

ATLAS MUNICIPAL DE LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE EN BOLIVIA 2020



PROPUESTAS ACCIONABLES

Electrificación rural en Bolivia

Miguel Fernández Fuentes, Energética, miguel@energetica.org.bo

Evelyn Cardozo R, Universidad Mayor de San Simón, evelyncardozo.r@fcyt.umss.edu.bo

Jaime Zambrana Vargas, Universidad Mayor de San Simón, jaimezambranavargas@gmail.com

Gabriela Peña, Universidad Mayor de San Simón, gabrie@kth.se

Sergio Balderrama, Universidad Mayor de San Simón, sbalderrama@doct.uliege.be

Claudia Sánchez, Universidad Mayor de San Simón, sanchez.solis.clau@gmail.com

Alejandro Soto, Universidad Mayor de San Simón, asm19971997@gmail.com

Sylvain Quoilin, KU Leuven, sylvain.quoilin@kuleuven.be

PROPUESTA ACCIONABLE: ELECTRIFICACIÓN RURAL EN BOLIVIA

Miguel Fernández Fuentes, Energética

miguel@energetica.org.bo

Evelyn Cardozo R, Universidad Mayor de San Simón,

evelyncardozo.r@fcyt.umss.edu.bo

Jaime Zambrana Vargas, Universidad Mayor de San Simón

jaimezambranavargas@gmail.com

Gabriela Peña, Universidad Mayor de San Simón gabrie@kth.se

Sergio Balderrama, Universidad Mayor de San Simón

sbalderrama@doct.uliege.be

Claudia Sánchez, Universidad Mayor de San Simón

sanchez.solis.clau@gmail.com

Alejandro Soto, Universidad Mayor de San Simón

asm19971997@gmail.com

Sylvain Quoilin, KU Leuven

sylvain.quoilin@kuleuven.be

Esta propuesta se enfoca en promover el alcance del ODS 7: acceso a energía asequible y no contaminante en Bolivia. La propuesta consta de dos etapas importantes, la primera consiste en la recolección de datos y análisis de la demanda de energía eléctrica, así como de la percepción/visión de las poblaciones con relación al uso de esta; la segunda se centra en el análisis de la información recolectada y en la estimación de costos totales para alcanzar el 100% de cobertura de electricidad en Bolivia.

La recolección de datos de campo, a través de encuestas a hogares que permite recabar la demanda energética y el comportamiento en el uso y consumo de la energía, se realizó en las comunidades de Raqaypampa (Cochabamba) y El Sena (Pando). Las mismas complementaron información obtenida con anterioridad de El Espino (Santa Cruz) y Toconao (Altiplano, frontera con Chile). El Instituto de Investigaciones en Ciencias Sociales (INCISO), Energética y el Centro de Investigaciones en Energía (CIE), basados en la información recabada e información secundaria, determinaron cuál es la composición estándar de un pueblo rural en Bolivia. Con esta información y el programa de generación de curvas de demanda RAMP, se crearon las demandas para poblaciones en las zonas bajas y altas de Bolivia. Esta información y otros datos tecno-económicos fueron usados para poder crear una base de datos con diferentes tecnologías aisladas para electrificación.

Al definir las demandas de poblaciones rurales y urbanas de Bolivia, se pudo calcular el costo de electrificar al 100% la población de Bolivia. El costo para cubrir las poblaciones aisladas y dispersas que todavía está sin electricidad es de 587 millones de dólares, cubriendo a 273 mil familias de áreas rurales. Dado que la población urbana crece sustancialmente cada año, es difícil estimar el costo total de dar electricidad a todos, pero la inversión promedio está estimado en USD 1.174 por hogar.

Cómo citar

Fernández F., M., Cardozo R., E., Zambrana V., J., *et.al.*, 2020. Propuestas Accionables: Electrificación rural en Bolivia. La Paz: SDSN Bolivia. Disponible en: www.sdsnbolivia.org/Atlas/Estudios



SDSN Bolivia

El objetivo principal de SDSN Bolivia es promover visiones y soluciones sostenibles para el desarrollo a largo plazo en Bolivia. SDSN Bolivia es co-auspiciada por la Universidad Privada Boliviana (UPB) y la Fundación SOLYDES. Las dos instituciones ofrecen financiamiento, infraestructura y personal para las operaciones básicas de la Red.

