



Cláusula de cesión de derecho de publicación de tesis/monografía

Yo Carolina Eugenia Cavedo Auzá C.I. 40342076D
autor/a de la tesis titulada

La eficiencia Económica, social y ambiental en la producción de energía fotovoltaica con relación a la energía hidráulica de la mega represa Bela-Chapala
mediante el presente documento dejo constancia de que la obra es de mi exclusiva autoría y producción, que la he elaborado para cumplir con uno de los requisitos previos para la obtención del título de

Magister en Cooperación en Proyectos de Desarrollo
.....
.....

En la Universidad Andina Simón Bolívar, Sede académica La Paz.

1. Cedo a la Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Académica La Paz, los derechos exclusivos de reproducción, comunicación pública, distribución y divulgación a partir de la fecha de defensa de grado, pudiendo, por lo tanto, la Universidad utilizar y usar esta obra por cualquier medio conocido o por conocer, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico. Esta autorización incluye la reproducción total o parcial en formato virtual, electrónico, digital u óptico, como usos en red local y en internet.
2. Declaro que en caso de presentarse cualquier reclamo de parte de terceros respecto de los derechos de autor/a de la obra antes referida, yo asumiré toda responsabilidad frente a terceros y a la Universidad.
3. En esta fecha entrego a la Secretaría Adjunta a la Secretaria General sede Académica La Paz, los tres ejemplares respectivos y sus anexos en formato impreso y digital o electrónico.

Fecha. 07/7/2019.....

Firma: .....

UNIVERSIDAD ANDINA SIMÓN BOLÍVAR

**MAESTRÍA: GERENCIA EN PROYECTOS DE
DESARROLLO**



UASB

**Universidad Andina
Simón Bolívar**

ORGANISMO ACADÉMICO DE LA COMUNIDAD ANDINA

**“LA EFICIENCIA ECONÓMICA, SOCIAL Y AMBIENTAL EN LA
PRODUCCIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA CON RELACIÓN
A LA ENERGÍA HIDRÁULICA DE LA MEGA REPRESA BALA-
CHEPETE”**

Tesis de Grado

Presentada para la obtención del grado de

MAESTRÍA GERENCIA EN PROYECTOS DE DESARROLLO

Presentado por: Lic. Carolina Quevedo Auza

Tutor: Dr. Alberto Bonadona Cossio

LA PAZ-BOLIVIA

2019

Contenido

Contenido.....	3
Resumen.....	6
Capítulo I	9
1.1 Introducción	9
1.2 Antecedentes	11
1.3 Presentación del Problema.....	13
1.4 Justificación	16
1.5 Objeto de Estudio.....	21
1.6 Delimitación.....	21
1.6.1 Delimitación Temática	21
1.6.2 Delimitación Geográfica	21
1.6.3 Delimitación Temporal	22
1.7 Objetivo General.....	23
1.8 Objetivos Específicos:	23
1.9 Hipótesis	23
Capítulo II.....	24
2.1 Marco Teórico.....	24
2.1.1 Historia de la Energía Fotovoltaica.....	24
2.1.2 El funcionamiento de una central fotovoltaica y sus componentes	25
2.1.2.1 Paneles solares.....	26
2.1.2.2 Soporte de Estructura.....	27
2.1.2.3 Inversores.....	27
2.1.2.4 Sistema de monitoreo	27
2.1.3 Las ventajas de utilizar sistemas fotovoltaicos	28

2.1.4 La energía fotovoltaica a nivel mundial	31
2.1.5 Investigaciones de proyectos fotovoltaicos en América Latina	32
2.2 Estado del Arte.....	34
2.2.1 La Estructura Energética del Cono Sur	34
2.2.2 La Situación de Bolivia con respecto al potencial fotovoltaico	38
2.2.3 El desarrollo de la energía fotovoltaica en Bolivia	47
2.2.4 Investigaciones sobre las plantas fotovoltaicas	50
2.2.5 Impactos sociales y ambientales de las centrales fotovoltaicas	52
2.2.6 Impactos sociales y ambientales de la Represa Bala-Chepete	53
2.3 Metodología	59
2.4 Presentación de Resultados.....	64
Capítulo III.....	79
3.1 Conclusiones	79
Capítulo IV.....	83
4.1 Recomendaciones	83
Operacionalización de Variables	84
Bibliografía	85
Anexo.....	90

Lista de Gráficos

Gráfico 1: Consumo de Energía Per Cápita en América Latina	16
Gráfico 2: Hidroeléctricas en Brasil y Bolivia.....	18
Gráfico 3: Soportes con eje doble y simple	27
Gráfico 4: Disminución del costo de los sistemas solares por insumo	29

Gráfico 5: Irradiación global horizontal de Bolivia.....	40
Gráfico 6: Irradiación global horizontal de Alemania	41
Gráfico 7: Comparación de la potencia solar instalada entre Chile y Bolivia	43
Gráfico 8: Consumo de Energía en Centrales Eléctricas por Fuente Energética.....	46
Gráfico 9: Mapa de Radiación solar media anual de Bolivia	64
Gráfico 10: Radiación solar media mensual de Bolivia.....	65
Gráfico 11: Mapa de las Áreas Protegidas de Interés Nacional.....	66
Gráfico 12: Mapa de Áreas Protegidas de Bolivia.....	67
Gráfico 13: Mapa de ubicación geográfica de las plantas fotovoltaicas mediante Google Earth.	69

Lista de Tablas

Tabla 1: Hidroeléctricas en Brasil y Bolivia.....	19
Tabla 2: Ponderación de Potencia Instalada del Cono Sur por región.....	34
Tabla 3: Desagregación de fuentes energéticas por país pertenecientes al Cono Sur para el 2017	35
Tabla 4: Potencia Instalada del Cono Sur por fuente energética	37
Tabla 5: Potencia Instalada de Bolivia por recurso energético para el 2017	38
Tabla 6: Promedio de radiación horizontal, generación media diaria y producción anual por regiones.....	39
Tabla 7: Costo de electricidad por fuente energética.....	44
Tabla 8: Características de la Planta Fotovoltaica Oruro Fase 1	60
Tabla 9: Características de la Planta Fotovoltaica propuesta por Zaratti.....	61
Tabla 10: Ubicación geográfica de las diez plantas fotovoltaicas en coordenadas	68
Tabla 11: Resultados de la estimación de la Planta Fotovoltaica	70

Tabla 12: Comparación de indicadores entre Bala-Chepete y planta fotovoltaica.....	71
Tabla 13: Análisis de escenarios por interés de préstamo para la Planta Fotovoltaica.....	73
Tabla 14: Escala de Impactos ambientales y sociales de la matriz:.....	76
Tabla 15: Matriz de Impactos Sociales y Ambientales de los proyectos.....	78

Lista de Gráficos en Anexo

Gráfico A 1: Reservas de Gas Natural.....	90
Gráfico A 2: Proyectos de energía solar en Bolivia.....	90
Gráfico A 3: Clasificación de Centrales Hidroeléctricas de los Estados Unidos de América y Europa.....	91
Gráfico A 4: Oferta y Demanda de Energía MW- Gestión 2017	92
Gráfico A 5: Número de personas afectadas de manera colindante a la represa Chepete 400.....	93
Gráfico A 6: Número de personas que estarán afectadas dentro del embalse Chepete 400	94
Gráfico A 7: Número de personas colindantes con la represa Bala 220.....	95
Gráfico A 8: Número de personas afectadas dentro del embalse por la represa Bala 220	95

Resumen

Bolivia está realizando una transformación significativa a su matriz energética. Por tal razón, el gobierno a través del Ministerio de Energía e Hidrocarburos decidió realizar numerosas hidroeléctricas en la Amazonía boliviana. El objetivo expresado es convertir a la nación en el corazón energético del Cono Sur y así exportar la energía producida a distintos países fronterizos entre los cuales se encuentra Brasil. Sin embargo, debido al gran tamaño de las represas se desarrolló una discusión en la población acerca de los impactos que se generarían en los aspectos ambientales, sociales y económicos.

Con el propósito de proponer una alternativa que mitigue los costos, la investigación se centra en presentar un proyecto fotovoltaico que sustituya a una de las mega represas incorporadas en el plan energético gubernamental denominado Bala Chepete. La propuesta tiene la misma potencia instalada pero con menores impactos ambientales y sociales que aquellos asociados con el embalse. Para desarrollar este estudio se realizó un análisis extensivo de las características técnicas que debería poseer la central solar. Se toma en cuenta ciertos requisitos para que ambos sean comparables entre sí. Tomando esto en cuenta, se realiza una evaluación de los beneficios y limitaciones de los dos proyectos desde perspectivas económicas, sociales y ambientales utilizando indicadores categorizados bajo los tres criterios mencionados.

Los parámetros económicos toman en cuenta: la inversión, precio de energía por MW, costo de energía, producción anual, costos de operación y potencia. Los resultados de éstos demostraron que la propuesta fotovoltaica presentaba una mayor inversión que la hidroeléctrica. Sin embargo, el resultado de los demás indicadores económicos concluía que el proyecto a base de paneles solares es más beneficioso que la represa. Esto se debe porque el primero presenta menores gastos de producción y operación lo cual conlleva a que el proyecto resulte ser competitivo dentro las subastas energéticas de Brasil. El costo de producción por MW de la central fotovoltaica es menor a los últimos precios de proyectos energéticos renovables licitados por el gobierno brasileño, lo que permite ser una alternativa que presente utilidad en el tiempo. También se consideró el precio de la hidroeléctrica Jirau como punto de referencia para comparar el margen de ganancias con respecto a las centrales analizadas por ser una represa con una potencia instalada similar a los proyectos comparados en la investigación y ser una instalación que alimenta el sistema interconectado del Brasil.

En cuanto a los resultados ambientales y sociales, se determinó que las plantas fotovoltaicas logran mitigar de forma exitosa el impacto directo e indirecto que se tiene hacia la mayor parte de la fauna, flora y habitantes del lugar debido a la ubicación desértica que posee. En contraparte, la mega represa tiene mayores grados de repercusión por estar ubicada entre el Parque Nacional y Área Nacional de Manejo Integra Madidi y la Reserva Biosfera de la Tierra Comunitaria Origen Pílon Lajas. Estos lugares además de ser áreas protegidas tienen un alto nivel de importancia nacional e internacional por la diversidad de fauna y flora endémica que posee estos territorios. Por tanto, el hecho de construir un embalse de gran magnitud impactaría de manera significativa los ecosistemas presentes. En ese mismo sentido significa que numerosas personas nativas experimentarían daños importantes por depender íntimamente del ambiente que los rodea. De igual manera, se perderá un gran valor cultural e histórico ya que estos ambientes poseen objetos arqueológicos.

Considerando el resultado del indicador de impacto medioambiental por especies ha demostrado que el proyecto Bala Chepete afectará a 106 especies de fauna y 377 de flora. En contraparte, el proyecto a base de energía solar afectará a una especie animal y cuatro de flora. Esto se debe a que el primero está situado en un ambiente amazónico mientras que el segundo está en uno desértico. Consecuentemente el impacto puede ser aún más severo tomando en cuenta que la hidroeléctrica colinda con otras áreas protegidas mientras que el proyecto fotovoltaico optimiza su ubicación sin tener repercusiones para los seres vivos.

Dentro del análisis de esta categoría también se añadió el estudio de la matriz de impacto ambiental. Los resultados obtenidos reflejaron que el desarrollo de la central fotovoltaica es menos dañina que la hidroeléctrica Bala-Chepete considerando los impactos sobre factores como ser: fauna, flora, dispersión de partículas, movimiento de tierras y contaminación acústica entre otros.

Palabras Clave: Central fotovoltaica, central hidroeléctrica, precio por MW, costo por MW, potencia instalada, matriz de impacto medioambiental, área de ocupación, personas desplazadas, áreas protegidas, emisión de metano, inversión, utilidad por MW, subasta energética e impacto de flora y fauna.

Capítulo I

1.1 Introducción

A partir de la época de la Revolución Industrial, la magnitud de explotación y producción de bienes como de servicios son de escala exponencial. Esto provoca repercusiones negativas desde un aspecto medioambiental como ser el decrecimiento de la calidad del aire, agua y cambios drásticos de la temperatura. Si bien este progreso mejora la calidad de vida de las poblaciones y aumenta el crecimiento económico, también desencadena un desbalance en la tasa de resiliencia de los recursos naturales. Por ende esto afecta no solo en la supervivencia de las especies animales sino también de los seres humanos.

En ese sentido los países trabajan de forma constante para proponer parámetros que ayuden a mitigar dichos impactos y mejorar el sistema de producción. Estas pautas¹ de guía ayudan a proponer objetivos que conlleven un desarrollo económico sostenible para garantizar la calidad de vida de futuras generaciones como la supervivencia de flora y fauna del planeta (Biodiversidad Mexicana , 2016).

Uno de los objetivos establecidos dentro de la Cumbre del Clima es evitar que la temperatura global incremente 2 grados centígrados (México 2010). Una de las soluciones innovadoras que permite que esto se cumpla es la utilización de la energía renovable. La transformación de la matriz energética de las naciones modifica la manera de producir bienes de forma más amigable al medioambiente y evita emitir gases de efecto invernadero (GEI) (El Tiempo , 2015). En ese mismo sentido varios países han realizado cierto grado de cambio en su matriz energética. Los países que se destacaron en producir centrales a partir de fuentes renovables son Alemania, Francia y Reino Unido (El Economista, 2015). En América Latina se destacan Chile, México, Honduras y Perú por la cantidad de potencia instalada que tienen (Fundación Solón B, 2017) (Observatorio Boliviano de Cambio Climático y Desarrollo , 2017).

¹ Estos cambios se hacen evidentes en las conclusiones realizadas en la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (1998-2005) presentados también en el artículos de (Biodiversidad Mexicana , 2016).

Bolivia al igual que otros países ha decidido realizar una transformación de matriz de energética, la cual hace énfasis en utilizar recursos hídricos como principal energía renovable. Sin embargo, este tipo de progreso no es impulsado por razones medioambientales, sino por otras que han tenido un mayor peso dentro del desarrollo económico de la nación. Sin embargo, debido a las escalas y ubicaciones de las represas es que se incurre en costos significativamente altos desde una perspectiva ambiental como social. Por tanto, la investigación propone una distinta fuente de producción energética a partir de la utilización de paneles solares como respuesta alternativa ante la situación boliviana.

Dentro del primer capítulo se detalla los antecedentes que explica la transformación de la matriz energética, presentación del problema, justificación, objetivo general y objetivos específicos de la investigación.

En el capítulo dos se describe el marco teórico, donde se muestra todos los aspectos básicos necesarios para entender el funcionamiento de una central fotovoltaica y los componentes más importantes para su funcionamiento. Además se tiene el desarrollo del Estado del Arte en el cual se pone en contexto la situación energética en la que se encuentra Bolivia en comparación a otras naciones latino americanas, la cantidad de proyectos basados en energía solar, las ventajas y desventajas de generar energía eléctrica a través de hidroeléctricas como de paneles solares. Así mismo se tiene el desarrollo de la metodología y presentación de resultados.

El tercer capítulo se centra en las conclusiones respecto a la comparación de las dos fuentes de energía renovable basadas en indicadores que analizan la perspectiva económica, social y ambiental de cada una.

Finalmente el cuarto capítulo describe las recomendaciones acerca del trabajo de investigación.

1.2 Antecedentes

El contexto histórico y económico de Bolivia demuestra que su estructura de producción se basa principalmente en la extracción de los recursos primarios no renovables. Su explotación es esencialmente de minerales, petróleo y Gas Natural, siendo este último el recurso primordial de extracción durante las últimas décadas para ser exportado a países vecinos como Argentina y Brasil.

Esta actividad es una de las principales para generar ingresos, lo cual conlleva a la vulnerabilidad económica del país por su dependencia a los precios internacionales. Es así que a partir del año 2014² los mismos cayeron vertiginosamente, provocando que la renta se reduzca de la misma manera³. Así mismo, las reservas de Gas Natural⁴ disminuyeron tanto que en Julio 2016 se incumplieron contratos de abastecimiento con Argentina⁵.

Por estas razones, Bolivia decide diversificar sus exportaciones incurriendo en un nuevo rubro de producción que es la exportación de energía eléctrica, con el propósito de convertir a la nación como el corazón energético del Cono Sur. Esta idea es expresada dentro del Plan Energético 2025 mediante el Ministerio de Hidrocarburos y Energía, con el objetivo de obtener una potencia instalada de 1.600MW a 13.382 MW. Para lograr esta meta se proyecta realizar 4 mega proyectos que abarcan las siguientes plantas hidroeléctricas (Fundación Solón A, 2017):

1) Chepete y Bala

² La evolución del promedio anual de los precios internacionales de barriles de petróleo fueron verificados en las fuentes (Datosmacro.com, 2018) y (CME Group , 2017).

³ El precio de venta Argentina en el 2012 era de 11 \$US por millón de BTU, para el 2016 la misma unidad era vendida por menos de 3 \$US tal como se establece en el artículo "Mega hidroeléctricas Exportar y Morir" por la (Fundación Solón A, 2017).

⁴ Dicho decrecimiento de reservas de Gas Natural pueden ser verificadas en el Gráfico 1 de anexos realizado por (Ministerio de Hidrocarburos y Energía , 2015)

⁵ En el mes de Julio del 2016 se debió haber entregado 21,55 millones de metros cúbicos diarios (MMm3/d), sin embargo YPFB entro en promedio 15,40 MMm3/d ya que la producción total alcanzó los 55,08 MMm3/d. De esta cantidad, 12,49 MMm3/d fueron dirigidos a la demanda interna de Bolivia, 27,19 MMm3/3 fueron asignados a Brasil y solo quedaron 15,40 mmM3/d para Argentina, lo cual hubo una brecha de 6,15 MMm3/d que faltaron ser abastecidos para la última nación nombrada. La multa por el incumplimiento de suministro de Gas Natural fue de 2.224.068 \$US según el artículo presentado por la (Fundación Solón A, 2017).

- 2) Complejo hidroeléctrico Rio Grande que abarca Jatun Pampa, Seripon, Cañahuecal, Las Juntas, Ocampo, Peña Blanca, La Pesca y Rositas
- 3) Cachuela Esperanza
- 4) Represa Binacional entre Bolivia y Brasil Rio Madera.

