17). (Segundo Informe). Recuperado de <http://www2.osinerg.gob.pe/ProcReg/FijacionCargoRERAutonomo/fijacionCargoRERAutonomo2015/INF%20Determinacion%20de%201a%20tarifa%20RER.pdf>.

Como se observa en el Cuadro 3, una vivienda (tipo 1) demanda 6.9 KWh/mes; según el informe de Osinergmin, se tomará como referencia el panel solar de 85

Wp con células de silicio monocristalino cuya vida útil es de 20 años y cuyo precio ha disminuido en los últimos años.

Los costos anuales de consumo eléctrico en áreas rurales son:

Para Inversiones provenientes en 100% de la Concesionaria y Otras Entidades Privadas:

$$\text{Costo Anual} = aVNR_{SFV} + aOMyC_{SFV}$$

Para Inversiones provenientes 100% del Estado:

$$\text{Costo Anual} = bVNR_{SFV} + aOMyC_{SFV}$$

$$bVNR_{SFV} = aVNR_{SFV} + FFR$$

Donde (Osinergmin,2015):

$aVNR_{SFV}$: Valor Nuevo de Reemplazo del sistema fotovoltaico de flujo anual, para un periodo de 20 años y una tasa de retorno del 12% (factor de recuperación de 0,133879).

$bVNR_{SFV}$: Reposiciones anuales del sistema fotovoltaico, para un periodo de 20 años.

$aOMyC_{SFV}$: Costos anuales de la explotación (operación, mantenimiento y comercial).

FFR: Factor de Fondo de Reposición.

Los costos tomados en cuenta en el cálculo tarifario son: remuneración garantizada, costos de

comercialización del distribuidor y costos de administración de fideicomiso.

$$\text{Total Costo Mensual RER autónomas} = \text{CUT capex} + \text{CUT opex} \times \text{FAC} + (\text{aCC} + \text{aCAF}) / 12$$

Donde:

Costo Anual Unitario de Inversión (CUT): Es igual a la cifra consignada por el adjudicatario (oferta) dividida por la cantidad mínima requerida ponderada (cantidad mínima de Tipo 1 + Tipo 2 + Tipo 3)⁴.

Cuadro 4. *Potencia instalada y energía promedio por instalación autónoma.*

Instalación Autónoma	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
Tensión de Servicio	12 V DC	220 V AC	220 V AC
Potencia Instalada (Wp)	85	425	850
Energía Promedio Estimada Disponible (Kw .h/mes)	8.76	43.78	87.57

Nota. tipo1: para viviendas, tipo2: postas y tipo3: escuelas.

Fuente: Osinergmin. (2015).

Donde según el informe (Osinergmin,2017)⁵ el 50% por ciento corresponde al costo de Inversión (CAPEX) y el otro 50 por

⁴ Como se puede observar en el cuadro 4, la potencia de la instalación de tipo1 es de 85 Wp, la potencia del tipo 2 es cinco veces la del tipo1 y la potencia tipo3 es 10 veces la del tipo1.

⁵.Osinergmin. (2017). Servicio de consultoría para para fijar el cargo rer autónomo aplicable al servicio suministrado de energía en áreas

ciento corresponde al costo de operación y mantenimiento. El Valor Nuevo de Reemplazo (VNR) es el CUT CAPEX entre el Factor de Recuperación de Capital (para un flujo de 15 años y una tasa de actualización de 12 por ciento).

aCC: Costo anual de comercialización.

aCAF: Costo anual de administración del fideicomiso.

Cuadro 5. Cálculo tarifario zona norte.

ZONA NORTE				
Tipo de Sistema Fotovoltaico		Tipo 1-85 Wp	Tipo 2-425 Wp	Tipo 3- 850
<i>Inversión (VNR_{SFV, CAPEX})</i>	US\$/año	565.17	2,825.83	5,651.66
<i>Costo Anual Unitario de Inversión (CUT_{SFV, CAPEX})</i>	US\$/año	82.98	414.90	829.80
<i>Costo Anual Unitario de Operación y Mantenimiento (CUT_{SFV, OPEX})</i>	US\$/año	82.98	414.90	829.80
<i>Costo Anual de Comercialización (aCC_{SFV})</i>	US\$/año	7.76	7.76	7.76
<i>Costo Anual de Administración de Fideicomiso (aCAF_{SFV})</i>	US\$/año	0.83	0.83	0.83
Total Costo Anual	US\$/año	174.55	838.39	1,668.19
<i>Costo Mensual de la Inversión (mCUT_{SFV, CAPEX})</i>	US\$/mes	6.56	32.81	65.61
<i>Costo Mensual de Operación y Mantenimiento (mCUT_{SFV, OPEX})</i>	US\$/mes	6.56	32.81	65.61
<i>Costo Mensual de Operación Comercial (mCC_{SFV})</i>	US\$/mes	0.65	0.65	0.65
<i>Costo Mensual de Administración de Fideicomiso (mCAF_{SFV})</i>	US\$/mes	0.07	0.07	0.07
Total Costo Mensual	US\$/mes	13.84	66.34	131.94
Total Costo Mensual	S./mes	41.37	198.29	394.37

Fuente: Osinergmin (2015).

Del cuadro 5 podemos calcular la tarifa para una vivienda tipo 1 como US\$13.84/8.76 kWh o sea US\$1.60/kWh versus US\$0.14/kWh para los consumidores de la ciudad. Sin

no conectadas a red para tipos de instalaciones rer autónomas (Primer Informe). CONSORCIO ACM ENERGIA – GESATEC. Recuperado de http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/gart/procursosregulatorios/electricidad/fijacion-cargorera/2017/INFORME_DETERRMIANCIION_CARGO_RER_2017.pdf

embargo, hay que considerar también que el consumidor rural paga solamente el 20% de esta tarifa pues el resto lo asume el Estado.

Microrredes o Microgrids

Las microrredes son sistemas de redes circunscritos a una zona aislada cuyo objetivo es abastecer de energía a los lugares alejados de la red, como las zonas rurales o grupos poblacionales que no cuentan con energía eléctrica eficiente: incluso las microrredes pueden establecerse en centros industriales. El objetivo es cubrir la demanda de energía haciendo uso de recursos amigables con el medio ambiente: energía solar, eólica, vehículos eléctricos, y sistemas de almacenamiento de energía con generadores y baterías. Algunas de las ventajas son: mejora de la confiabilidad de abastecimiento a lugares alejados, reducción de la carga máxima de alimentadores, que los habitantes puedan gestionar su uso de energía; y que su empleo permita reducir en un 20 por ciento las emisiones de gases de efecto invernadero.

A través del almacenamiento de energía (energy storage) se aprovecha la energía renovable que no está siendo aprovechada en el momento de su generación. Este mecanismo está siendo aplicado en algunos Estados de EE. UU, como en el Estado de California ⁶

Paneles Solares en Edificios. En varios países existen programas para colocar paneles solares en edificios y viviendas. La ventaja del abastecimiento de electricidad mediante este sistema es que no utiliza las líneas de transmisión. Con objeto de volverlos más atractivos económicamente, los programas de incentivos incluyen la posibilidad de que los edificios inyecten sus excedentes a la red eléctrica, mecanismo que se conoce bajo el nombre de generación distribuida. En el Perú se ha promulgado una ley de este tipo, pero a la fecha falta la promulgación de los decretos para su implementación. En base a una publicación 'How much do Solar Panels Cost to Install' (<https://www.solarpowerauthority.com>) se puede calcular un costo por kWh de de 25USc/kwh a

⁶ Robert Weisenmiller, Chair, California Energy Commission and California Delegation to China.(2017).Microgrids and Energy Storage – Experience from California.Recuperado de <https://www.energy.ca.gov/2017publications/CEC-999-2017/CEC-999-2017-006.pdf>

30USc/kWh, que con las mejoras en eficiencia podría bajar sustancialmente.

Otros Usos de las Energías Renovables. Las energías renovables para usos productivos representan una opción en lugares donde no llega la electricidad proveniente del sistema eléctrico interconectado. Un caso típico son las zonas agrícolas que requieren electricidad para el bombeo de agua y que actualmente utilizan generadores a petróleo con este fin. Otro caso lo constituyen los paneles solares para empresas mineras o empresas de servicios (hoteles) que están lejos de la red eléctrica. Si bien las energías renovables pueden ser ventajosas económicamente para estas aplicaciones, por lo que se emplean en otros países como es el caso de Chile, en el Perú recién se están dando algunos proyectos de este tipo en empresas mineras pequeñas, en la industria petrolera y en hoteles (horizonteminero.com, 10 diciembre 2016). Por ejemplo, Minera Sondaje en Ayacucho está cubriendo el suministro de energía eléctrica para su campamento y oficinas con paneles solares. La empresa Tecnofast está usando esta aplicación para baños de los dormitorios de sus empleados. La empresa Pluspetrol está empleando paneles solares para abastecer de electricidad a torres de comunicación y monitoreo meteorológico. Si bien estos son avances promisorios aún falta mucho por

desarrollar. Entre las posibles barreras a un mayor desarrollo se encuentran: el costo de inversión inicial, la aversión al riesgo, y la falta de promoción por parte de la mayoría de empresas de energías renovables.

Vehículos Eléctricos. Los vehículos eléctricos representan una oportunidad para promover el uso de energías renovables, aparte de sus beneficios de reducción de contaminación en las ciudades. Dado que las baterías de los mismos se pueden recargar en cualquier hora del día, se pueden aprovechar los períodos de mayor producción de energías renovables y menor consumo de electricidad para recargarlos. En algunos países se está promoviendo el desarrollo de este sector tanto a través de legislación apropiada, créditos, reducción de impuestos, e instalación de estaciones de recarga. En el Perú aún no se ha desarrollado un programa de este tipo.

Capítulo 7.

El Sistema Regulatorio del Sector Eléctrico en el Perú.

Dado que la electricidad es una industria de redes con elementos monopólicos, en el Perú se ha establecido un sistema regulatorio del sector eléctrico que busca eficiencia y sostenibilidad del sistema.⁷

El sistema regulatorio del sector eléctrico en el Perú está normado por la Ley de Concesiones Eléctricas promulgada mediante DL 25844 con objeto de garantizar el suministro eléctrico y promover la eficiencia del sector. Las principales medidas bajo dicha ley fueron: el establecimiento de un nuevo diseño de mercado separando las actividades de generación, transmisión y distribución; la privatización de gran parte de la generación, transmisión y distribución; la creación del COES; el establecimiento de un mercado spot para transacciones entre generadores que experimentarían déficits o superávits en sus contratos; la libre entrada a la generación; la regulación de tarifas para clientes de

⁷ Véase, por ejemplo: Alfredo Dammert, Raúl García y Fiorella Molinelli. (2008). Regulación y Supervisión del Sector eléctrico. Fondo editorial PUCP. Lima.

consumo menor a 1MW; y la obligación de celebrar contratos a largo plazo entre generadores y distribuidores para clientes regulados.

Posteriormente, en julio de 2006, el Congreso aprobó la Ley para Asegurar el Desarrollo Eficiente de la Generación Eléctrica (Ley 28832) que modificó la regulación de la generación y transmisión. Bajo dicha ley se creó un mecanismo de licitaciones de contratos entre distribuidores y generadores a precios establecidos en los mismos, en contraste con la regulación anterior bajo la cual Osinergmin establecía semestralmente – a través de estimados de costos - los precios de generación de los contratos. Las licitaciones son obligatorias para clientes de hasta 2500 kW, pudiendo los clientes entre 200 kW y 2500 kW de capacidad escoger entre ser libres o regulados. Las principales características de las licitaciones son: las licitaciones son por potencia (capacidad firme) y energía asociada; la buena pro la otorgan los distribuidores a las menores ofertas por el precio de energía (costo variable); el precio de potencia (capacidad o costo fijo) lo determina anualmente Osinergmin; la duración de los contratos es de entre 5 y 20 años; y el precio a clientes finales del sistema es el promedio ponderado de todos los contratos entre generadores y distribuidores. Los clientes libres pueden celebrar libremente con generadores o plegarse a las licitaciones de algún distribuidor. Los resultados de estas licitaciones se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro 6. Cuadro de Licitaciones.

Año	Licitación	Potencia Requerida (MW)			Precio Medio Energía (USD/MWh)
		Fija	Variable	Total	
2009	ED-01-2009-LP : 2014-2021	1 011	202	1 213	40,0
	ED-02-2009-LP : 2014-2023	552	110	662	
	ED-03-2009-LP : 2014-2025	542	108	650	
	DISTRILUZ: 2013-2022*	465	93	558	
2010	LDS-01-2010-LP: 2014-2023	558	112	670	42,0
2011	LDS-01-2011-LP: 2018-2027*	323	65	388	
2012	EDN-01-2012-LP: 2016-2027	134	27	161	
2015	EDN-01-2015-LP: 2022-2031	240	60	300	32,7
	Total	3 825	777	4 602	

* Se cubrió todo el requerimiento a través de dos convocatorias.

Fuente y elaboración: Jaime Mendoza Gacon.

En el año 2010, el Gobierno por medio del DL 1002 aprobó la Promoción de la Inversión en Recursos Energéticos Renovables (no convencionales) con el objetivo de mejorar la calidad de vida de la población y proteger el medio ambiente. Dicho decreto establece licitaciones especiales para la adquisición de energía renovable no tradicional bajo tarifas que cubran los costos de dicho tipo de energía, garantizando la prioridad en el despacho y tarifas estables a largo plazo. Esta ley, además de permitir mayores precios que los del sistema eléctrico cuando sea necesario, no requiere que las generadoras ofrezcan potencia firme (capacidad

asegurada), dado que bajo las reglas actuales la potencia firme es aquella que se puede ofrecer durante todas las horas del día, la cual puede ser cero para la energía eólica y es cero para la energía solar en horas en que no hay luz solar.

Bajo la Ley de Generación Eficiente se creó también un nuevo reglamento para la transmisión eléctrica bajo el cual el estado encarga la planificación de la inversión en líneas de transmisión al COES. Las nuevas líneas del sistema nacional se otorgan bajo contratos BOOT a 30 años mediante licitaciones en las cuales la empresa ganadora es la que requiere el menor ingreso anual. Los ingresos para remunerar a las líneas de transmisión se obtienen mediante el cobro proporcional al consumo a todos los clientes – regulados y no regulados – del sistema. Las líneas de transmisión adicionales para uso de clientes específicos (por ejemplo, una empresa minera), denominadas líneas complementarias, no están reguladas salvo para el consumo de poblaciones que estén dentro de dichas líneas.

En cuanto a la Distribución Eléctrica, las tarifas se establecen como resultado de aplicar el método de empresa modelo eficiente que consiste en calcular tarifas que cubran los costos de empresas

idealizadas de distribución denominadas empresas modelo (es decir excluyendo superposición de líneas, costos excesivos y otros).

La tarifa al usuario final regulado es la suma de las tarifas de generación, transmisión y distribución más otros gastos y cobros adicionales, incluyendo los de las energías renovables. En el caso de los usuarios libres, la tarifa final es igual a los precios de sus contratos de generación, más los costos regulados de transmisión, más los costos de la transmisión complementaria y en casos en que emplea parte de las líneas de distribución (por ejemplo, un centro comercial) incluyen un precio negociado con el distribuidor.

Una preocupación del gobierno es incrementar el coeficiente de electrificación con objeto de llegar a toda la población. En el año 2018 el coeficiente de electrificación del país es de 96% a nivel nacional y de 93 por ciento a nivel rural (2017). Con objeto de llegar al 99 por ciento, el gobierno, además de la promoción de la construcción de redes eléctricas del sistema interconectado, ha implementado – como se ha mencionado - programas de instalación de paneles solares para áreas rurales. Para ello en 2007 creó la Dirección General de Electrificación Rural (DGER-MEM) y le encargó la ejecución del Plan Nacional de

Electrificación Rural (PNLR), que consideraba el uso de energía renovable no convencional, como los sistemas fotovoltaicos (SF) de uso doméstico o comunal y la energía eólica. En el año 2008, se aprobó la Ley de Promoción de la Inversión para la Generación de Electricidad con el uso de Energías Renovables (DL1002) según la cual el Estado debe facilitar una política estable de precios y tarifas que compensen costos eficientes e incentiven la inversión, subsidiando de manera temporal y focalizada el costo de la energía renovable en los segmentos poblacionales de menores ingresos.