Datos de contacto en Bolivia

Dirección:

Obrajes, Av. Hernando Siles N° 5080, esq. Calle 5.

Edificio Postgrado UPB, Piso 4.

La Paz, Bolivia.

Página web: www.sdsnbolivia.org

Facebook: SDSNBolivia

Twitter: SDSNBolivia

YouTube: SDSN Bolivia

Instagram: sdsnbol

E-mail: info@sdsnbolivia.org

Teléfono: +591(2)217 0000, Int. 340



Introducción

Los 17 Objetivos del Desarrollo Sostenible, acordados por la Conferencia de Naciones Unidas en la reunión de Rio de 2012, marcan los compromisos internacionales para erradicar la pobreza y mejorar la calidad de vida en el planeta (UNDP, 2018); entre ellos, el objetivo de desarrollo sostenible número siete (ODS 7) determina que al año 2030 todos los habitantes del planeta deberían tener acceso a energía limpia y segura. En ese contexto, el Acceso Universal a la Energía y sus implicaciones con el resto de los ODS, hacen que su cumplimiento sea estratégico para generar sinergias y potenciar otros logros, sociales, económicos, de salud, educación y ambientales.

Los beneficios provenientes del acceso a la energía en áreas rurales como recurso para mejorar la calidad de vida han sido ampliamente documentados en la región, tanto para proyectos de electrificación rural con redes (Jimenez, 2017), como aquellos que promueven energías renovables de aplicación descentralizada en diferentes países como Argentina (Scmukler & Garrido, 2016), Bolivia (Fernandez F., 2010), Perú (Arraiz & Calero, 2015), entre otros.

En la Agenda Patriótica 2025, presentada en 2013, el gobierno nacional estableció una meta para alcanzar el 100% de la tasa de electrificación para 2025, en línea con el ODS 7, para lo cual se requiere una estrategia nacional para guiar las necesidades de inversión. Según los últimos datos del Banco Mundial, en 2018 el 95.6% de la población tenía acceso a electricidad. Sin embargo, la población que todavía no tiene acceso es dispersa y se encuentra lejos de la red eléctrica principal, por lo que el costo de conectarlos es elevado.