El presidente de la Empresa Nacional de Electricidad (ENDE), Eduardo Paz, informó que se realizarán 35 plantas hidroeléctricas ubicadas principalmente en las regiones de los departamentos de Cochabamba, La Paz, Potosí y Tarija. El monto estimado de inversión para la construcción de las mismas es de 27 mil millones de dólares estadounidenses que se verán concretados para el 2025 (La Razón , 2016).

Cambiar la matriz energética por aquella que esté basada en energías alternativas conlleva resultados positivos las cuales son conservar y cuidar el medio ambiente. Sin embargo, el motivo por el cual Bolivia empezó a realizar inversiones en hidroeléctricas tiene un objetivo más económico que ambientalista, puesto que es necesario encontrar un nuevo motor productivo.

1.3 Presentación del Problema

Normalmente se puede pensar que por utilizar el agua como recurso principal para generar energía es algo positivo para el medio ambiente puesto que está dentro de la categoría de energías renovables y que tienen un impacto mínimo o nulo sobre el ecosistema (Twenergy A, 2018) (Energía Solar, 2018)⁶. Sin embargo para que este tipo de actividad sea sostenible bajo aspectos sociales y ambientales depende mucho de la magnitud de las represas. Las hidroeléctricas solo pueden ser sostenibles dentro de escalas pequeñas, tal como lo hace China puesto que el embalse no abarca mucho espacio de inundación y tiene una potencia instalada de alrededor de 100 MW (Twenergy B, 2018). Aquellas que sobrepasan de este tamaño tienen consecuencias negativas para la naturaleza y los habitantes del lugar.

Las hidroeléctricas Bala-Chepete son dos represas con una inversión de 6.077.922.012,54 USD las cuales trabajan de manera conjunta bajo un sistema de cascada entre ellas (Geodata B, 2016). Éstas están ubicadas dentro de dos áreas biológicamente importantes que son: el Parque Nacional y Reserva Natural Madidi y Reserva de la Biosfera y Tierras Comunitarias de Origen Pilón Lajas. Estos territorios no solo tienen importancia a nivel nacional, sino que son reconocidos por la UNESCO como vital territorio a nivel internacional por ser parte del biocorredor amazónico entre Bolivia y Perú, representando el 60% de la selva tropical del mundo, la cual contiene riqueza invaluable y endémica a nivel forestal como animal⁷ (Centro de Ecología y Pueblos Andinos, 2012). Es un territorio con vasta diversidad biológica, reconocido por ser el “pulmón del mundo” y por regular el clima de Sud América como del mundo en general (Fundación Proteger, International Rivers y ECOAS, 2018).

Estas áreas deben ser protegidas por ser un tesoro biológico a nivel mundial. La vida de numerosas especies animales y vegetales endémicas se verá afectada de manera seria y a pesar de que el proyecto trata de mitigar la agresión contra la fauna acuática con la construcción de un ascensor para los peces del Río Beni que permita que las especies puedan desovar a mayor

⁶ Dentro de las energías renovables están: eólica, solar, hidráulica, biomasa, maremoto y geotérmica.

⁷ Según la información obtenida de la (Centro de Ecología y Pueblos Andinos, 2012) Bolivia es el octavo país a nivel mundial con mayor riqueza biológica, presentando así 4 biomas, 12 ecorregiones y 199 ecosistemas. Además se registran alrededor de 2.600 especies animales silvestres, 1.300 especies de aves, 220 especies de reptiles y cerca de 200 anfibios. En cuanto a flora se tiene el registro de 20.000 especies de plantas superiores y 3.000 especies de plantas medicinales.

altura, no existe ninguna acción que garantice que dichas animales logren transportar sus huevos de manera segura. El Análisis de Información Ambiental, establece que el valor económico de todos los recursos naturales no es precisa debido a la difícil tarea de poner un valor a aquello que tiene diversas funciones medioambientales y posibles beneficios tanto alimenticios como medicinales(Geodata A, 2015).

En términos generales al momento de construir una hidroeléctrica también se producen otro tipo de consecuencias como la proliferación de enfermedades tal el caso del dengue que puede extenderse mediante insectos que contraen esta epidemia al estar expuestos en un ambiente contaminado. Esta propagación viene por la descomposición material que se produce cuando los sedimentos que trae consigo el rio que no fluyen naturalmente debido a la construcción del embalse donde se acumula el recurso natural. Al mismo tiempo, dicho embalse causará una inundación a cierto perímetro de área que estará descompuesto después de un periodo de tiempo. La putrefacción de todo el material provoca que se emitan “gases de efecto invernadero”, entre los cuales se encuentran: metano, fósforo nitrógeno y amoniaco, entre otros (Bonadona, 2018). De todos éstos ya nombrados, el más dañino es el metano por ser hasta 84 veces más contaminante que el dióxido de carbono, creando así un efecto invernadero más acelerado que el actual.

Debido a las características del proyecto Bala Chepete, el daño que se realizará en la capa de ozono será significativo puesto que está planificado realizar dos cotas de embalse, una de 403 m.s.n.m (Chepete) y otra de 220 m.s.n.m (Bala) los cuales provocarán un total de área de inundación de 770 km².

Además las áreas que afectará el proyecto contienen numerosas comunidades nativas. Según los datos proporcionados por los informes realizados por Geodata, la construcción de la represa desplazará a 5.164 personas. El área que abarcará es significativa ya que debe generar 3.676 MW de energía eléctrica. Estas comunidades serán afectadas ya que dependen íntimamente del hábitat en el cual viven para alimentarse. También se determinó que ambos territorios contienen

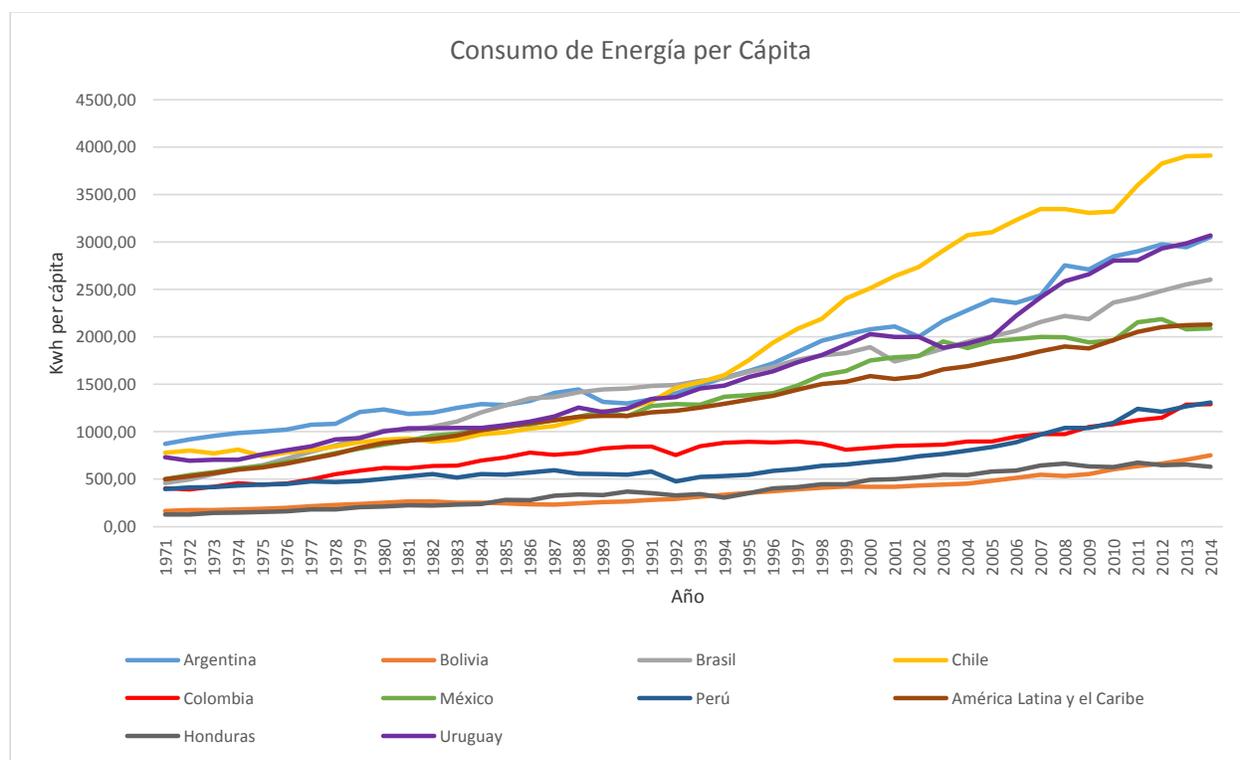
objetos arqueológicos y conocimientos ancestrales que fueron transmitidos por siglos. Todos estos factores son costos sociales muy altos⁸ (Geodata A, 2015).

⁸ Como ejemplo de la capacidad de desplazamiento de personas, en el proyecto Hidroeléctrico Bala y Chepete estima afectar a 5.162 personas por el área de inundación y áreas colindantes con el proyecto, tal como se puede verificar en el informe (Fundación Solón A, 2017).

1.4 Justificación

A nivel mundial se realizan los procesos de transformación de la matriz energética que estén basadas en energías alternativas. Más allá de la justificación ambiental, existen otros factores que son evidencias sólidas por el cual el mundo entero tiene la tendencia en invertir en energías renovables. Uno de estos es el mayor consumo de energía eléctrica de los habitantes, ya que cada individuo demanda mayor energía por el estilo de vida que se tiene actualmente y a su vez la tasa de crecimiento poblacional es ascendiente. Por tanto para establecer un abastecimiento de energía eléctrica para las naciones es necesario producir este tipo de fuente de manera sostenible. Esto puede ser verificado mediante el siguiente análisis de datos provenientes del Banco Mundial.

Gráfico 1: Consumo de Energía Per Cápita en América Latina



Fuente: Elaboración propia con la utilización de los datos del (Banco Mundial , 2019)

El gráfico uno expone los datos del consumo de energía per cápita medido en kilowatt hora de los distintos países seleccionados de Sudamérica, también se muestra el promedio a nivel regional el cual tiene color café. Tal como se puede verificar, la tendencia de todas las naciones

es positiva y en ciertos casos el crecimiento empieza a ser aún más ascendente a medida que pasan los años. Existen ciertos países que demandan más energía que el promedio de la región, uno de ellos es Chile que demandó 1,597.15 Kwh per cápita en el año 1994. Posteriormente viene Argentina y Brasil que consumieron 1,569.67 y 1,564.09 kwh per cápita respectivamente. Estos tres países consumen alrededor de 300 kw hr per cápita más que el que presenta América Latina y el Caribe siendo este último de 1,293.99 kw per cápita.

Estos datos ascienden de forma significativa cuando se observa el indicador para el año 2014, sobre todo para Chile puesto que para dicho periodo se tiene un consumo de 3,911.65 kwh per cápita, el cual a su vez presenta una diferencia significativa con Argentina y Brasil quienes eran naciones que solían tener un consumo similar. Los resultados de estos últimos países son de 3,052.38 y 2,601.37 kwh per cápita respectivamente. La diferencia es aún mayor cuando se compara con el resultado de América Latina y el Caribe, siendo este último de 2,128.82 kwh per cápita.

La evolución de estos datos es importante puesto que refleja la creciente demanda que se tiene en energía eléctrica y el interés a nivel mundial de poder satisfacer esta necesidad de la forma más sustentable. Por tanto, discutir sobre la producción de energía eléctrica puede ser uno de los rubros de mayor interés para Bolivia ya que es y será uno de los bienes más demandados dentro del mercado tal como se presenta en el gráfico. Es de interés nacional analizar las posibilidades que tiene el país para competir dentro de esta actividad económica y las distintas formas de producción que se pueden optar para exportar electricidad de forma más óptima.

Sin embargo este tipo de producción debe velar por tener una estructura sostenible para poder mitigar el mayor número de consecuencias negativas posibles. Es por esta razón que es imprescindible estudiar escenarios que presenten otras fuentes de generación como ser la fotovoltaica para conservar y asignar de la mejor manera los recursos que tiene el país.

Bolivia no es el único país vecino que ha planificado invertir en su matriz energética utilizando el agua como la fuente principal para generar energía, puesto Brasil es un buen ejemplo de este tipo de escenario. Esta última nación construye hidroeléctricas de escalas grande y mediana ubicadas en los mismos ríos que conectan al Rio Beni, mismo afluente donde se ubicarán las represas Bala

y Chapete. La construcción de varios diques con extenso tamaño dentro de un mismo cuerpo de agua, no hace la producción de energía eléctrica sostenible es aspectos ambientales y sociales.

Gráfico 2: Hidroeléctricas en Brasil y Bolivia



Fuente: Mapa extraído de la base de datos de (Fundacion Proteger, Internaitonal Rivers y ECOAS, 2018)

El mapa muestra la base de datos de la página web Dams in Amazonia, el cual tiene el propósito de ubicar e identificar todas las hidroeléctricas que están en condiciones de: planificación, operación, construcción e inventario en toda la Amazonia de Latino América. Esta información fue creada por tres instituciones no gubernamentales llamadas: Fundación Proteger, International Rivers y ECOA. El objetivo de construir esta información tan profunda es para discutir y analizar la sostenibilidad que se tiene al tener un conjunto de hidroeléctricas de gran magnitud a través de los bosques tropicales de américa latina. Estos proyectos son ejecutados de acuerdo a la planificación energética de cada país, sin embargo se debe tomar en cuenta que el impacto acumulado de todas estas estructuras es sobre el medio ambiente es alto por estar ubicados

dentro de los territorios que representa el 60% de la selva tropical del mundo e igualmente ser el hogar para 30 millones de originarios de comunidades.

El gráfico 2 refleja las 30 represas en condición de operación, construcción, planificación e inventarios ubicados en los ríos Mamoré, Beni, Amazonas y Madeira. La selección de los ríos nombrados son aquellos que desembocan en el Rio Beni donde se ubicara el Bala-Chepete. Este tipo de análisis permite observar la inestabilidad ambiental y social que se tiene planificada por parte de Bolivia y Brasil. Las capacidades eléctricas de las represas están expresadas en la siguiente tabla.

Tabla 1: Hidroeléctricas en Brasil y Bolivia

Planificadas			
Bolivia		Brasil	
Nombre	Capacidad eléctrica (Mw)	Nombre	Capacidad eléctrica (Mw)
Rositas	400	Cachueira Formosa	12
San José	127	Machadinho I	11
Cóndor Khala (Miguillas)	65	Frieria	20
Pachacala	101		
Chepete	3,251		
Bala	425		
Cachuela Esperanza	990		
Hidroeléctrica Binacional	3,000		
Bolivia-Brasil			
En Operación			
Nombre	Capacidad eléctrica (Mw)	Nombre	Capacidad eléctrica (Mw)
Corani	54	Jirau	3,750
Santa Isabel	93	Santo Antônio	3,568
Yanacachi Norte	51	Samuel	216
Chojlla	37	Salto Buriti	10
		Salto Curuá	30
		Salto Tres de Maio	20
		Alto Jatapu	5
En Construcción			
Nombre	Capacidad eléctrica (Mw)	Nombre	Capacidad eléctrica (Mw)
Misicuni	120	Santa Cruz de Monte Negro	17
		Jameri	20

Fuente: Elaboración propia con datos de (Fundacion Proteger, Internaitonal Rivers y ECOAS, 2018)

Tal como se puede observar los embalses tienen escalas grandes o medianas según la clasificación de represas que se tiene en Estados Unidos y Europa⁹ en el gráfico 3 de Anexos (Fundación Solar, 2013). Si bien todas son alarmantes, crece aún más la preocupación cuando se observa la capacidad eléctrica que poseen algunas obras como ser: Jirau, Santo Antonio, Cachuela Esperanza, Bala, Chepete y Rositas puesto que sus características se las catalogan como mega hidroeléctricas.

Además se debe considerar el hecho que muchos originarios que viven en estas zonas no están de acuerdo con la ejecución de proyectos de esta magnitud. Las personas que viven en la región del Madidi y Pílon Lajas son un claro ejemplo en el cual se expresan mediante manifestaciones y declaraciones en contra de la construcción del Bala-Chepete. De acuerdo con la legislación boliviana, se debe velar primero los derechos y opiniones de los comunarios pertenecientes a estas áreas protegidas antes de llevarse a cabo cualquier acción en favor a los proyectos (Pagina Siete , 2016) (Los Tiempos, 2016). Siendo que su respuesta es adversa a la planificada por el Ministerio de Energía e Hidrocarburos, es necesario analizar otras opciones de fuente eléctrica para Bolivia.

Una alternativa es la utilización de energía a partir de centrales fotovoltaicas. Esta última fuente tiene ventajas competitivas para la nación de acuerdo a la ubicación geográfica y cantidad de radiación solar que recibe durante el año. Analizar un proyecto alternativo al Bala y Chepete con la misma capacidad voltaica, permite reducir daños que se pueden producir cuando se realiza mega hidroeléctricas. Por tanto la finalidad del presente trabajo es comparar un escenario en el cual se pueda optimizar los recursos naturales y económicos que tiene Bolivia analizando las ventajas competitivas que presenta cada fuente de generación eléctrica.

⁹ La tabla con la clasificación realizada para las hidroeléctricas puede observarse dentro de la sección anexos del trabajo proveniente del informe (Fundación Solar, 2013). Se debe tomar en cuenta que 10 Kilowatts son equivalentes a 0.01 Mega watts.

1.5 Objeto de Estudio

El objeto de estudio es analizar la viabilidad económica, ambiental y social de un proyecto fotovoltaico comparativamente capaz de obtener la misma potencia eléctrica instalada que la hidroeléctrica Bala Chepete.

1.6 Delimitación

1.6.1 Delimitación Temática

El objeto de estudio abarcará tres aspectos de análisis. En el ámbito económico, se realizará una estimación de los costos de una central fotovoltaica considerando los gastos de cada componente necesario para su funcionamiento, como ser: paneles solares, baterías, estructuras de soporte, inversores, etc. Esta información es comparada con la estructura de costos del Bala y Chepete, entre los cuales se considera los indicadores tales: inversión, costo de energía por mega watt, producción anual de energía, área total ocupación, precio de venta de energía, costos de operación y costo potencia.