Capítulo 8.

Promoción de las Energías Renovables en el Perú

Factores que condicionan el uso de energías renovables

El desarrollo de proyectos de energías renovables se basa en subastas, siendo el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) el encargado de establecer, elaborar y aprobar las bases. Asimismo, Osinergmin es la entidad reguladora encargada de dirigir la subasta, estableciendo precios máximos y supervisando los contratos.

Actualmente se llevan a cabo dos tipos de subastas:

- ***Subastas RER On-Grid:*** El MINEM fomenta la participación de los RER en la generación eléctrica nacional, adjudicando un porcentaje cada dos años, actualmente este porcentaje es del 5 %. Establecida la cantidad de energía requerida, como siguiente paso, se determina una tarifa máxima de referencia que las empresas ofertantes no conocen al momento de presentar su oferta, y se inicia la subasta a sobre cerrado.

Como resultado del proceso se adjudica la buena pro a las ofertas de menor precio, descartándose a los que superan la tarifa de referencia (establecida por Osinergmin). En caso de que no se cubra la energía requerida, la tarifa máxima será revelada y se cubrirá con el resto de tecnologías ofertadas. Cuando los ingresos por la venta de energía producida por las RER, que se determinan como el costo marginal del sistema eléctrico, resultan menores que la tarifa adjudicada, la empresa recibirá una prima de compensación⁸.

- **Subastas RER Off-Grid:** Las instalaciones RER autónomas hacen referencia a los proyectos en áreas no conectadas a la red, donde los ingresos de los inversionistas estarán respaldados por los pagos de los usuarios, así como por los subsidios del Estado, provenientes del FOSE⁹ y del FISE¹⁰. Se debe asegurar que el ingreso del inversionista cubra su remuneración, costos de comercialización y costos del fideicomiso. Los principales factores que determinan el uso de energía renovable no tradicional en el sector rural son: la lejanía entre las viviendas, la

⁸ Osinergmin. (2016). Historia de la Electricidad en el Perú (p. 181).

⁹ Fondo de Compensación Social Eléctrica.

¹⁰ Fondo de Inclusión Social Energético.

inexistencia de infraestructura vial y la baja capacidad de poder adquisitivo de las familias. El MINEM viene desarrollando una serie de programas de electrificación rural para estas zonas, principalmente con paneles solares (sistemas fotovoltaicos) por ser el recurso de mayor disponibilidad en casi todo el territorio nacional.¹¹

Licitaciones de Energías Renovables no Convencionales. Hasta junio del 2018 se han tenido cuatro subastas bajo el DL1002. Estas subastas las lleva a cabo un Comité constituido por representantes del MINEM y OSINERGMIN. A la fecha, las subastas se han realizado en 2009, 2011, 2013 y 2015. La capacidad adjudicada por cada tecnología se muestra en el Cuadro 11 y los precios obtenidos en cada subasta se presentan en el Gráfico 10.

Cuadro 7. *Capacidad Adjudicada en las Subastas RER no Tradicionales – 2009-2015.*

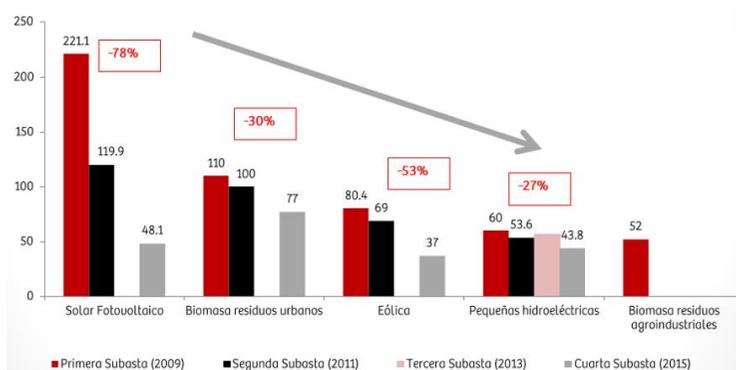
Tecnología	Capacidad MW
Biomasa	23
Biogas	11
Eólica	394

¹¹ Osinergmin. (2016). Historia de la Electricidad en el Perú (p. 183).

Solar	280
Minihidro	566
TOTAL	1,274

Fuente: Dammert. Op.Cit.

Gráfico 10. Resultado de Precios de Licitaciones RER 2009-2015.



Fuente: Elaborado por MINEM. El Futuro de las Energías Renovables en el Perú. (2017).

Cuadro 8. Contratos de concesión RER.

Subasta	Año de subasta	Potencia Instalada (MW)	Número de contratos
1ra subasta	2009 - 2010	430	27
2da subasta	2011	217	10
3ra subasta	2013	195	14
4ta subasta	2014	430	13
Total		1 272	64

Fuente: Elaborado por MINEM. El Futuro de las Energías Renovables en el Perú. (2017).

Cuadro 9. Energía Adjudicada total en las todas las Subastas RER.

Tecnología	Energía Requerida	Energía Adjudicada		Potencia Adjudicada	Número de proyectos
	GWh	GWh	%	MW	
Hidro	5 497	3 380	61%	564	45
Eólica	1 322	1 726	131%	394	7
Solar	639	739	116%	280	7
Biomasa	2 273	186	8%	33	5
RER TOTAL	9 731	6 031	64%	1 272	64
RER - NC	4 234	2 651	63%	707	19

Fuente: Elaborado por MINEM. El Futuro de las Energías Renovables en el Perú. (2017).

De las cuatro subastas, los mayores volúmenes obtenidos de RER fueron minihidros – 564 MW; eólicas – 394 MW; y solares fotovoltaicos – 280 MW, mientras que los volúmenes asignados a biomasa y biogas fueron de 33 MW y 11 MW respectivamente. En el año 2012 se dio la puesta en marcha de la primera central eléctrica de energía solar, constituida por 55,704 módulos fotovoltaicos en el distrito de la Joya, Caylloma en Arequipa. En el caso de biomasa, el único abastecedor-productor fue Paramonga que utiliza el bagazo de caña de azúcar para dicho proceso; sin embargo, existen otras haciendas azucareras que podrían desarrollar generadores eléctricos bajo el mismo sistema. En el caso de generación eléctrica con biogas, su desarrollo es más complicado pues se requiere la organización de un esquema entre las municipalidades

(responsables de que la basura se recoja), y las empresas que recogen basura. A la fecha se cuenta con una empresa – Relapasa- que recolecta basura en parte de la ciudad de Lima, la almacena en sus instalaciones y tiene un proceso para convertir el biogas en electricidad con una capacidad de 11MW (planta de Huaycoloro). De este tema se tratará más adelante.

Respecto a precios, es importante apreciar la reducción considerable de los mismos para las centrales eólicas y las solares. El precio de la energía eólica en las subastas se redujo de US\$80.4/MWh en 2009 a US\$37.7/MWh en 2013. De manera similar, el precio de la energía solar se redujo de US\$221.1/MWh en 2009 a US\$37.7/MWh en 2013. Ambos precios de 2013 son inferiores a los US\$45/MWh a US\$60/MWh que se obtienen en generación hidroeléctrica y a gas natural en el Perú. Sin embargo, dada la intermitencia y falta de disponibilidad de energía eólica y solar en determinadas horas del día, es necesario considerar la compensación que puedan ofrecer las plantas hidroeléctricas que pueden modular su producción para garantizar la estabilidad del sistema. Por encima de ello, se requerirían sistemas de almacenamiento que a la fecha son costosas.

Programa de Paneles Solares para Áreas Rurales.

A mediados de los años 90 se creó la Ley de Industria Eléctrica (Decreto Ley N° 12378), cuyo fin era establecer reglamentos e imposiciones tarifarias para atraer la inversión privada. Esta ley significó la apertura para la electrificación en zonas aisladas del país. En 1962 la Ley de los Servicios Eléctricos Nacionales (Ley N° 14080) tuvo como finalidad llevar electrificación a los lugares donde esta no era rentable para la inversión privada. El Decreto Ley de Electricidad de 1972 declaraba a la electricidad como uno de los servicios básicos fundamentales para la Nación. En 2007, se creó la Dirección General de Electrificación Rural (DGER-MEM), donde se declaró la implementación del Plan Nacional de Electrificación Rural (PNLR). A partir de este plan, se vienen desarrollando las instalaciones de energía renovable no convencional, como los sistemas fotovoltaicos (SF) de uso doméstico o comunal y la energía eólica, esta última ubicada principalmente en el litoral peruano.

En el año 2008, se aprobó la Ley de Promoción de la Inversión para la Generación de Electricidad con el uso de Energías Renovables que dicta:

“el Estado debe facilitar una política estable de precios y tarifas que compensen costos eficientes e incentiven la inversión, subsidiando de manera temporal y focalizada el costo de la energía para las zonas de menor ingreso” (Decreto Legislativo N° 1002).

En el año 2015, como resultado de una licitación del MINEM para instalar 150 mil paneles solares en áreas rurales alejadas del país que no cuentan con redes tradicionales de electricidad, el MINEM firmó un contrato de inversión con la empresa ERGON para la instalación de los paneles solares. ERGON Perú a su vez firmó contratos de servicio con 11 empresas distribuidoras de energía encargadas de atender a los usuarios y realizar la facturación y cobranza del servicio. El contrato consideraba que en agosto de 2016 deberían estar operando los paneles solares con la opción de que para fin de 2018 estuvieran operando 500 mil paneles, pero la obligación mínima de proveer 150 mil paneles solares, el contrato de operación tiene una vigencia de 15 años. En cuanto a los ingresos previstos, la empresa debe recibir alrededor de US\$28.5 millones anuales. El costo, incluida la instalación de los paneles, oscila entre US\$300 a US\$500 por equipo completo incluyendo la batería y conexión interna lo cual equivale a US\$1.60/kWh. A pesar del progreso realizado bajo este programa, a junio 2018 sólo se han instalado 60 mil

paneles solares dadas las demoras en llegar a acuerdos con los usuarios potenciales además de problemas logísticos, estimándose que el total de 150 mil paneles estará instalado a fines de 2019. Según el MINEM, posteriormene se llegará a los 500 mil paneles solares con una proyección adicional de otros 200 mil paneles solares sin precisar fecha (exposición del ministro del MINEM en desayuno de Macroconsult, Agosto 2018). Bajo este y otros proyectos de electrificación rural el MINEM estima llegar al 100 % de cobertura eléctrica para 2021.

Otros Avances en la Promoción de Energía Renovables.

El DL1221 del año 2015 que mejora la regulación de la distribución de electricidad para promover el acceso a la energía eléctrica en el Perú, en su Artículo 2, establece que los consumidores que hacen uso de energía renovable o convencional hasta su máxima potencia, según sea su nivel de equipamiento, tienen la libertad de hacer uso de las mismas para su propio consumo o para distribuir sus excedentes al sistema interconectado. La potencia máxima y condiciones técnicas serán estipuladas por el MINEM el cual está aún en proceso. En cuanto a la promoción de vehículos eléctricos, el MINEM está evaluando cambios normativos y regulatorios que permitan su uso, así como

un bono para la adquisición de vehículos considerando que en otros países estos bonos se sitúan entre US\$3,000 y US\$5,000. Otro aspecto que está desarrollando el MINEM es el de hallar la manera de que las energías renovables ingresen a un mercado convencional, es decir bajo las licitaciones de la Ley de Generación Eficiente en competencia con otros generadores. Si bien a la fecha las RER no están impedidas de hacerlo, dichas licitaciones requieren que los participantes ofrezcan potencia firme que el COES y OSINERGMIN consideran que debe ser la capacidad que cada generador puede ofrecer a cualquier hora del día. Este problema no se da en la mayoría de países (Colombia, EE. UU, países europeos) que establecen la potencia firme como el promedio de capacidad ofertable durante el día. Este método no interferiría con la falta de capacidad instalada efectiva de las RER durante ciertas horas del día, pues como se ha mencionado antes, los generadores hidroeléctricos pueden suplirla modulando su utilización de agua. Por otra parte, las energías renovables no tradicionales tienen la opción de comprar potencia a otros generadores, pero la actual legislación, así como las dificultades puestas por los generadores no lo han permitido.

Capítulo 9.

Experiencias en la Promoción de Energías Renovables en Otros Países.

La promoción de las RER en el mundo se debe principalmente a la preocupación de los países desarrollados en limitar o reducir el efecto invernadero que causan los gases de generación eléctrica y otros procesos atribuyéndoseles a estos contribuir sustancialmente al incremento promedio de la temperatura terrestre en casi 2°C actualmente y 6°C para el 2050. Ello ha llevado a que diversos países, incluyendo el Perú, firmen convenios de apoyo a las RER con el objetivo de mantener el incremento de temperatura en no más de 2°C. Estos convenios incluyen el compromiso de promover las RER a través de diversas medidas legales, regulatorias y fiscales y a pagar penalidades si sobrepasan las emisiones acordadas (Ver Capítulo 1). A pesar de la importancia de dichos objetivos, se debe tener en cuenta como se ha indicado anteriormente, que las RER pueden proporcionar también los siguientes beneficios: reducción de la depredación ambiental que ocasionan energías de fuentes no renovables (petróleo, gas y carbón), reducción de la contaminación en las ciudades, y

abastecimiento de electricidad a zonas lejanas a la red eléctrica nacional.

Varios países están implementando diversos mecanismos para la promoción de las RER:

- **Políticas de apoyo.** Incluyen mecanismos regulatorios, cuotas de RER, asistencia técnica, licitaciones estatales para la inversión privada, sistema de primas, y organizaciones estatales de promoción con objeto de reducir la contaminación en el campo y la ciudad (vehículos) y ampliar las fuentes de recursos energéticos (muy importante en el caso de Chile que tiene alternativas limitadas). Estados Unidos ha establecido esquemas regulatorios y estándares técnicos, provee fondos para financiar investigación y desarrollo y ha creado un directorio nacional de RER. Canadá tiene el objetivo de generar el 20% de su electricidad con RER y ha establecido un fondo de US\$317 millones para financiar proyectos incluyendo investigación y desarrollo, sus estados han aprobado diversos esquemas regulatorios promocionales, y ha creado el Renewable Energy Facilitator para financiar proyectos. Chile ha fijado como objetivo generar el 20% de

electricidad con RER para 2025, ha diseñado un esquema regulatorio para promoverlas, facilita subastas para nuevos proyectos, subsidia hasta el 40% de los Estudios de Factibilidad, y financia proyectos de investigación y desarrollo.

- ***Promoción de mercado.*** Incluyen tarifas fijas, acceso garantizado a la red, balance neto de energía, y subastas garantizando la compra de energía. En Estados Unidos, el gobierno se ha comprometido a permitir la utilización de terrenos públicos para un total de 10,000 MW de capacidad de generación RER, y permiten la facturación neta para pequeños productores RER (ejemplo paneles solares en edificios). Canadá permite a los consumidores conectar sus sistemas a la red eléctrica y ofrecen contratos PPA garantizando la compra de su producción a las RER por 20 años a un precio fijo. Chile permite la inyección a la red de consumidores que producen su propia energía y la licitación de electricidad por bloques horarios, que permiten a los generadores RER celebrar contratos para las horas en que pueden generar electricidad.
- ***Incentivos fiscales.*** Consisten en reducción de impuestos, subsidios, créditos, bonos de carbono, entre otros. Estados Unidos permite la

devolución de impuestos para inversiones en RER, subsidia los proyectos, y el gobierno tiene el compromiso de comprar 1,000 MW a los productores RER para instalaciones públicas. Canadá permite también la devolución de impuestos en inversiones, subsidia proyectos RER, y tiene el compromiso de comprar 150 MW para el sector público, y la firma de contratos por parte de la empresa estatal Hydroquebec para la instalación de 2,000 MW de generación eólica. Chile brinda subsidios para estudios de factibilidad de RER para sectores rurales, y el gobierno tiene un fondo de inversión para electrificación rural con RER.

(Fuente: OSINERGMIN op.cit.)

Experiencias en la Promoción de RER en países desarrollados.