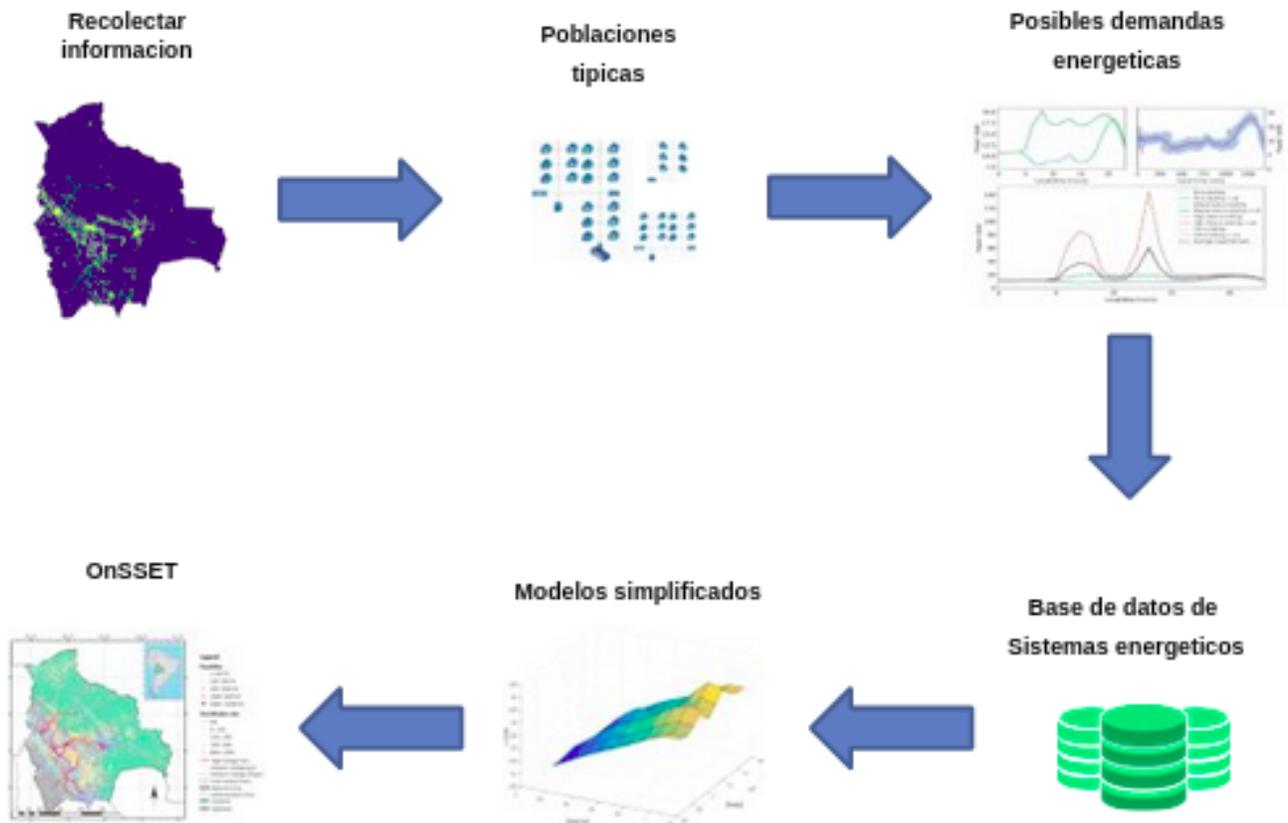
Metodología

La complejidad geográfica de Bolivia y las diversas necesidades de la población implican la selección de alternativas de electrificación con base en los siguientes hechos:

- La densificación o expansión de la red principal es el método más recomendado, debido a su menor costo.
- Las microrredes ofrecen una alternativa atractiva para poder satisfacer la demanda energética en zonas fuera del alcance de la red principal, pero con alta densidad poblacional.
- Los sistemas de paneles fotovoltaicos son la alternativa más viable para satisfacer las demandas básicas en zonas con densidad poblacional muy baja.

Lograr un 100 % de cobertura a nivel nacional es una tarea compleja, ya que se necesita información específica para realizar la planificación. En este trabajo nos basamos en la metodología que se muestra en el Gráfico 1. De manera resumida, el trabajo se enfocará en caracterizar las poblaciones típicas de Bolivia, para luego generar escenarios de demanda, disponibilidad de energía solar y otras características que permitan utilizar modelos simplificados. Finalmente, se usará el modelo OnSSET para calcular el costo de lograr 100% de cobertura eléctrica en Bolivia.

Gráfico 1: Diagrama de flujo de la metodología propuesta



Fuente: Elaboración propia con base en la metodología presentada en (Peña Balderrama et al., 2020).

Recolección de información

Los siguientes datos fueron extraídos del Censo Nacional de Población y Vivienda de Bolivia de 2012 (datos georreferenciados):

- Número de hogares
- Estado de electrificación
- Fuente de electricidad (red, mini red, panel fotovoltaico, generador diésel)
- Ubicación geográfica de 19.280 comunidades (“Cobertura del Servicio Eléctrico a Nivel Comunidades” Censo 2012).