Dentro del ámbito social y ambiental se comparan otro tipo de indicadores entre los cuales están: número de personas desplazadas por cada proyecto, cantidad de metano emitido en el ambiente por producir energía eléctrica, relación de área de ocupación por mega watt de energía eléctrica producido, comparación de la matriz de impacto social y ambiental, número de especies de flora y fauna afectados, número de objetos arqueológicos involucrados y la fronterización del proyecto con otras áreas protegidas de interés internacional.

1.6.2 Delimitación Geográfica

El análisis de las centrales fotovoltaicas está ubicado en el departamento de Potosí puesto que es uno de los lugares que recibe mayor radiación solar en Bolivia. De manera más detallada éstas estarán concentradas a cercanías de los pueblos Catni Catani, Ledezma, Bertani y Chijlla Vinto. En contraparte, el análisis de las represas Bala y Chepete estará ubicadas en el Parque Nacional y Reserva Natural Madidi y Reserva de la Biosfera y Tierras Comunitarias de Origen Pilón Lajas.

1.6.3 Delimitación Temporal

Para el desarrollo de la propuesta de la planta fotovoltaica es necesario entender el proceso de conversión de la luz solar en energía eléctrica. Es así que se estudiará una breve historia del desarrollo de los paneles solares los cuales comienzan desde 1839 hasta el presente. Además se realizará una breve descripción acerca de todos los proyectos solares realizados en Bolivia en la década de los noventa para reflejar el grado de madurez que se tiene respecto a esta tecnología.

La delimitación temporal de las represas Bala y Chepete, están conformados mediante los informes realizados por GEODATA, siendo este último la empresa consultora contratada por la Empresa Nacional de Electricidad (ENDE) para realizar los Estudios de Identificación del proyecto. Dicho contrato fue conformado el 6 de Julio del 2015 y fue ejecutado el 31 del mismo mes. Esta investigación también toma en cuenta los estudios anteriormente realizados por otras empresas consultoras para así conformar una línea base acerca del objeto de estudio.

1.7 Objetivo General

Comprobar si la elección de generar energía eléctrica a partir de la mega represa Bala y Chepete es más eficiente que utilizar paneles fotovoltaicos.

1.8 Objetivos Específicos:

- Explicar la situación energética que tiene actualmente Bolivia con respecto a otros países en el mundo.
- Presentar las ventajas comparativas que tiene Bolivia con la utilización de un proyecto fotovoltaico por características geográficas y radiaciones solares.
- Estimar la inversión del proyecto fotovoltaico de acuerdo a la utilización de componentes necesarios para su funcionamiento.
- Identificar los principales costos sociales y ambientales al realizar grandes estructuras para realizar plantas fotovoltaicas.
- Identificar los principales costos sociales y ambientales al realizar grandes estructuras para realizar la hidroeléctrica Bala-Chepete.
- Comparar ambos proyectos a nivel económico, social y ambiental mediante indicadores.

1.9 Hipótesis

Una central fotovoltaica de la misma capacidad instalada que la mega hidroeléctrica Bala-Chepete es más eficiente en términos económicos, sociales y ambientales.

Capítulo II

2.1 Marco Teórico

2.1.1 Historia de la Energía Fotovoltaica

La energía fotovoltaica comenzó a desarrollarse en 1839 por el físico francés llamado Alexandre-Edmond Becquerel quien creó la base del conocimiento de las células solares. Posteriormente, el americano Charles Fritts desarrolló la primera célula fotovoltaica utilizando selenio y una fina capa de oro como medios semiconductores en 1883. Si bien era un invento destacable, la eficiencia del dispositivo era baja, registrando ser solo del 1% (Fundacion Eroski, 2009). Años después, Russell Shoemaker Ohl fue el primer ingeniero americano en patentar la célula solar moderna gracias a su descubrimiento sobre la barrera PN. Este artefacto solo pudo ser realizado por los conocimientos obtenidos en diodos¹⁰ y materiales semiconductores. Su hallazgo está basado en la explicación de cómo ciertos materiales permiten transportar con mayor facilidad que otros los electrones al momento de estar expuestos a la luz solar mediante el efecto fotovoltaico (Ohl Energy , 2011).

Gracias a todo este avance investigativo se comienza a producir paneles solares. Bell Laboratories, por ejemplo, fue una de las primeras empresas en crear paneles solares a base de silicio en 1953. Seis años después, la compañía Hoffman logró desarrollar un colector solar del 10% de eficiencia. A medida que pasan los años la eficiencia de los paneles solares fue incrementándose ya que se empieza a utilizar diversos materiales que mejoran la conductividad de los electrones. Hoy en día pueden encontrarse sistemas fotovoltaicos con el 22% de eficiencia (Click Energy, 2016).

Debido al rápido desarrollo de los colectores solares, científicos establecen la categorización de cuatro generaciones de éstos para determinar la diferencia de cada uno de ellos. Las dos primeras ya han sido abarcadas mientras que las restantes son parte de un proceso futuro. La transición de cada una de las etapas está determinada por el cambio de materiales utilizados en la construcción de los paneles solares. Esto sucede a causa de lograr: menores costos, mayor eficiencia y

¹⁰ Un diodo es un componente eléctrico que permite fluir la electricidad en un solo sentido y no viceversa. Su funcionamiento se asemeja al de un interruptor por abrir y cerrar los circuitos (Mecafenix, 2018).

variedad de aplicaciones. Otras personas no determinan el desarrollo de los paneles por etapas, sino más bien en la relación costo-eficiencia de los mismos. Se proyecta que estos componentes lograrán desarrollar un 93% de eficiencia y serán capaces de conseguir paridad de red¹¹ (Fernandez, 2009).

Varias compañías realizaron grandes sumas de inversiones en energía fotovoltaica. Debido a esto, la elaboración de los paneles solares ha mejorado debido al grado de investigación y desarrollo sobre el tema. Así mismo la producción a escala permitió que el costo de los mismos disminuya en el tiempo y sea más accesible a la población. Esto fue un gran avance, ya que inicialmente estos componentes solo eran encontrados en: satélites, estaciones espaciales y calculadoras. Los factores que potenciaron la utilización de esta fuente de energía renovable son varios. Entre ellos se destaca: políticas energéticas, créditos de compra, aumento de los precios internacionales de los combustibles fósiles y protección al medio ambiente.

Las políticas energéticas son uno de los factores que permite aumentar la utilización de este tipo de fuente alternativa a causa de los mecanismos de incentivos que se han puesto en práctica. Entre ellos se encuentra el sistema feed in tariffs. Se basa en el beneficio económico que reciben los hogares por parte de la empresa nacional de electricidad si es que el sistema fotovoltaico instalado en sus casas alimenta con energía al sistema interconectado de la ciudad. Esto se debe porque el consumo que se tiene en el domicilio es menor a la cantidad de electricidad generada por los paneles. La práctica de esta política ha tenido resultados positivos en la expansión de este tipo de energía renovable (Click Energy , 2016).

2.1.2 El funcionamiento de una central fotovoltaica y sus componentes

El proceso de convertir la luz solar en energía eléctrica no es complicado. Primeramente, el rayo de luz es absorbido por el panel solar, el cual puede estar catalogado como alguno de los siguientes tipos: monocristalino, policristalino y de película delgada. Estos materiales contienen en su mayoría silicio o algún metal semiconductor que permite conducir corriente eléctrica a través de ellos. Los paneles contienen dos celdas, una cargada negativamente (n-) y otra

¹¹ 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 a igual al precio generalista de compra de la electricidad directamente de la red eléctrica.

positivamente (p+)¹². Éstas al recibir la luz solar provoca que la celda negativa desprenda electrones que viajan hacia la celda positiva creando una corriente eléctrica continua (DC). La corriente de energía continua viaja hacia la siguiente parte del sistema llamado inversor, el cual cambia el tipo de corriente directa a una corriente alterna (AC). Los electrodomésticos o cualquier aparato electrónico utilizan sólo el último tipo de corriente. La energía será transmitida al cableado del sistema eléctrico nacional o guardado en una batería.

La descripción de los siguientes componentes son los más importantes para una central fotovoltaica. Cada uno de ellos tiene una breve explicación acerca de su funcionamiento dentro del sistema.

2.1.2.1 Paneles solares

Los paneles solares son la parte más importante en todo el sistema y el más costoso por convertir la energía solar en eléctrica. Existen tres tipos de paneles:

- **Paneles Monocristalinos:** Esta hecho base de silicio purificado de forma cilíndrica. Suele ser más costoso que los demás porque tiene una ligera eficiencia energética a comparación de los otros tipos de paneles al momento de absorber la luz solar.
- **Paneles Policristalinos:** También está hecho a base de silicio purificado pero con la diferencia de estar fabricado en forma cuadrada. La fina lámina de policristalino permite que decrezca los costos de producción y que tenga ciertas ventajas como ser el rápido calentamiento del panel solar. También tienen la característica de adoptar un color azul marino.
- **Paneles de Película delgada:** Están hechas a base de un conjunto de capas delgadas de varios elementos sobrepuestos uno encima de otro para poder absorber distintas frecuencia del espectro de la luz solar. Entre estas finas láminas pueden existir silicio amorfo, telururo de cadmio, telururo de sulfuro y diseleniuro

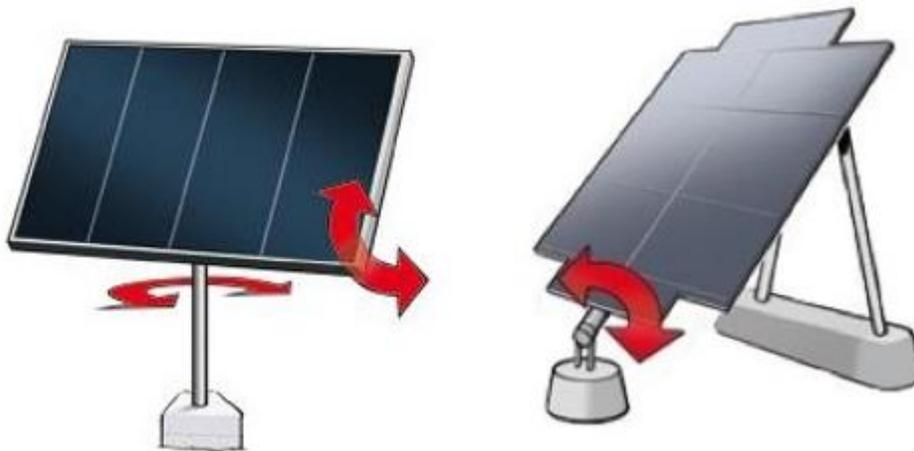
¹² Se denomina celda n- debido a que la celda tiene un exceso de electrones los cuales produce que el mismo este cargado de forma negativa; mientras que en la celda p+ existen espacios en los átomos para recibir electrones.

de cobre entre otros. Este tipo de panel es flexible, delgado y resistentes, sin embargo una de las desventajas es que no tiene una elevada eficiencia energética. Para ser tan eficiente como los paneles solares de cristalino, necesitan tener el doble de superficie.

2.1.2.2 Soporte de Estructura

Para aumentar la eficiencia energética, los paneles solares deben moverse conjuntamente con el sol. Es así que el soporte de estructura de los paneles tiene rastreadores solares. Existen dos tipos de ejes: simple y doble. El segundo, tiene mayor eficiencia por abarcar mayor ángulo de giro. El siguiente gráfico demostrará como se desplaza cada uno.

Gráfico 3: Soportes con eje doble y simple



2.1.2.3 Inversores

Los inversores, tal como se detalló anteriormente, realizan la transformación de la energía continua a energía alterna. Este componente actúa como un transformador para que la electricidad pueda ser utilizada por los usuarios. Dentro de esta categoría existen tres tipos: inversores centrales, micro inversores e inversores de cadena.

2.1.2.4 Sistema de monitoreo

Finalmente el último componente básico y de importante para una central es el sistema de monitoreo. Este permite saber cómo la radiación solar puede estar afectada por los cambios del

clima como ser el viento o los días nublados entre otros. Es capaz de informar si alguno de los colectores solares está sufriendo alguna falla y no logra funcionar de manera óptima. También registra la acumulación de radiación solar y la producción energía eléctrica en el tiempo. Dicha información puede ser graficada con la colección de los datos obtenidos a través de distintas temporadas (Medium, 2017).

2.1.3 Las ventajas de utilizar sistemas fotovoltaicos

La energía fotovoltaica tiene ciertas características que la hace una fuente de energía ventajosa. Entre ellas es categorizada como una fuente de energía renovable y amigable con el medio ambiente. Además, es un tipo de energía que no necesita ser construida dentro de un área que requiera presentar muchos requisitos ambientales puesto que su principal condición es recibir luz solar. Si bien la alta radiación solar permite que los paneles puedan trabajar de manera óptima, aun así se puede generar electricidad en días nublados ya que con el avance de la tecnológica aún se pueden aprovechar de los rayos de luz en condiciones climatológicas no favorables.

Por otra parte, es una de las fuentes energéticas que ha estado innovando y mejorando la calidad de sus productos para hacerlos más eficientes. La competencia tecnológica de inversionistas y empresas alrededor del mundo como ser China y Alemania, ha provocado que el resultado de ciertos componentes del sistema aumenten y que además los costos de producción disminuyan (Wang, Uçilia, 2017) . Esto provoca que exista un incentivo económico en invertir en fuentes de energía fotovoltaicas sobre otras energías renovables. Un claro ejemplo de esto es el decrecimiento de los costos de producción de los paneles solares, los cuales inicialmente eran el componente más caro del sistema por ser la parte que permite convertir la luz solar en energía. La evolución del precio de un colector solar al por mayor en 2010 disminuyó en un 80%, llegando a costar 0.35\$us por watt producido. Los datos demuestran que el promedio entre el 2009 y 2013 el precio de estos componentes disminuyeron en un 65-75% (José Roca , 2014).

La disminución de los precios de los paneles ha permitido que los sistemas sean más accesibles para las naciones. Debido a este hecho, en países como Italia, Alemania, España y Francia la utilización de la energía fotovoltaica llego a tener paridad de red (Global CCS Institute , 2018). Esto quiere decir que la fuente renovable llegó a un punto en el cual la generación de energía eléctrica de kilowatt por hora es igual o inferior al precio de kilowatt hora de la fuente de

generación eléctrica mayorista del país, los cuales suelen ser generalmente a base de combustibles fósiles.

Si bien ha repercutido positivamente la disminución rápida de los costos de los paneles solares, el precio de los sistemas en su totalidad no ha sido tan significativa. Esto se debe a que el costo de las otras partes del mismo no ha disminuido en la misma proporción que hicieron los colectores. El siguiente gráfico demuestra la evolución del costo por watt generado por ponderación de cada componente del mismo.

Gráfico 4: Disminución del costo de los sistemas solares por insumo



Fuente: Gráfico extraído del Informe (IRENA, 2014)

El gráfico tres demuestra el costo total por watt producido y la proporción que representa esta cifra total por cada parte del sistema. El número negro que se encuentra por encima de las columnas es el precio total por watt producido. Los números blancos, por otra parte, son la proporción del precio total que representa cada componente básico de la central fotovoltaica. Por ejemplo, el costo de producir un watt en el 2010 es de 4.90 USD. Este monto viene representado por un 2.54 USD provenientes de los paneles solares, 0.43 de los inversores, 0.70 por el

equilibrio de sistema¹³, 0.38 por la ingeniería, construcción y procedimiento y 0.55 por otras partes. En este mismo año el colector solar, representaba el 51% del costo total de producción por watt.

Si bien en el gráfico de forma generalizada muestra que el costo de esta parte es decreciente y seguirá siéndolo en un futuro, las demás partes del sistema no han disminuido en ese mismo ritmo. La instalación y equilibrio del sistema pasaron a tener el mismo costo por watt producido o más que el panel fotovoltaico. Sin embargo, eso no quiere decir que en un futuro, las investigaciones no logren tener una solución alternativa o lleguen a innovar algo que permita que los sistemas fotovoltaicos puedan bajar más los costos de los componentes metálicos. La probabilidad de que logren realizar esto en el corto o mediano plazo es alto, por el nivel de inversión y las políticas energéticas que se pueden llevar a cabo con esta fuente de energía.

Por otra parte, es importante tomar en cuenta que los costos de mantenimiento de las centrales fotovoltaicas son menores a otras fuentes de energía renovable. Esta ventaja es sumamente importante al momento de evaluar aspectos financieros de cada proyecto. Este aspecto se debe al poco movimiento que se realiza en las partes mecánicas del sistema, las cuales a su vez no se desgastan con gran velocidad. Además cabe recalcar que la inversión es más atractiva cuando los costos se relacionan con el tiempo de vida del proyecto. Las centrales fotovoltaicas pueden funcionar entre los 25 a 30 años de actividad.

Así mismo, las estructuras tienen la característica ser portátiles. Los paneles solares no son de gran tamaño por lo cual el tiempo de instalación y capacidad de traslado es fácil en comparación a otro tipo de energías renovables. Por esta razón es que se ha convertido en la solución óptima para aumentar la cobertura eléctrica a zonas rurales. Además tiene la facilidad técnica de no estar necesariamente conectada a red para lograr proveer energía eléctrica.

¹³ Equilibrio de Sistema: También conocido BoS por el término en inglés Balance of System, se refiere al balance que comprende todos los componentes de un sistema fotovoltaico con excepción de los paneles solares. Esto incluye el cableado, interruptores, sistemas de montajes, baterías y cargadores de batería entre otros.

2.1.4 La energía fotovoltaica a nivel mundial

Es de interés analizar la explotación y penetración que tiene la energía fotovoltaica en el mundo considerando que se vive en un periodo de tiempo donde la conservación del medio ambiente, gran avance de la innovación tecnológica y las ventajas de las energías renovables son de importancia en todas partes. De esta manera se puede adquirir el contexto a nivel general y un punto de comparación con respecto a Bolivia.