Alemania

El papel de Alemania como impulsor de políticas para promover el consumo de energía renovable no convencional, ha ido desarrollándose a partir del programa de transición energética conocida como “*Energiewende*” (1980). Estos esfuerzos se potenciaron tras el accidente ocurrido en Chernóbil (Ucrania) en 1986 y luego el de la planta nuclear en Fukushima (Japón) en el 2011, por lo que se estableció

un proceso de desmontaje de todas las plantas nucleares fijando como límite el año 2022.¹²

Por transformación energética se entiende la transición de una economía energética basada en el petróleo, el carbón, el gas y la energía atómica a las energías renovables. Se aspira a que, a más tardar en 2050, por lo menos el 80 % del abastecimiento de electricidad y el 60 % de todo el abastecimiento energético en Alemania provenga de energías renovables. Para el 2022 serán apagadas sucesivamente todas las centrales atómicas y en 2025, el abastecimiento de corriente provendrá en un 40 a un 45 por ciento de energías renovables. Como consecuencia, desde mediados de 2015 funcionan solo ocho centrales atómicas, que generan un 15 % del mix energético.¹³

Hoy en día se aplican una variedad de políticas para promover las energías renovables. La más eficiente respecto a la divulgación rápida de estas energías, por la reducción de sus costos y los incentivos que ofrece a los inversionistas, es el instrumento de las tarifas de alimentación del modelo alemán. Estas tarifas

¹² Brüggemeier, F. (2017). *Sol, Agua, Viento: La evolución de la transición energética en Alemania*. Recuperado de:

¹³ Ministerio Federal de Relaciones Exteriores. (2017). Actualidad Alemana. Berlin. Recuperado de: https://www.tatsachen-ueber-deutschland.de/es/system/files/download/tatsachen_2015_spa.pdf

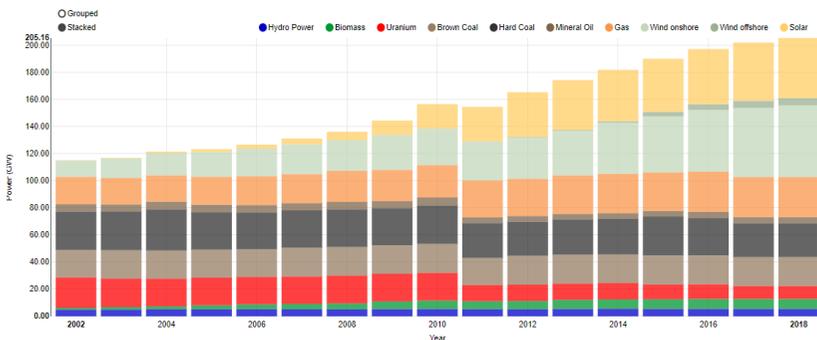
se establecieron bajo la ley de Energías Renovables (EEG por su sigla alemán), que garantiza el acceso a la red y funciona en base a tarifas fijas por cada kWh, las cuales son superiores a las tarifas del mercado. Los precios se garantizan por un periodo estipulado por ley en 20 años y van decreciendo en el transcurso de los años. Además, existen otros instrumentos de política: (a) La medición neta (net metering), que garantiza – por lo general a particulares - la posibilidad de compensar los costos de la autoproducción con la venta al sistema a las tarifas de los proveedores convencionales de la región; b) el mecanismo cuantitativo de cuotas, meta impuesta legalmente que obliga a consumir y/o generar una cierta cantidad o porcentaje de la electricidad total en base de energías renovables. Sin embargo, ni la medición neta ni el sistema de cuotas o porcentajes ofrecen a los inversionistas en Alemania la previsibilidad de costos necesaria para invertir en las energías renovables. En el caso de la medición neta se debe a la falta de seguridad, ya que la aplicación de este instrumento varía mucho en la práctica y no necesariamente le garantiza al productor que pueda vender su exceso de energía producida.¹⁴

¹⁴ Böll, H. (2014). *Energía en manos ciudadanas*. Heinrich Böll. Recuperado de:

Por otro lado, existen ciertas contradicciones sobre el cumplimiento de los objetivos esperados, tras los incentivos de promoción de la producción de las energías no convencionales como lo muestran a continuación los siguientes gráficos.

Se puede observar que la generación de electricidad neta en Alemania ha tenido un crecimiento considerable, llegando a los 200 GW en el 2018, y efectivamente la energía solar y eólica han venido impulsándose después de las políticas de incentivo del programa Energiewende; pero también se observa que el consumo del petróleo, carbón y gas no han tenido los resultados de reducción esperados, es más hay un ligero incremento.

Gráfico 11. *Capacidad de generación de electricidad instalada neta en Alemania.*



Datasource: AGEE, BMWI, Bundesnetzagentur
Last update: 31 Jul 2018 12:44

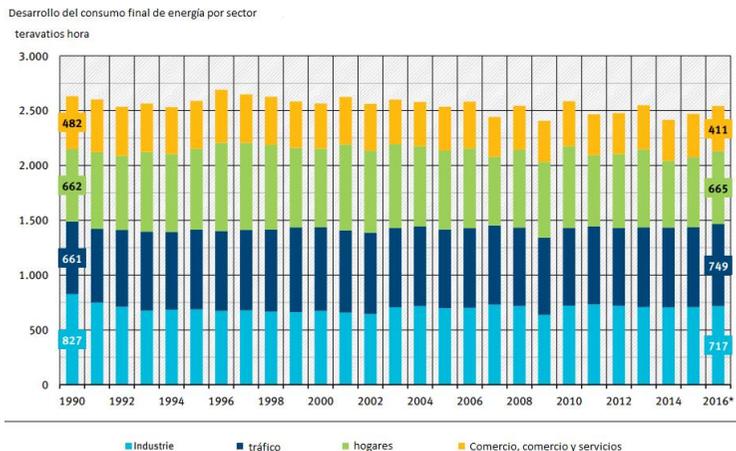
[anas.pdf](#)

Nota: Datasource: AGEE, BMWi, Agencia de la red federal. Última actualización: 31 de julio de 2018. Recuperado de: https://www.energy-charts.de/power_inst.htm

Fuente: Elaborado por Fraunhofer Institut .50 Hertz, Amprion, Tennet, TransnetBW, Destatis, EEX.

Se puede apreciar en el gráfico 12 que el consumo de energía no ha sufrido cambios significativos con respecto a la década anterior.

Gráfico 12. Consumo de energía final por sector en Alemania.



* información preliminar

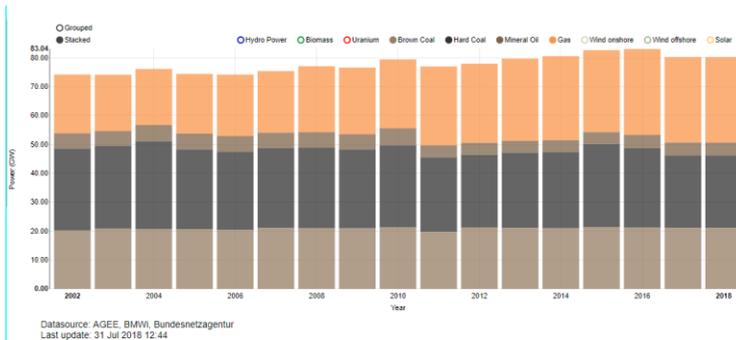
Nota. Tablas de evaluación sobre el balance energético de la República Federal de Alemania 1990 a 2016, a partir del 09/2017. Agencia Federal de Medio Ambiente germana. Recuperado de:

<https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/energieverbrauch-nach-energetraegern-sektoren>

Fuente: Elaborado por Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen

En el caso de generación eléctrica, solo se han seleccionado carbón, petróleo y gas para apreciar mejor el dinamismo de su producción; observándose que la capacidad de generación de las energías convencionales no ha sufrido una disminución considerable a pesar de las políticas de incentivo de uso de energías renovables.

Gráfico 13. *Capacidad de generación de electricidad instalada neta en Alemania.*



Nota: Datasource: AGEE, BMWi, Agencia de la red federal. Última actualización: 31 de julio de 2018 12:44. Recuperado de: https://www.energy-charts.de/power_inst.htm

Fuente: Elaborado por Fraunhofer Institut .50 Hertz, Amprion, Tennet, TransnetBW, Destatis, EEX.

En resumen, pese a los grandes esfuerzos mediante políticas de incentivo a la inversión en la

producción de energías no convencionales y que ha generado grandes costos al Gobierno alemán; éstos no están cumpliendo con los objetivos propuestos por el Estado, que es el de suplir el uso de energía proveniente de combustibles fósiles y energía nuclear ya que, si bien es cierto, la generación de energía solar y eólica va en aumento, estas no están cubriendo la demanda requerida por los alemanes, pues aún existen deficiencias como la intermitencia y la manera en que se podría almacenar energía en horas de menos consumo, este análisis se ha recogido del blog “Desde ElExilio”(Luis I. Gómez , 2016)¹⁵.

Estados Unidos

Las energías renovables adquirieron importancia en los años 80 siendo la hidroeléctrica la de mayor uso dentro de las energías limpias. Hoy el porcentaje de uso de energías renovables llega al 15 % de la electricidad generada en el país, de las cuales casi un 7 % proviene de la energía eólica y un poco más del 1 % de la energía solar y el resto de otras fuentes de energía no convencional según la US Energy Information Administration.

Actualmente el sector de energía solar tiene un dinamismo lento debido a las políticas proteccionistas a través del aumento de la tasa arancelaria (30 %) a la importación de paneles solares, pues más del 95 % de los

¹⁵ Luis I. Gómez.(2016). Las energías renovables no sustituyen a las convencionales. el caso alemán. Recuperado de <http://www.desdeexilio.com/2016/08/24/las-energias-renovables-no-sustituyen-las-convencionales-el-caso-aleman/>

paneles solares son importados; mientras que por el lado del sector de energía eólica, se mantiene estable gracias a las políticas para incentivar la inversión en el desarrollo, transporte y construcción del mismo.¹⁶

Desde 2008 la producción de energía solar ha tenido un desarrollo sustancial. Actualmente, Estados Unidos cuenta una capacidad fotovoltaica capaz de abastecer a 10,1 millones de hogares, siendo los cinco Estados con mayor emisión de energía solar: California (33,733 GWh), Arizona (GWh), North Carolina (5,783 GWh), Nevada (4,241) y Texas (2,814 GWh). Esto se debe al crecimiento de la generación de energía solar entre el 2008 y 2017, 39 veces más, gracias al apoyo de los gobiernos de cada Estado a través de políticas de incentivo, así como créditos fiscales federales para la inversión en energía solar y programas como es la Iniciativa Sunshot de Energy, según el informe de un centro de estudios medioambientales y del Frontier Group.¹⁷

¹⁶ Internacional Renewable Energy Agency.(2018). *Renewable Energy and Jobs Annual Review 2018*. Ciudad de Masdar . Recuperado de https://irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/May/IRENA_RE_Jobs_Annual_Review_2018.pdf

¹⁷ Gideon Weissman, Rob Sargent y Bret Fanshaw. (2018). *Renewables on the Rise 2018 A Decade of Progress Toward a Clean Energy Future*,p.8. Recuperado de <https://environmentmassachusettscenter.org/sites/environment/files/reports/MAE%20Renewables%20on%20the%20Rise%20Jul18%20web%20v2%20%282%29.pdf>

Al igual que la promoción de energía solar se han desarrollado políticas de incentivos para la energía eólica. Como consecuencia de estos, los cinco Estados con mayor producción de energía eólica son: Texas (67,092GWh), Oklahoma (24,404 GWh), Kansas (18,501 GWh), Iowa (20,816 GWh) y North Dakota (10,897 GWh). El informe toma como año base el 2008 indicando que para el 2017 la producción de energía eólica aumentó cinco veces, generando 6.9 % de la producción de electricidad en el país, con lo que se llegaría a abastecer a 24 millones de hogares estadounidenses.¹⁸

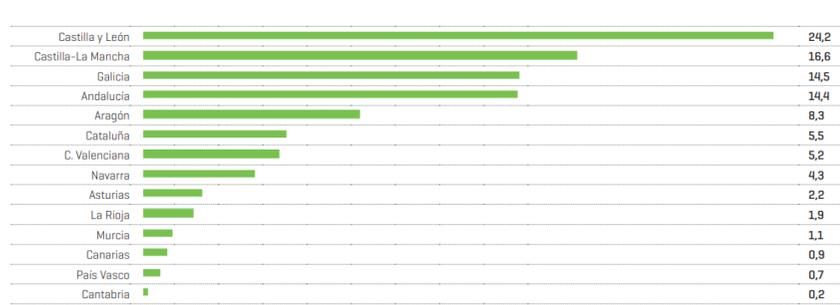
España

En el 2017 España ocupó el décimo puesto en generación de energía renovable en relación con el conjunto de países que conforman la Red Europea de Gestores de Redes de Transporte de Electricidad (ENTSO-E de sus siglas en inglés) cuyo promedio de generación de energía a través de fuentes renovables llegó a aportar el 33,7 por ciento del total de electricidad producida del sistema peninsular (se excluye la generación hidráulica de bombeo), y en cuanto a producción de energía eólica y solar el quinto y cuarto puesto respectivamente. La energía eólica fue la principal fuente

¹⁸ Gideon Weissman, Rob Sargent y Bret Fanshaw. (2018). *Renewables on the Rise 2018 A Decade of Progress Toward a Clean Energy Future*. Recuperado de <https://environmentmassachusettscenter.org/sites/environment/files/reports/MAE%20Renewables%20on%20the%20Rise%20Jul18%20web%20v2%20%282%29.pdf>

renovable (23.132 MW), y la segunda fuente de energía después de la energía nuclear en el país. Las comunidades autónomas con mayor potencial eólico son: Castilla y León, Castilla-La Mancha, Galicia y Andalucía. Estas cuatro comunidades representan el 70 por ciento de la potencia eólica instalada en España¹⁹.

Gráfico 14. *Potencia eólica de cada comunidad autónoma sobre la potencia eólica nacional (%), 2017.*



Nota: Potencia eólica instalada a 31.12.2017.

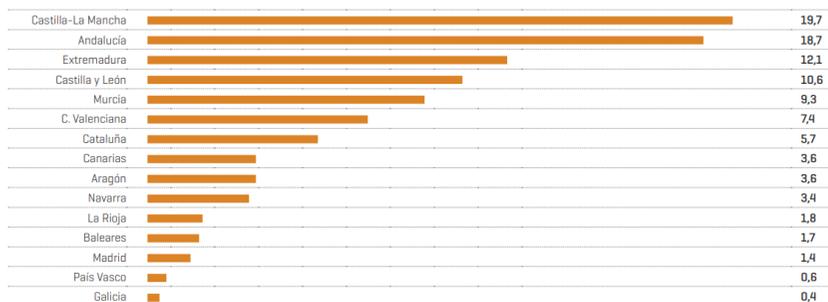
Fuente: Las energías renovables en el sistema eléctrico español (2017).

Por otra parte, la energía solar es la tercera fuente renovable de mayor potencial en España, registrando según el informe citado sobre Las Energías Renovables en el Sistema Eléctrico Español, una capacidad instalada de 6.991

¹⁹ Red eléctrica de España. (2017). *Informe de Las energías renovables en el sistema eléctrico español*. España. Recuperado de: http://www.ree.es/sites/default/files/11_PUBLICACIONES/Documentos/InformesSistemaElectrico/2017/inf_sis_elec_ree_2017.pdf

MW en el 2017. Las comunidades autónomas de Castilla La Mancha, Andalucía, Extremadura y Castilla y León concentran el 61 % de la potencia fotovoltaica instalada en el país peninsular.

