

## **Análisis de sensibilidad para sistemas fotovoltaicos conectados al SIN de la región occidental del Paraguay**

**Frankz Lindstrom, Gustavo Riveros**

**Fundación Parque Tecnológico Itaipu Paraguay / Universidad Privada del Este – Facultad de Ciencias y Tecnologías**

**Paraguay**

### **1.1 Resumen**

Según estudios elaborados por la Administración Nacional de Electricidad – ANDE indican un crecimiento de la demanda de energía eléctrica en el Paraguay, en donde se observa que el margen de reserva de generación se vería afectado para el año 2030, señalando además que las fuentes de generación de energía eléctrica conectados al Sistema Interconectado Nacional – SIN es 100% de origen hidroeléctrico.

Por otra parte, dentro del plan de extensión del sistema eléctrico paraguayo, se desea diversificar las fuentes de energías renovables, principalmente aprovechar los recursos energéticos solares disponibles en la región occidental, pero aún existen lagunas en cuanto a datos técnicos y financieros que puedan servir de base para grandes emprendimientos, por ello la importancia de contar con estudios como el Costo Nivelado de la Energía – siglas en inglés LCOE – para evaluar la viabilidad económica del costo total promedio para construir, operar y mantener un sistema de generación durante su vida la útil.

Este trabajo pretende realizar un análisis de sensibilidad del LCOE para sistemas fotovoltaicos que se desean instalar en la región occidental del Paraguay, utilizando una herramienta de modelado de sistemas de generación, en donde se tiene en cuenta la tecnología de equipos a ser utilizados, la infraestructura logística para el montaje, la operación y mantenimiento del sistema de generación utilizando como caso de estudio la instalación de un sistema de generación fotovoltaica de 10 MWp. en la localidad de Loma Plata, ubicado en el departamento de Boquerón, y para el análisis de sensibilidad los valores de LCOE de países del Cono Sur y Brasil y con los resultados obtenidos contribuir con datos para la investigación y el desarrollo futuro de las políticas energéticas del Paraguay.

### **1.2 Palabras clave**

LCOE, Photovoltaic System, Energy Planning, Paraguay.

**XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRE**  
23 y 24 de Junio 2022

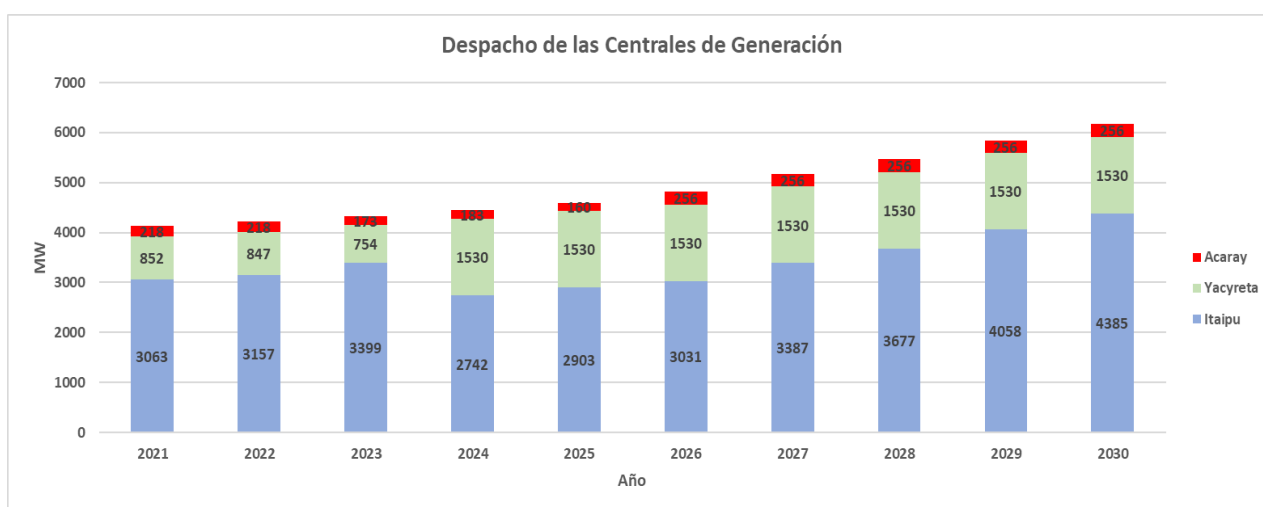
### 1.3 Introducción

La Administración Nacional de Electricidad – ANDE administra el sistema eléctrico paraguayo con el objetivo de satisfacer en forma adecuada las necesidades de energía eléctrica del país y con el fin de promover el desarrollo económico y fomentar el bienestar de la población, aprovechando preferencialmente recursos naturales renovables. Para cumplir este objetivo la ANDE utiliza el criterio técnico de planificación de Margen de Reserva de Generación para que el parque de generación pueda atender la demanda y sus fluctuaciones de forma satisfactoria [1].

Las fuentes de generación conectadas al Sistema Interconectado Nacional son las Centrales Hidroeléctricas de Itaipu Binacional, Yacyreta Binacional y Acaray. En el plan maestro de la ANDE 2021 – 2040 se muestra un crecimiento promedio anual de 5,9% de la demanda de energía eléctrica en el Paraguay en el periodo 2021 – 2030 y en base a este dato se prevé que para el año 2030 las centrales de generación tendrán estas características de producción [1]:

- Central Hidroeléctrica de Acaray: despacho de 256 MW (100%).
- Central Hidroeléctrica de Yacyretá Binacional: dispatch de 1.530 MW (72%).
- Central Hidroeléctrica de Itaipú Binacional: despacho de 4.385 MW (85%).

En la figura 1 se observa que la generación disponible para el SIN en el año 2030 será de 6.171 MW, que corresponde al 82% de la potencia total a ser despachada y será utilizado para cubrir la demanda de energía eléctrica proyectada mientras que restante 18% queda como Margen de Generación Reservado el cual se aproxima al margen mínimo de reserva de generación planificado para el SIN que es de 10 % de la energía eléctrica disponible [1]. El Margen de Reserva Planificado es una métrica basada en la capacidad de generación y no proporciona una evaluación precisa del rendimiento en los sistemas energéticos limitados, por ejemplo, la capacidad hidroeléctrica cuando son limitados los recursos hídricos, por lo cual en algunos sistemas eléctricos el margen de reserva mínimo varía entre 15% a 20% [2] y para el 2033 el sistema eléctrico paraguayo alcanzaría un 12%.

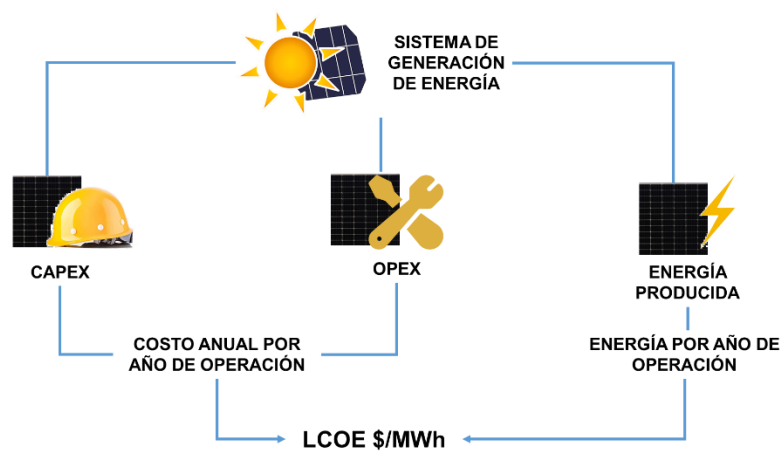


**Figura 1: Despacho proyectado por la ANDE en el periodo 2021 – 2030**

**XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE**  
23 y 24 de Junio 2022

Según los datos del informe del Mapeo del Potencial Energético Solar y Eólico del Paraguay, elaborado por la Fundación Parque Tecnológico Itaipu Paraguay – FPTI en el año 2018, indica que la radiación solar promedio del Paraguay es de 5,56 kWh/m<sup>2</sup>/día. Así también, menciona que la región occidental del Paraguay posee potencial energético solar adecuado para la instalación de centrales fotovoltaicas de gran porte. En la actualidad, en Paraguay se encuentran operativos varios sistemas de generación fotovoltaica pequeños (menores a 5 kW) y dos sistemas de generación de 40 KW ubicados en las localidades de Joel Estigarribia y Pablo Lagerenza que están operativas desde el 2014 y el 2016 respectivamente. Las mismas fueron realizadas por la Itaipu Binacional y el Parque Tecnológico Itaipu – Paraguay y cuyos datos fueron utilizados para realizar el caso de estudio.