Se diferenciaron zonas rurales y urbanas. La mayoría de las zonas pobladas, pero sin acceso a la electricidad se concentran en las áreas rurales. Es por ello por lo que se recabó información sobre la demanda energética en estas zonas, primeramente, con encuestas aplicadas en dos comunidades previas al estudio: Toconao (Altiplano, frontera con Chile) y El Espino (Chaco, en Santa Cruz). Adicionalmente, se realizaron dos encuestas a las poblaciones de Raqaypampa (Valle de Mizque en Cochabamba) y El Sena (Amazonia en Pando). Las encuestas se realizaron con el fin de tener una noción sobre los hábitos de consumo eléctrico, los equipos eléctricos que usa cada familia y algunas percepciones sociales sobre cuánta energía eléctrica requieren. La información de la demanda de electricidad en zonas urbanas estuvo basada en estadísticas nacionales (Autoridad de Fiscalización y control Social de Electricidad, 2015). Por otro lado, para complementar la demanda en cada comunidad, se recopiló la demanda de electricidad de las instituciones comunitarias (centros de educación y salud) y de los servicios públicos (alumbrado público).

Basado en la información obtenida de encuestas en comunidades en cuatro regiones muy diferentes, fue posible crear poblaciones típicas compuestas por personas con ingresos altos y bajos, un colegio, un centro de salud, iluminación pública y una iglesia. En la Tabla 1 se encuentran los artefactos típicos de cada una de las clases definidas de tres regiones de Bolivia (Amazonas, Tierras altas y Chaco). La cantidad de equipos en cada uno de los hogares típicos representan la cantidad esperada de estos, tomando en cuenta una cantidad que permita limitar la pobreza energética de los pobladores. En las encuestas, y por la experiencia de los autores, se sabe que probablemente muchos hogares tendrán una menor cantidad de equipos, pero realizar una planificación sin tomar en cuenta la mínima cantidad de energía necesaria para llevar una vida decente puede llevar a frustración y desconfianza de estas comunidades marginadas.

Se usó un modelo de generación de curvas de carga (RAMP) ideado para la estimación de la demanda energética en comunidades rurales (Lombardi et al., 2019). La idea básica del modelo es la simulación de los aparatos que usan electricidad en una casa u otro tipo de entidades existentes en una comunidad. Para esto toma la potencia nominal de un electrodoméstico, periodos de uso, ciclos de trabajo entre otros. Finalmente, genera las curvas de demanda recreando el uso de los equipos durante el día.

Tabla 1: Equipos eléctricos en las tres zonas de Bolivia

Equipo	IA tierras altas	IB tierras altas	IA Chaco	IB Chaco	IA amazonas	IB amazonas
Foco interno	6	2	6	2	3	3
Foco externo	2	1	2	1	2	2
TV	2	1	2	1	1	1
Radio	1	1	0	0	0	0
Cargador de celular	4	1	0	1	2	2
Refrigerador	1	0	0	0	1	1
Laptop	1	0	1	0	0	0
Plancha	1	1	0	0	0	0
DVD	0	0	1	1	0	0
Antena	0	0	1	1	0	0
Batidora	0	0	1	0	1	1
Ventilador	0	0	1	0	1	1

Fuente: Elaboración propia

Cálculo del costo de electrificación para Bolivia

Se aplicó el modelo OnSSET para calcular el costo total de electrificación de Bolivia (Peña et al., 2020).

En Bolivia, la extensión y densificación de la red ha sido el principal método para la electrificación de la población en el periodo 2012 al 2019, por esta razón se usó el algoritmo de extensión de red OnSSET (Mentis et al., 2017). Para esto se usan las líneas de mediano y alto voltaje construidas hasta la fecha y se procederá a electrificar a todas las poblaciones a una distancia menor a 50 km de estas líneas, hasta alcanzar el 92% de la población. A continuación, se utilizan los modelos simplificados para estimar los costos de electrificar a las poblaciones entre 40 y 560 hogares con microrredes. Finalmente, se dota al resto de comunidades con sistemas fotovoltaicos y baterías estimándose también la inversión necesaria. Con las tecnologías definidas, se procede a calcular las potencias instaladas y otros indicadores de interés.

Los parámetros tecno-económicos más relevantes para realizar los cálculos son mostrados en las Tablas 2, 3 y 4.