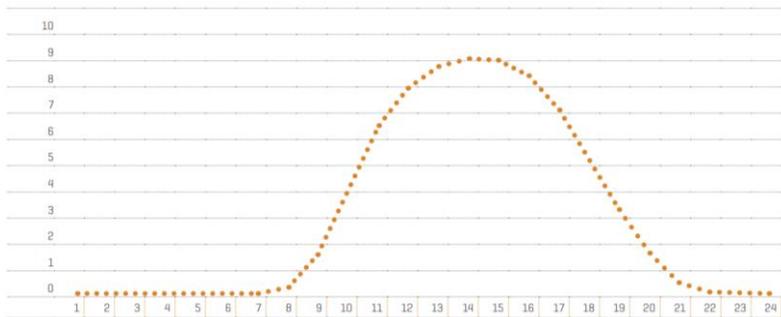
Gráfico 15. *Potencia solar fotovoltaica de cada comunidad autónoma sobre la potencia fotovoltaica nacional, 2017.*



Nota: Potencia eólica instalada a 31.12.2017. No se incluye Cantabria, Asturias y Melilla ya que su participación en esta tecnología es muy pequeña y no se aprecia a efectos del gráfico

Fuente: Las energías renovables en el sistema eléctrico español (2017).

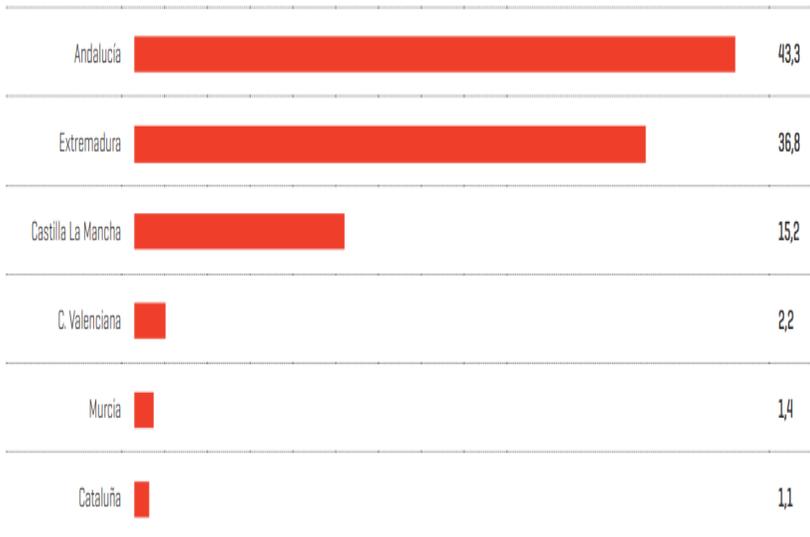
Gráfico 16. *Perfil medio horario de solar fotovoltaica sobre la generación total, sistema eléctrico peninsular 2017 (%).*



Fuente: Las energías renovables en el sistema eléctrico español (2017).

La producción de energía solar térmica es más estable pues tiene la capacidad de almacenar el calor del sol. Sólo seis comunidades tienen instalaciones para generar energía solar térmica, las cuales se muestran en el siguiente gráfico.

Gráfico 17. *Potencial solar térmica de cada comunidad autónoma 2017 (%).*



Fuente: Las energías renovables en el sistema eléctrico español (2017).

España ocupa actualmente el cuarto puesto a nivel de Europa como generador de energía solar.

Entre el 2014 y el 2015 no aumentó la participación de energías renovables en dicho país manteniéndose en 16.15% del total de energía producida. Esto se debe en parte a los ajustes en producción y paralización de nuevas inversiones, pues el esquema de pagar el costo de producción para nuevas instalaciones y permitir su entrada sin un estimado de necesidades llevó a un costo muy alto para el Estado. Como consecuencia, el gobierno consideró necesario reducir las primas a las renovables y eliminar dicho esquema para nuevos proyectos.

Experiencias en la Promoción de Vehículos Eléctricos

COLOMBIA: Plan piloto para la incorporación de vehículos eléctricos.

Una de las metas que se ha puesto el Gobierno colombiano, es la de reducir los Gases de Efecto Invernadero (GEI) en un 20 por ciento, en concordancia con la Convención Marco de las Naciones Unidas (CMNUCC). Entre otras medidas, Colombia considera incentivar el uso de vehículos eléctricos a través de políticas de reducción de costos, tales como exoneraciones de impuestos, permisos de circulación y marcos regulatorios más flexibles, en coordinación con el sector privado. Con este objetivo ha desarrollado un plan piloto de buses y taxis eléctricos con vehículos eléctricos de marca Mitsubishi y una flota de taxis eléctricos de marca BMW i3 y el Nissan LEAF. Como sistema de incentivos para el uso de vehículos eléctricos, Colombia ha establecido la exoneración del impuesto al precio (35 %) para una cuota de 750 vehículos eléctricos y 750 vehículos híbridos al año, así como la reducción del gravamen a 0 % para los vehículos eléctricos (cuando el precio FOB más su sistema de carga fuera menor a 52,000 U\$S); y para los vehículos híbridos con motores

de combustión menores a 3,000 cm³ el gravamen se ha reducido al 5%. También se han eliminado otras regulaciones como el de períodos de circulación (Pico y Placa) y se han exonerado los permisos para su puesta en marcha. En cooperación entre el estado y la empresa privada la compañía Codensa ha apoyado la cimentación de los puntos de recarga de baterías de los vehículos eléctricos; y en el 2017 las Compañías del grupo Enel en Colombia incorporaron el Programa de Vehículo Eléctrico para Empleados. Uno de los principales retos del Estado colombiano para la masificación del uso de vehículos eléctricos es la instalación de infraestructura para la recarga de baterías de los automóviles, así como proveer asesoramiento para que los usuarios puedan cambiar sus vehículos de combustión por los de electricidad a través de mayores incentivos.²⁰

ALEMANIA: Transición hacia la electromovilidad.

El sector industrial más importante de la economía alemana es el automotriz, sector que da trabajo a 800,000 personas directamente y a otras 500,000 indirectamente, lo que lo convierte en uno de

²⁰ Primer Encuentro de Movilidad Eléctrica. (2017). Bogotá.

los principales empleadores del país. Además, esta industria es la responsable de la quinta parte de las exportaciones alemanas. Al mismo tiempo, es una de la que más energía consume -representando un tercio del consumo de energía final en Alemania - cuya fuente principal son los combustibles fósiles. A este problema se suma el grado de dependencia de Alemania con los proveedores mundiales de estos combustibles. Ante ello, el Gobierno Federal desde 1990 está investigando el uso de nuevas fuentes de energía alternativa. En 1994, Alemania lanzó el primer vehículo eléctrico a nivel mundial; iniciando su producción en serie en 2013. Al 2015, habían en Alemania 25 mil autos eléctricos y 131 mil autos híbridos. El objetivo para el 2020 es contar con un millón de autos eléctricos, lo cual convertiría a Alemania en el mercado de referencia a nivel global de electromovilidad. Para lograr este objetivo, el Gobierno Federal fomenta el desarrollo tecnológico y la evolución de los mercados por medio de diversos programas. Por ejemplo, a inicios de 2018, se anunció la introducción del Programa Nacional de Financiación de Buses Eléctricos, que cuenta con un fondo de 70 millones de euros destinados a apoyar a los operadores de transporte público a cubrir los costos adicionales por la compra de autobuses eléctricos e híbridos frente a la adquisición de autobuses diésel, así como la construcción de

infraestructura necesaria para la recarga de batería de estos vehículos.

ESPAÑA

El Plan de Impulso a la Movilidad con Vehículos de Energías Alternativas (MOVEA), es una medida que forma parte de la Estrategia de Impulso del Vehículo con Energías Alternativas (VEA) en España 2014-2020, diseñada y puesta en marcha por el Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital, en colaboración con otras entidades y Ministerios, con el objeto de unificar los distintos programas y planes dirigidos a apoyar la adquisición de los vehículos más eficientes. El Plan MOVEA contaba con una dotación presupuestaria de 16,6 M€ en 2016, dirigida a incentivar la adquisición de vehículos de energías alternativas, así como la implantación de puntos de recarga de vehículos eléctricos en zonas de acceso público. Para ello se contempla la concesión directa de subvenciones, cuya regulación se efectúa mediante el Real Decreto 1078/2015, de 27 de noviembre. En el caso de adquisición de vehículos, las ayudas se destinarán a la adquisición directa de vehículos eléctricos o al arrendamiento financiero (leasing) o alquiler a largo plazo (renting). También se aplicarán a la adquisición de vehículos eléctricos de hasta seis meses de antigüedad.

El vehículo susceptible de ayuda deberá estar matriculado en España y pertenecer a alguna de las siguientes categorías: Turismos M1; Autobuses o autocares (M2, M3); Vehículos de motor concebidos y fabricados principalmente para el transporte de mercancías cuya masa máxima autorizada (MMTA) no supere las 3,5 toneladas; Furgones o camiones (N1, N2, N3); Cuadriciclos (L6e, L7e); Motocicletas L3e, L4e, L5e; y Bicicletas de pedaleo asistido por motor eléctrico nuevas. El importe total de las ayudas se distribuirá según el tipo de vehículo y tecnología de propulsión.²¹

TECNOLOGIA:

Actualmente existen 3 tecnologías existentes de vehículos enchufables en el mercado español:

- 1) Eléctrico puro (BEV - battery electric vehicle)
Vehículo propulsado totalmente por un motor eléctrico alimentado por baterías que se recargan a través de una toma de corriente conectada a la red eléctrica. Su autonomía esta limitada por la capacidad de su batería. La tecnología actual permite un rango entre 130 km – 300 km.
- 2) Eléctrico de autonomía extendida (E-REV - extended-range electric). Vehículo eléctrico

²¹ Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital. (2016).

enchufable que además incorpora un pequeño motor térmico que acciona un generador para recargar las baterías. La propulsión es exclusivamente eléctrica, pero la recarga del motor eléctrico se realiza gracias al sistema auxiliar de combustión. Dicha tecnología permite extender la autonomía eléctrica hasta niveles similares a los vehículos térmicos convencionales. Ofrece aproximadamente unos 80 km de autonomía en modo eléctrico.

- 3) Híbrido enchufable (PHEV - plug-in hybrid electric vehicle). Vehículo que combina la propulsión eléctrica a partir de la energía obtenida de la red, hasta un cierto grado de autonomía, con la propulsión térmica convencional cuando las baterías eléctricas se han descargado. La autonomía eléctrica es mayor que en los híbridos convencionales (no enchufables), lo que disminuye sensiblemente su nivel global de emisiones. También incorpora un sistema de frenada regenerativa. Ofrece entre 15 km y 50 km aproximadamente de autonomía en modo únicamente eléctrico.

La mayoría de vehículos eléctricos que se ofertan en España son vehículos de tipo turismo, furgoneta, motocicletas o cuadriciclos, aunque

también se comercializan algún autobuses, minibuses o camiones de uso urbano. El precio de adquisición sigue siendo entre un 30-40 % más caro que su homólogo en vehículo térmico debido principalmente al coste de su batería.

En 2011, entró en vigor la Tarifa Super Valle con el objetivo de fomentar la recarga de Vehículo Eléctrico en horas nocturnas aprovechando el bajo consumo eléctrico entre la 01:00 y las 07:00 y con la visión de aplanar la curva de la demanda. Esta tarifa, junto con la eficiencia de los VE, permite disminuir los costes de desplazamiento hasta 1,5 €/100 km.

Hoy en España existe un parque de cerca de 10.000 vehículos de los cuales 25% son de tipo turismo y furgonetas, 45% motocicletas, y 30% cuadriciclos. Más del 96 % de las ventas son de vehículos eléctricos con baterías, de los cuales el 80% son de turismo, motocicletas y cuadriciclos. En el estado actual de la tecnología y por la autonomía que presentan las baterías, los

vehículos eléctricos pueden satisfacer la movilidad en el ámbito urbano y periurbano.²²

Necesidad de reducir la contaminación vehicular en el Perú y potencial de mercado de los vehículos eléctricos

Según el Ministerio de Salud, en Lima en el año 2012 se registraron 940 muertes por cáncer pulmonar, 9550 por enfermedades cardiovasculares, 1170 por enfermedades cerebrovasculares; estimándose que el 20% de las muertes (2,330) se deben al material particulado con un diámetro inferior a 2,5 micras (PM2.5) en el aire de la capital, inferior a las 10 micras (PM10) aprobados por la OMS, siendo los vehículos diesel la principal causa de dicha contaminación.²³

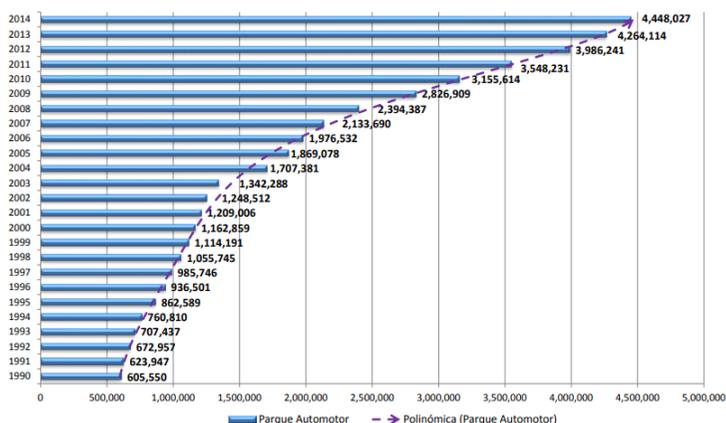
Sumado a esto, en el año 2014, un estudio de la OMS declaró a Lima una de las ciudades con el aire más contaminado del planeta. Esto sin duda es producto del sistema de transporte en el país: según el Ministerio

²² Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital. (2015). *Estrategia de Impulso del vehículo con energías alternativas (VEA) en España (2014-2020)*.

²³ Gonzales GF, Zevallos A, Gonzales-Castañeda C, Nuñez D, Gastañaga C, Cabezas C, et al,(2014), *Contaminación Ambiental, Variabilidad Climática y Cambio Climático: Una Revisión del Impacto en la Salud de la Población Peruana*, Perú, Revista Peruana Medica Exp Salud Publica, pág.550.

de Transporte y Comunicaciones (MTC), el parque automotor del Perú sufrió un incremento considerable, casi duplicándose en sólo 5 años, al pasar de tener 2' 286,000 vehículos en el 2009, a 4' 448,000 vehículos en el 2014 (Gráfico 18).

Gráfico 18. PARQUE AUTOMOTOR NACIONAL 1990 - 2014.



Nota. A partir del año 2004 los vehículos menores (mototaxis y motos) están considerados en el total de parque automotor nacional.

Fuente: Elaborado por MTC – Secretaría Técnica del Consejo Nacional de Seguridad Vial. SUNARP.

Programas

Si bien el Perú aún no ha implementado un programa para la promoción de vehículos eléctricos, en la última década ha puesto en marcha otras acciones

para reducir la contaminación en la ciudad. La más importante a la fecha ha sido el financiamiento de la conversión de vehículos de gasolina a gas natural y la promoción de instalación de gasocentros en Lima llegando en 2018 a contarse con 150 estaciones de servicio de gas natural. Por otra parte, a la fecha hay solo dos tipos de autos eléctricos en el Perú: Prius C (marca Toyota) y el i-MiEV (marca Mitsubishi). El primero es un vehículo híbrido, que funciona con un motor de combustión de 1.5 L y 73 hp, y otro eléctrico de 61 hp; mientras que el segundo aún está en fase de prueba (Portal, Todo Autos). Según registros, han ingresado al país 50 vehículos eléctricos del primer tipo a un precio de US\$37,000 dólares cada uno. Las siguientes medidas propuestas por el Instituto de las Américas de la Universidad de California en San Diego (UCSD), podrían tener un efecto positivo en un segmento de la población: financiamiento a tasas bajas de interés y un programa piloto de taxis subsidiados. Sin embargo, las mayores expectativas estarían en promover la circulación de buses eléctricos.

Capítulo 10.

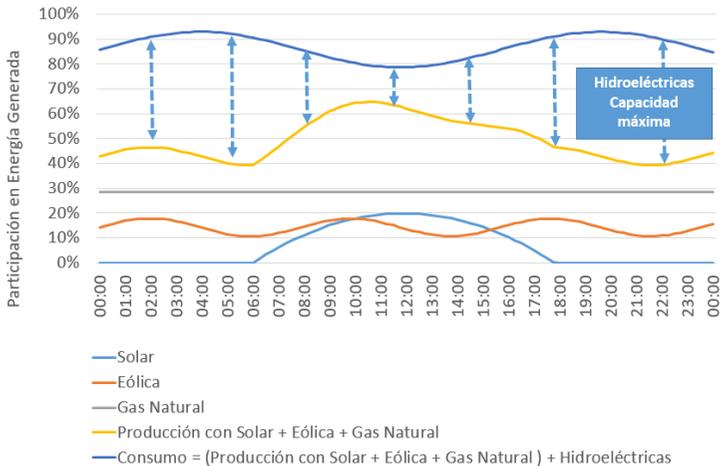
Cómo Resolver dos Problemas de las Energías Renovables no Tradicionales: Intermittencia e Indisponibilidad.

