

## Subastas En Plantas De Energía Solar Fotovoltaica Y La Paridad De Red En El Perú

### Auctions In Photovoltaic Solar Energy Plants And Grid Parity In Peru

James Arredondo<sup>1</sup>\*0000-0003-4594-0541

Marco Ramos<sup>2</sup>0000-0002-4216-6979

<sup>1</sup> Facultad de Nacional de Ingeniería, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú

<sup>2</sup> Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Electrónica y Sistemas, Universidad Nacional del Antiplano, Puno, Perú

**\*Autor de la correspondencia:** James Arredondo, E-mail: [jarredondom@uni.pe](mailto:jarredondom@uni.pe)

#### RESUMEN

En el presente artículo, se presenta un análisis de la situación de paridad de red de la energía solar fotovoltaica, con respecto a las fuentes de energía eléctrica convencional, como la hidroeléctrica y termoeléctrica para el caso del Perú. Con este propósito, se hace una revisión de cómo se fijan las tarifas eléctricas para el usuario final de tipo residencial de las fuentes convencionales de energía; por otro lado, se muestra en que consiste, el costo nivelado de energía para el caso de la energía solar y como esto ha sido utilizado para el cálculo de la tarifa eléctrica de esta fuente; las tarifas de las plantas solares que se comparan se encuentran instalados en: Moquegua, Tacna y Arequipa. La tarifa solar fotovoltaica ha sido obtenida por subastas; desde el año 2010 a 2016, estas han disminuido significativamente hasta llegar a la paridad de red en la última subasta. Se muestra un análisis comparativo entre las dos tarifas para cada tipo de fuente.

**Palabras Clave:** Energía Solar Fotovoltaica, Tarifas eléctricas, Subastas RER, Paridad de Red.

#### ABSTRACT

In this paper, an analysis of the situation of grid parity of photovoltaic solar energy is presented, with respect to conventional electrical energy sources, such as hydroelectric and thermoelectric in the case of Peru. For this purpose, a review is made of how electricity rates are set for the residential end-user of electric energy sources; on the other hand, it shows what it consists of, the leveled cost of energy in the case of solar energy and how this has been used for the calculation of the electrical tariff of this source type; The rates of the solar plants being compared are installed in: Moquegua, Tacna and Arequipa. The photovoltaic solar rate has been obtained through auctions; from 2010 to 2016, these have decreased significantly until reaching network parity in the last auction. A comparative analysis is shown between the two rates for each type of source.

**Keywords:** Photovoltaic Solar Energy, Electric rates, RER Auctions, Network Parity

## 1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha visto un crecimiento rápido de las energías renovables, en sus diferentes formas de generación como la solar y la eólica, por mencionar algunos; esto debido a que los recursos como el sol y el viento se consideran ilimitados, a diferencias de los combustibles fósiles como el carbón y el petróleo que tienen duración limitada. Sin embargo, aunque estas fuentes de energía renovable siempre han existido, los costos de la tecnología que usaban estas fuentes eran elevados, por lo cual la tarifa final de esta energía resultaba muy elevada en comparación con la energía de fuentes fósiles. En nuestro tiempo las tecnologías que usan las fuentes de energía renovable son más eficientes y de menor costo, el cual los hace ahora más competitivos.

Con respecto a las fuentes de energía renovable, el Perú incorporo en su matriz de energía este tipo de fuente; en la actualidad ya se han instalado y se encuentran en operación tanto parques eólicos como plantas solares en diferentes lugares del Perú. Con la finalidad del crecimiento de este tipo de energía el gobierno peruano promulgó el Decreto Legislativo N° 1002 “Ley de Promoción de la Inversión en Generación de Electricidad con el uso de Energías Renovables” en el año 2008 actualizado el 2010 [1], en el cual menciona que los Recursos Energéticos Renovables (RER) en el Perú abre puertas a las tendencias mundiales en el campo de las energías renovables. En este ámbito, más allá de las centrales de generación eléctrica convencionales como la hidroeléctrica y la térmica que vienen operando en el país, se continua con la promoción de las energías renovables no convencionales, entre ellos la energía eólica, solar, minihidráulica [2].

Por ello, el presente artículo, se centra en la oferta de la energía eléctrica, específicamente en la parte solar fotovoltaica para el caso peruano. Con este propósito, se revisa los documentos relacionados con esta medida. El Ministerio de Energía y Minas (MINEM) presentó, un informe ejecutivo del Plan energético nacional 2014 – 2025 [2], en el cual se analizan las medidas de política sectorial a implementar para lograr la seguridad y el acceso universal al suministro energético; por otro lado este informe ejecutivo muestra la matriz energética por el tipo de fuente; con respecto a la energía eléctrica se ve en la figura 1, la oferta eléctrica nacional.