Tabla 2: Parámetros mutables de costos para la creación de la base de datos

Parámetro	Unidad	Rango
Costo unitario Panel Fotovoltaico	USD/kW	1000 - 2000
Costo unitario Batería	USD/kWh	400 - 600
Costo unitario Generador de diésel	USD/kW	1000 - 2000
Costo de diésel	USD/l	0,10 - 2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3: Parámetros tecno-económicos para los sistemas aislados

Parámetro	Unidades	Sistemas híbridos	Sistema hogares
Precio del diésel	US\$/litro	0,53	-
Costo de inversión de las baterías	US\$/kWh	500	700
Costo de inversión de los PV	US\$/kW	1.250	1.500
Costo de inversión de los generadores	US\$/kW	1.480	1.480
Probabilidad de pérdida de carga	%	0	1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4: Parámetros tecno-económicos para la red interconectada

Parámetro	Unidades	Valores
Perdidas de la red	%	18,3
Distancia de la red de Medio voltaje	km	50
Costo de línea alto voltaje (115 kV)	US\$/km	117.000
Costo de línea alto voltaje (69 kV)	US\$/km	99.000
Costo de línea medio voltaje (33 kV)	US\$/km	9.000
Costo de línea de bajo voltaje (0.24 kV)	US\$/km	5.000
Transformadores (50 kVA)	US\$	3.500
Max nodos por transformador	nodos	300
Subestación (400 kVA)	US\$	10.000
Subestación (1000 kVA)	US\$	25.000
Costo de conectarse a la red	US\$/hogares	150

Fuente: Elaboración propia



Resultados

Debido a la gran cantidad de información procesada, solamente los resultados más relevantes son expuestos en este documento. El resto de la información y herramientas necesarias para reproducir esta investigación serán puestas a disposición del público al finalizar el proyecto en el siguiente repositorio: https://github.com/CIE-UMSS/SDSN_PROJECT_2019.

Optimización y dimensionamiento de sistemas

En la Tabla 5 se muestran los resultados promedio de los procesos de dimensionamiento. Para los sistemas de PV para hogares se usó un modelo estándar de 100 W por unidad para poder abastecer la energía requerida por los habitantes de un hogar en las zonas rurales de Bolivia. Esto tiene un costo aproximado de 1.000 dólares. En otra fase, o si el usuario así lo requiera, se podría integrar nuevos equipos ya sea separados del sistema principal o unirlos añadiendo más capacidad. Esto se hace de esta manera porque abastecer toda la demanda en un sistema distribuido puede elevar el costo a más de 5.000 dólares por unidad.

Tabla 5: Valores promedio de los resultados de las optimizaciones

Equipo	Microred híbrida Tierras altas	Microred híbrida Amazonas	Microred híbrida Chaco
Costo promedio de la energía (USD/kWh)	0.25	0.27	0.27
Capacidad instalada del generador de diésel (kW)	60	18	36
Capacidad instalada del PV (kW)	212	132	132
Capacidad instalada de las baterías (kWh)	476	206	205
Penetración de energía renovable (%)	63	59	59

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6: Valores promedio de los resultados de las optimizaciones

Tecnología	Resultados de electrificación			
	Población electrificada 2012- 2025	Costos de inversión, millones US\$	Nueva capacidad, MW	Costo capital promedio, US\$/hogar
Extensión de red	3.149.932	1.027	262	1.174
Mini red híbrida	565.074	479	72	2.898
Hogar PV	368.677	108	11	1.000
Total	4.083.683	1.614	345	--

Fuente: Elaboración propia

Resultados de la electrificación

El costo de inversión necesario para poder electrificar a Bolivia al 100 % se divide en 2 (Tabla 6).

Alrededor de 1.027 millones de USD para la extensión de la red y 587 millones de USD para dotar a las poblaciones aisladas con electricidad a través de microrredes o sistemas PV individuales.