Como se ha visto anteriormente, las energías renovables no tradicionales son importantes por su contribución a la reducción de efecto invernadero y a la contaminación ambiental. Dado el compromiso del Perú a cumplir con las metas de los diversos acuerdos de lucha contra el cambio climático es importante promover el uso de las energías renovables en el país.

Como se ha visto anteriormente, las energías renovables no convencionales, principalmente la energía eólica y la energía solar tienen gran potencial en el Perú, y dados los avances tecnológicos son competitivas respecto a fuentes de energía contaminantes como son los hidrocarburos, el carbón y el gas natural, aunque este último es menos contaminante que las dos primeras (aproximadamente 50% menos).

Sin embargo, las energías renovables tienen dos problemas: (a) la intermitencia, sobre todo en el caso de la energía eólica por las variaciones en los vientos; y (b) la indisponibilidad de estos recursos – falta de viento en el caso de la energía eólica y falta de luz solar en el caso de la energía solar. Ambos casos en la actualidad pueden ser afrontados con resultados favorables. En el primer caso se cuenta con los smart grids que facilitan el ajuste del sistema eléctrico a las variaciones bruscas de suministro eléctrico; y en el segundo caso se tiene respecto a la energía eólica la complementariedad que consiste en que en épocas de menos agua para la energía hidroeléctrica hay más viento en diversas zonas para la generación eólica, ver gráfico 19, y respecto a las energías eólica y solar, las hidroeléctricas con represamiento de agua que pueden modular el flujo para hacer frente a la falta de disponibilidad de las energías renovables no tradicionales. Además, existe en el largo plazo la posibilidad de almacenar energía eléctrica, aunque a la fecha esto es costoso. Por lo expuesto, se analiza el potencial de los smart grids y el de las reservas hidroeléctricas para el caso peruano.

Gráfico 19. Consumo y producción de electricidad con complementariedad de producción hidroeléctrica. (% en un día).



(*) Gráfico de datos hipotéticos con fines didácticos

Elaboración: Propia

Smart Grids. Todos los sistemas eléctricos tienen algún sistema de manejo y control de sus redes. Sin embargo,

en muchos casos estos son relativamente simples permitiendo sólo el balance general de las redes, el aislar una parte de la red en casos de emergencia, y el uso de servicios complementarios como son el manejo de la generación de reserva y el control de frecuencia, entre otros. Los smart grids representan un avance importante a este sistema de manejo y control. Según el IEA (op. cit. p. 652): 'Un smart grid es un sistema de la red eléctrica que usa tecnologías digitales y avanzadas para monitorear y administrar el transporte de electricidad de todas las fuentes de generación para satisfacer la demanda de electricidad de todos los usuarios. Lo smart grids coordinan las necesidades y capacidades de los generadores, operadores de red, usuarios finales y administradores de los mercados eléctricos para operar todas las partes del sistema de la forma más eficiente posible, minimizando costos e impactos ambientales, a la vez que maximizan la confiabilidad, robustez y estabilidad del sistema.' Los smart grids mantienen las funciones de los sistemas tradicionales e incorporan nuevas funciones, pero son más eficientes y efectivas, además de cumplir nuevas funciones.

Según OSINERGMIN (La Industria de Energía Renovable en el Perú, p. 127) 'el término smart grid agrupa diversos tipos de tecnologías, tanto en el

segmento upstream (generación y transmisión) como en el segmento downstream (distribución y consumo). Por tanto, se puede referir, por ejemplo, a medidores inteligentes que calculan la producción, el consumo y las tarifas en tiempo real, o a instrumentos de comunicación que transmiten información del estado de la red eléctrica en tiempo real.’

Los componentes de un smart grid son: (a) **medidores inteligentes e infraestructura de comunicación basados en tecnología digital avanzada** (en vez de electromecánicos) que conforman una red que monitorea y transmite información en tiempo real a escala nacional; (b) **elementos de control y protección para la operación segura de la red** como son las subestaciones inteligentes que trabajen como una unidad inteligente dentro de un esquema de protección para mejorar la confiabilidad del sistema; (c) **sistema de gestión de base de datos** para administrar y compartir la información en las subestaciones y centros de control y transmitirla a la red de comunicación; y (d) **interfases inteligentes para administrar los flujos de electricidad** de generación distribuida (por ejemplo paneles solares de edificios que inyectan a la red eléctrica) y determinar las necesidades de almacenamiento de electricidad (relacionadas con hidroeléctricas o con vehículos eléctricos). En el caso de las energías renovables no

tradicionales, las smart grids son importantes porque facilitan las acciones necesarias para hacer frente a la variabilidad de las mismas, permiten el uso de electricidad distribuida (caso de paneles solares en edificios) y facilitan la administración de electricidad para vehículos eléctricos entre otras. Por otra parte, las smart grids contribuyen sustancialmente al mejor manejo de la red eléctrica frente a las energías convencionales y las nuevas modalidades de comercialización que incluyen el manejo del consumo durante el día por parte de grandes y pequeños consumidores con objeto de reducir costos (como se sabe el costo de electricidad es más alto durante horas punta).

Centrales Hidroeléctricas con Almacenamiento de Agua. Como se ha mencionado anteriormente, las centrales hidroeléctricas con represas administran el volumen de agua a lo largo del día conforme sus necesidades de producción. Ello hace que estas constituyan un complemento con la energía eólica y energía solar. Es decir, en horas en que se produce menos de las últimas, la energía hidroeléctrica con embalse puede utilizar las reservas de agua para suplir la energía faltante, y cuando la energía solar aumenta su producción, la energía hidroeléctrica de embalse deja de producir con lo cual aumenta el agua del reservorio.

Esta relación de complementariedad puede por lo tanto llevar a un sistema eléctrico eficiente donde no es necesario tener reservas costosas de electricidad. Para ello es necesario contar con suficiente capacidad hidroeléctrica. El gráfico 19 ilustra esta relación.

Como se puede apreciar en el Gráfico 19, para que la producción de electricidad con generación eólica y solar sea sostenible y eficiente se requiere suficiente capacidad de generación eléctrica con hidroeléctricas con embalses (la capacidad requerida está dada por las flechas entre consumo eléctrico y producción con otras tecnologías y la capacidad máxima requerida de hidroeléctricas con embalse está dada por la flecha con mayor distancia). Por lo tanto, para que un sistema de energías renovables sea eficiente se requiere contar con la capacidad correspondiente de energía hidroeléctrica con represamiento de agua.²⁴

²⁴ Durante la mayor parte del tiempo de generación eléctrica no se opera al máximo por falta de agua por lo que la empresa puede escoger cuando producir dejando espacio para la generación eólica. Por otra parte, se podría reducir la capacidad de almacenamiento en caso en que exista una complementariedad entre energía hidroeléctrica y energía solar para lo cual sería necesario estimar la combinación de menor costo.

Capítulo 11.

Costo Beneficio y Promoción de las Energías Renovables.

Los beneficios de las RER para generación eléctrica son elevados. OSINERGMIN ha estimado que por cada dólar producido de energía eléctrica en el Perú se ha obtenido un beneficio adicional de US\$0.28 por la no emisión de gases de efecto invernadero. Por otra parte, el uso de residuos sólidos para la generación eléctrica, además de no ocasionar efecto invernadero, representa un beneficio importante en reducir los efectos ambientales y de impacto en la salud de los botaderos de basura. En cuanto al agotamiento y depredación del medio ambiente por actividades extractivas, el uso de RER significa un beneficio respecto a la extracción de recursos energéticos como petróleo, gas natural y carbón que tienen un efecto de impacto ambiental y social importante. El Cuadro 14 muestra una comparación de emisiones de CO₂ para cada tecnología y los Cuadro 15 y 16 muestran los costos de generación eléctrica de cada tecnología incluyendo el costo que representa la emisión de CO₂ para precios de CO₂ de 20 euros/TM y 80 euros/TM respectivamente. En el cuadro 10 se puede apreciar que la generación a

carbón es la más contaminante, mientras que la generación a gas natural tiene un efecto invernadero entre 41% y 60% del efecto de las centrales a carbón mientras que la generación con diesel tiene un efecto invernadero de casi el 50% del efecto de las centrales a carbón.

Cuadro 10. Emisiones de CO2 según el Tipo de Generador Eléctrico.

Tipo de Generador Eléctrico	CO2 considerando eficiencia
	g/kWh
Carbón	882
Turbina a Gas Ciclo Simple	530
Turbina a Gas Ciclo Combinado	366
Diesel	429
Hidroeléctrica	0
Nuclear	0
Eólica	0
Solar	0

Fuente: Klimstra, Jacob, Power Supply Challenges, Wartsila, Finland.

Cuadro 11. *Costos Típicos de Generación Eléctrica para precio de CO2 de 20 euros/TM (céntimo de euro/kWh).*

Costos	Carbón	Nuclear	Gas CC	Eólico	Solar	Hidroeléctrica
CO2	1.6	0	0.7	0	0	0
OyM fijo	0.2	0.2	0.1	0.7	0.6	0.1
OyM variable	0.5	0.6	0.8	0.4	0.6	0.4
Combustible	2.2	1.1	1.4	0	0	0
Capital	1.6	3.4	0.8	1.8	2.7	3.5
TOTAL	6.1	5.3	3.8	2.9	3.9	4.0

Fuente: Klimstra, Jacob, Power Supply Challenges y Cálculos de los autores.

Cuadro 12. *Costos Típicos de Generación Eléctrica para precio de CO2 de 80 euros/TM (céntimo de euro/kWh).*

Costos	Carbón	Nuclear	Gas CC	Eólica	Solar	Hidroeléctrica
CO2	6.4	0	2.9	0	0	0
OyM fijo	0.2	0.2	0.1	0.7	0.6	0.1
OyM variable	0.5	0.6	0.8	0.4	0.6	0.4
Combustible	2.2	1.1	1.4	0	0	0
Capital	1.6	3.4	0.8	1.8	2.7	3.5
TOTAL	10.9	5.3	6.0	2.9	3.9	4.0

Fuente: Klimstra, Jacob, Power Supply Challenges y Cálculos de los autores.

En los cuadros 11 y 12 se puede apreciar que a un costo del CO2 de 20 euros/TM el orden de cada tecnología por menores costos sería: eólica, gas natural ciclo combinado, solar, hidroeléctrica, nuclear y carbón. Si consideramos un costo de CO2 de 80 euros/TM el orden de cada tecnología por menores costos sería: eólica, solar, hidroeléctrica, nuclear, gas natural y carbón. Si bien estos cuadros pueden servir de guía para escoger la combinación de tecnologías es necesario incluir el complemento entre hidroeléctricas, eólicas y solares, y por otra parte que la energía a gas natural si bien tiene

un menor efecto invernadero, éste es alto por lo que se deben considerar límites al empleo de dicha tecnología.

En cuanto a los impactos negativos, si bien las RER tienen un impacto sobre el medio ambiente – eólicas en el vuelo de las aves, solares en cuanto a la contaminación de paneles solares usados – este es significativamente menor que otras tecnologías y se puede evitar. Otro aspecto, que limita las RER es que el volumen de producción de éstas está relacionado en el caso de la generación eólica con la complemetariedad estacional entre ésta y la generación hidroeléctrica y en el caso de eólicas y solares con el respaldo que puedan dar las generadoras hidroeléctricas con almacenamiento de agua. En este último caso la interdependencia se reduciría si el costo de almacenamiento en baterías y otros baja considerablemente.

Rol de la Generación Eléctrica Mediante RER

Los beneficios de las RER, como se ha mencionado son de diversos tipos:

- Reducción de gases de efecto invernadero por no emitir CO₂ y otros gases contaminantes
- Reducción de contaminación del aire, sobre todo en áreas urbanas
- Eliminación de residuos sólidos en el caso de las energías de biomasa y biogas

- Facilidad de adaptación, sobre todo en el caso de paneles solares para áreas rurales aisladas.

Los usos de las RER, por otra parte, son diversos. Entre estos usos se tiene:

- Incorporación de generación RER al sistema interconectado nacional (actualmente en el Perú bajo licitaciones especiales).
- Empleo de paneles solares para áreas rurales aisladas (programa del MINEM).
- Uso de generación RER para actividades lejanas a la Red Eléctrica Nacional (Minería y pozos de agua para agricultura – aun poco desarrollados).
- Empleo de paneles solares para edificios y viviendas (pendientes diversas medidas por parte del MINEM incluyendo la Reglamentación de la Ley de Generación Distribuida).
- Vehículos Eléctricos

Los beneficios y costos de cada una de estas modalidades se dan a continuación.

1. RER para su uso en el Sistema Interconectado Nacional (SEIN). Como se ha indicado, en la actualidad las RER, en el caso de la energía solar fotovoltaica y de la energía eólica ofrecen precios competitivos con otros tipos de energía eléctrica. El principal problema es la

intermitencia, el cual se compensa parcialmente por la mayor producción de energía eólica cuando se reduce la energía hidroeléctrica y con la modulación de generación hidroeléctrica para optimizar el uso de agua de reservorios.

Paneles Solares Fotovoltaicos para el SEIN. En el caso de la energía solar se debe considerar que ésta es más apropiada en las zonas de alta radiación solar y donde se cuenta con esta la mayor parte del año. El siguiente cuadro muestra las principales zonas con estas características en el Perú.

Cuadro 13. *Zonas de mayor potencial energético del país en relación con la altitud.*

Región	LATITUD	Promedio anual de energía solar
Arequipa	16°-18° latitud sur	6.0 a 6.5 kW.h/m2.
Moquegua		
Tacna		
Piura	3°-8° latitud sur	5.5 a 6.0 kW.h/m2
Tumbes		
Loreto	0° -2° latitud sur	4.5 a 5.0 kW.h/m2
Ucayali		
Madre de Dios		

Nota. Kilowatts hora metro cuadrado (kW.h/m²). La irradiación diaria por año es de 250 watts por metro cuadrado. Las zonas de mayor radiación solar se registran en la costa norte y parte sierra sobre los 2500 msnm. Y la zona con menos valores de energía es la nororiental.

Fuente: Atlas de Energía Solar del Perú (SENAMHI, 2003).
Elaboración propia.

A la fecha no hay un estimado del potencial de energía solar en el Perú.

Las arriba indicadas son las principales zonas donde se podrían instalar paneles solares. Un tema a considerar es la falta de energía solar durante gran parte del día. El mayor consumo de electricidad se da entre las 18 y 23 horas mientras que la producción de energía es entre las 6 y 18 horas.

Por ello, es importante el rol de la energía hidroeléctrica. Si se requiere producir energía solar más allá del respaldo de las hidroeléctricas los costos serían muy altos actualmente: las baterías para almacenar electricidad cuestan US\$8.4/Kwh y los generadores de respaldo a diesel cuestan más de US\$10/Kwh.

Generación Eólica. La generación eólica es más conveniente en las zonas de corrientes de aire apropiadas en cuanto a velocidad y continuidad. En el

caso peruano las zonas más ventajosas se muestran en el cuadro 14.

Cuadro 14. Potencial Eólico (MW) en el Perú (100 m) según el Atlas Eólico.

DEPARTAMENTO	Potencial eólico aprovechable (MW)	Potencial eólico excluido (MW)	Potencial eólico total (MW)
Amazonas	129	288	417
Ancash	708	108	816
Apurímac	0	0	0
Arequipa	1020	156	1176
Ayacucho	0	0	0
Cajamarca	891	282	1173
Callao	0	0	0
Cusco	0	0	0
Huancavelica	0	0	0
Huánuco	0	0	0
Ica	2280	3015	5295
Junín	0	0	0
La Libertad	921	264	1185
Lambayeque	7017	2097	9114
Lima	429	189	618
Loreto	0	0	0
Madre de Dios	0	0	0
Moquegua	0	0	0
Pasco	0	0	0
Piura	7098	1503	8601
Puno	0	0	0
San Martín	0	0	0
Tacna	0	0	0
Tumbes	0	0	0
Ucayali	0	0	0
TOTAL	20493	7902	28395

Nota. La potencia eólica aprovechable es aquella parte que se captura realmente por el generador llamado factor de carga.