En la figura 1, se muestra la evolución de energía producida por fuente, desde el año 1993. Se nota que en el 2013 los RER, han cobrado importancia, aunque en conjunto llegan solo al 2% de la oferta eléctrica nacional, pero el objetivo es llegar al 5% de participación según el decreto legislativo N° 1002 antes mencionado y esto está llegando a su objetivo tal como se verá más adelante con las subastas.

Las RER para la generación de energía eléctrica para el caso peruano, está dado principalmente por la energía eólica y la energía solar fotovoltaica. Dado que este artículo se centra en la energía solar fotovoltaica (PV), se muestra la evolución de las tarifas de la energía PV en el Perú mediante subastas y se comparan con las tarifas que paga el usuario final por el uso de la energía producido por las fuentes convencionales.

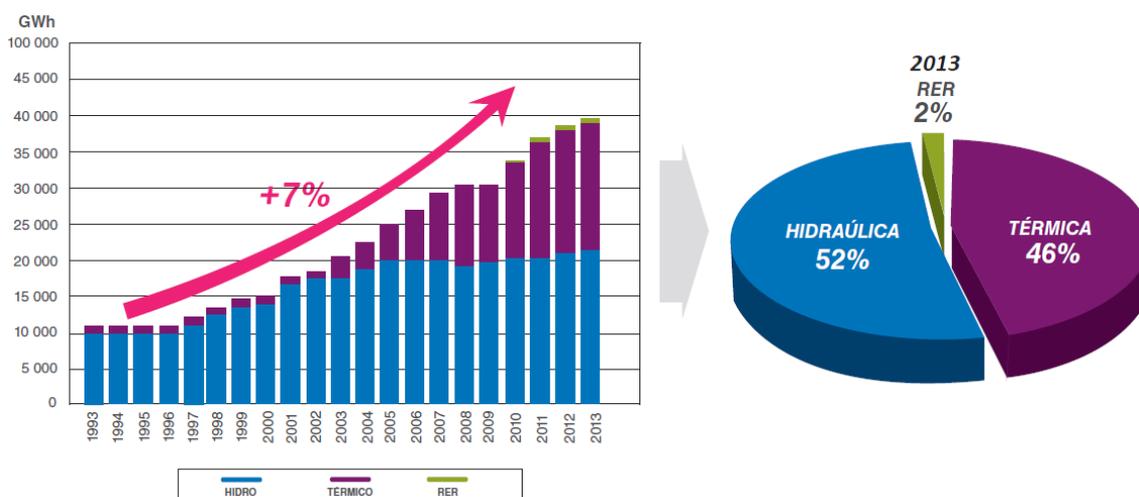


Fig. 1. Evolución de la Oferta Eléctrica Nacional por Fuente hasta el 2013 [2]

## 2. PARIDAD DE RED EN EL PERU

### 2.1 PARIDAD DE RED

La paridad de red se define desde el punto de vista del usuario final (usuario residencial) como el momento en el que el precio minorista de la electricidad de red (el que un consumidor paga a su compañía eléctrica) se equipara con el coste de producción PV [3]. Es decir, la paridad de red es la condición que se da cuando una fuente de generación de energía eléctrica, es capaz de producir a un coste inferior o igual al precio generalista de compra de la electricidad directamente de la red eléctrica; en el caso del Perú en su gran mayoría las fuentes de energía eléctrica son de centrales hidroeléctricas y termoeléctricas.

La paridad de red es empleada principalmente en referencia a los RER, para el caso peruano vendrían a ser las fuentes de energía solar fotovoltaica y la energía eólica. En este artículo se toman la energía solar fotovoltaica mediante las plantas solares fotovoltaicas instaladas en la zona sur del Perú, obtenidos a través de tres subastas.

Una forma para calcular si se alcanza la paridad de red es el costo nivelado de energía (LCOE). El LCOE es una métrica simple que proporciona el precio de la electricidad por kWh (Kilowatt-hora) en función de los costos distribuidos durante la vida útil de un proyecto de energía [4]. Para la energía solar fotovoltaica el LCOE, es una función de múltiples parámetros como los costos de inversión, el costo del capital y el factor de capacidad [5]; también incluye impuestos, costos de operación y mantenimiento (O&M).