Es posible que la primera parte ya haya sido invertida, ya que los últimos informes apuntan a un rango entre 88 a 92 % de cobertura por la red. Sin una nueva planificación de líneas de alta tensión, es muy difícil que esta tecnología logre cubrir una cantidad significativa de personas en un futuro próximo. Debido a la dificultad de hacer seguimiento a la multitud de proyectos realizados en todo el país, es difícil calcular una cantidad exacta de inversión realizada hasta la fecha.

El costo total es elevado, pero está en línea con lo calculado por el Viceministerio de Electricidad y Energías Alternativas de alrededor 1.976 millones de USD (Ministerio de hidrocarburos y energía, 2014). Las cantidades son próximas, pero es difícil comparar ambos costos sin tener el detalle de las hipótesis asumidas por las personas que realizaron los cálculos. Aun así, podemos concluir que ambos están en el rango de valores esperados para este tipo de tecnologías.

Conclusiones

Lograr 100% de electrificación significaría una inversión importante. Sin embargo, hoy en día la inversión de alrededor de 587 millones de dólares para dar electricidad a estas comunidades es una cantidad accesible para un país como Bolivia. Una parte significativa ya ha sido invertida, llegando a cerca del 95% de la población. A pesar de esto, existen más de 8.000 comunidades que no han sido alcanzadas por la red, que representan 273 mil familias. De este universo sin acceso a la electricidad, la población más vulnerable son 108 mil familias rurales aisladas, que sin duda tienen sistemas fotovoltaicos individuales como la mejor opción técnico-económica.

La barrera más significativa es la capacidad de Bolivia para ejecutar los proyectos necesarios para cerrar la brecha. Es importante continuar con la formación de personal técnico y administrativo que sea capaz de diseñar y ejecutar este tipo de proyectos con suma urgencia. Asimismo, es necesario conformar alianzas estratégicas entre diferentes organizaciones y fortalecer el marco institucional, considerando que la cuestión energética para la población aislada constituye un desafío técnico-económico y de gestión, radicalmente diferente de los sistemas convencionales, en términos de densidad, estructura y prácticas de regulación y gestión.

Propuestas accionables

Las propuestas accionables en el marco de los resultados del presente proyecto se enfocan en tareas que pueden ser promovidas a través de los miembros de SDSN en distintos niveles organizacionales; sean municipios, departamentos o el país en conjunto. Estas tareas deben enfocarse en alcanzar el cumplimiento del ODS 7 para Bolivia, si bien este trabajo presenta un estimado al 92% de cobertura de acceso a electricidad que debe ser la base de la toma de decisiones a nivel gubernamental, es importante e imprescindible la planificación y la determinación del costo exacto a nivel de municipio para lograr el 100% de cobertura. Por tanto, las siguientes tareas pueden promover lo mencionado:

Realizar 9 talleres, uno en cada departamento del país con los siguientes objetivos:

- Mostrar los resultados desagregados por Departamento y Municipio a efecto de provocar acciones que aceleren el cierre de la brecha en el acceso universal a la electricidad, considerando las limitaciones actuales que supone el no acceso a la electricidad.
- Capacitar en aspectos de planificación energética básica a autoridades municipales, departamentales y del gobierno central, para la construcción participativa de una política energética adecuada, con participación de la población objetivo.
- Establecer un plan de cierre de la brecha de acceso universal a la energía eléctrica, con un detalle de los costos aproximados requeridos para dicho cometido.

Estos talleres podrían ser parte de una acción coordinada con la promoción de otros ODS, lo que permitiría crear sinergias institucionales y mayor focalización en el trabajo de promoción.

- Desarrollar una herramienta simplificada, con el apoyo de SDSN, para la planificación energética a nivel municipal, que permita formular políticas energéticas y estrategias apropiadas para alcanzar el ODS 7. Posteriormente, brindar asistencia técnica y asesoramiento a 20 municipios en la aplicación de esta herramienta de planificación energética que permita la toma de decisiones al respecto de la implementación de proyectos que lleven a un acceso universal a la energía eléctrica, priorizando las poblaciones más dispersas de Bolivia.
 - Estandarizar un paquete modular de soluciones para las poblaciones más dispersas, para que tengan acceso a energía eléctrica, empleando tecnologías y mecanismos de gestión adecuados al contexto, que involucren de manera proporcionada al sector público, privado y la población beneficiaria.
 - Desarrollar material audiovisual que permita sensibilizar a la sociedad en general, respecto a la importancia del acceso universal a la energía eléctrica en poblaciones aisladas y dispersas y la relevancia de la planificación energética.