Fuente: Elaborado por PROSEMER-MINEM. (2016). Estudio para Aprovechamiento Eólico con Fines Energéticos y Actualización del Atlas Eólico del Perú.

Cuadro 15. *Potencial eólico en operación y desarrollo en la actualidad (año 2016).*

Parque eólico	Potencia instalada	Departamento	Estado
P.E. Marcona	32 MW	Ica	En operación
P.E. Cupisnique	83.15 MW	La Libertad	En operación
P.E. Talara	30.86 MW	Piura	En operación
P.E. Tres Hermanas	90 MW	Ica	En operación
P.E. Parque Nazca	126 MW	Ica	Autorizado. En desarrollo
P.E. Huambos	18 MW	Cajamarca	Autorizado. En desarrollo
P.E. Duna	18 MW	Cajamarca	Autorizado. En desarrollo

Fuente: MINEM

Al igual que en el caso de energía solar, la energía eólica demanda el respaldo de centrales hidroeléctricas con reservas de agua. Sin embargo, como

se ha mencionado existe una complementariedad estacional entre la producción de energía eólica y energía hidroeléctrica. Las generadoras eólicas requieren que se instalen reguladores de frecuencia (AGC) a lo largo del sistema eléctrico para evitar que su intermitencia afecte la estabilidad del mismo.

Generación con Biomasa. La generación de electricidad con biomasa en el Perú como se ha indicado proviene de recursos agrícolas, principalmente bagazo de caña de azúcar. Existen diversas plantaciones de caña de azúcar en el país como se muestra en los Cuadros 16 y 17.

Cuadro 16. *Caña para azúcar por región, IV trimestre del 2017.*

Región	Superficie cosechada (ha)	Producción (t)
NACIONAL	25,781	2,876,751
Ancash	2,322	248,938
Arequipa	200	17,991
La Libertad	11,235	1,473,982
Lambayeque	8,684	732,396
Lima Provincias (*)	3,339	403,445

(*) Excluye Lima Metropolitana

Fuente: Sistema Integrado de Estadísticas Agrarias(SIEA).

Cuadro 17. *Empresas productoras de azúcar por Región.*

Lambayeque	La Libertad	Ancash	Lima	Arequipa
-Pucala -Tumán -Romalca -Azúcar del Norte	Casa Grande Cartavio Laredo	San Jacinto	Paramonga Andahuasi	Chucarapi

Fuente: Sistema Integrado de Estadísticas Agrarias(***SIEA***).
Elaboración propia.

A la fecha sólo la empresa Paramonga genera electricidad para su venta al SEIN bajo las licitaciones de energías renovables. Como se ha visto los precios son competitivos. La limitación de este tipo de generación son los recursos disponibles. A la fecha la generación eléctrica de biomasa es de 23 MW, correspondiendo solamente a Paramonga. Dado que esta empresa produce alrededor del 12% de la caña de azúcar, en el Perú se podrían llegar a producir al menos 160 MW de electricidad con el bagazo proveniente de las otras empresas azucareras.

Generación con Biogas. En cuanto a la generación de electricidad con biogas, ésta tiene mayores costos que la biomasa. A la fecha el precio de producción de este tipo

de electricidad a partir de residuos sólidos es del orden de U\$10/kWh. Si bien este precio es superior al de la generación eléctrica convencional, en este caso se tienen importantes externalidades relacionadas con la contaminación de los depósitos de basura. El Cuadro 18 muestra la producción de residuos sólidos por día a nivel departamental.

Cuadro 18. *Producción de Residuos Sólidos por Departamento.*

Departamento	Ton/día
Huancavelica	90
Madre de Dios	92
Moquegua	105
Pasco	108
Apurímac	115
Tacna	118
Amazonas	169
Tumbes	174
Huánuco	202
Ayacucho	233
Cajamarca	286
Ucayali	338
Puno	396
Cusco	401
Ica	421
Ancash	427
San Martín	491
Junín	530
Lambayeque	554
Loreto	594
Arequipa	651
Piura	777
La Libertad	793
Callao	944
Lima	7918

Fuente: Osinergmin – Hamek. Potencial de Aprovechamiento de Biogas de Rellenos Sanitarios en Generación Eléctrica.

El tratamiento de los residuos sólidos en el Perú es deficiente. Según Hamek, de los residuos sólidos generados en el Perú: el 19.7% se almacena en rellenos sanitarios, el 46% se dispone en botaderos controlados, el 14.7% se recicla y el 19.6% se vierte al ambiente. Los rellenos sanitarios, si bien son una mejor solución que verter la basura al ambiente, tienen el riesgo de que pueden causar incendios y explosiones además de emitir gas metano en el ambiente. Por ello, una solución para evitar estos problemas es el empleo del biogas para generar electricidad o su uso como combustible.

La utilización de biogas en la generación de electricidad requiere un tamaño mínimo de planta para que sea económico. Osinergmin - Hamek estiman que para que una generadora eléctrica a partir de biogas sea eficiente, el tamaño mínimo debe ser de 0.5 MW, a partir del cual se reducen los costos unitarios aumentando la viabilidad de los proyectos, si bien aún requieren un cierto nivel de subsidios.

El potencial de este tipo de electricidad es significativo, sobre todo por sus beneficios ambientales. Según el estudio citado, existe un potencial de generación eléctrica en el Perú de 31.4 MW en Lima y un total de 251 MW en el país incluyendo el corto y largo plazo. (ver Cuadro 19).

Cuadro 19. *Potencial de Generación Eléctrica en el Perú a Partir de Residuos Sólidos (Biogas).*

Período	Areas	Potencial Biogas (mill m3/año)	Poder Calorífico (KJ/m3)	Eficiencia Eléctrica (%)	Potencial de Generación Eléctrica MW
Corto Plazo	Lima	138	20500	35	31.4
Mediano Plazo	Otras	163	20500	35	37.0
Largo Plazo	País	804	20500	3	182.9

Fuente: OSINERGMIN – Hamek. Op. cit.

Sin embargo, existen una serie de problemas para continuar desarrollando este tipo de energía como son: la necesidad de fortalecer el funcionamiento de las municipalidades, contratar empresas recolectoras de basura eficientes y atraer potenciales inversionistas. En el caso de Relapasa en Lima, la empresa posee los rellenos sanitarios con los cuales produce biogas y con éste genera electricidad. En otros casos, la basura la colectan directamente los gobiernos municipales o las empresas recolectoras no cuentan con sus propias instalaciones para depositar rellenos sanitarios. Por otra parte, como se ha

mencionado, sólo una parte de la basura se coloca en rellenos sanitarios. Es decir, para desarrollar el potencial de generación eléctrica a partir de biogas, y por ello reducir la contaminación, se requiere:

- Crear el marco institucional adecuado para que las municipalidades puedan ofrecer al sector privado el servicio integral de recolección, almacenamiento y generación de electricidad.
- Realizar un diagnóstico para el mejoramiento del almacenamiento de basura en el país (al respecto MINAM ha realizado un avance significativo en este tema).
- Organizar la recolección de basura y proveer financiamiento para ello.
- Determinar el potencial de los residuos sólidos para producir electricidad, producir calor, y para otros usos.
- Implementar un programa a nivel nacional para generar electricidad a partir de los residuos sólidos (biogas)

2. Paneles Solares para Áreas Rurales Aisladas. Los programas de electrificación rural para áreas rurales aisladas han tenido resultados positivos en el Perú. A la fecha, como se ha mencionado, se han instalado

alrededor de 80,000 paneles solares en estas áreas y con el programa actual se podría llegar a 500,000 paneles solares, con un número en una primera etapa de 150,000 paneles solares. Si bien el costo es más elevado que el de la generación eléctrica convencional, dicho costo es menor que lo que costaría llegar a los usuarios extendiendo la red eléctrica del sistema interconectado. Por lo tanto, esta actividad representa la alternativa económica más adecuada cuando la distancia a la red y la baja densidad de consumo lo amerita. Se estima que bajo estas condiciones se requeriría un total de 700,000 paneles solares incluidos los que ya están instalados.

3. *Uso de Generación RER para Áreas Lejanas a la Red.* Algunas empresas mineras y petroleras han instalado paneles solares, pero su uso se ha limitado al abastecimiento de la población circundante. Existe la posibilidad de instalar energías RER también para las instalaciones.

En cuanto a la instalación de Generación RER para pozos agrícolas alejados de la red, esta constituye una posibilidad sobre todo para paneles solares dado que el agua de regadío se puede extraer en

horas de producción solar. Según la FAO²⁵, el uso de sistemas fotovoltaicos (SF) para la agricultura y minería es una buena opción para contribuir a la “disminución de los gases de efecto invernadero por unidad de energía utilizada para el bombeo de agua en más del 95% comparado con otras alternativas de combustible”.

Sin embargo, los costos de implementación son aun relativamente altos: donde cada ampere (hp) generado por un sistema de bombeo, sin baterías cuesta entre US\$ 2500 y US\$ 4700 con baterías. Sin embargo, estos sistemas pueden ser atractivos en lugares alejados a la red donde para obtener electricidad utilizan comúnmente generadores a petróleo cuyo costo de generación es de aproximadamente US\$16/kWh. Los paneles solares pueden tener también usos complementarios. Según la FAO, éstos representan una buena opción de uso eficiente de la energía solar en horas de bajo consumo, pues mientras no se necesita regar, dicha energía se puede utilizar para otras actividades, como en almacenamiento en refrigeración o máquinas de descascarillar cereales.

²⁵ Food and Agriculture Organization (FAO).(2018). Buenas perspectivas para los sistemas de riego con energía solar.(Roma). Recuperado de <http://www.fao.org/news/story/es/item/1116521/icode/>.

En el caso de Chile se han llevado a cabo instalaciones de riego con bombas en base a energía solar a través de concursos gestionados por la Comisión Nacional de Riego (CNR) desde el 2009. En 2012, INPAD llevó a cabo el Programa Nacional de Bombeo Fotovoltaico para la pequeña agricultura. En total, se instalaron 4.553 paneles con una potencia de 743 kW para casi 1.400 agricultores. INDAP realizó dos licitaciones, en 2012 desde Arica hasta Porvenir donde la empresa iEnergía instaló 374 módulos. La segunda fue en el 2013 desde Rancagua hasta Tierra del Fuego bajo la cual se instalaron 490 equipos. Por otra parte, la empresa Solar del Valle lo en la zona norte (Redagrícola, febrero 2017). En 2018, 36 proyectos en los valles costeros de Arica y Parinacota ganaron el Concurso de Riego Intrapredial 2018 de INDAP. Como se ha indicado antes, varias empresas mineras del sector privado están empleando esta tecnología.

4. Empleo de Paneles Solares para Edificios y Casas. La ventaja del empleo de paneles solares en edificios y casas es que se ahorran los costos de transmisión y distribución. Se estima que el costo de generar electricidad en un edificio de es de 25-30 US\$/kWh, valor que con el desarrollo tecnológico podría disminuir significativamente. El uso de electricidad en los

edificios puede ser menor al producido durante ciertas horas y mayor durante las horas en que no se cuenta con energía solar. Este impacto se puede reducir con la inyección de electricidad a la red en épocas de sobre producción y abastecimiento de la misma durante horas de déficit. El principal problema de esta solución es que la producción de electricidad con paneles solares no coincide en su mayor parte con el mayor consumo. De comprarse electricidad en horas de mayor consumo y venderse en horas de menos consumo existiría una diferencia de precios importante (entrevista con Severo Huaynalaya especialista de OSINERGMIN). Como se mencionó antes, existe también la posibilidad de almacenar electricidad, aunque los costos son altos.

5. Vehículos Eléctricos. Los vehículos eléctricos ofrecen una serie de ventajas tanto desde el punto de vista ambiental como económico. En el primer caso, los vehículos eléctricos tienen un menor impacto de efecto invernadero dependiendo de la fuente de producción de electricidad, y además la eficiencia de un motor eléctrico es de 87% mientras que la de un vehículo a gasolina es de 26.9% (ver cuadro 20). En segundo lugar, los vehículos eléctricos no contaminan las ciudades.

Cuadro 20. Rendimiento medio de un vehículo eléctrico según las partes que lo componen.

Rendimientos	Símbolo	%
Rto. De generación	η_g	43
Rto. De transporte y distribución	η_t	93,7
Rto. Del convertidor electrónico	η_c	97
Rto. De la batería	η_b	98,8
Rto. Del sistema mecánico	η_{mec}	80
Rto. Del motor eléctrico	η_{mot}	87,4
Well to Wheel		26,9

Nota. Well Wheel es el factor de eficiencia de transportar la energía desde su fuente a la batería del coche y de este hacia las ruedas.

Fuente: Electromovilidad.net

Cuadro 21. Eficiencia y emisiones de CO₂ “well-to-wheel” de distintos vehículos.

Vehículo	Tipo de combustible	km/l o km/m ³	km/MJ	g(CO ₂)/km	Mejora	Mejora
		Consumo T2W	Eficiencia W2W	Emisiones W2W	Eficiencia W2W	Emisiones CO ₂
Comb.Int. convencional	Nafta	15.0	0.32	216	1.0	1.0
Comb.Int. GNC	Gas Nat.	17.0	0.40	125	1.25	1.72
Conv.Int. Diesel	Gasoil	17	0.32	223	≈1	≈1
HEV	Híbrido (Nafta)	23.7	0.56	130	1.56	1.56
BEV	Electricidad		1.21	55	3.8	3.9

Nota. Las emisiones de CO₂ están calculadas suponiendo que la electricidad de los vehículos eléctricos (BEV) se genera en centrales a gas de ciclo combinado sin cogeneración y que la generación eléctrica tiene una matriz similar a la del año 2010 en Argentina.

Fuente: Salvador Gil y Roberto Prieto.(2013). Los Autos Eléctricos: ¿Hacia un Transporte más Sustentable?

A pesar de que los vehículos eléctricos reducen las emisiones de gases de efecto invernadero, los vehículos convencionales a gas natural pueden llegar a tener una eficiencia del pozo a la rueda (well-to-wheel) 25% mejor que los vehículos a nafta y pueden llegar a producir 73% menos cantidad de CO₂ lo que hace a los vehículos de gas natural más atractivos.²⁶

Respecto a su precio, los vehículos eléctricos para uso individual son competitivos con los vehículos de precio intermedio, pues su precio oscila entre US\$ 29,000 y US\$ 40,000 (ver cuadro 22). Muchos consumidores han optado por este tipo de vehículos como se ve en el Gráfico 20.

²⁶ Salvador Gil y Roberto Prieto. (2013). Los Autos Eléctricos: ¿Hacia un Transporte más Sustentable?. Petrotecnia. Recuperado de <http://www.petrotecnia.com.ar/junio13/notas/AutorElectricos.pdf>.

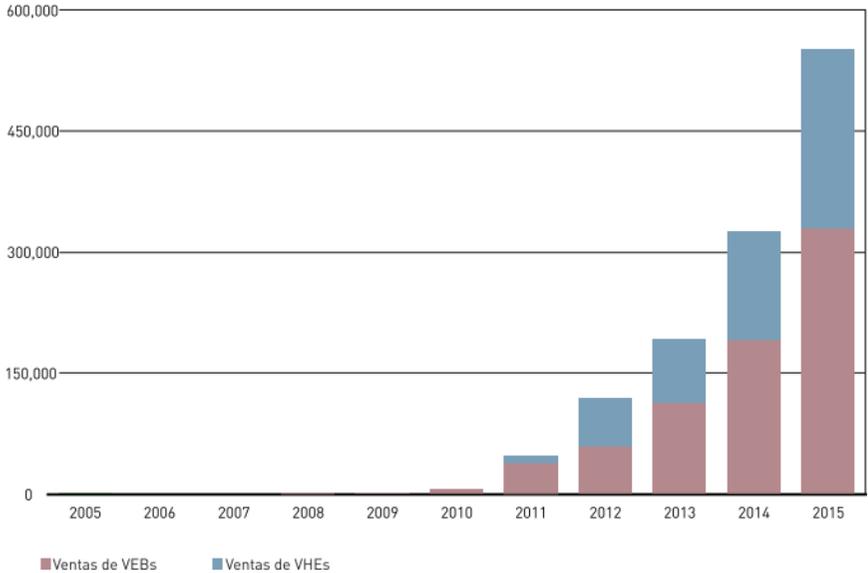
Cuadro 22. Comparación de precio de venta (no incluye impuesto) entre EVs y ICEVs.