La literatura sobre el tema indica que la energía fotovoltaica es la tercera fuente renovable más aprovechada en el mundo después de la hidráulica y eólica, llegando a ser aproximadamente 300 GW instalados para el 2017. Sin embargo, el uso de la luz solar como fuente de energía es relativamente reciente puesto que solía ser tan costosa que se los utilizaba comúnmente en satélites, calculadoras o estaciones espaciales. La innovación tecnológica que trajo consigo la reducción de costos y el acontecimiento de otros factores externos como ser: el aumento de los precios de los hidrocarburos, políticas de incentivo para utilizar energías renovables mediante un sistema de créditos y la competencia agresiva del mercado por parte de otras empresas incurrieron que el uso de los paneles solares sea más accesible (Wang, Uçilia, 2017).

En 2011 se registró como uno de los años con mayor crecimiento exponencial en el mercado fotovoltaico a nivel global respecto a los cinco años anteriores. En ese año se instaló casi 30 Gigawatts los cuales entraron en operación en ese mismo periodo, esto provocó un incremento total global del 74%, lo que equivale a producir energía 10 veces más que el promedio global entre el 2006-2011. Las naciones que tenían la capacidad solar instalada más alta para ese año eran: Alemania, Italia, Japón, España y Estados Unidos (Soto, 2013).

Posteriormente, para el año 2016, la producción y crecimiento del mercado fotovoltaico llegó a un nuevo pico. India y China fueron las naciones que llegaron a una nueva capacidad solar instalada por el alto grado de inversión y competencia en el mercado. Ese mismo año, la Agencia Internacional de Energía registró que la producción de paneles fotovoltaicos aumentó en un 50% con respecto al año anterior. Con este tipo de crecimiento, el mundo entro a una nueva era solar puesto que dos tercios de la producción de energías renovables llegaron a ser fotovoltaicas, además de ser la fuente energética verde con el mayor crecimiento, también sobrepasó el crecimiento neto del carbón.

En Latino América existe cierto grado de madurez en el mercado fotovoltaico. Chile es aquel que tiene la capacidad instalada más alta en la región a base de plantas fotovoltaicas con 873 MW de potencia en 2014. Dentro del mismo año también se destaca de Honduras con 445 MW, México 234 MW y Perú con 96 MW.

El Dr. Fatih Birul, director ejecutivo de la IEA, argumenta que el crecimiento de energía renovable en todo el mundo para el 2022 será aproximadamente de 1.000 GW. Esta capacidad energética equivale a la mitad carbón mundialmente. La comparación de la velocidad de desarrollo de ambas fuentes energéticas es notoria puesto que ésta última tardó 80 años en desarrollar esa capacidad instalada mientras que las energías verdes tuvieron un crecimiento más rápido (International Energy Agency B, 2017).

El crecimiento y la evolución de las energías renovables están tomando mayor importancia a nivel mundial. Las energías renovables son la respuesta a un futuro sostenible puesto que las energías fósiles son muy contaminantes para el medio ambiente y finitas a lo largo del tiempo.

2.1.5 Investigaciones de proyectos fotovoltaicos en América Latina

Entre los trabajos investigados se encuentra José Ortiz, quien se propuso responder la pregunta si Bogotá tiene la capacidad técnica y económica de realizar plantas fotovoltaicas de pequeña escala. Mediante un extenso análisis de mercado, costos de sistema fotovoltaicos, curva de aprendizaje respecto al precio de los módulos fotovoltaicos de silicio, precio global de los módulos fotovoltaicos y sistemas instalados con una capacidad menor a 100kwp dentro de Japón, Europa y Estados Unidos; llega a la conclusión que el costo económico es muy alto.

Se calculó el costo promedio de la energía utilizando datos nacionales de algunas plantas fotovoltaicas ya instaladas en Bogotá. El resultado logró determinar que la cifra es de 16 USD/Wp. Este dato triplica el valor de lo que costaría producir energía eléctrica a nivel internacional. El resultado del periodo de recuperación es de 39.72 años, lo cual indica que a nivel financiero el proyecto no es viable. Si se consideraran precios internacionales para la propuesta fotovoltaica que establece Ortiz, el periodo de recuperación se reduce en 8 años, sin embargo sigue siendo inviable.

A nivel técnico no existen limitaciones para instalar los paneles fotovoltaicos propuestos. Sin embargo, este proyecto no podrá ser realizado hasta que los costos disminuyan. Se estima que será posible llevarlo a cabo en el mediano plazo, ya que el costo de las tecnologías decrece con el tiempo (Ortiz, 2013).

Andrés Sanabria es otro autor que realizó el análisis de un proyecto basado en la implementación de paneles solares en el Hospital San Cristóbal. Abarcó el estudio utilizando la metodología Costo-Beneficio. Empleó estudios de mapas solares de la nación, estudios de la demanda de electricidad del instituto y licitaciones públicas de paneles solares.

A partir de la investigación se pudo obtener la información de especificaciones técnicas, costo de Kw/mes, ahorro de implementación del sistema propuesto, beneficios del sistema, ahorro neto eléctrico mensual. Una vez realizado el ejercicio, se llegó a la conclusión que el proyecto es técnicamente viable puesto que el costo es menor a los beneficios que se genera con el sistema fotovoltaico. Es así que implementará un sistema solar de 62 paneles solares que permite ahorrar un 20% de energía eléctrica de los que se solía demandar en escenarios sin implementación del mismo. Además de generar beneficios económicos, el autor destaca que esta instauración no convencional aprovecha las condiciones geográficas de la ubicación del hospital y de la potencia solar en al que se encuentra el país (Sanabria, 2017).

2.2 Estado del Arte

2.2.1 La Estructura Energética del Cono Sur

Siendo que se analizó el potencial energético a nivel general. También es importante analizar la estructura del mismo de aquellos países a los cuales Bolivia quiere exportar electricidad para determinar el desarrollo que se tiene en materia de energía renovable. El plan energético del Ministerio de Energía e Hidrocarburos, proyecta que el Estado Plurinacional sea el principal vendedor de energía eléctrica del Cono Sur. Según la denominación de OLADE, en este conjunto de países se encuentran: Brasil, Uruguay, Paraguay, Argentina y Chile.

La información provista por la tabla 2 muestra la proporción de la potencia instalada del Cono Sur por países miembros:

Tabla 2: Ponderación de Potencia Instalada del Cono Sur por región

Proporción de Potencia Instalada del Cono Sur por región	
Brasil	68.16%
Argentina	15.64%
Chile	10.43%
Paraguay	3.81%
Uruguay	1.97%

Fuente: Elaboración propia con los datos de (OLADE, 2010)

La información de la tabla permite determinar qué países tienen el mayor desarrollo energético. Además indica cuál de ellos sería el principal demandante de energía eléctrica dentro del Cono Sur. En el presente caso, Brasil es aquel que abarca más de la mitad de la potencia instalada en el grupo con el 68.16% seguido de Argentina y Chile con el 15.64% y 10.43% respectivamente.

Desagregando con mayor detalle la estructura energética de cada país miembro, se presenta la siguiente tabla:

Tabla 3: Desagregación de fuentes energéticas por país pertenecientes al Cono Sur para el 2017

Argentina			Chile		
Potencia Instalada	MW	Porcentaje	Potencia Instalada	MW	Porcentaje
Termica No Renovable	22896	63.33%	Termica No Renovable	13714	56.89%
Hidroenergía	11243	31.10%	Hidroenergía	6669	27.67%
Nuclear	1755	4.85%	Solar	1882	7.81%
Eolica	227	0.63%	Eolica	1311	5.44%
Termica Renovable	22	0.06%	Termica Renovable	502	2.08%
Solar	8	0.02%	Geotermica	28	0.12%
Total	36151		Total	24106	

Brasil			Uruguay		
Potencia Instalada	MW	Porcentaje	Potencia Instalada	MW	Porcentaje
Hidroenergía	100319	63.66%	Eolica	1511	33.23%
Termica No Renovable	27057	17.17%	Hidroenergía	1538	33.82%
Termica Renovable	14824	9.41%	Termica No Renovable	830	18.25%
Eolica	12293	7.80%	Termica Renovable	425	9.35%
Nuclear	1990	1.26%	Solar	243	5.34%
Solar	1097	0.70%	Total	4547	
Total	157580				

Paraguay		
Potencia Instalada	MW	Porcentaje
Hidroenergía	8810	99.99%
Termica No Renovable	1	0.01%
Total	8811	

Fuente: Elaboración propia con los datos de (OLADE, 2010)

Brasil es la nación con la mayor potencia instalada entre todas las regiones tomadas en cuenta y es el que genera la mayor cantidad de energía a partir de una fuente renovable cuyo caso es la hidroenergía. Si se considerara la sumatoria de cada fuente de energía de forma porcentual, se registra que la mayor parte de ellas proviene de las hidroeléctricas. El 78% de esta fuente proviene del Brasil, esta cifra refleja las numerosas represas construidas y planificadas del gráfico 2. En este se muestra la poca sostenibilidad de las numerosas hidroeléctricas ubicadas en los ríos Madeira, Mamoré y Amazonas. Estos posteriormente desembocan el río Beni, donde será construida la represa Bala-Chepete. Por tanto, la acumulación de mega represas provoca que exista un impacto social y ambiental en numerosos ecosistemas. El problema no resulta de la explotación de energía hidroeléctrica, sino de las grandes escalas de la mayoría de estos proyectos y la sobre construcción de las mismas en una sola zona. Por este motivo es imprescindible que exista una comunicación efectiva entre ambos países para ejecutar planes de desarrollo energéticos sostenibles. No es suficiente cambiar la producción energética a base de fuentes renovables, las transformaciones deben tomar en cuenta el número de proyectos que puede soportar un ecosistema sin dañarlo.

Los datos de los demás países presentes en la tabla 3 muestran una estructura energética dependiente de recursos fósiles, Argentina y Chile, por ejemplo, tenían un proporción del 63.33% y 56.89% a base de estos recursos. Por otra parte, si bien Brasil tiene la mayor parte de generación eléctrica a base de agua, todavía tiene una proporción significativa en la utilización de hidrocarburos. Esto quiere decir que el planteamiento de Francesco Zaratti podría generar ingresos para el país. Se establece que se debe redirigir la estrategia nacional en utilizar la electricidad proveniente de un conjunto de energías renovables para cambiar la estructura de la matriz energética interna. En vez de exportar energía eléctrica a partir de hidroeléctricas, la proposición se basa en utilizar energías renovables para el consumo interno y así liberar recursos hidrocarburíferos los cuales podrían ser comercializados en el mercado internacional. La información de la tabla demuestra que los países vecinos tienen la dependencia energética sobre estos recursos, lo cual convierte en una demanda óptima en el futuro.

Inclusive Chile, es el país latino americano líder en la utilización de energía solar, ha logrado romper la dependencia de los recursos no renovables. Los datos muestran que solo el 7.81% de la

potencia instalada en el país es perteneciente a esta fuente renovable. Por tanto, el mercado objetivo al cual Bolivia puede intercambiar sus recursos incluyen: Brasil y Argentina.

Los únicos países que han logrado transformar de manera sorprendente la matriz energética hasta lograr ser independientes de los recursos fósiles son Paraguay y Uruguay. El primero es un caso extraordinario puesto que el 99.9% de la potencia instalada proviene de hidroeléctrica y sólo el 0.01% es generada a partir de térmica no renovable. Uruguay de igual modo posee la energía eólica e hidráulica como las mayores fuentes de potencia instalada, presentando el 33.23% y 33.82% respectivamente.

De forma general, la matriz energética instalada del Cono Sur por fuente de energía es la siguiente:

Tabla 4: Potencia Instalada del Cono Sur por fuente energética

Cono Sur		
Potencia Instalada	MW	Porcentaje
Termica No Renovable	64498	27.90%
Hidroenergía	128579	55.62%
Termica Renovable	15773	6.82%
Eolica	15341	6.64%
Solar	3230	1.40%
Nuclear	3745	1.62%
Geotermia	28	0.01%
Total	231194	

Fuente: Elaboración propia con los datos de (OLADE, 2010)

La fuente energética más predominante es la hidráulica, la cual proviene mayoritariamente del Brasil. Este dato es seguido de los recursos no renovables con el 73.9% de participación. Después de estas fuentes se encuentran la térmica y eólica como la generación renovable más utilizada con el 6.82% y 6.64% respectivamente. El análisis general y desagregado de la estructura energética del Cono Sur permite visualizar de dónde provienen los datos y qué países dependen de ciertos insumos de energía.

El análisis de las dos anteriores tablas demuestra que casi todos los países ya han realizado transformaciones hacia la generación de energía eléctrica sostenible. En ese mismo sentido, sea

que Bolivia exporte energía hacia países vecinos o de manera contraria las utilice para cambiar la matriz energética interna, es un proceso que se debe realizar de cualquier manera.

La matriz estructura de la matriz energética de Bolivia esta detallada en la siguiente tabla:

Tabla 5: Potencia Instalada de Bolivia por recurso energético para el 2017

Bolivia		
Potencia Instalada	MW	Porcentaje
Termica No Renovable	1812	69.43%
Hidroenergía	619	23.72%
Termica Renovable	141	5.40%
Eolica	27	1.03%
Solar	11	0.42%
Total	2610	

Fuente: Elaboración propia con los datos de (OLADE, 2010)

Se observa que Bolivia tiene una estructura altamente dependiente de termoeléctricas y que tiene una explotación mínima de las energías solares y eólicas las cuales pueden tener un mayor uso si es que la inversión en estas tecnologías se incrementa. La ponderación de estas fuentes renovables tiene el potencial de acentuarse siendo que se tienen características ventajosas a nivel topográfico y climatológico para explotarlas. Si se aprovechase esta situación entonces se podría reasignar la utilización de los recursos energéticos y obtener una mayor utilidad comercializando los insumos hidrocarburiíferos demandados en el exterior.

2.2.2 La Situación de Bolivia con respecto al potencial fotovoltaico

Bolivia posee características geográficas y climatológicas muy ventajosas las cuales la convierten en un escenario óptimo para explotar la luz solar mediante centrales fotovoltaicas. En primer lugar, este país posee la radiación más alta a nivel mundial, teniendo la posibilidad de producir mayor cantidad de energía eléctrica que otras partes del mundo.

En la investigación de Miguel Fuentes se demostró que gracias a la combinación de la ubicación geográfica y la existencia de la cordillera de los Andes, la radiación solar que se obtiene es más alta que en muchos países alrededor del mundo. Entre estos se incluyen países líderes en la producción de electricidad a base de plantas fotovoltaicas. La siguiente tabla muestra los datos

de radiación media horizontal, media diaria y la producción anual de energía eléctrica solar de varias regiones:

Tabla 6: Promedio de radiación horizontal, generación media diaria y producción anual por regiones

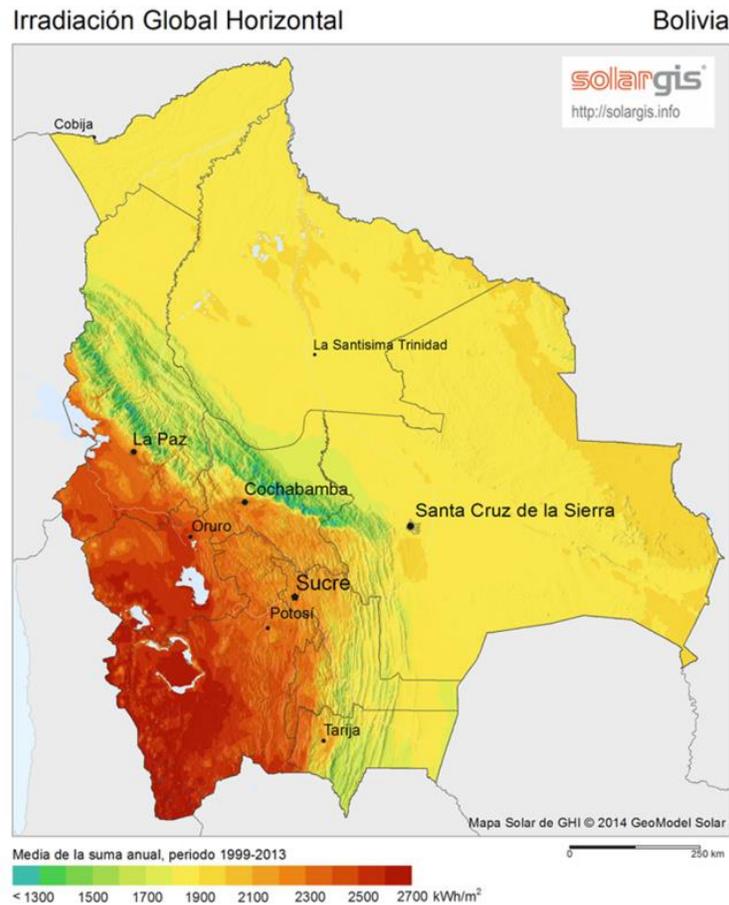
Ciudad	Radiacion Media Horizontal (KWh/m2/dia)	Generacion Fotovoltaica Media Diaria (KWh/KWp)	Produccion Media Anual (KWh/KWp)
La Paz-Bolivia	6,78	5,77	2104
Lima-Peru	5,84	4,87	1778
Sevilla-España	4,81	4,42	1612
Quito-Ecuador	5,06	4,11	1502
Belem-Brasil	5,02	4,09	1491
Lyon- Francia	3,31	2,95	1077
Munich-Alemania	3,14	2,89	1054

Fuente: Tabla extraída del informe realizado por (Miguel Fuentes, 2012).

Los datos muestran que la producción media anual en Bolivia es casi el doble de lo que se puede obtener en Alemania y España siendo estos últimos algunos de los países que tienen mayor desarrollo fotovoltaico en Europa. Bolivia tiene una radiación media horizontal mayor que todos los países tomados en cuenta dentro de la tabla, eso quiere decir que La Paz es el doble de eficiente por cada kilowatt de potencia en la generación de electricidad mediante paneles sol presentando una producción media anual de 2104 kwh/kwp (Miguel Fuentes, 2012).

Por otra parte, el nivel de radiación más alto está ubicado en el Altiplano, seguido por los valles y finalmente en los trópicos. Esto se puede verificar en el mapa perteneciente de la base datos de Solargis (Fundación Solón C, 2017):

Gráfico 5: Irradiación global horizontal de Bolivia



Fuente: Mapa extraído de la base de datos de (Solargis A, 2014).