Referencias

- Arraiz, I., & Calero, C. (2015). From Candles to Light: The Impact of Rural Electrification. Inter-American Development Bank.
- Autoridad de Fiscalización y control Social de Electricidad. (2015). Memoria estadística 2015.
- Balderrama, S., Lombardi F., Stevanato N., Pena G., Colombo E., Howells M., Quoilin S. (2020). Surrogate models for energy planning: Application to Bolivian lowlands isolated communities. Energy, On Press
- Banco Mundial (2018). Acceso a la electricidad (% de población): <https://datos.bancomundial.org/indicador/EG.ELC.ACCS.ZS?locations=ZJ>
- Catálogo GeoBolivia - GeoBolivia. (n.d.). Retrieved October 9, 2019, from <https://geo.gob.bo/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/3f73d133-031c-4ed2-a7c3-e4569f03c5a6>.
- CEPAL (2017). Avances en Materia de Energías Sostenibles en America Latina y el Caribe. Resultados del Marco de Seguimiento Mundial, informe 2017. Unidad de Recursos Naturales y Energía. Santiago de Chile: Naciones Unidas.
- Cobertura del Servicio Eléctrico a Nivel Comunidades Censo 2012 — Explora Mapas - example.com. (n.d.). Retrieved October 9, 2019, from <http://sigvmeea.minenergias.gob.bo/maps/73>
- Feres, J. C., & Mancero, X. (n.d.). El método de las necesidades básicas insatisfechas (NBI) y sus aplicaciones en América Latina.
- Fernandez F, M. H. (2010). Rol e impacto socioeconómico de las energías renovables en Bolivia. La Paz, Bolivia: CEDLA.
- Jimenez, R. (2017). Development Effects of Rural Electrification. Inter-American Development Bank, Infrastructure and Energy Sector. Inter-American Development Bank.
- Lombardi, F., Balderrama, S., Quoilin, S., & Colombo, E. (2019). Generating high-resolution multi-energy load profiles for remote areas with an open-source stochastic model. Energy. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.04.097>
- Mandelli, S., Merlo, M., & Colombo, E. (2016). Novel procedure to formulate load profiles for off-grid rural areas. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2016.01.005>
- Mentis, D., Howells, M., Rogner, H., Korkovelos, A., Arderne, C., Zepeda, E., . . . Scholtz, E. (2017). Lighting the World: the first application of an open source, spatial electrification tool (OnSSET) on Sub-Saharan Africa. Environmental Research Letters, 12(8). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa7b29>
- Ministerio de Hidrocarburos y Energía (2014). "Plan Eléctrico del Estado Plurinacional de Bolivia 2015-2025," Ministerio de Hidrocarburos y Energía, La Paz, Bolivia.
- Peña G., Balderrama, S., Lombardi F., Stevanato N., Sahlberg, A., Howells M., Colombo, E., Quoilin S. (2020). Incorporating high-resolution demand and techno-economic optimization to evaluate micro-grids into the Open Source Spatial Electrification Tool. Energy for Sustainable Development. On press.
- Scmukler, M., & Garrido, S. (2016). ELECTRIFICACIÓN RURAL EN ARGENTINA. ADECUACIÓN SOCIO-TÉCNICA DEL PROGRAMA PERMER EN LA PROVINCIA DE JUJUY. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (págs. Vol 20, pp 12.65 - 12.75). Buenos Aires, Argentina: ASADES.
- UNDP (2018). www.undp.org. Obtenido de Objetivos de Desarrollo Sostenible: <http://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>



SDSN

Bolivia