A pesar de la experiencia en sistemas fotovoltaicos de pequeño porte existe aún carencia de información técnico y financiero que puedan servir de base para la instalación de sistemas fotovoltaicos mayores a 1 MW. El Costo Nivelado de la Energía – LCOE sirve para evaluar la viabilidad económica del costo total promedio para construir, operar y mantener un sistema de generación durante la vida útil del sistema [2]. El LCOE es una medida que representa el ingreso promedio por unidad de electricidad generada requerida para recuperar los costos de instalación y operación de un sistema de generación de electricidad durante un ciclo de vida operativo y en algunos casos es utilizado para evaluar el nivel de competitividad de los diferentes tipos de plantas generadoras de electricidad [3].



**Figura 2: Estructura del cálculo del LCOE.**

## 1. CASO DE ESTUDIO

El departamento de Boquerón según la Dirección General de Estadística, Encuestas y Censos del Paraguay realizado en el año 2012 cuenta con 13.051 viviendas y a modo de comparación el departamento central cuenta con 326.763 viviendas. Dentro de este departamento se encuentra el municipio de Loma Plata que se encuentra aproximadamente a 470 km de la Ciudad de Asunción y es reconocida por ser un polo agro-ganadero en donde funcionan diversas industrias, pero la infraestructura eléctrica es uno de los factores limitantes para un mayor desarrollo de la zona.

**XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE**  
**23 y 24 de Junio 2022**



**Figura 3: Proyecto futuro del Sistema Interconectado Nacional de la Región Occidental y localización de las plantas fotovoltaicas instaladas**

De forma a promover el desarrollo de la región occidental del Paraguay y aumentar el Margen de Reserva de Generación, la ANDE propuso dentro de su plan maestro el mejoramiento del Sistema Interconectado Nacional - SIN y la construcción de un Parque Solar Fotovoltaico de 10 MWp que estará conectado a la red de transmisión de 220 KV en el municipio de Loma Plata.

Los gastos operativos – OPEX de sistemas fotovoltaicos son bajos en comparación a otros sistemas de generación de energía en donde gran parte de la estructura de costo está relacionado al personal técnico y a licencias de conexión a la red para suministro de energía eléctrica [4]. El valor de OPEX en el año 2021 para sistemas de entre 1 a 10 MW de capacidad que están interconectados a la red eléctrica de alta tensión de los países de Cono Sur y Brasil se muestran en la tabla I.

**Tabla I: Valores OPEX promedio en Usd/kW.**

<b>Países</b>	<b>OPEX</b>
Argentina	10 Usd/kW.
Brasil	12 Usd/kW.
Chile	13,5 Usd/kW.
Uruguay	14,1 Usd/kW.

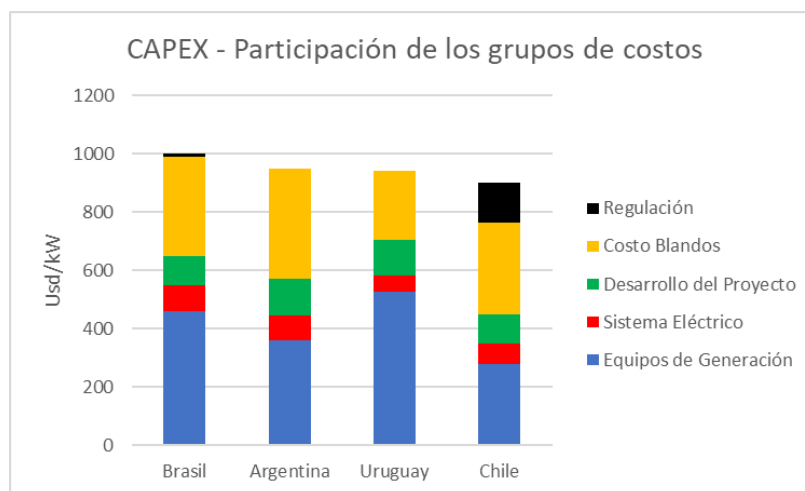
Para analizar el gasto de capital – CAPEX de los países del cono Sur y Brasil, se clasificaron los costos por grupos de la siguiente manera:

- Equipos de generación de energía: Incluyen los paneles fotovoltaicos del tipo policristalino con su correspondiente estructura del tipo fija al suelo y los inversores de corriente.
- Sistema Eléctrico: Incluyen los costos relacionados al sistema de protección eléctrica, sistema de supervisión, control y adquisición de datos – SCADA, Sistemas Auxiliares y equipos de interconexión a la red de transmisión.

**XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE**  
23 y 24 de Junio 2022

- Desarrollo del Proyecto: Incluyen los costos relacionado a licencias, gestión de proyecto, adquisición del terreno, materiales de obras civiles, insumos eléctricos, logística nacional.
- Costos Blandos: Incluye toda la mano de obra para la ejecución del proyecto.
- Regulaciones: Incluye todos los permisos para la conexión a red eléctrica de transmisión.

En la figura 4 se muestran los valores promedios del CAPEX del año 2021 de los países del Cono Sur y Brasil para instalación de sistemas de generación solar fotovoltaica de 1 MW a 10 MW.



**Figura 4: Valores del CAPEX del año 2021 clasificados por grupos de costos.**

Para el estudio de caso se tuvieron en cuenta los siguientes puntos:

- El CAPEX y OPEX utilizados son de la base de datos de la FPTI – PY actualizada al año 2021 para sistemas fotovoltaicos de hasta 100 kWp de capacidad utilizando como factor de escalabilidad de 0,65.
- En los gastos de CAPEX se incluyeron los costos relacionados al arrendamiento del terreno para la instalación del sistema.
- El periodo de análisis de operación de la planta fue de 20 años, con un valor de degradación de los paneles fotovoltaicos de 0,03% anual.
- La característica de la instalación fotovoltaica son las siguientes:
  - Paneles fotovoltaicos del tipo policristalino.
  - Estructura de los paneles fotovoltaicos del tipo fija y sobre superficie con una inclinación de 20°.
  - Las pérdidas relacionadas a la generación y conexión al sistema de transmisión son de 14 %.

## 2 RESULTADOS

La radiación promedio para la zona de Loma Plata es de 5,56 kWh/m<sup>2</sup>/día. lo que permitiría suministrar 14.649 MWh. por año al sistema de transmisión y en 20 años de funcionamiento suministraría 292.139 MWh. En la tabla II se muestran los valores de LCOE en Usd/MWh. teniendo

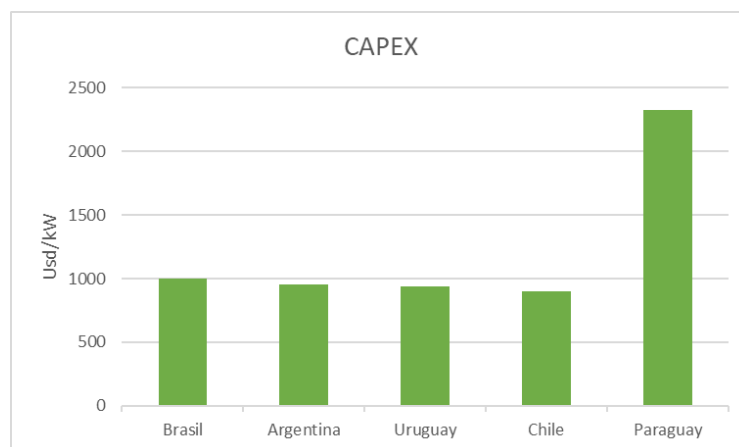
**XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE**  
23 y 24 de Junio 2022

en cuenta la instalación del sistema fotovoltaico en la localidad de Loma Plata utilizando los valores de CAPEX y OPEX del año 2021 de los países que integran el Cono Sur, Brasil y Paraguay.