Varios países han alcanzado la paridad de la red fotovoltaica (PV) ya que el LCOE de la tecnología en esos lugares se puede comparar con los precios minoristas locales de la electricidad de manera competitiva [6], es decir que alcanzan una tarifa menor o igual que la tarifa de la tarifa de las fuentes convencionales.

Se sabe que las empresas generadoras de energía PV, tienen en cuenta el LCOE, para presentar sus propuestas a través de subastas convocadas por un país o región. En dichas subastas se presentan las tarifas para el usuario final, como la potencia instalada, etc. En el caso peruano se presentaron cuatro subastas para los RER, donde en tres de estas se presentaron propuestas en energía solar fotovoltaica, las tarifas presentadas en dichas subastas se presentan en este artículo, estas se toman para hacer una comparación con las tarifas de las fuentes convencionales, estas cual se presenta al final del artículo.

Las tarifas finales de la energía solar fotovoltaica se pueden conseguir de manera detallada en las subastas hechas en el Perú, para esto contamos con datos reales de las subastas de los RER, ya que se cuenta con estos datos en los informes del Ministerio de Energía y Minas (MINEM), Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN). De la misma forma en el MINEM y el OSINERMIN se cuenta con las tarifas eléctricas de las centrales hidroeléctricas y termoeléctricas, incluso por regiones y empresas.

## 2.2 TARIFAS ELECTRICAS EN EL PERU

En el Perú la organización a cargo de la regulación de las tarifas eléctricas es el OSINERGMIN, esta regula algunas tarifas del sector eléctrico sobre la base de mecanismos aplicados de acuerdo a las características concretas, que posee cada una de las actividades del sector [7]. La tarifa de energía eléctrica, está compuesta por tres tipos de precio: Precio de generación (PG), Precio de transmisión (PT) y el Precio de distribución (PD) al final de la suma de estos precios se le agregan algunos costos adicionales como el IGV otros que se detallan en las figuras 2 y 3. Como se muestra en la figura 3 se ve la estructura del costo de la electricidad, la tarifa eléctrica que paga el consumidor final es la agregación de estos precios; cabe destacar que este caso es para el Perú, cada País tiene sus propias regulaciones ya que todas las regulaciones eléctricas especifican un método para definir el precio de la generación [8].

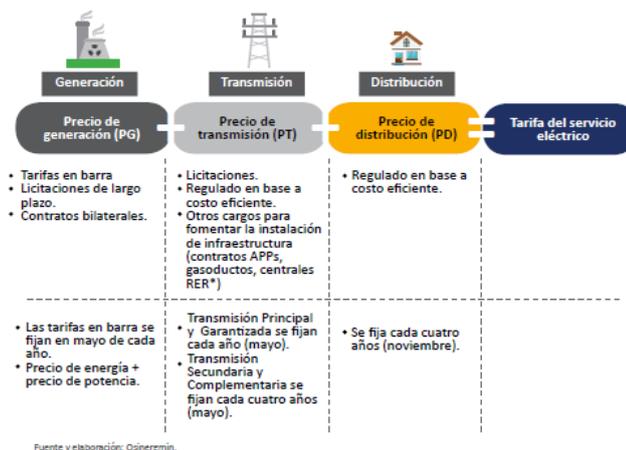


Fig. 2. Partes para la fijación de la tarifa final [7].

Componentes	Tarifa	Porcentaje
Licitaciones	S/. 44.06	
Regulado	S/. 5.44	
<b>Generación (G)</b> (Producción de electricidad)	<b>S/. 49.50</b>	<b>49.5%</b>
Regulado		
(Transmisión propiamente dicha: SPT, SGT, SST y SCT)	S/. 8.50	
Otros conceptos cobrados	S/. 12.80	
<b>Transmisión (T)</b> (Transporte de electricidad)	<b>S/. 21.30</b>	<b>21.3%</b>
100% Regulado:		
Inversión	S/. 21.61	
Operación y mantenimiento	S/. 7.590	
<b>Distribución (D)</b> (Distribución de la electricidad)	<b>S/. 29.20</b>	<b>29.2%</b>
<b>Total del recibo del luz</b>	<b>S/. 100.00</b>	<b>100%</b>
(Referencia: usuarios domiciliados de Lima y El Callao)		
Total regulado	S/. 43.10	43.1%
Total sin regular	S/. 56.90	56.9%

Nota: El cálculo no incluye el cargo fijo mensual de S/. 2.49  
Fuente y elaboración: Osingermin.