CLASE DE EV	VEHÍCULO ELÉCTRICO			VEHÍCULO DE MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA			RECARGO DEL PRECIO
	FABRICANTE	MODELO	PRECIO DE VENTA (USD)	FABRICANTE	MODELO	PRECIO DE VENTA (USD)	
HEV	Toyota	Avalon Hybrid	\$36.470	Toyota	Avalon	\$32.285	12,9%
	BMW	Active Hybrid 5	\$61.650	BMW	528i	\$49.750	23,9%
	Honda	Accord Hybrid	\$29.155	Honda	Accord	\$21.955	32,8%
PHEV	Chevrolet	Volt	\$34.170	Chevrolet	Malibu	\$22.340	52,9%
	Honda	Accord Plug-in Hybrid	\$39.780	Honda	Accord	\$21.955	81,2%
BEV	Mitsubishi	i-MiEV	\$22.995	Mitsubishi	Mirage	\$12.995	76,9%
	Chevrolet	Spark EV	\$26.670	Chevrolet	Spark	\$12.270	117,3%
	Nissan	Leaf	\$29.010	Nissan	Versa	\$11.990	141,9%

Nota. HEV y PHEV son vehículos híbridos, BEV es vehículo eléctrico.

Fuente: Elaboración: Julián A. Gómez-Gélvez, Carlos Hernán Mojica, Veerender Kaul, Lorena Isla. (2016). La incorporación de los vehículos eléctricos en América Latina. Recuperado de <https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/7854/La-incorporacion-de-los-vehiculos-electricos-en-America.pdf>.

Gráfico 20. Ventas globales de VEBs y VHEs por país (2005-2015).



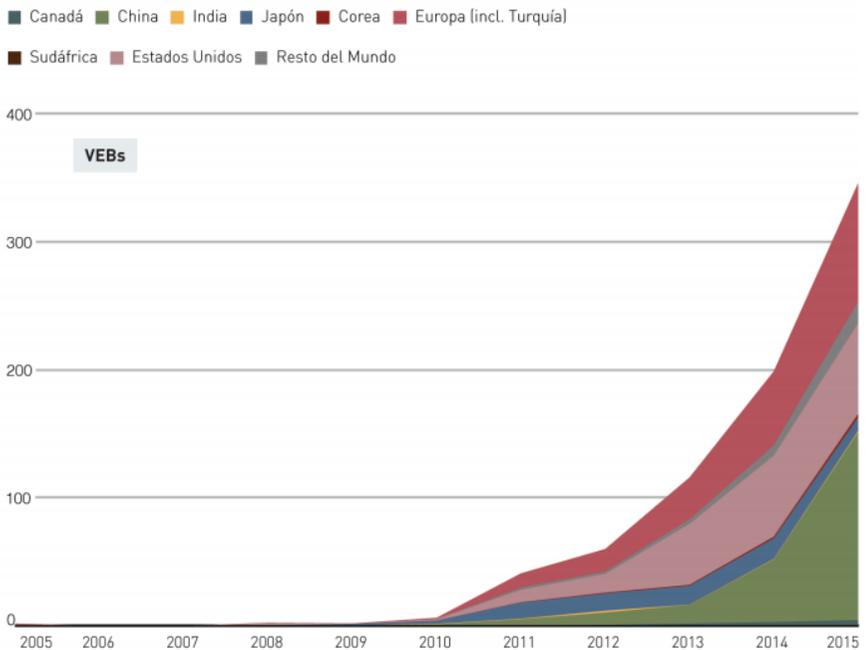
Nota. vehículos eléctricos a batería (VEB) y vehículos híbridos eléctricos (VHEs)

Fuente: Agencia Internacional de la energía (IEA),2016.

En cuanto a vehículos eléctricos para uso público, muchos países han optado por esta alternativa tanto por sus ventajas ambientales como económicas. Por otra parte, los vehículos eléctricos tienen la ventaja de que pueden abastecerse de electricidad durante las horas fuera de punta. Esto no sólo permite un mejor uso

de la generación eléctrica, sino que permite el uso de energías renovables. La principal razón por la que estos no representan un porcentaje importante de los vehículos en la mayor parte de países es que recién se está introduciendo su uso. Los países donde su uso tiene mayor desarrollo a la fecha son: Canadá, China, Japón, Corea, Estados Unidos. (Gráfico 21). En el mediano plazo, los vehículos eléctricos constituirán una opción atractiva para los compradores de vehículos de precio intermedio (más de US\$ 22,000).

Gráfico 21. *Venta de VEBs por país (2005-2015).*



Nota. vehículos eléctricos a batería (VEB)

Fuente: Agencia Internacional de la energía, IEA 2016

Cuadro 23. Mercado global de vehículos eléctricos ICCT 2016.

REGIÓN	FLOTA DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS LIVIANOS* (ICCT 2016)	% DE PARTICIPACIÓN DE MERCADO DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS** (IEA 2016)	ESTACIONES DE CARGA RÁPIDA (IEA 2016)	ESTACIONES DE CARGA POR CADA 100 VEHÍCULOS ELÉCTRICOS
MUNDO	1,256,900*	0.10%	189,509	15.08
EE.UU	400.000	0.70%	31,674	7.92
CALIFORNIA	190.000	0.63%**	9.000**	4.74
JAPÓN	134.000	0.60%	22,110	16.50
CHINA	312,290*	1.00 %	58,758	18.82
INDIA	6,020*	0.10%	328	5.45
UNIÓN EUROPEA	340.000	0.12%**	71,846	21.13
HOLANDA	87,530*	9.70%	18,251	20.85
NORUEGA	70,820*	23.3%	7,055	9.96
FRANCIA	57.000*	1.20%	10,665	18.71
ALEMANIA	51.000	0.11%**	5,571	10.92
REINO UNIDO	49.000	1.00%	9,874	20.15
ITALIA	6.000	0.10%	1,749	29.15
DINAMARCA	8.000	0.27%**	3.000**	37.50

* Obtenido de IEA 2016; ** Obtenido de ICCT 2016.

Fuente: Agencia Internacional de la energía, IEA 2016

El desarrollo de vehículos eléctricos requiere un esfuerzo inicial de los gobiernos tanto respecto a legislación como incentivos a su uso y a la infraestructura necesaria.

Capítulo 12.

Rol de la Energía Eléctrica Tradicional: Hidroelectricidad y Gas Natural.

La hidroelectricidad y el gas natural son fuentes importantes de abastecimiento de electricidad en el Perú.

Energía Hidroeléctrica. En cuanto a la energía hidroeléctrica, esta cumple dos roles en el abastecimiento eléctrico: (a) como complemento a la generación con energías renovables no tradicionales (eólicas y solares) para compensar los períodos en que éstas no producen; y (b) como una fuente de abastecimiento por si sola. Los países industriales no hacen suficiente mención a este recurso por su escasez en los mismos y por estar explotado al máximo de su potencial económico (ver siguiente cuadro).

Cuadro 24. Hidroeléctricas-capacidad y producción mundial (2008).

Región	Potencial hidroeléctrico factible miles GWh/año	Capacidad instalada miles MW	Producción en 2008 miles GWh/año	Porcentaje de producción sobre potencial
África	774	22	102	13.2
Angola	65	.8	3.1	4.8
Camerún	105	.7	3.8	3.6
Congo	145	2.4	7.3	5.0
Etiopía	162	.7	2.7	1.7
Asia	3554	300	1107	31.1
China	1,753	171	684	39.0
India*	582	40	124	21.3
Japón		22	92	100.0
Vietnam	100	5.5	24	24.0
Australia-Oceanía	89	14	42	47.2
Europa	1772	246	772	43.5
Francia	98	25	69	70.4
Noruega	206	29	123	59.7
Rusia	852	50	180	21.1
Suecia	90	16	68	75.6
Turquía	140	13.7	48	34.3
Norte y Centroamérica	1024	167	689	67.3
Canadá	536	73	372	69.4
EEUU.	376	78	270	71.8
Sudamérica	1558	139	641	41.1
Brasil	764	84	365	47.8
Colombia	140	9	41	29.3
Ecuador	106	2	9	8.5
Paraguay	68	8.4	53	77.9
Perú	260	3.2	19	7.3
Total mundial	8771	887	3352	40.5

Nota: Para transformar estos costos del año 2000 al 2014 se deben multiplicar por 1.3 – 1.4 (Índice de precios para el periodo).

* Valor estimado

Fuente: International Journal Hydropower & Dams, 2009

Se puede apreciar en dicho cuadro que en el Perú el porcentaje de producción hidroeléctrica sobre su potencial es de sólo 7.3% comparado con el promedio mundial de 40.5% y de 70-100% en países industriales. El Perú tiene una capacidad hidroeléctrica de 40 mil MW comparado con su capacidad actual de 3.2 mil MW. Se debe tener en cuenta que el desarrollo de proyectos hidroeléctricos requiere grandes inversiones en infraestructura y equipamiento y son de largos períodos de maduración (5 a 8 años). Estos requerimientos son:

- a) Construcción de represas
- b) Trabajos relacionados con la canalización de agua (túneles y desvíos)
- c) Instalaciones, maquinaria y equipo para la generación de electricidad
- d) Otros.

En cuanto a los costos de producción de electricidad, según Dammert (Economía de la Energía, op.cit.) estos oscilan entre USC3.2/kWh y USC7.3/kWh. Por ello, más allá de los requerimientos de hidroeléctricas para ser complementarias a las generadoras eléctricas y solares, es necesario evaluar la rentabilidad económica de los proyectos de este tipo.

Es decir, la promoción de energías renovables en el Perú debe considerar un balance entre

energías renovables no tradicionales y las hidroeléctricas por ser también energías renovables y por ser complementarias a la energía eólica y solar.

Gas Natural. El gas natural para la generación eléctrica es menos contaminante que otras energías no renovables, y existe un potencial significativo en el Perú. Las reservas probadas de gas natural en el Perú son del orden de 15.4 TCF (terapias cúbicas), las cuales son suficientes para el consumo nacional y de exportación hasta el 2050. Esta cantidad podría variar de encontrarse nuevas reservas, aunque a los precios actuales del gas no existe mucho interés por parte de inversionistas de realizar mayores trabajos de exploración de depósitos, los cuales son costosos. El consumo de gas natural en el Perú en 2016 fue de 537 MMPCD distribuyéndose en generación eléctrica 68%, hornos y calor en industria 19%, transporte 129%, y comercio y residencial 1%. El gas natural representa un ahorro importante para los usuarios de los diversos sectores. Así, el usuario residencial ahorra un 47% respecto al GLP, la industria 60 respecto al uso de petróleo residual, y el transporte 53% respecto a la gasolina. La exportación de gas natural en forma licuefactada fue del orden de 160 MMPCD en el mismo año. El gas natural representa una opción económica para la producción de electricidad y es un complemento

importante para la generación hidroeléctrica en época de estiaje. Por otro lado, tiene un impacto de efecto invernadero significativo de aproximadamente el 50% que los hidrocarburos líquidos y el carbón y puede ser utilizado con otros fines – industria, transporte y uso doméstico donde también representa una fuente importante de ahorro para los usuarios. Además, se debe considerar su potencial futuro para la industria petroquímica (según un estudio preparado para el MINEM). Por ello el uso del gas natural para la producción de electricidad debe ser relativamente moderado.

Capítulo 13.

Estimado del Potencial de Energías Renovables en el Perú

En las secciones anteriores se ha presentado un análisis sobre las energías renovables en el Perú y su potencial. También se ha indicado que tanto la energía hidroeléctrica como la generación eléctrica a gas natural deben considerarse dentro de la estrategia de desarrollo del sector eléctrico en el Perú. En este capítulo se presenta un estimado de las necesidades y potencial de las energías renovables en el Perú.

En primer lugar, se deben tener en cuenta el consumo actual de electricidad en el país y sus proyecciones. Considerando un crecimiento de entre 4 y 5% por año de electricidad y una capacidad utilizada de 7.5MW en 2018 se tiene la siguiente proyección para los siguientes 25 años – Cuadro 25 (los estimados de crecimiento corresponden a datos históricos según los cuales últimamente el crecimiento del consumo eléctrico ha bajado de más de 5% a 4% por año):

Cuadro 25. *Proyección de Consumo de Electricidad en el Perú, (Miles de MW).*

	2018	2023	2028	2033	2038	2043
Capacidad SEIN MW a 4% p.a.	7	8.5	10.3	12.6	15.3	18.6
Capacidad SEIN a 5% p.a.	7	8.9	11.3	14.4	18.4	23.5

Nota. por año (p.a.)

Elaboración propia.

Es decir, dentro de 25 años se requerirían entre 18.6 MW y 23.5 MW de capacidad para el SEIN, o sea 2.7 y 3.3 veces más para el sistema interconectado. En el Cuadro 30 se aprecia que el Perú tiene una capacidad de generación eléctrica del orden de 67,000 (excluyendo energía solar). De los datos proporcionados anteriormente, se tendría suficiente capacidad para abastecer las necesidades adicionales más allá del 2043 con energía hidroeléctrica, energía eólica y gas natural – Cuadro 26. Adicionalmente es necesario considerar las necesidades de capacidad instalada para hacer frente a los usos fuera del SEIN.

Cuadro 26. *Potencial de Generación Eléctrica en el Perú.*

Tecnología	Capacidad MW
Hidroeléctrica	40,000
Gas Natural	6,500
Fotovoltaica	n.d.

Eólicas	20,493
Biomasa	183
Biogas	251
TOTAL	67,427

Nota. La capacidad de generación de gas natural está relacionada con las reservas probadas actuales y la capacidad de los ductos de gas natural incluido el proyecto del Gasoducto Sur Peruano.

Elaboración propia.

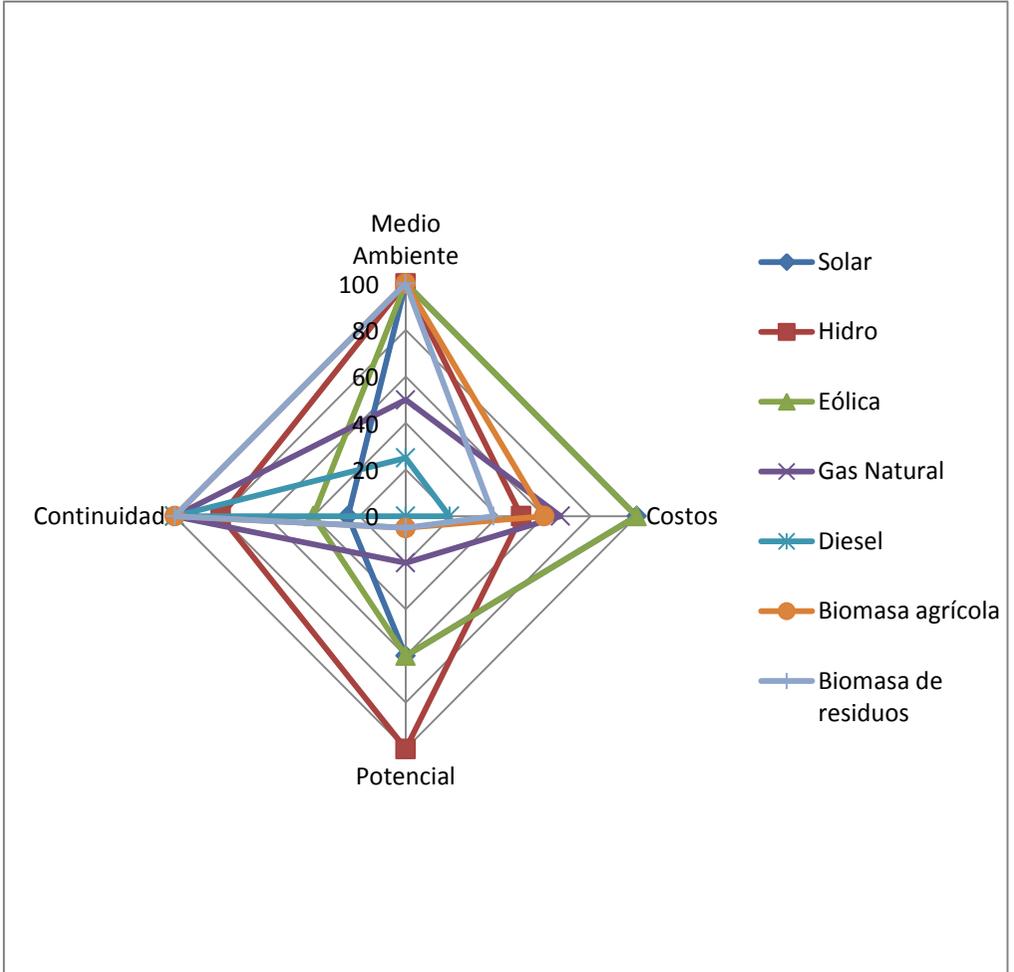
Por lo expuesto, la pregunta no es cuál de estas tecnologías escoger sino cual es la mejor combinación. En el cuadro 25 se ha presentado una proyección de las necesidades de generación eléctrica para 25 años pudiéndose apreciar que existe capacidad potencial para ese período. Sin embargo, ese potencial no sería suficiente para más de unos 60 años. Si bien es posible que se desarrollen fuentes alternativas de electricidad para dicha fecha (incluyendo geotérmica y fusión nuclear), es conveniente establecer ciertos principios sobre cómo utilizar el potencial eléctrico actual. Es decir, qué combinación de energías debe desarrollarse a lo largo del tiempo. A continuación, se muestra un gráfico de telaraña mostrando las características técnicas y económicas de las tecnologías de generación eléctrica.