Al observar el gráfico 5, se determina que los departamentos que reciben la radiación solar más alta son: Potosí, Oruro y el sur de La Paz. Los niveles de radiación suelen estar entre los 2.300 a los 2.700 kWh/m².

Si se comparan los niveles de radiación entre Bolivia y Alemania se encuentra que el primero tiene condiciones más beneficiosas para aprovechar la luz solar mediante la producción de energía fotovoltaica. Alemania es uno de los países europeos líderes en utilizar eficientemente esta energía renovable siendo que en su territorio las condiciones climatológicas no son favorables para este tipo de generación de energía. Sin embargo, este factor no logró impactar de manera negativa ya que gracias a la tecnología de paneles solares pudo aprovecharse al máximo la luz solar y se logró desarrollar una gran cantidad de potencia instalada.

Dependiendo de la estación del año, la radiación solar que tiene Bolivia logra duplicar o triplicar la cantidad de energía solar que se recibe en Alemania. Esto quiere decir que si se realizan inversiones en este tipo de tecnología ubicados en los altiplanos del Estado Plurinacional, la capacidad instalada de energía renovable sería alta. La nación tiene la oportunidad de ser líder en generar energía sostenible.

El siguiente gráfico presenta los niveles de radiación solar de Alemania:

Gráfico 6: Irradiación global horizontal de Alemania



Fuente: Mapa extraído de la base de datos de (Solargis B, 2015).

Las escalas de radiación solar que recibe Alemania están entre los 1.000 a 1.200 kWh/m², mientras que para Bolivia, estos rangos son los más bajos dentro de su registro. La información provista por el mapa muestra que los territorios que reciben mayor radiación solar en Alemania están ubicados al sur del mismo. Sin embargo, la cantidad de terreno que logra aprovechar más la luz solar son pocos y suelen estar por debajo de los 1.100 kWh/m². Los datos históricos de 1999-2013 demuestran que el altiplano boliviano ha alcanzado 2.700 Kwh/m², mientras que en el

oriente se ha alcanzado 1.800 kwh/m² año. Alemania en cambio, tuvo registros de radiación alcanzaron entre los 1.000 a 1.200 kwh/ m² año, los cuales son mucho menores de los que presenta Bolivia aun en el oriente (Fundación Solón C, 2017).

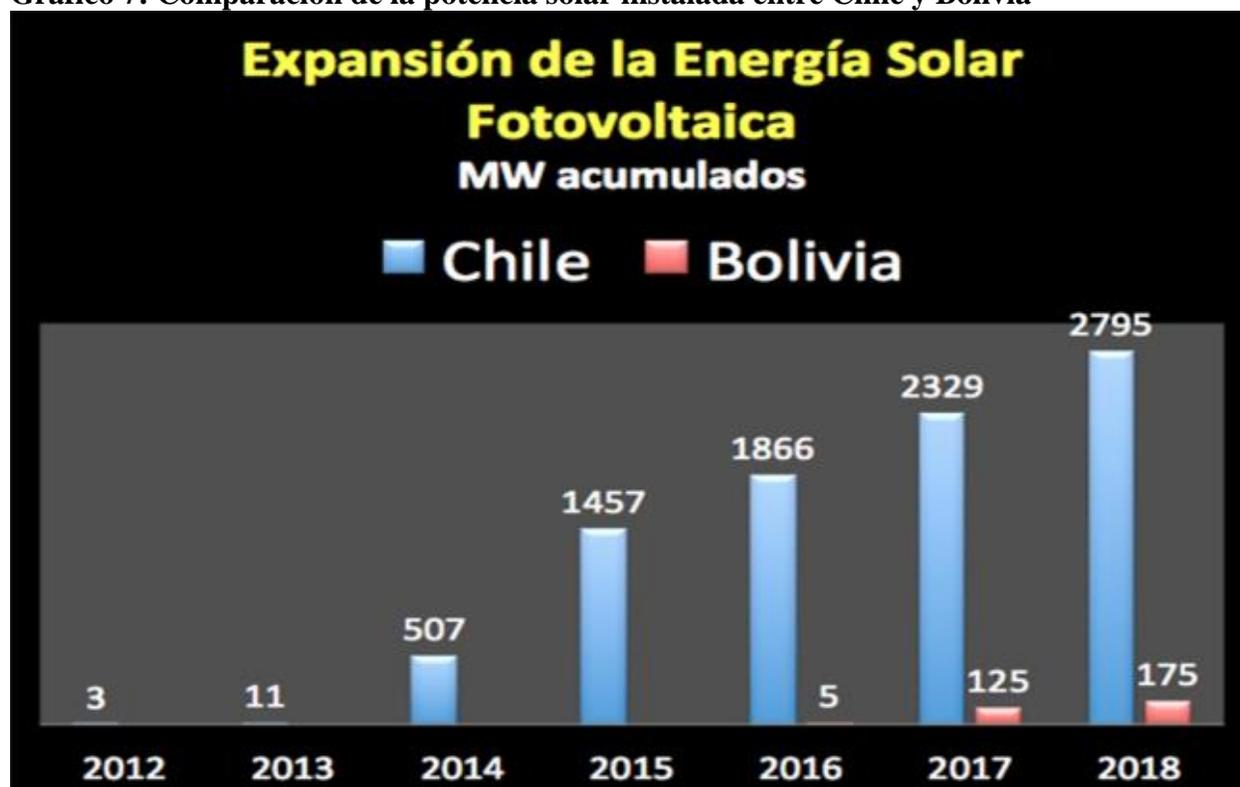
Además de la ventaja de la radiación solar que posee Bolivia, existe otro factor que conlleva a potenciar aún más la producción de energía eléctrica a través de las centrales fotovoltaicas. El espacio es una de las variables importantes en la producción de energía solar, puesto que al momento de construir un sistema fotovoltaico es necesario cierta cantidad de territorio para instalar los colectores solares. La única forma de reducir el espacio ocupado es aumentando el nivel de eficiencia de los paneles solares. Ahora bien, los resultados son mejores si se proporciona una buena calidad de paneles solares y un vasto campo territorial para ubicar una central.

Alemania es uno de los países europeos con la mayor capacidad instalada a base de energía fotovoltaica utilizando paneles solares eficientes en un territorio altamente poblado. En este caso, se tiene una extensión de 357.386 km² con una población de 82.79 millones de personas. Bolivia por otra parte tiene la ventaja de poseer mucho espacio territorial con una cantidad poblacional más reducido que el país germano. Los bolivianos poseen 1.099 millones de km² de territorio y 11.05 millones de habitantes. Si se invierte en energía fotovoltaica, esta nación tiene la posibilidad de convertirse en una de las naciones líderes en este rubro de Latino América.

Un país latino que ha aprovechado de sus ventajas geográficas es Chile. Esta tiene características similares a las que posee Bolivia por ser país vecino. Los chilenos son líderes en producir energía mediante la utilización de paneles solares en Latino América. Uno de los hechos más fascinantes es que su desarrollo energético es construido en solo seis años. El crecimiento exponencial de su instalación es comparado con el boliviano en el siguiente gráfico (Fundación Solón D, 2017)¹⁴.

¹⁴ Se puede verificar los proyectos en base a energía solar que se hicieron en Bolivia dentro de la sección de anexos de forma más detallada, realizada por ENDE.

Gráfico 7: Comparación de la potencia solar instalada entre Chile y Bolivia



Fuente: Gráfico extraído realizado por la (Fundación Solón D, 2017).

El gráfico 7 muestra la evolución progresiva de la cantidad instalada de megawatts a base de centrales fotovoltaicas en Chile y Bolivia. El análisis resalta el rápido crecimiento del sector energético fotovoltaico de los chilenos. Los datos tienen un salto significativo a partir del año 2014 donde se contó con una capacidad instalada de 507 MW. En solo un año se logró multiplicar la acumulación de energía del año anterior en 46 veces, siendo que el 2013 se contaba con 11 MW de potencia. Después de ese gran crecimiento, los datos fueron ascendiendo hasta haber logrado una cantidad instalada total de 2,795 MW el 2018. En contraparte Bolivia, recién tiene datos de potencial instalado de energía fotovoltaica a partir del 2016 con una cantidad de 5 MW. Para el 2018 no tiene un progreso destacable puesto que se tiene instalado sólo 175 MW de potencia. Esto quiere decir que dentro del mismo año el Estado Plurinacional tiene una diferencia de 2,620 MW de capacidad energética acumulada con su país vecino.

Este tipo de análisis es importante puesto que resalta dos conclusiones a partir del gráfico. La primera es el gran potencial que puede aprovechar Bolivia si conduce sus recursos financieros hacia la inversión de energía fotovoltaica, el cual puede conducir a una producción de

electricidad significativa. En segundo lugar, también se destaca la ventaja competitiva que posee Chile. Este último se ha convertido en un potencial competidor dentro del mercado energético al momento de analizar la exportación de energía eléctrica mediante colectores solares. Esto indica que posiblemente Bolivia tenga que optar por una nueva estrategia ante la idea de convertirse en el corazón energético del Cono Sur.

Cabe destacar que los costos de producción de Chile son competitivos no solo en Latino América sino en comparación a varios países alrededor del mundo. En la siguiente tabla se expresa los costos de generación por kilowatt:

Tabla 7: Costo de electricidad por fuente energética

Generación	País	Costo x Kwh €
Solar FV	Alemania	0.09
Solar FV	España	0.07
Solar FV	Dubái	0.03
Solar FV	Chile. Atacama	0.0292
Solar Térmica	España	0.17
Eólica	Europa/ USA	0.05
Nuclear	España	0.11
Fósil	España	Entre 0.05 y 0.10
Hidroeléctrica	Sudamérica	Entre 0.04 y 0.12

Fuente: Datos extraídos de la investigación de (Zaratti, 2016)

Los datos de la tabla 7 resaltan la característica ventajosa que tiene Chile respecto a otras naciones que poseen mercados energéticos desarrollados a base de fuentes renovables. Tal como se puede observar Chile es capaz de producir a un costo de 0.0292 centavos de euro por kilowatt mediante la utilización de tecnologías fotovoltaicas, este dato es seguido por Dubái el cual llega a tener un costo de 0.03 centavos de euro por kilowatt y Estados Unidos con Europa bajo un registro de 0.05 de euro por kilowatt hora. Los bajos costos de producción que presenta Chile

vienen relacionados con factores como: producción a escala políticas energéticas que incentivan la inversión privada como pública en el rubro y las ventajas geográficas del país.

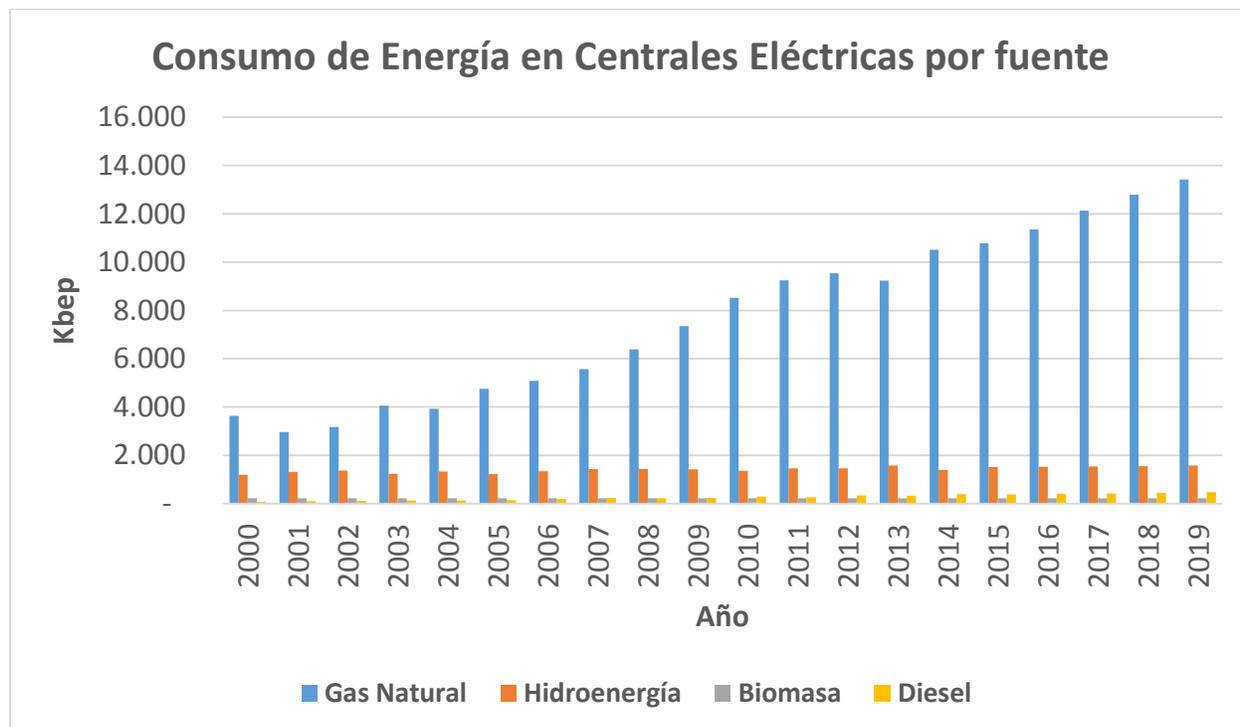
El progreso y maduración del mercado energético de Chile sigue avanzando y presentando centrales fotovoltaicas con una potencia instalada cada vez más grande, un claro ejemplo es la planta El Romero ubicado en el desierto de Atacama. Este proyecto fue concluido el 2016 y tardó solo 13 meses en ser construido. Tiene una potencia pico de 246 MW y una potencia nominal de 196 MW utilizados para proveer energía eléctrica a 24.000 hogares en un área de 280 Ha. Es una de las plantas solares más grandes de este país y es capaz de generar anualmente 4,936 watts hora. Además contribuye a la conservación del medio ambiente evitando la emisión de 474.000 toneladas de dióxido de carbono en la atmosfera (Acciona Energía, 2018).

No solo Chile ha logrado avanzar con proyectos solares, también existen otras naciones latinoamericanas que han realizado un progreso significativo. Entre estos se puede nombrar Honduras quien lidera como nación quien explotó con mayor ímpetu los proyectos solares en centro américa estableciendo una docena de ellas en Choluteca y otros lugares. Otro gran ejemplo es México quien inauguró en el 2016 una de las plantas fotovoltaicas más grandes de Latinoamérica llamada Aura Solar I, la cual se estableció en Baja California del Sur en un tiempo record de siete meses. Esta a su vez logra disminuir la contaminación de 60 mil toneladas anuales de dióxido de carbono. Perú es otra nación que ha decidido utilizar esta fuente de energía renovable para provisionar a 2.2 millones de peruanos ubicados en áreas rurales con energía eléctrica adjudicando varios proyectos entre los cuales se planificó financiar 500 mil paneles solares (Observatorio Boliviano de Cambio Climático y Desarrollo, 2017).

Este análisis descriptivo demuestra que Bolivia se encuentra en un contexto negativo por poseer desventajas competitivas en relación a otros países latinoamericanos y que en consecuencia existen posibles barreras de comercio en el mercado energético. Sin embargo, no por esta razón Bolivia debe dejar de lado los cambios energéticos que se tiene planeado. Realizar una transición energética es una tendencia global que implica un proceso estructural en la economía y adaptativo al ambiente que se presenta hoy en día debido a las limitaciones del stock de recursos fósiles y el deterioro del medio ambiente. Por tanto, evitar este cambio implicaría un retraso

significativo, más aún cuando la estructura energética del país es altamente dependiente de los recursos fósiles, tal como muestra el siguiente gráfico:

Gráfico 8: Consumo de Energía en Centrales Eléctricas por Fuente Energética



Fuente: Elaboración propia con datos del (Ministerio de Hidrocarburos y Energía, 2014)

El consumo de Gas Natural es el principal insumo para la generación de energía eléctrica de las centrales y la utilización de dicho recurso va aumentando a medida que pasa el tiempo¹⁵. Para el año 2000 se utilizaba 3635 kbep¹⁶ lo cual equivale al 84% del total de fuentes consumidas, este dato ha aumentado a 10508 Kbep para el año 2018, el cual representa el 71 % de la proporción de energía total. Por otra parte, es interesante analizar que además del uso de Gas Natural se

¹⁵ Cabe recalcar que a partir del año 2015 el desarrollo del gráfico es un proceso de proyección realizada por el autor puesto que los datos disponibles del Balance Energético Nacional solo abarcan hasta el 2014.

¹⁶ Kbep es el acrónimo referido a la unidad de medida de energía para el presente caso el cual es miles de toneladas equivalentes de petróleo, es decir que la energía liberada es igual al de miles de barriles de petróleo quemados.

cuenta con Diesel Oil. Este último es el recurso más importado entre todas fuentes energéticas registradas del balance energético nacional entre los cuales se encuentran: Gasolina Especial, Gas Licuado y Gasolina de aviación.

Por tanto realizar un cambio en la planificación con la cual Bolivia proyecta generar energía debería estar ligada en transformar la matriz energética del consumo interno en vez de proyectar exportar este bien. De esa manera se importarían menos recursos fósiles para la producción de energía eléctrica y se repercutiría positivamente en los ingresos públicos. De igual manera se ahorrarían una gran cantidad de recursos financieros por disminuir la subvención de hidrocarburos en la nación. En ese sentido, cierta parte del presupuesto ahorrado puede redirigirse en la inversión de energías renovables para el país. Por otra parte, los recursos fósiles no utilizados permiten ser liberados para la exportación y generación de otros ingresos para la nación.

2.2.3 El desarrollo de la energía fotovoltaica en Bolivia

La tecnología solar llegó a Bolivia a inicios de los años 90 gracias a los proyectos implementados por la Cooperación Española en zonas aledañas al lago Titicaca. Posteriormente se implementaron otros dos proyectos que dieron impulso a esta fuente de energía. El primero, llamado Proyecto de Energía Solar fue efectuado por la Universidad Mayor de San Simón de Cochabamba, los cuales además ayudaron a comprobar y demostrar qué partes del sistema fotovoltaico pueden ser fabricados dentro del país. El segundo fue un programa de difusión de energías renovables denominado PROPER el cual fue financiado por la GIZ de Alemania. Este facilitó la transferencia de tecnologías las cuales incluyen baterías, reguladores de caja y lámparas como insumos para los sistemas. De esta manera la implementación de proyectos pilotos sería más viable.