**Fig. 3.** Precios en porcentaje para la fijación de la tarifa eléctrica [7].

La tarifa para el usuario final, han ido cambiando con el tiempo por ejemplo para el 2009 el precio medio total en el mercado regulado fue de 10.24cv\$/KWh y según el nivel de tensión: 11.94 cv\$/KWh en Baja Tensión, 7.07 cv\$/KWh para Media Tensión y 6.49 cv\$/KWh para Alta Tensión. Incluso los costos van cambiando de lugar y zona (Sur, Centro y Norte del País), por ejemplo, en la figura 4 se ve un recibo de luz de la empresa ELECTROSUR, el cual es uno de los distribuidores de energía eléctrica en Tacna, la tarifa que se muestra es de 0.5654 S/. /kWh que equivale aproximadamente a 16cv\$/KWh.

DATOS DEL CLIENTE	
NOMBRE:	
D.N.I.	80
DIRECCIÓN:	CALLE
DPTO/PROV:	TACNA/TACNA/TACNA
RUTA:	11-05-127-018730 N° MEDIDOR: 201
DETALLE DEL CONSUMO	
LECTURA ACTUAL:	965 08 May 2019
LECTURA ANTERIOR:	902 08 Abr 2019
CONSUMO FACTURADO:	63.00 kWh
FACTOR:	1.00
PRECIO UNIT. S/. kWh:	0.5654

**Fig.4.** Recibo por consumo de energía eléctrica.

EL recibo de la figura 4 corresponde al mes mayo del año 2019, el cual muestra un precio de 16 cv\$/kWh que es mayor al costo promedio en el 2009; esta tarifa tiene algunas variaciones en diferentes lugares del Perú.

## 2.3 GENERACIÓN PV EN EL PERÚ

La generación de energía solar PV está preparada para revolucionar el sistema eléctrico en países de todo el mundo. De acuerdo con este informe de la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA), la proporción de electricidad global generada a partir de la energía solar

fotovoltaica aumentará hasta un 13% para el año 2030 [9]. La expansión de la industria solar se debe principalmente a la reducción de costos, y el informe anticipa una mayor disminución de los costos hasta en un 59% en diez años.

En el Perú, con la finalidad de implementar las centrales eléctricas con RER, se elaboraron varias normativas, el marco normativo sobre los RER está constituido en la Ley de Promoción de la Inversión para la Generación de Electricidad con el Uso de Energías Renovables (Decreto Legislativo N° 1002), en el Reglamento de Generación de Electricidad con Energías Renovables (Decreto Supremo N° 012-2011-EM) y en Reglamento para la Promoción de la Inversión Eléctrica en áreas No Conectadas a Red (Decreto Supremo N° 020-2013-EM). Para cumplir con dichas normativas en el Perú se lanzaron las subastas.

Las subastas constituyen el instrumento normativo más usado en América Latina para la promoción de las energías renovables. Estas se caracterizan porque suelen ofrecer a los adjudicatarios un contrato de compra de energía a largo plazo, con duración de entre 10 y 30 años. Al respecto, el diseño de subasta utilizado en el país para la adjudicación de proyectos de generación de RER es de sobre cerrado a mejor precio y utiliza como factor de competencia el precio monómico de generación, además de la cantidad de energía a subastar [10].

Las subastas determinan los precios de la energía fotovoltaica a través de procesos de licitación competitivos, donde los desarrolladores de proyectos calificados compiten al presentar ofertas de precios por unidad de electricidad [5]. Los precios de oferta de la subasta reflejan, en gran parte, los parámetros que impulsan los cálculos de LCOE en \$ / KWh.

Las centrales solares con energía PV, se impulsaron a través de 4 subastas como se ve en la tabla 1, aunque en la tercera subasta no hubo energía PV. En tabla se ve que se adjudicó la primera en tres departamentos, el año 2010 y entraron en operación en a finales del 2012, y la cuarta subasta los dos proyectos en el departamento de Moquegua entre ellos el de mayor potencia en el Perú (Proyecto Rubí, con 144,5 MW de Potencia) fueron adjudicados el 2016 y entraron en operación a inicios del 2018.