En la tabla II se observa que el valor de LCOE en Paraguay es mayor al promedio de la región debido al alto costo de capital para la instalación del sistema fotovoltaico como se puede observar en la figura 5, pero en comparación con años anteriores este valor viene disminuyendo principalmente debido al abaratamiento de los costos de producción de los equipos de generación. Sin embargo, el LCOE en Paraguay se aproxima bastante a los valores registrados en los países mencionados en el caso de estudio cuando iniciaron las primeras instalaciones de sistemas fotovoltaicos mayores a 10 MW.

**Tabla II: LCOE estimado del año 2021.**

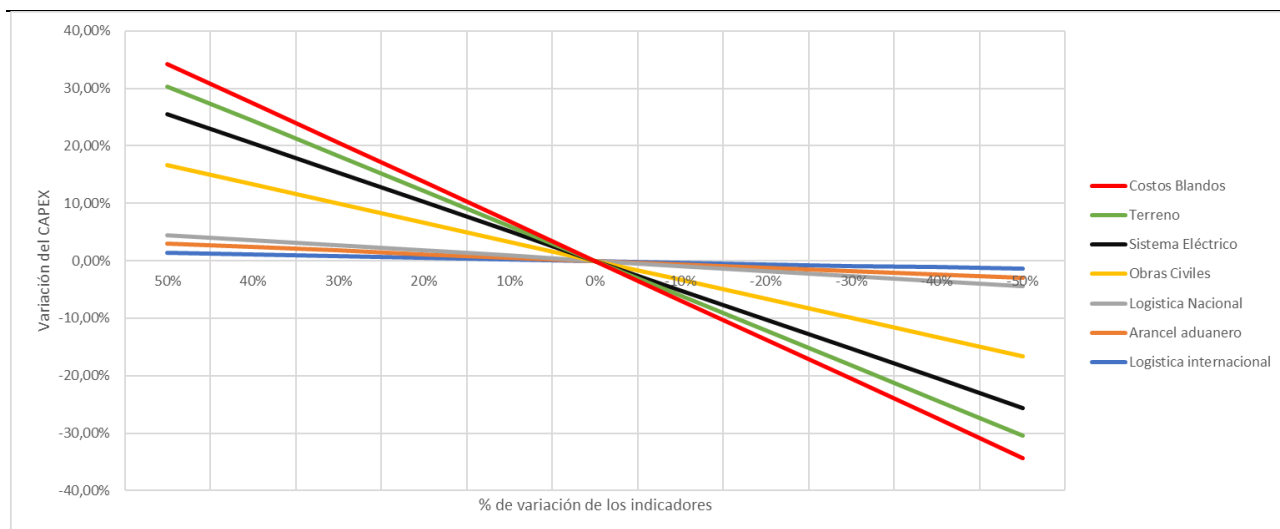
País	Usd/MWh
Argentina	48
Brasil	53
Chile	52
Uruguay	54
Paraguay	95



**Figura 5: Valores de LCOE estimados para el año 2021.**

En el análisis de sensibilidad de los grupos de costos del CAPEX del Paraguay se observó que los factores que influyen en mayor porcentaje en los costos está relacionado al grupo de costos de Sistema Eléctrico, Costos Blandos y al valor de arrendamiento del terreno donde será instalado el sistema que pertenece al grupo de costo de desarrollo del proyecto. Estos costos mencionados dependen en gran medida de cuan desarrollado este la región donde será instalado el sistema como es el caso de la localidad de Loma Plata que actualmente no cuenta con infraestructura y posee dificultades para acceder a los materiales principales para realizar un proyecto de generación de energía. Un dato relevante para mencionar es el flete nacional, que disminuyo aproximadamente un 38 % entre los años 2018 y 2021 debido a las obras de mejoramiento de la ruta Transchaco.

**XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE**  
23 y 24 de Junio 2022



**Figura 6: Análisis de sensibilidad de los grupos de costo del CAPEX.**

#### 1.4 Conclusión

Este trabajo realizó un análisis de sensibilidad del LCOE para sistemas fotovoltaicos que se desean instalar en el Paraguay con el fin de contribuir con datos técnicos y económicos para la investigación y el desarrollo futuro de reglamentaciones y/o políticas energéticas del Paraguay. Para el caso de instalar un sistema fotovoltaico de 10 MW en la localidad de Loma Plata, el valor del LCOE es de 95 Usd/MW que es superior al promedio de los países de la región, pero se aproxima a los valores de cuando estos mismos países iniciaron la instalación de los primeros sistemas fotovoltaicos mayores a 10 MW.