Ahora bien, la utilización de sistemas fotovoltaicos aislados fue principalmente explotada con el objetivo de aumentar la cobertura eléctrica y aumentar las telecomunicaciones de zonas rurales, los cuales dieron resultados positivos. Hasta la primera mitad de los años 90, se lograron instalar aproximadamente 5.000 sistemas fotovoltaicos de pequeñas escalas. Para la segunda mitad se instalaron otros 5.000 sistemas fotovoltaicos en Santa Cruz los cuales eran distribuidos por la

Cooperativa Rural de Electrificación (CRE) y financiado por el Reino Unido de los Países Bajos.

Otros proyectos solares fueron llevados a cabo en distintos departamentos de Bolivia entre los cuales se pueden nombrar aquellos ejecutados por NRECA cuyos sistemas están ubicados en los Yungas del departamento de La Paz. Chimboata es otro programa llevado a cabo en Cochabamba el cual fue planificado por la empresa ENERGÉTICA el que además incluía un sistema de créditos como herramienta financiera para que sea sostenible. Esta misma empresa realizó otro caso bajo el mismo concepto financiero Intikachay (LaFuente, 2012).

La Agencia Japonesa de Cooperación Internacional bajo el programa de Ayuda al Medio Ambiente y El Cambio Climático ayudó a Bolivia a realizar un proyecto fotovoltaico que involucraba la realización de dos sistemas. Este tipo de programa fue creado para ayudar a países en vías de desarrollo a disminuir la emisión de los gases que provocan el efecto invernadero y otorga un crecimiento económico más sostenible. El objeto del mismo proyecto fue aumentar la potencia instalada del sistema eléctrico. De esa manera la oferta eléctrica se incrementaría y la posibilidad de exportación. Así el país tenía la oportunidad de explotar un nuevo rubro económico. Se decidió llevar a cabo la construcción de dos sistemas fotovoltaicos. El proyecto fue acordado con el gobierno plurinacional de Bolivia. El Ministerio de Energía e Hidrocarburos y la Universidad Mayor de San Andrés eran las instituciones que tenían la responsabilidad de monitorear y el proyecto. Un sistema estaría ubicado en el aeropuerto internacional de Viru Viru con la capacidad de 315 Kilowatts en un área de 10.000 m² mientras que el segundo en estaría ubicado dentro de la UMSA en un área de 1.060 m² con capacidad de 50 Kilowatts (Agencia Japonesa de Cooperación Internacional, 2013).

Bolivia también se realizó investigaciones sobre las limitaciones y capacidades que tiene la nación con respecto a la utilización de centrales solares. La investigación realizada por Miguel Fuentes y Miguel Morales demuestran que el costo total de un sistema fotovoltaico aislado es 718 \$US el cual es estimado a través del modelo Costo Anual Equivalente. Se detalla que según los precios del 2007 el costo de generación eléctrica es del 35\$US/MW. Sin embargo los usuarios finales pagan entre los 80 y 140 \$US/Mwh los cuales no han variado sustancialmente en el año 2010. Esto se debe a que si bien los paneles solares han ido disminuyendo de precio, las

partes metálicas¹⁷ no han disminuido en el mismo ritmo y es así que los consumidores no pueden ver gran cambio en el precio total del sistema.

El trabajo concluye con aclaraciones determinantes para el avance y progreso de los sistemas fotovoltaicos en Bolivia. En primer lugar, uno de los problemas al aplicar sistemas aislados en el área rural es el alto costo de inversión y la baja capacidad de pago de los pobladores. Esto implica que existan impedimentos financieros, producción a escala e imposibilidad de que existan empresas privadas que se dediquen al rubro. Por tanto es necesario crear un marco legal más específico para sistemas de pequeña y gran escala. De esa manera se permite el fortalecimiento de los modelos exitosos con subsidios y acceso a los microcréditos. Esto quiere decir que se necesita implementar un régimen tarifario o aspectos relativos de despacho de carga que apoyen estos incentivos. Así también podrían acortar los tiempos de tramitación para la instalación de los paneles, puesto que por la demora la población ya es dotada de electricidad antes de haber sido abastecidos con paneles solares planificados. Esto provoca que la demanda estudiada cambie (Miguel Fuentes, 2012).

Con los proyectos fotovoltaicos realizados en Bolivia y las investigaciones elaboradas se lograron estudiar que partes del sistema pueden ser producidos en el país. De esta manera se lograría reducir los costos de importación e inversión en los mismos. Existen dos empresas que procesan distintas partes necesarias para un sistema fotovoltaico. Batebol produce baterías de placa modificada, mientras que Phocos realiza reguladores de carga y convertidores de voltaje. Ambas instituciones exportan sus productos, lo cual indica que se ha tenido un avance en el conocimiento blando de realizar ciertos procedimientos. Este capital humano ha ido avanzando de igual manera en las instalaciones y mantenimientos de aquellas plantas fotovoltaicas que se han instalado en el país (LaFuente, 2012).

Además de estos sistemas fotovoltaicos a pequeña escala, el gobierno boliviano también empezó a introducir centrales de mayor potencia eléctrica entre las cuales se pueden denominar Yunchará de 5 MW, la cual cuenta con la instalación de 19,152 colectores solares y fue instalado en un espacio de 12 hectáreas. La duración del proyecto fue de 246 días y se invirtió 79,4 millones de

¹⁷ Las partes metálicas del sistema son aquellos que incluyen las baterías, las estructuras, cables, postes metálicas etc.

boliviano lo cuales representan 11,4 millones de dólares americanos para construir la central (Energía 16, 2018) . Además de ésta planta también se tienen otras como ser Uyuni Potosí con la capacidad de 60 MW y Oruro Fase I de 50 MW como se puede observar en la gráfico 2 de Anexos.

2.2.4 Investigaciones sobre las plantas fotovoltaicas

Existen investigaciones sobre las oportunidades y barreras de la exportación de energía mediante la utilización de hidroeléctricas. La presentación de Energías Renovables en Bolivia para el cambio de la matriz eléctrica de Francesco Zaratti expone argumentos interesantes acerca del tema energético. Dentro de las láminas de presentación se detallan aspectos como: factores que influyen en el uso y coste de energía, fortalezas y debilidades al momento de utilizar energía fotovoltaica y posibilidades de exportar electricidad al Brasil.

El trabajo expone los factores positivos que posee Bolivia al generar energía eléctrica. Entre estos se pueden detallar: la alta tasa de radiación que se tiene alrededor del año, grandes campos desérticos que se tienen suroeste del país donde pueden ubicarse los colectores solares, posibilidad de generar numerosos trabajos para aquellos campesinos del lugar que estén capacitados en verificar el buen funcionamiento de la planta solar. Además, los sistemas fotovoltaicos ya presentan sus facilidades bajo una perspectiva técnica como: gran autonomía en el funcionamiento del sistema, poco desgaste mecánico en las estructuras solares los cuales reducen los costos de mantenimiento y largo periodo de vida que tiene el proyecto. Otra oportunidad que permite la expansión del uso de energía fotovoltaica es la actualización de lineamientos legales donde se incentive promover la inversión de empresas mixtas. El riesgo compartido entre una empresa público-privado facilita la producción a escala por el rápido incremento de inversión que puede existir en la misma.

Existen dos barreras principales que describe el autor. La primera es la larga distancia que se podría incurrir entre las centrales fotovoltaicas y las líneas de transmisión. Dentro del contexto boliviano el espacio óptimo se encuentra al sur de Potosí y Oruro, donde las tierras son desérticas y el impacto social como ambiental son bajos. Este aspecto puede ser costos dependiendo de cómo se planea diseñar el proyecto. El segundo aspecto negativo que se toma en cuenta, son las vastas áreas de uso necesario para la instalación de paneles solares. Esto provoca que exista un

costo de oportunidad entre utilizar la tierra para generar energía o realizar trabajos de agricultura para proveer comida a la población. Si existe un desbalance en la manera en cómo se emplean los territorios podría haber una repercusión en la seguridad alimentaria.

En conclusión, el autor determina que Bolivia debe tomar parte en la producción de energía eléctrica a parte de fuentes renovables pero cambiando la visión que se tiene. Debido al contexto energético al cual está expuesto el país, las naciones vecinas han tomado gran ventaja en la producción de energía a base de fuentes renovables. Causó que estos últimos tengan una ventaja comparativa muy notoria en comparación a los bolivianos. Por tanto, es más aconsejable cambiar la matriz energética del consumo interno para transformarla a base de energía verde y liberar recursos fósiles que pueden ser exportados en el exterior (Zaratti, 2016).

La Fundación Solón también realizó publicaciones acerca de la visión energética que se tiene en Bolivia. Dentro de sus artículos, se reflejó la posición contraria que se tiene respecto a la utilización de proyectos mega hidroeléctricos. Propuso explotar otras fuentes como ser la fotovoltaica para evitar incurrir en los grandes costos sociales y ambientales. De igual manera se debe realizar grandes esfuerzos si se quiere competir en un mercado energético como el actual por el atraso que tiene la nación. Es necesario utilizar una combinación de distintas fuentes renovables para aumentar la producción energética y no estar basadas en solo una generación de ellas.

Por otra parte, expresa que el país tiene una barrera importante cuando se analiza el caso de la represa Bala-Chepete, puesto que además de incurrir en daños significativos, la estructura de producción no es competitiva. Esto provoca que el costo al cual se genera cada megawatt sea más alto de los que se vende en el mercado spot de Brasil. Según los datos provenientes de la evaluación económica realizado por Geodata, la represa Bala tendrá un costo de generación del 81 USD/Mwh mientras que la represa Chepete tendrá esta cifra en un 55USD/Mwh, estos datos dejan de ser rentables cuando se los comparan con el precio de compra del Brasil de 52USD/Mwh, como se puede verificar en el informe “Mega hidroeléctricas: Exportar y Morir” (Fundación Solón A, 2017).

Los precios presentados en las subastas energéticas brasileras del 2018 a partir de fuentes renovables son aún más bajos que la cifra presentada en el anterior informe. El precio promedio

final adjudicado fue del 37,47 USD/MWh. las fuentes de energía eólica y solares logran estar por debajo de la media mencionada. Los emprendimientos fotovoltaicos tuvieron un precio promedio de 35,45 USD/MWh y los que son a base del viento fueron de 20,30 USD/MWh.

Carlos Bonadona realizó una propuesta viable relacionada con la represa Bala-Chepete. Se plantea la construcción de diez centrales fotovoltaicas para provechar al máximo la capacidad energética solar de la nación. Estas estarían ubicadas en la zona altiplánica del país y en conjunto representaría el total del potencial instalado de las hidroeléctricas. Se realiza una comparación entre proyectos utilizando indicadores como ser área ocupada, bosques inundados, inversión, toneladas de CO₂ emitidos y cantidad de personas desplazadas. En base a la comparación se demuestra que es mejor realizar centrales fotovoltaicas de esta manera para disminuir los impactos sociales y ambientales en los que se incurre en el proyecto hidráulico (Bonadona, 2018).

2.2.5 Impactos sociales y ambientales de las centrales fotovoltaicas

Puesto que el trabajo realizará una comparación bajo la perspectiva económica, ambiental y social de un proyecto fotovoltaico y la represa Bala-Chepete, es de vital importancia determinar los posibles impactos realizados en las últimas dos áreas nombradas. Por ese motivo se tomó en cuenta las recomendaciones y experiencias presentadas en la investigación de María Fernanda Serrano, Diego Pérez y John Freddy, donde se evalúa la utilización solar en Guatemala.

En el mismo documento se establece que si bien las centrales a base de colectores solares tienen impactos positivos en el medio ambiente por reducir la emisión de GEI, también existen impactos negativos. Estos últimos pueden presentarse mayormente en la etapa de mantenimiento y desmantelamiento del mismo. Sin embargo, no son las únicas etapas donde se pueden encontrar repercusiones puesto que también existe la posibilidad de encontrar otros daños en la construcción de la planta. Estos son repercusiones que deben ser tomados en cuenta.

Se necesita cierta área de ocupación dependiendo de la magnitud del proyecto. Por esta razón uno de los primeros impactos es el costo de oportunidad de las tierras. Estas en vez de ser utilizadas para la agricultura pasarán a ser utilizadas para la instalación de los paneles solares. Este hecho afecta la seguridad alimentaria de una nación ya que se deja de cultivar ciertos

viveres necesarios para el sustento de la población. Por ende causaría que se importe mayores cantidades de comida. El tiempo que se utilizan las tierras es de largo plazo puesto que los proyectos fotovoltaicos duran entre 25 a 30 años.

La instalación de paneles también deteriora el paisajismo del lugar. Se modifica las características visibles y físicas del lugar. Esto además tiene consecuencias en el movimiento de los animales. Estos ya no podrán desplazarse con la libertad que solían hacerlo antes, esto puede repercutir en la estructura trófica del ecosistema o inclusive en la supervivencia como apareamiento de distintas criaturas.

En cuanto a los efectos negativos dentro en la etapa de mantenimiento de la central fotovoltaica se tiene como primer factor la desertificación de la tierra. Debido a escenarios climatológicos a los que pueden estar expuestos los colectores solares, como ser días ventosos, los artefactos se llenan de polvo. Esto provoca que la eficiencia del panel disminuya puesto que se opaca la superficie del mismo y no se pueda absorber del todo la luz solar. Por ende la cantidad de generación eléctrica es menor. Para mantener el nivel de eficiencia, se limpian los instrumentos con agua. Al limpiarlos, la primera capa de la tierra comienza a erosionarse por el exceso de agua utilizada. Esto provoca la pérdida de fertilidad y productividad, puesto que la concentración de nutrientes está ubicada en el primer manto de la tierra. Esto de igual manera repercute en la sustentabilidad del medio ambiente y seguridad alimentaria.

Durante la etapa de desmantelamiento se levanta una cantidad significativa de polvo, los cuales tienen un impacto negativo en la salud de las personas que están realizando el proceso y aquellas que viven cerca del proyecto. Las sustancias levantadas contienen patógenos que son expuestos en el aire al desarmar los colectores. Para contrarrestar este efecto se emplean productos químicos para los materiales como: supresores de polvo, líquido refrigerante y otras sustancias. Sin embargo, al momento de utilizar este tipo de productos se contamina la superficie del agua subterránea o reservorios de aguas profundas (Maria Serrano, 2017).

2.2.6 Impactos sociales y ambientales de la Represa Bala-Chepete

Para el análisis social y ambiental de la hidroeléctrica Bala-Chepete, se tomó en cuenta el Estudio de Identificación del Proyecto realizado por Geodata. Esta última es una empresa italiana

que fue contratada por Ende para que se realizase dicha investigación sobre los factores geográficos y bióticos que estarían afectados por la represa y las características del lugar donde se construirá el conjunto de embalses.

La ubicación de ésta represa se encuentra entre dos áreas protegidas las cuales están bajo la responsabilidad de Servicio Nacional de Áreas Protegidas (SERNAP). Esta entidad tiene bajo su protección 22 áreas de esta categoría en toda Bolivia y coordina con el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) para llevar a cabo su funcionamiento. Las áreas que se ven involucradas en el proyecto son el Parque Nacional y área Natural de Manejo Integrado Madidi y la Reserva Biósfera y Tierra Comunitaria de Origen Pilón Lajas. Dentro de la definición de términos con los cuales se expresan en el Reglamento General de Áreas Protegidas, se define el nivel de conservación que tiene cada categoría como el siguiente:

Parque Nacional: Tiene por objeto la protección estricta y permanente de muestras representativas de ecosistema o provincias biogeográficas y de los recursos de flora, fauna, así como las geomorfológicas, escénicas o paisajísticas que contengan y cuenten con una superficie que garantice la continuidad de los procesos ecológicos y evolutivos de sus ecosistemas.

Área Natural de Manejo Integrado: Tiene por objeto compatibilizar la conservación de la diversidad biológica y el desarrollo sostenible de la población local. Constituye un mosaico de unidades que incluye muestras representativas de ecorregiones, provincias biográficas, comunidades naturales o especies de flora y fauna de singularidad importancia, zonas de sistemas tradicionales de uso de la tierra, zonas para uso múltiple de recursos naturales y zonas núcleo de protección.

Las categorías que reciben las áreas donde será ubicada la represa deberían ser altamente conservadas debido a la diversidad de fauna y flora que contienen. Es por esta misma razón que tomar en cuenta el impacto directo e indirecto que tendría la represa es de gran importancia. Sólo tomando en cuenta las características de una de ellas, Parque Nacional y Área Natural del Manejo Integrado Madidi, ha sido clasificada como una región de alta prioridad para la conservación por el programa Global 200 Ecoregions y Biodiversity Hotspots. Su protección no solo es de importancia local sino internacional porque posee grandes proporciones de terreno inexploradas y primitivas. En estas albergan indígenas y una gran cantidad de especies que

todavía no han sido categorizadas. Las personas que viven en estos lugares dependen totalmente del medioambiente donde se encuentran para poder sobrevivir. Su estilo de vida se basa en la caza, pesca y agricultura de carácter ancestral.

Cabe recalcar que debido a la ubicación limítrofe que tiene sólo el Parque Madidi los daños realizados por el proyecto no solo afectaría al ecosistema de esa región sino de otras áreas protegidas. Este sitio comparte frontera con el Perú donde se encuentran el Parque Nacional Bahuaja Sonene y la Zona Reservada Tambopata-Cadamo. Por tanto, los impactos ambientales posiblemente repercutirían áreas de importancia peruana y de nivel mundial. Los efectos que conlleva la represa no podrían cuantificar ni predecir los cambios que ocurrirían en otros ecosistemas colindantes por la magnitud de factores biológicos que tendrían que tomarse en cuenta. No es el único lugar de valor con el cual colinda el parque en cuestión, puesto que hacia el Sur se encuentra el Área Natural de Manejo Integrado Nacional Apolobamba y al Este la Reserva Biósfera y Tierra Comunitaria de Origen Pilon Lajas. Esta última forma parte de un extenso corredor biológico binacional, la cual se verá afectada de manera directa si realizan la hidroeléctrica.