Con respecto a los precios de las subastas, se puede notar en la tabla 1 que desde la primera subasta hasta la cuarta se ha reducido significativamente la tarifa, que comenzaron desde 21,5 cts\$/KWh en el 2010 hasta llegar a 4.79 cts\$/KWh en el 2016. Cabe destacar que la caída de precios no solo se dio en el Perú, sino alrededor de todo el mundo. Por ejemplo, en Latinoamérica en el país de Chile se tiene una de las tarifas más bajas que es de 2,9 cts\$/KWh en el 2016 [11]. Esta caída de precios tiene varios factores, como el lugar de ubicación, la tecnología, entre otros. Con respecto a la tecnología entre 2010 y 2016, los costos de fabricación de los módulos solares disminuyeron en casi un 74% (de 1.85 \$/W hasta 0.48 \$/W), mientras que los costos de los no modulares disminuyeron en casi un 53% (de 1.39 \$/W hasta 0.66 \$/W) [5].

**TABLA I.** Subastas RER en Energía PV en el Perú

Nro	Proyecto	Departamento	Potencia de Contrato (MW)	Precio (cts\$/KWh) Subasta RER	Año de Adjudicación	Puesta en Operación
1	Panamericana Solar (ILO)	Moquegua	20	21.5	2010	31/12/2012
2	Majes Solar 20T (Arequipa)	Arequipa	20	22.25	2010	31/10/2012
3	Repartición Solar 20T (Arequipa)	Arequipa	20	22.3	2010	31/10/2012
4	Tacna Solar	Tacna	20	22.5	2010	31/10/2012
5	Moquegua	Moquegua	16	11.99	2011	31/12/2014
6	Rubí	Moquegua	144.5	4.79	2016	30/01/2018
7	Intipampa	Moquegua	40	4.85	2016	31/03/2018

### 3. RESULTADOS

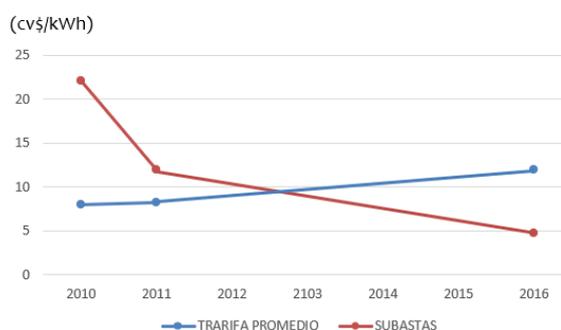
Las tarifas de energía convencional en el Perú están expresadas en soles/KWh tal como se muestra en la figura 4, pero en las subastas RER se expresa en cts\$/KWh por lo para hacer la comparación se necesita que estén expresados en las mismas unidades, esta conversión se ha hecho en la tabla 2, donde se muestra que los precios varían desde 0.714 soles/kWh en el 2010 hasta llegar a 0.161soles/kWh en el 2016.

Se toma como base las tarifas promedio tomados del OSIMERGMIN en los años 2010, 2011 y 2016, en la zona Sur (Arequipa, Moquegua y Tacna) para comparar con los promedios de los precios de las subastas, dado que son los lugares donde se encuentran instalados las plantas solares. En la tabla 2, se muestran los promedios de las tarifas promedio por año.

**TABLA II.** Tarifa promedio de energía convencional por año

Nro	AÑO	TARIFA PROMEDIO (cv\$/kWh)
1	2010	8.032
2	2011	8.323
3	2016	12.001

Los datos de las tablas 1 y 2 pueden ser comparados. La figura 6, presenta la comparación de las tarifas, de las RER con las fuentes convencionales de energía eléctrica para el caso peruano.



**Fig. 6.** Tarifas de energía solar PV comparado con la tarifa promedio de energía convencional

Según la figura 6, las primeras subastas conformadas por las centrales solares PANAMERICANA, MAJES, REPARTICION y TACNA no se alcanzó la paridad de red. La segunda subasta tampoco alcanzó la paridad de red para el año 2011. Sin embargo, con la última subasta se de las centrales solares PV: RUBI y INTIPAMPA, si se alcanzó la paridad de red ya que estas

tarifas están por muy debajo de las tarifas que paga el usuario final con las energías convencionales. Cabe mencionar, no obstante que los costos de conversión de cambio de sol a dólar varían en el tiempo y esto puede traer consecuencias en los cálculos hechos. La última subasta como promedio viene hacer un 77,4% menos que en la primera subasta.

## CONCLUSIONES

El análisis de la situación de paridad de red de la energía solar fotovoltaica, con respecto a las fuentes de energía eléctrica convencional, como la hidroeléctrica y termoeléctrica para el caso del Perú fue presentado. Se realizó una revisión de cómo se fijan las tarifas eléctricas para el usuario final de tipo residencial de las fuentes convencionales de energía. Se mostraron las tres subastas para las plantas solares fotovoltaicas para el caso peruano entre los años 2010 y 2016.