En el trabajo se pudo observar que el OPEX de Paraguay se encuentra entre los más bajos de la región por lo que los costos de capital son los que mayor impacto generan en el LCOE. El CAPEX en Paraguay viene bajando en los últimos años debido al abaratamiento en la producción y la ampliación del mercado de equipos fotovoltaicos a nivel global, pero actualmente los costos relacionados al sistema eléctrico, costos blandos y el arrendamiento del terreno que según el estudio realizado por el Banco Interamericano de Desarrollo son los factores que mayor afectan a los países de Latinoamérica.

A pesar que el Plan Maestro 2021 – 2040 de la ANDE prevé la instalación de sistemas fotovoltaicos de gran porte, la falta de políticas de incentivos y desarrollo de proyectos tiene como consecuencia el poco desarrollo de mano de obra calificada y del mercado de equipos provocando una disminución muy lenta del CAPEX en comparación con los países de la región. Otro aspecto importante a tener en cuenta es el que LCOE de los sistemas fotovoltaicos no son competitivos en Paraguay con las hidroeléctricas cuyos valores son los más bajos de la región.

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE  
23 y 24 de Junio 2022

---

**BIBLIOGRAFÍA**

- [1] Plan Maestro de Generación 2021-2040. Administración Nacional de Electricidad, Asunción, 2021, páginas 3-34
- [2] U.S. Energy Information Administration. U.S. Energy Information Administration, Washington D.C., 2021, páginas 1-15
- [3] Levelized Cost and Levelized Avoided Cost of New Generation Resources in the Annual Energy Outlook 2020. U.S. Energy Information Administration-EIA, Washington D.C., 2020, páginas 1-26
- [4] Energía Fotovoltaica de Autoconsumo. Banco Interamericano de Desarrollo-BID, Quito, 2021, páginas 2-7
- [5] Atlas del Potencial Energético Solar y Eólico del Paraguay. Itaipu Binacional-Parque Tecnológico Itaipu Paraguay, Hernandarias, 2016, páginas 61-75
- [6] Levelized Cost of Energy-LCOE. Office of Indian Energy-US Department of Energy, Washington D.C., 2016, páginas 3-15
- [7] F. Lindstrom, G. Riveros, G. Arevalos and M. Rivarolo, "Assessment of a solar plant solution interconnected to national grid system in Paraguay" in SUPEHR19 Sustainable Polyenergy generation and Harvesting, Genova, Sept. 2019.
- [8] Analisis de Viabilidad de Proyectos de Energía Renovable. Organización Latinoamericana de Energía, Quito, 2020, páginas 1-350
- [9] Evolución futura de costos de las energías renovables y almacenamiento en América Latina, Banco Interamericano de Desarrollo-BID, Quito, 2019, páginas 2-222
- [10] Licitación Publica Internacional Diseño, Suministro e Instalación de una planta solar fotovoltaica en la comunidad de Puerto Esperanza. Administración Nacional de Electricidad, Asunción, 2021, páginas 46-92
- [11] Caderno de Preços da Geração 2021. Empresa de Pesquisa Energetica, Rio de Janeiro, 2021, páginas 3-58
- [12] F. Luluaga, "Análisis Financiero proyectos de Energía Solar", Mendoza, 2019, páginas 22-62
- [13] Energías Renovables gratis en Uruguay. Dirección Nacional de Energía, Dirección Nacional de Energía, Montevideo, 2018, páginas 2-28
- [14] Energía 2050-Política Energética de Chile. Ministerio de Energía de Chile, Santiago, 2016, páginas 37-93



**XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE**  
**23 y 24 de Junio 2022**

---

[15] Políticas Energéticas y NDCs en América Latina y el Caribe: Evaluación de las políticas actuales de desarrollo energético de la región como contribución al cumplimiento de los compromisos en materia de cambio climático, Organización Latinoamericana de Energía, Quito, 2018, páginas 33-309