Los datos de fauna que se presentan en el informe de Geodata sobre el Parque Madidi son los siguientes:

- El Área Protegida alberga 1.370 especies vertebrados presentes y 619 probables alcanzando una diversidad de fauna vertebral de 1989 especies.
- El grupo de aves se encuentra representado con 867 especies presentes y 291 probables haciendo un total de 1.158 especies, que corresponden el 83% de las aves del país.
- El grupo mamífero está representado por 156 especies presentes y 27 probables alcanzando un total de 183 los cuales constituyen el 51% de los mamíferos del país.
- La herpatofauna (reptiles y anfibios) del Área Protegida está compuesto por 84 especies de anfibios presentes y 88 probables haciendo un total de 172 que corresponda el 85% de los anfibios del país.

- Los peces están representados por 192 especies presentes y 104 probables llegando a un total de 296 el cual representa el 51% de ictiofauna del país.

La cantidad de plantas encontrada en el parque es abundante. Dentro del inventario florístico que tiene el Madidi, el cual fue llevado a cabo por el Herbario Nacional de Bolivia con el apoyo del Missouri Botanical Garden y el Real Jardín Botánico de Madrid, se identificó 193 familias y 8.244 especies. Esto representa el 60% de las plantas en el país y aun así se estima que esta cifra puede incrementarse hasta las 12.000 especies. La variedad existente se debe a las ricas propiedades del suelo y los diversos ecosistemas hallados, los cuales son causados por tener muchos microclimas. Los diversos climas son causados por el amplio rango de altitud, los cuales varían entre los 200 a 6.000 m.s.n.m.

Por otra parte, La Reserva Biósfera y Tierra Comunitaria de Origen Pilón Lajas (RB-TCO), también es un espacio perteneciente al biocorredor biológico compartido con el Perú. Contiene numerosas especies de fauna y flora tan significativas como el Parque Madid. Además de esto cabe recalcar que es un territorio aclamado por la UNESCO como área de importancia nacional por la cantidad de indígenas que viven en el lugar. Se encuentra un alto nivel cultural perteneciente a los aborígenes: Mosen, Ixiamas, San Buenaventura, Chiman, Palachuco, Apolo, Guanay de La Paz y Esse Eja entre otros. La historia ancestral que tiene es muy valioso puesto que se presentan ruinas arqueológicas, métodos de agricultura ancestrales y pinturas rupestres las cuales contienen un valor social muy importante por ser parte del patrimonio nacional.

Tomando en cuenta toda esta información el trabajo realizado por Geodata detalla que a nivel económico, social y ambiental todavía no pueden cuantificarse con precisión los impactos que se generarán con el proyecto. Si bien se realizó un gran esfuerzo al recopilar todo tipo de información sobre el lugar a través de planes, proyectos, informes científicos y otros para poder construir una línea base; se encontraron con varios vacíos de información.

En el ámbito social se encontró que es necesario realizar una actualización de la información existente acerca de este componente. Existe una división político administrativo muy importante por lo cual todavía debe realizarse entrevistas con los indígenas para percibir la opinión de estas personas ante el proyecto. También existe e cierta confusión en la jurisdicción de ciertos terrenos, lo cual complica un poco el proceso de compensación. Por otra parte, al verse afectado

la propiedad arqueológica del lugar se estaría perdiendo las metodologías de siglos ancestrales que fueron heredando estas personas. Esto no solo forma patrimonio nacional sino que además se pierde conocimiento valioso sobre técnicas de explotación sostenible de agricultura en la amazonia. Finalmente aquellas personas afectadas de manera directa o indirecta estarían arriesgando en gran medida las formas de supervivencia que tienen. Estas personas llevan sus actividades diarias y producen comida para su sociedad extrayendo los recursos de su entorno. La cantidad de originarios que serán afectados es de 5.164. La descripción del número de personas que serían trasladadas por la ubicación del embalse esta detallada en la sección de Anexos entre los gráficos 5 al 7.

Bajo la perspectiva ambiental y económica se encontraron ciertas barreras. Existen diversos factores del entorno que no podrán ser cuantificados en los modelos económicos que se realizan. Esto se debe a la difícil tarea de asignar un valor a variables medioambientales. La precisión sería aún más complicada de realizarla tomando en cuenta la magnitud del proyecto y la variedad de flora y fauna que interviene. Los servicios ambientales de los árboles o los usos medicinales que se les puede dar a las plantas son algunos de los ejemplos de los componentes más complicados de evaluar. Cabe recalcar que si bien no se identificaron en su totalidad las especies de fauna y flora que existe en ambas áreas protegidas, no se puede determinar el impacto a nivel trófico que se verían incurridos los ecosistemas al alterarlos con la construcción de una mega represa.

Entre las especies de ictiofauna pertenecientes al río Beni, se identificó la especie que más se explota en la pesca. Se determinó el nivel de sensibilidad y el comportamiento de una proporción de ellos cuando estos peces realizan el desove. Una de las familias más sensibles ante cambios del ambiente por los movimientos migratorios de mediano y largo plazo que realizan son los Siluriformes. Hay 28 especies pertenecientes a esta familia que son explotadas por los nativos. Es una de las actividades más importantes, donde el volumen de captura llega a ser de 62,1 toneladas/año. Esta cantidad de pesca contiene 13 tipos de peces pertenecientes a la familia especificada. La construcción de la hidroeléctrica pondría en riesgo no solo la supervivencia de estos animales sino también una de las fuentes principales de alimentación de los indígenas.

Existen múltiples especies y factores medio ambientales en el lugar, por lo cual es necesario realizar estudios ingenieriles más profundos. El informe no concluye con formas específicas de compensación, más que una medida tomada en cuenta para el desove de los peces. El 29% de ellos deja sus huevos en tierras altas del Rio Beni, cerca de la zona de Pie de Monte y Subandino. Por tanto, para no interferir con el movimiento migratorio y natural de éstos se determinó realizar un ascensor para estos cuando lo necesiten. Debido a la importancia del lugar y la magnitud del proyecto, la empresa subcontratada especifica la necesidad de actualizar la base de datos tanto social como ambiental (Geodata A, 2015).

2.3 Metodología

La metodología del trabajo es mixta entre cuantitativa y cualitativa. En primer lugar se utilizaron herramientas cualitativas para poder localizar el lugar óptimo de una central fotovoltaica en Bolivia tomando en cuenta la información obtenida de mapas solares. Posteriormente se realizó un análisis de mitigación de impacto ambiental empleando mapas de áreas protegidas alrededor del país para evitar construir la propuesta cerca de estos territorios frágiles.

En segundo lugar, la estimación de la planta fotovoltaica fue tanto numérica como cualitativa ya que para poder proyectarla se consideró las características técnicas necesarias para poder generar la misma cantidad de energía instalada que el Bala-Chepete y partir de una premisa que permita que sean comparables entre sí. También se tomó en cuenta la cantidad indispensable de cada parte del sistema para su funcionamiento. Es así que los resultados son numéricos y cualitativos debido a la descripción de la central solar. A partir de esta base de información pudo estimarse de forma numérica los indicadores económicos, sociales y ambientales.

La estimación de la inversión de la planta fotovoltaica tomó como base la propuesta planteada por Carlos Bonadona; la misma especifica la construcción de diez centrales en distintos puntos de Bolivia. La potencia instalada de cada una de ellas es equivalente a un décimo de la hidroeléctrica. La razón por la cual se decidió seguir la idea de este investigador es por la sostenibilidad que presenta. Tal como se pudo analizar antes, uno de los impactos negativos de este tipo de fuente renovable es el espacio que se necesitar utilizar para poder instalar los colectores solares. Para poder mitigar el impacto ambiental y social en el cual se puede incurrir por sustituir vastas áreas de agricultura o paisajismos del lugar se procede a descomponer el proyecto.

De esta manera también se abre la posibilidad de brindar mayor cantidad de empleos para los campesinos del lugar. Estas personas pueden ser capacitadas para realizar el mantenimiento y monitoreo de cada una de ellas. Así se generaría mayores ingresos para aquellas personas que usualmente solo trabajan en la agricultura. El tiempo que se emplearía en las plantas solares sería de forma paralela o por periodos estacionarios al cultivo de alimentos, siendo que existen ciertos espacios de tiempo donde se deja esta labor para dejar descansar la tierra.

Para estimar la cantidad de los ítems necesarios, se realizó un cálculo proporcional de acuerdo a los datos base conseguidos de plantas fotovoltaicas ya instaladas en el país. De esta manera se construyó una línea base con la cual se pueda proyectar la propuesta. Se recopiló cifras de los siguientes proyectos: Yunchara-Tarija, JICA (los cuales incluyen la planta solar ubicada en la UMSA y el aeropuerto Viru Viru), Oruro Fase1 y la central de Uyuni. También se tomó en cuenta la información planteada por Francesco Zaratti, Esta última investigación es relevante por los indicadores que se utilizan.

Debido a la heterogeneidad de los datos al momento de recabarlos, se optó por utilizar aquel proyecto que tenga mayor detalle al respecto. Por esta misma razón la estimación esta principalmente basada en el proyecto Oruro Fase 1. La siguiente tabla contiene los datos extraídos de la misma:

Tabla 8: Características de la Planta Fotovoltaica Oruro Fase 1

Planta Fotovoltaica de Oruro Fase 1		
Potencia Instalada de 50 Mw		
Característica	Unidad	Valor
Paneles Solares	No	150,000
Soporte Fijo	Tipo de Estructura	N/A
Inversores	No	46 de 1.1MW
Energía Firme Anual	MWH/Año	105,000
Costo de Inversion	US\$	39,581,475.86
Transformador elevador	KV	24.9/115Kv
Modulos Fotovoltaicos	No	151,520
Area	Hectareas	300
Inversion	US\$	125,000,000
Vida Util	Años	30
Produccion Annual	MWh/Año	105,000

Fuente: Elaboración propia utilizando datos extraídos de (ENDE, 2015).

En la tabla 8 se utilizó la información de la cantidad de cada una de las partes de acuerdo a la capacidad instalada que tiene. Es así que realizando un cálculo proporcional se pudo calcular la cantidad de inversores, paneles solares, transformadores, soportes y otros necesarios para estimar una planta con la capacidad requerida en la investigación. Esto permitió establecer la inversión requerida para llevar a cabo el proyecto.

Si bien la planta Oruro Fase 1, es la fuente de información más desagregada entre los proyectos fotovoltaicos instalados en Bolivia, no poseía ciertos indicadores clave. Por esta misma razón se

utilizaron los datos provenientes de la propuesta realizada por Zaratti. Las cifras de la investigación están expuestas en la siguiente tabla:

Tabla 9: Características de la Planta Fotovoltaica propuesta por Zaratti

Propuesta Francesco Zaratti		
Potencia Instalada 1 MW		
Característica	Unidad	Valor
Energía Producida en el 1 año	Kwh	2,005,286
Energía Producida en el 25 año	Kwh	1,694,762
Autoconsumo+Energía dedicada a la UMSA (estimacion)	Kwh/y	15,000
Energía suministrada a la red y adquirida por SOBOCE	Kwh/y	1,990,286
Precio de venta de la electricidad producida	Kwh/y	0.07
Totales Anuales(1 año)	US\$/Kwh	139,320
Totales Anuales (25 año)	US\$/y	117,583
Costo mantenimiento de rutina	US\$/y	20,000
Costo variable anual (estimacion)	US\$/y	3,000
Ingreso Neto anual en el 1 año	US\$/y	116,320
Fondo de Reserva	US\$/y	5,000
Familias Involucradas	No.	50
Remuneracion para las familias	US\$/mes*familia	186
Reduccion de CO2	Ton	1,065
Consumo reemplazado de fosiles	Ton	375

Fuente: Datos extraídos de la investigación de (Zaratti, 2016)

El trabajo de Zaratti realiza la estimación de una planta fotovoltaica con capacidad instalada de 1 Mw. La generación de energía de este proyecto es para alimentar con energía eléctrica al sistema de red y SOBOCE. La desagregación de las características de la central está especificada en la tabla 9.

Los datos del autor fueron importantes para la estimación del trabajo puesto que tiene indicadores interesantes para realizar la comparación con la represa. La información utilizada de la tabla anterior incluye: costo variable, costo rutina y fondo de reserva; las cuales podrán dar suficiente información para calcular el costo por megawatt de las centrales fotovoltaicas propuestas.

La estimación se procede teniendo en cuenta que el dato base de las plantas conocidas es de 50 Mw para la central Oruro y 1 Mw para la de Zaratti. Posteriormente se calculó de forma proporcional utilizando la capacidad de la primera fotovoltaica nombrada para estimar la cantidad de las partes requeridas dentro de un proyecto fotovoltaico de 367.6 MW de potencia.

Esta última tiene la potencia instalada equivalente a una de las diez centrales establecidas según la metodología de Bonadona. De igual manera se realizó la estimación para el total de las diez centrales solares, que equivale a 3.676 MW.

Posteriormente para calcular los resultados de los indicadores utilizados de la planta de Zaratti. Se prosiguió la misma metodología de cálculo pero esta vez utilizando como dato base la capacidad instalada de 1Mw. Para presentar los datos de manera homogénea dentro de una sola tabla, se decidió calcular los mismos indicadores para la planta fotovoltaica Oruro Fase 1.

Para realizar una comparación entre la propuesta fotovoltaica con la represa Bala-Chepete, fueron extraídos ciertos datos para construir indicadores comparables entre ambos proyectos. La información fue extraída de las investigaciones realizadas por Geodata. Con esto se logró recopilar suficiente para analizar las perspectivas económicas, sociales y ambientales de cada uno. Bajo la perspectiva económica los indicadores que fueron contrastados son: inversión, costo de energía por megawatt, precio por megawatt¹⁸, producción anual de energía, utilidad por megawatt, tiempo de construcción, costos de operación más amortización y costo potencia. Por otra parte, el análisis ambiental y social contrarresta los siguientes datos: área de ocupación, cantidad de personas desplazadas, número de objetos arqueológicos hallados, cantidad de metano emitido, número de especies vegetales y animales encontrados dentro de la represa y la existencia de áreas protegidas que colindan con el proyecto.

Además de considerar los indicadores mencionados, también se llevó a cabo una comparación de matriz de impacto ambiental y social entre las dos fuentes de energía. Este estudio fue elaborado para la represas por parte de Geodata tomando en cuenta las repercusiones dentro de la etapa de ejecución. Por tanto, para realizar la comparación entre ambos, se elaboró el mismo análisis para la central fotovoltaica tomando en cuenta la información de impactos relacionados con la planta solar Xoxocotla en México. De esta manera se pudo obtener una línea base respecto a los niveles de repercusiones que se obtienen al construir un proyecto a base de paneles solares (X-ELIO, 2017).

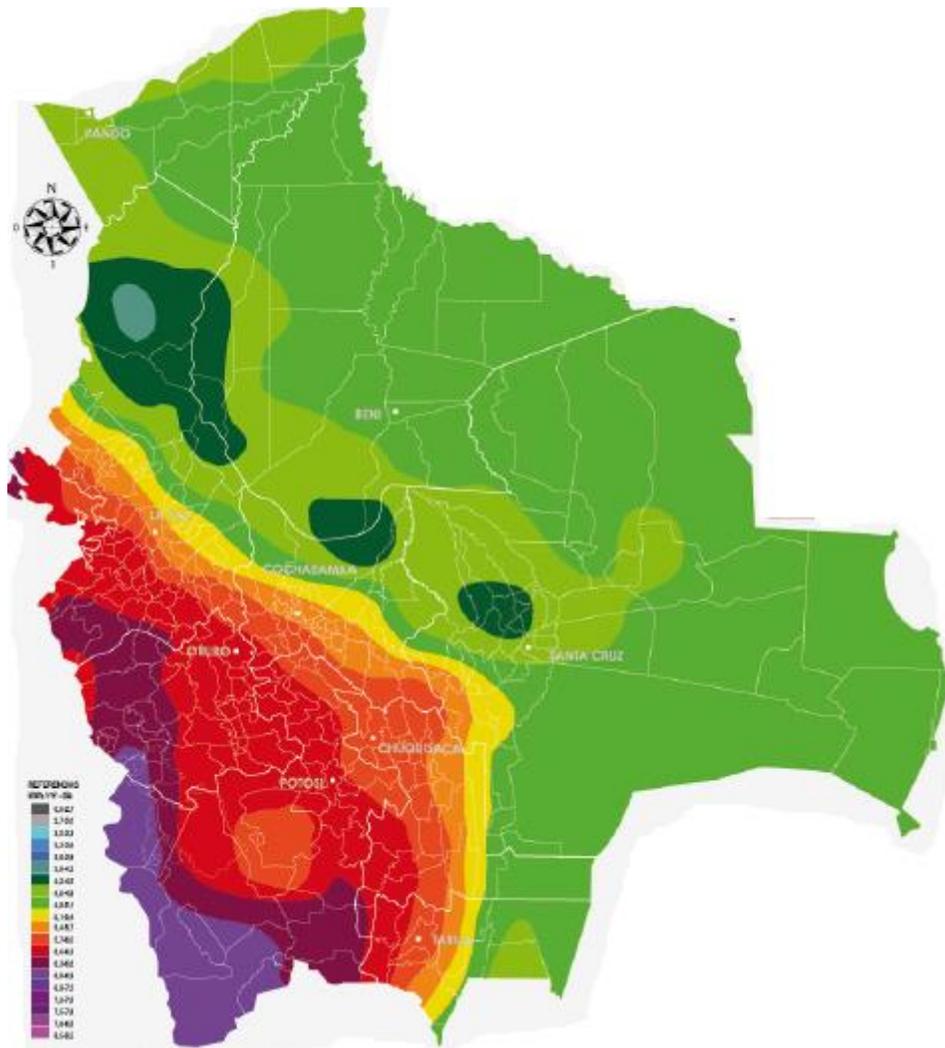
¹⁸ El precio tomado en cuenta es el precio de la hidroeléctrica Jirau, la cual tiene una potencia instalada similar a las plantas fotovoltaicas y a la hidroeléctrica Bala-Chepete. Esta es una hidroeléctrica licitada por el Gobierno Brasileiro.