La paridad de red para el caso peruano fue alcanzada con la última subasta de RER, dado que los costos disminuyeron significativamente con respecto a la primera subasta en un 77,4%. La tarifa de la última subasta es de 4.35 cv\$/KWh, no obstante, existen tarifas subastadas más bajas en América del Sur como es el caso del país de Chile con 2,9 cts\$/KWh en el año 2016.

Otros países alcanzaron la paridad de red, debido que los costos de la tecnología solar bajaron significativamente, tal como se mostró en este artículo. Por otro lado, es sabido que las condiciones de irradiancia que son necesarios para la conversión de energía solar a eléctrica son distintas a lo largo del planeta. Trabajos futuros estarán orientados a estudios de análisis histórico de las subastas en países en vía de desarrollo, para proponer una prospectiva del comportamiento energético con las fuentes RER.

## REFERENCIAS

- [1] MINEM, “DL de promoción de la inversión para la generación de electricidad con el uso de energías renovables”, MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS, Lima, Perú, 2008. [En línea]. Available: <http://www.minem.gob.pe/archivos/legislacion>. [Último acceso: 01 10 2019].
- [2] MINEM, “PLAN ENERGETICO NACIONAL 2014-2050” MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS, Lima, Perú, 2014. [En línea]. Available: <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/2reseje-2014-025%20vf.pdf> [Último acceso: 01 12 2018].
- [3] J. Gonzales, “OBSERVATORIO DE GRID PARITY: Análisis de la llegada de la paridad de red a los principales mercados fotovoltaicos mundiales”, Madrid: UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS, 2012.
- [4] Talavera, D., De la Casa Muñoz, E. y Almonacid G , “Grid parity and self-consumption with photovoltaic systems under the present regulatory framework in Spain: The case of the University of Jaén Campus”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, nº 33, pp. 752-771, 2014.
- [5] Z. Dobrotkora, K. Surana y P. Audiet, “The price of solar energy: Comparing competitive auctions for utility-scale solar PV in developing countries” Energy Policy, nº 118, pp. 133-148, 2018.

- [6] M. Bazilian, I. Onyeji, M. Liebreich, I. MacGill, J. Shah, D. Gielen, D. Arent y S. Zhengrong, “Re-considering the economics of photovoltaic power” *Renewable Energy*, nº 53, pp. 329-338, 2013.
- [7] OSINERGMIN, “La industria de la electricidad en el Perú: 25 años de aportes al crecimiento económico del país”, *LA INDUSTRIA DE LA ELECTRICIDAD EN EL PERU*, pp. 77-75, 2016. [En línea]. Available: [https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro\\_documental/Institucional/Estudios\\_Economicos/Libros/Osinergmin-Industria-Electricidad-Peru-25años.pdf](https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinergmin-Industria-Electricidad-Peru-25años.pdf). [Último acceso: 19 01 2019].
- [8] OSINERGMIN, “Apuntes para el plan energético nacional: seguridad energética”, Lima: Revistas Especializadas Peruanas S.A., 2014. [En línea]. Available: [http://www2.osinerg.gob.pe/Infotec/GasNatural/pdf/apuntes\\_gas\\_electricidad\\_2014.pdf](http://www2.osinerg.gob.pe/Infotec/GasNatural/pdf/apuntes_gas_electricidad_2014.pdf). [Último acceso: 20 01 2019].
- [9] IRENA, “Letting in the light: how solar photovoltaics will revolutionise the electricity system”, IRENA, 2016.
- [10] OSINERGMIN, “La industria de la energía renovable en el Perú: 10 años de contribuciones a la mitigación del cambio climático”, Lima: GRAFICA BIBLIOS, 2017. [En línea]. Available: [https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro\\_documental/Institucional/Estudios\\_Economicos/Libros/Osinergmin-Energia-Renovable-Peru-10años.pdf](https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinergmin-Energia-Renovable-Peru-10años.pdf). [Último acceso: 20 01 2019].
- [11] Z. Dobrotkova, P. Audinet y G. Sargsyan, “What Drives the Price of Solar Photovoltaic Electricity in Developing Countries?”, *Bank Work*, nº 2017/72, 2017.

Recibido (Received): 22/10/2018

Aceptado (Accepted): 10/06/2020