Cuadro 27. *Valoración de las Tecnologías por su contribución a factores económicos y energéticos.*

	Medio Ambiente	Costos	Potencial	Continuidad
Solar	100	100	60	25
Hidro	100	50	100	80
Eólica	100	100	60	40
Gas Natural	50	67	20	100
Diesel	25	19	0	100
Biomasa agrícola	100	60	5	100
Biomasa de residuos	100	38	5	100

(*) Calificación cualitativa en escala de 0 a 100
Elaboración propia.

Gráfico 22. Posición de las tecnologías de generación eléctrica en su contribución a la Economía y la Energía.



Elaboración propia.

Por lo expuesto, en términos generales tanto las RER como las hidroeléctricas representan una combinación de menores costos y baja contaminación. En cuanto a la generación a gas natural si bien es actualmente de bajo costo, sus precios pueden aumentar, tiene otros usos y es contaminante, aunque menos que otras energías no renovables. Por otra parte, la generación eléctrica con biomasa y biogas tienen un impacto beneficioso para el medio ambiente y esta última para la salud, aunque su potencial es limitado.

Basados en las perspectivas de consumo versus potencial, los costos, el impacto sobre el medio ambiente y la complementariedad entre hidroeléctricas y RER, una estrategia adecuada sería:

- Desarrollar el potencial hidroeléctrico en zonas que menos afecten a los alrededores, teniendo en cuenta sus largos períodos de maduración.
- Desarrollar energía solar y eólica para el SEIN considerando un límite por la complementariedad que representa la energía hidroeléctrica.
- Desarrollar al máximo la biomasa y el biogas dado que los mayores costos de generación eléctrica con biogas se compensan con los

beneficios ambientales y sanitarios para la población.

- Promover la electrificación rural para zonas aisladas por medio de paneles solares.
- Promover los paneles solares para viviendas.
- Promover los paneles solares en empresas alejadas del SEIN – minería y pozos para agricultura.
- Promover el desarrollo de vehículos eléctricos.
- Establecer el rol del gas natural para complementar producción en épocas de menor producción de energía hidroeléctrica y de RERs.

Capítulo 14.

Propuestas de Políticas para el Desarrollo de RER en el Perú

Mecanismos para el Desarrollo y Promoción de RER. La utilización de las RER requiere el desarrollo de un marco normativo cada vez más complejo acompañado por mecanismos de promoción, cambios organizacionales y requerimientos tecnológicos.

Cómo Resolver el Problema de Intermittencia de las RER. Debido a la intermitencia de algunas RER – eólicas y solares - es necesario desarrollar los sistemas de control de frecuencia y otros aspectos mediante la instalación de redes inteligentes (smart grids). Por otra parte, se debe considerar el cambio normativo que permita que las RER ofrezcan potencia efectiva en las subastas convencionales de energía (por ejemplo, la correspondiente al promedio de la energía generada a lo largo de un período). La promoción de inversiones en hidroeléctricas es muy importante no sólo por ser estas no contaminantes, sino porque ofrecen complementariedad a las RER evitando el costo de

almacenamiento o respaldo de las mismas. Por último, se debe facilitar que las RER firmen contratos de compra de capacidad con las generadoras convencionales a través de normativa más adecuada.

Promoción de Inversiones en Energía Hidroeléctrica para Respaldo a las RER y Aumentar la Capacidad de Producción Eléctrica. Como se indica en el párrafo anterior, la promoción de la inversión en hidroeléctricas es importante por dos motivos: (a) éstas constituyen un respaldo a las RER en casos en que dejen de producir; y (b) significan por si mismas un potencial de producción de electricidad no contaminante. Por lo tanto, un esquema de promoción de RER debe incluir: (a) la evaluación de requerimientos de hidroeléctricas como respaldo; (b) un estimado de la capacidad de energía hidroeléctrica necesaria para hacer frente al incremento del consumo de electricidad; y (c) las medidas de promoción necesarias para nuevas inversiones en hidroeléctricas.

Reducción de la Contaminación y Peligro a la Salud de Residuos Sólidos y Agrícolas. La promoción de generación eléctrica utilizando residuos sólidos requiere un esfuerzo de organización, cambios reglamentarios y financiamiento a municipios e inversionistas privados para desarrollar mecanismos de recolección de basura,

facilitar contratos entre municipios e inversionistas privados, y promover inversiones.

Promoción de Autoconsumo de RER para Incrementar su Utilización Eficiente. La promoción de generación por parte de consumidores, como en el caso de instalación de paneles solares en edificios y viviendas, requiere que éstos puedan inyectar sus excedentes al sistema eléctrico a precios competitivos. La implementación de la Ley de Generación Distribuida hará posible este mecanismo. También es conveniente considerar la instalación de paneles solares en instituciones públicas con objeto de contribuirá estos esfuerzos.

Promoción de Vehículos Eléctricos para Reducir la Contaminación. Los vehículos eléctricos ofrecen dos tipos de beneficios: la mayor eficiencia en el consumo de energía junto con una menor contaminación, y la complementariedad con las RER si éstos se cargan durante horas fuera de punta y/o cuando hay mayor generación RER. Por ello se requiere su promoción a través de beneficios impositivos y de una serie de medidas que faciliten la recarga de electricidad, incluyendo el establecimiento de centros de recarga en coordinación con el sector privado.

Usos Productivos de las RER para Reemplazar la Generación Aislada con Motores a Petróleo. La

aparente falta de interés de consumidores de electricidad en áreas lejanas a la red – como pozos de agua y empresas mineras se puede reducir facilitando financiamiento a los promotores de instalaciones RER. La experiencia de otros países puede servir de base para mejorar la política de desarrollo de las RER en el Perú.

Potencial Futuro. Como se ha indicado, las fuentes actuales para la producción de electricidad permitirían abastecer el consumo de electricidad por un estimado de 60 años. Para más adelante el estado debe contemplar opciones adicionales como son la energía geotérmica y la fusión nuclear, esta última aun en estado de desarrollo.

Capítulo 15.

Conclusiones

No existe una sola respuesta sobre como promover las energías renovables, y que volumen de cada una es conveniente a lo largo del tiempo. En este trabajo se han presentado los factores que se recomienda tener en cuenta para ello. En términos generales, como se ha indicado en capítulos anteriores, el uso de energías renovables ofrece una serie de beneficios ambientales, así como del uso eficiente de los recursos energéticos.

Aspectos resaltantes son:

- El volumen disponible de energías renovables: es abundante en el caso de energía solar fotovoltaica y eólica, pero limitado en biomasa y biogas.
- Los beneficios de las RER en cuanto a su impacto ambiental el cual es positivo en medio ambiente y salud en cuanto a biomasa y biogas, y positivo respecto al medio ambiente en energía fotovoltaica y solar.

- Su potencial para llegar a áreas alejadas de la red (energía eléctrica fotovoltaica), tanto en el sector rural como para usos productivos.
- Los bajos costos de utilizar energías renovables no tradicionales, los cuales actualmente son competitivos con las energías convencionales.
- La complementariedad existente entre la producción de las RER y la energía hidroeléctrica que requiere la promoción de inversiones en estas últimas.
- Las tendencias a largo plazo en cuanto a innovación y costos, incluyendo los avances en acumulación de electricidad por medio de baterías y otros que reducirían la complementariedad con las hidroeléctricas.
- La posible complementariedad del gas natural para generar electricidad en épocas de baja producción de energía renovable incluyendo la hidroelectricidad (épocas de estiaje) así como sus usos alternativos.
- La necesidad de buscar alternativas adicionales para la producción de electricidad en el largo plazo.

Si bien este libro ofrece lineamientos generales de política sobre el uso de fuentes renovables de energía eléctrica, estos pueden cambiar conforme se

presentan nuevos desarrollos tecnológicos y aparecen nuevas alternativas. A pesar de ello, es importante tener una política de desarrollo de electricidad, sobre todo de energías renovables, la cual deberá modificarse ante cambios futuros.

Bibliografía

- **Agarwal, V. y L. Tsoukalas.** (2009) Smart Grids, Importance of Power Quality, Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunication Engineering, 54(4): 136-143.
- **Battle, C.L. Barroso, and C. Echevarría.** (2012) Assessment of the Normative and Institutional Framework of Peru for the Promotion of Electrical Energy from Renewable Resources. Inter-American Development Bank, Lima-Perú.
- **Branker, K., Pathak, M.J.M. y J.M. Pearce** (2011) A Review of solar Photovoltaic Levelized Cost of Electricity. Renewable and Sustainable Energy Reviews 15 (9): 4470
- **BNDES.** Bioetanol de Caña de Azúcar. Brazil. Noviembre 2008.
- **Cepal** (2009). Las fuentes renovables de energía y el cumplimiento de la estrategia 2020.
- **Comisión Nacional de Energía de Chile** (2012). Revisión de mecanismos de tarificación de implementaciones de smart grid.
- **Convención Marco sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas** (2015)
- **Dammert, Alfredo y Raul García** (2017). Economía de la Energía. Fondo Editorial PUCP, Lima, Perú.

- **Dammert, Alfredo** (2017). Renewable Energies in Peru. En Lopez-Ibor, Clean Energy and Regulation.
- **ESB National Grid** (2004). Impact of Wind Power Generation in Ireland on the Operation of conventional Plants and the Economic Implications
- **Figenbaum, E. y M. Kolbenstvedt** (2013). Electromobility in Norway – Experiences and Opportunities with Electric Vehicles.
- **Hamer, M.** (2016). The Rooftop Power Revolution. New Scientist.
- **Harcourt Brown** (2010). Canadian Renewable Energy Policies. Harcourt Brown and Casey Clean Energy and Finance
- **Holtinnen, H. et. al.** (2006). Design and Operation of Power Systems with Large Amounts of Wind Power. Agencia Internacional de la Energía (AIE).
- **IEA** (2005) Projected Costs of Generatin Electricity. Paris OECD.
- **Indra** (2012a). Integración de redes eléctricas inteligentes en el sistema energético peruano. Impacto en el sistema y planes de desarrollo. Informe final. GART – Osinergmin.
- **Irena** (2012). Renewable Energy Technologies: Cost Analysis Series. Wind Power
- **Irena** (2014b). Perú: Evaluación del Estado de Preparación de las Energías Renovables. Abu Dabi.

- **Lopez-Ibor, Vicente (ed).** Clean Energy Law and Regulation – Climate Change, Energy Union and International Governance. Windy, Simmonds and Hill Publishing, London, 2017.
- **López-Ibor Mayor, Vicente (ed.)** Clean Energy Law and Regulation Wildy, Simmonds and Hill, London, 2017. Capítulos The Energy Transition from the European Perspective, Clean Energy and Decarbonization Objectives in the EU, Environment and Motorsport, Clean Energies in Mexico, Renewable Energies in Peru, The Regulation of Renewable Energy in Latin America: the Experiences of Brazil and Mexico, Distributed Generation, the Regulation of Demand, Renewable Energies in the Argentine Republic, Governance and International Cooperation, and The Relevance of the Energy charter in Latin America.
- **MINEM.** Decreto Legislativo N° 1002 sobre Promoción de Energías Renovables.
- **OSINERGMIN.** Resultados de las Licitaciones de Renovables. Página web de Osinergmin.
- **Osinergmin.** La Industria de la Energía Renovable en el Perú. 10 Años de Contribución a la Mitigación del Cambio Climático. Lima-Perú, 2017.
- **Osinergmin.** La Industria de la Energía Renovable en el Perú. Lima-Peru, 2017. Capítulos Tecnologías RER,

Los RER a Nivel Mundial, Los RER en el Perú, Distribución Eléctrica de los RER, Demanda de Energía Limpia, Impacto Económico, y Los Retos de la Energía Limpia.

- **Osinergmin- Hamek.** Potencial de Aprovechamiento de Biogas de Rellenos Sanitarios de Generación Eléctrica. Infome Final. Lima-Perú, 2011.
- **MINEM,** Decreto Legislativo N. 1002 (2008)
- **MINEM,** Direccion General de Electrificación Rural (2013). Plan Nacional de Electrificación Rural – PNER 2013-2022. Lima.
- **Mitma, Riquel** (2015). Análisis de la regulación de energías renovables en el Perú. Revista PUCP: Derecho y Sociedad. Lima, Perú.
- **Romani, J. y V. Arroyo** (2012). Matriz Enerética en el Perú y energías renovables. Eficiencia Energética: políticas públicas y acciones pendientes en el Perú. Fundación Friedrich Ebert.
- **U.S. Energy Information Administration** (2010). Updated Capital Cost Estimates for Electricity Generation Plants. Pp. 128-241.

Referencias electrónicas

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032111003492>

http://unfcc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/spanis_paris_agreement.pdf

<http://web.archive.org/web20140701203023>

<http://www.toi.no/getfile.php/Publikasjoner/T%C3%98I%20rapporter/2013/1276-2013-sum.pdf>

<http://www.hartcourtbrown.com/canadian-renewable-energy-policies>

http://www.ieawind.org/AnnexXXV/Meetings/Oklahoma/IEA%20SysOp%20GWPC2006%20paper_final.pdf

http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/RE_Technologies_Cost_Analysis-WIND_POWER.pdf

http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/projected_costs.pdf

<http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/derechoadministrativo/article/view/16301/16712>

<http://cer.uni.edu.pe/wp-content/uploads/2017/10/2.pdf>

<http://www.osinergmin.gob.pe/newweb/uploads/Publico/OficinaComunicaciones/EventosRealizados/ForoTumbes/3/5.-%20Electrificacion%20rural%20masiva.pdf>

[http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con5_uibd.nsf/C82B86060D3F4BAC052582030061F161/\\$FILE/2_pdfsam_Osinergmin-Industria-Electricidad-Peru-25anos.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con5_uibd.nsf/C82B86060D3F4BAC052582030061F161/$FILE/2_pdfsam_Osinergmin-Industria-Electricidad-Peru-25anos.pdf)

<http://www.thedialogue.org/wp-content/uploads/2015/10/ID-Transporte-verde-Perspectivas-para-veh%C3%ADculos-el%C3%A9ctricos-en-Am%C3%A9rica-Latina.pdf>

<http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/469-plantilla-cambio-climatico-25>

<http://www.newscientist.com/article/mg18925351.400-the-rooftop-power-revolution/full=true#bx253514B1>