En cuanto a la ubicación de las diez plantas fotovoltaicas, se utilizaron tres herramientas de análisis. La primera fue la utilización de mapas solares para determinar la ubicación óptima de estos proyectos. De esa manera se puede establecer en qué parte de Bolivia se recibe la mayor irradiación durante los 12 meses del año y así obtener mejores resultados de los colectores solares. Una vez que se decidió el lugar, se analizó la existencia de las áreas protegidas en la zona. De esta manera se evitó planificar alguna instalación fotovoltaica cerca de estas áreas frágiles. Por tanto, se utilizó los mapas provenientes de SERNAP donde se detalla la información necesitada. Finalmente, se utilizó Google Earth para observar de manera precisa la consistencia de los territorios en la zona escogida. El objetivo fue seleccionar aquellos que tengan características desérticas para evitar impacto alguno a nivel agrícola y desplazamiento de personas. Esta herramienta también ayudó a calcular la latitud, longitud e inclinación del espacio. Los dos primeros datos sirven para hallar de manera exacta el área definida. La inclinación tiene otro propósito, puesto que se buscaron aquellos con resultado 0 o muy cercano a este número para no tener que incurrir en costos de aplanamiento.

2.4 Presentación de Resultados

El siguiente mapa presenta la radiación solar anual de Bolivia. A partir de la información que éste presenta puede identificarse el lugar óptimo para establecer los proyectos fotovoltaicos. La identificación del lugar se da a partir de colores, la escala está ubicada en la esquina inferior izquierdo. El color gris representa la menor cantidad posible de radiación mientras que el morado es el más alto. Este indicador es medido en Kwh/m^2 .

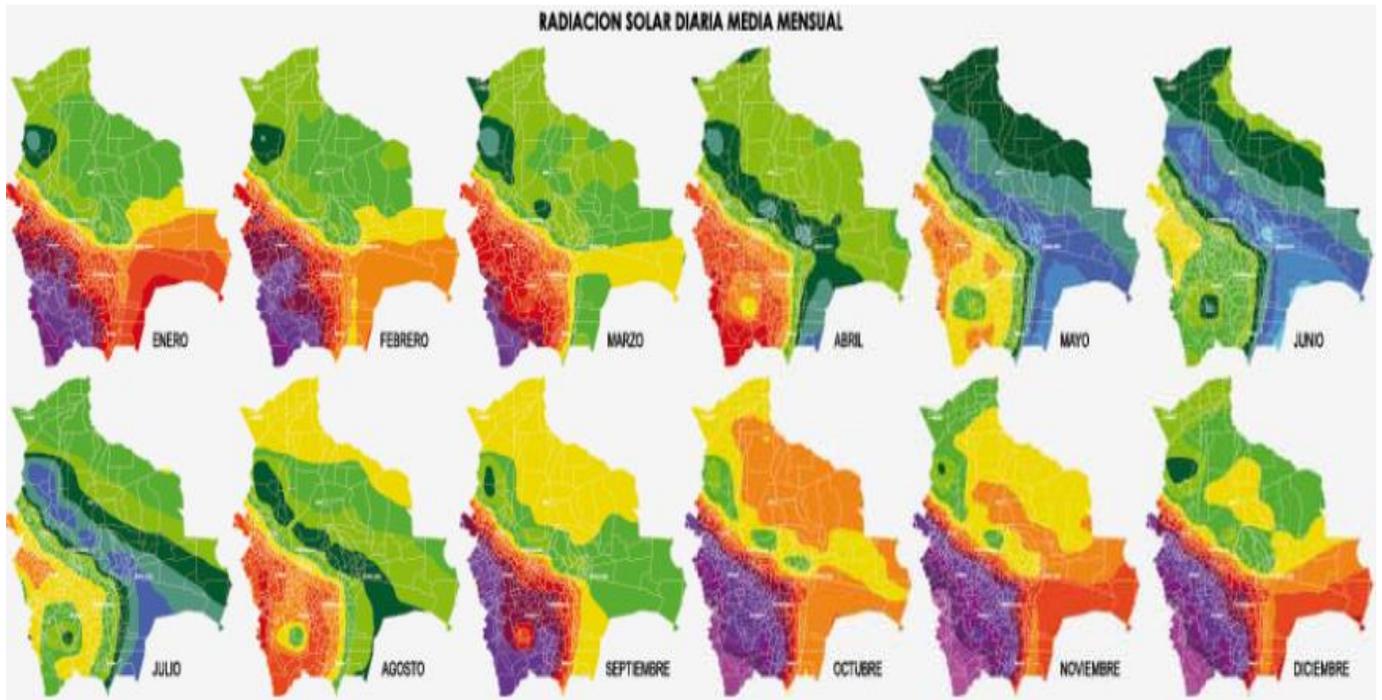
Gráfico 9: Mapa de Radiación solar media anual de Bolivia



Fuente: Mapa extraído de la base de documentos de (Energetica, 2015)

Con lo expuesto en el mapa, los lugares que poseen las mejores características para ejecutar un proyecto fotovoltaico son Potosí y Oruro. Entre estos dos departamentos, el primero presenta mayor área con una alta radiación solar. Cabe recalcar que estos niveles pueden tener cierto grado de variabilidad dependiendo de la estación climatológica. Estas modificaciones pueden ser observadas en el siguiente gráfico:

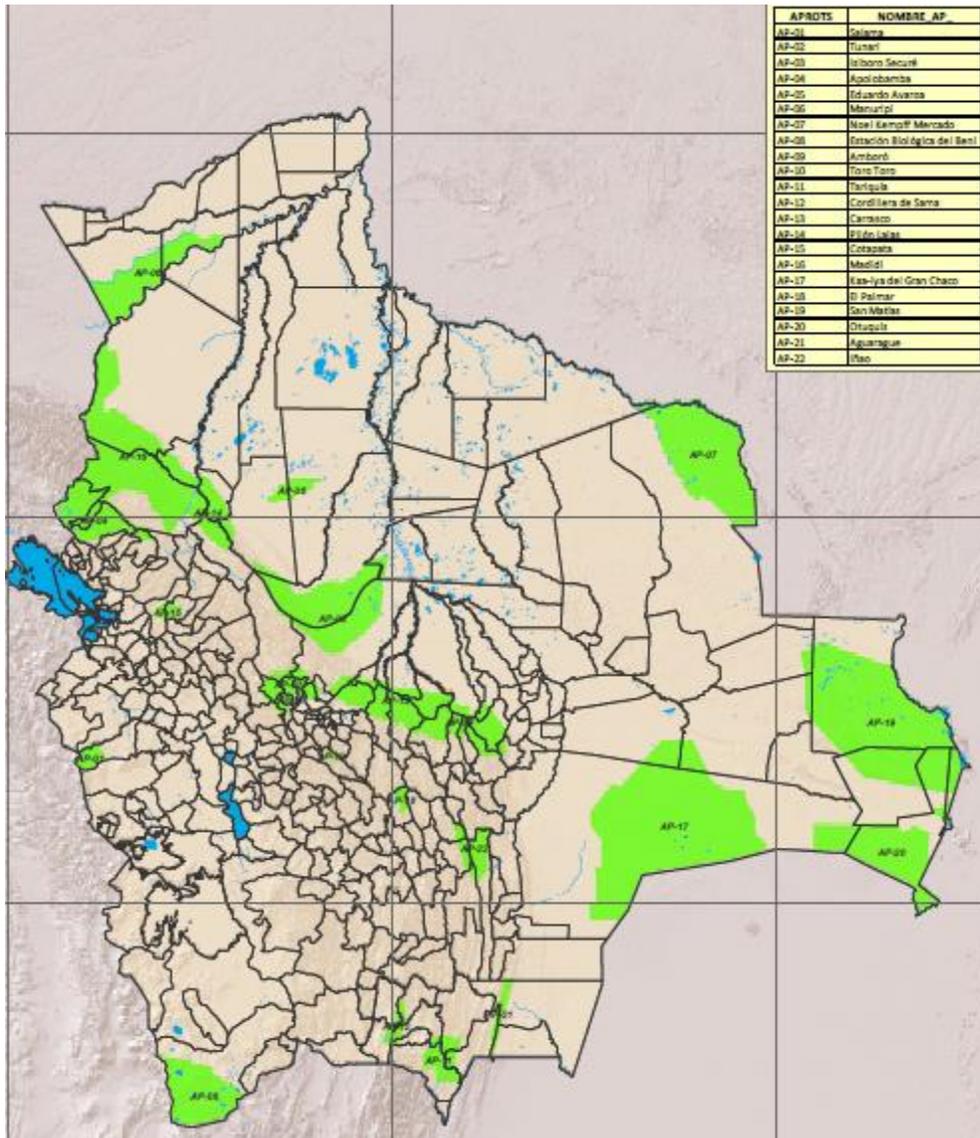
Gráfico 10: Radiación solar media mensual de Bolivia



Fuente: Mapa extraído de la base de documentos de (Energetica, 2015)

Cuando el análisis se lo observa de manera mensual, se puede determinar que el periodo en el que Potosí y Oruro tienen los niveles más bajos de radiación entre Mayo y Julio. Después de estos meses se vuelve a calentar el ambiente hasta llegar a la escala más alta, los cuales se dan entre Septiembre a Marzo. Según los resultados obtenidos, el lugar más apropiado para instalar centrales fotovoltaicas es en el la punta sur de Potosí. Sin embargo, antes de establecer de forma definitiva la ubicación del proyecto se debe analizar las áreas protegidas existentes en el territorio.

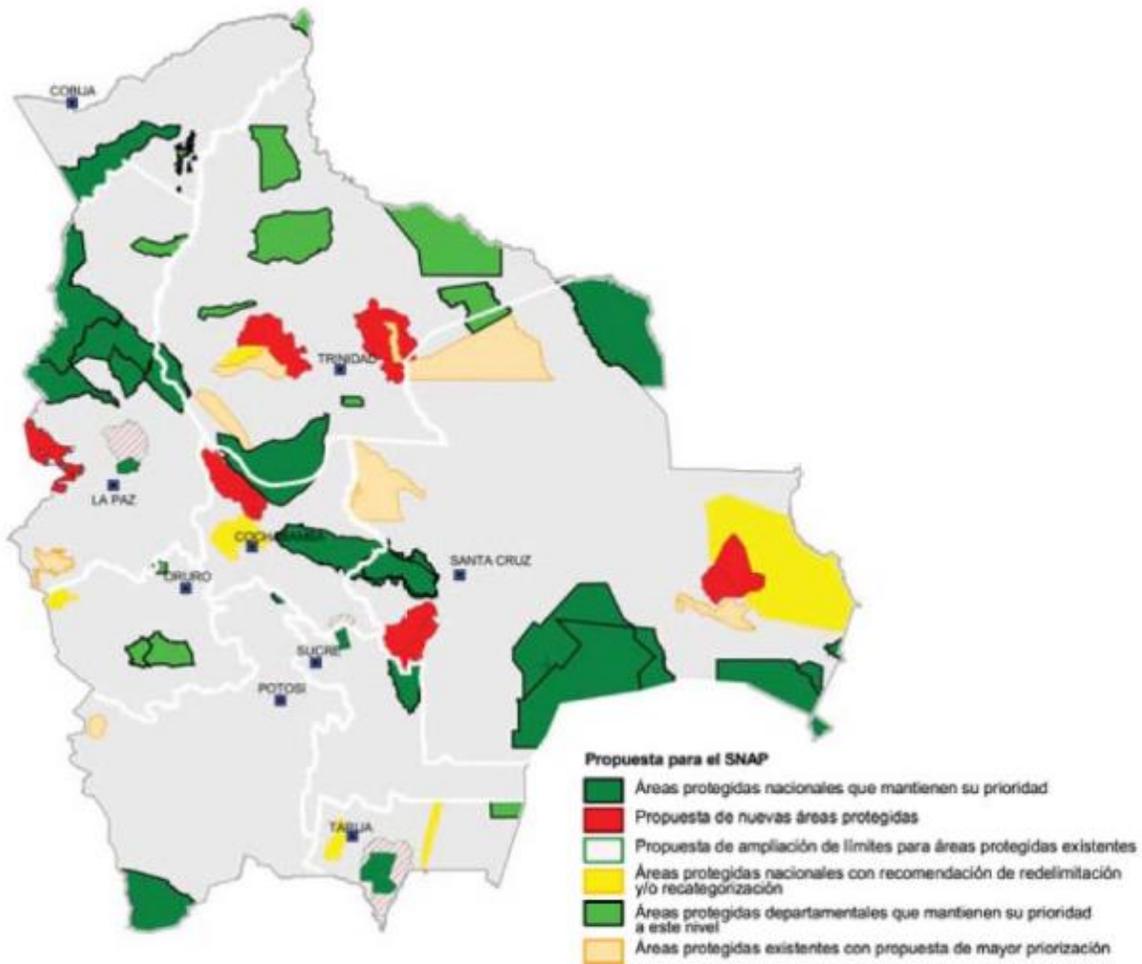
Gráfico 11: Mapa de las Áreas Protegidas de Interés Nacional



Fuente: Mapa extraído de la base de datos de (SERNAP, 2018).

El gráfico 11 muestra las áreas protegidas que posee Bolivia. Debido a la ubicación del área protegida Eduardo Abaroa, Tariquia y Reserva Biológica de la Cordillera Sama; las centrales fotovoltaicas deben evitar estar ubicadas en territorios cercanos a estos. Por tanto, no es posible ubicar el proyecto en la punta sur de Potosí y tampoco a cercanías de los las otras tres áreas mencionadas.

Gráfico 12: Mapa de Áreas Protegidas de Bolivia



Fuente: Mapa extraído de la base de datos de (SERNAP, 2018).

Con un estudio requerido por la SERNAP y Fondo Mundial para el Medio Ambiente, se realizó un mapa en el cual se propone nuevas áreas protegidas o ampliar el territorio de protección. El gráfico 12 presenta las futuras extensiones que podría pasar a ser parte del mapa oficial de los territorios de importancia nacional. Por esta razón se decidió analizar esta división, para ubicar el proyecto en un lugar que no involucre regiones a ser protegidas por la SERNAP.

En ese sentido, se decidió proyectar el trabajo al norte de Potosí donde no existe algún choque de intereses en el ámbito ambiental ni económico. Con este factor tomado en cuenta, las regiones elegidas se encuentran en: Bertani, Ledezma, Catani Catani y Chijlla Vinto.

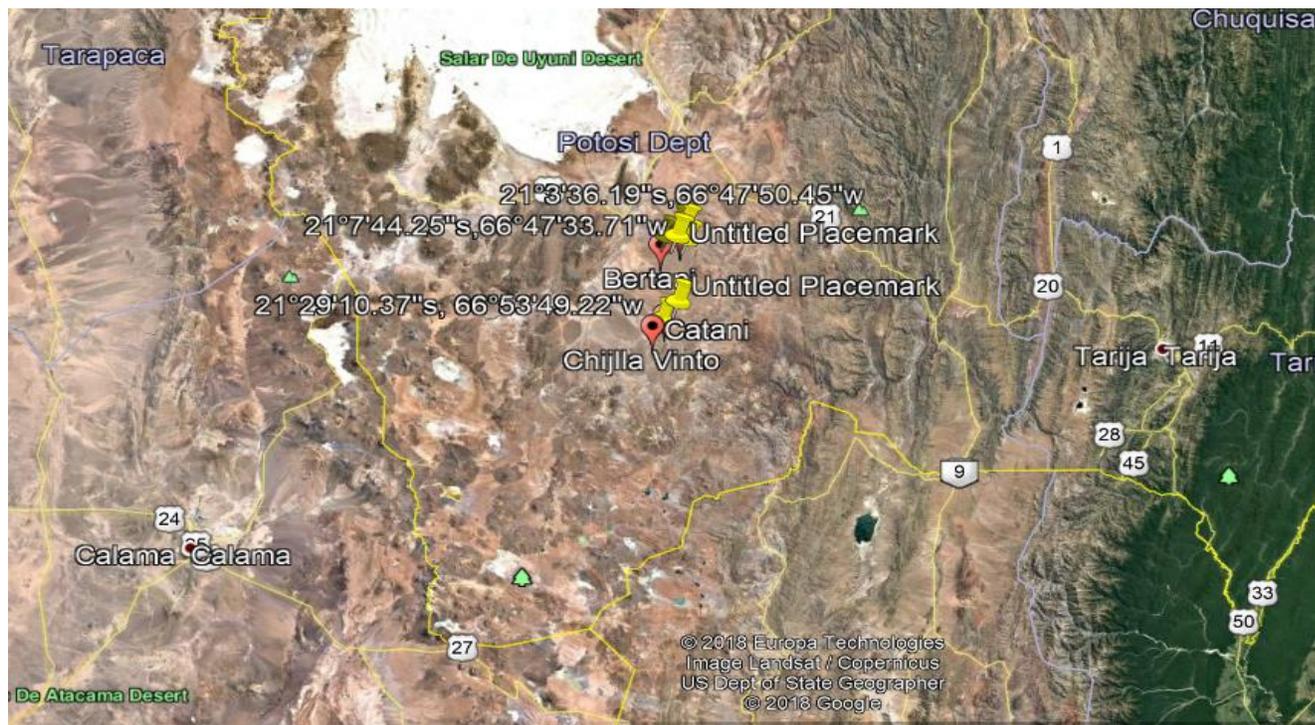
Tabla 10: Ubicación geográfica de las diez plantas fotovoltaicas en coordenadas

No de Ubicacion	Pueblos Cercanos	Latitud	Longitud	Inclinacion
1	Bertani	21°7'1.22"S	66°52'49.35"W	0.00°
2	Ledezma	21°3'36.19"S	66°47'50.45"W	0.00°
3	Ledezma y Bertani	21°7'44.25"S	66°47'33.71"W	4.00°
4	Ledezma	21°3'54.86"S	66°49'41.31"W	0.00°
5	Bertani	21° 7'15.82"S	66°50'15.13"W	0.00°
6	Catani Catani	21°24'57.02"S	66°49'53.65"W	6.00°
7	Catani Catani	21°27'8.81"S	66°52'27.26"W	2.00°
8	Chijlla Vinto	21°27'30.91"S	66°55'9.69"W	2.00°
9	Chijlla Vinto	21°29'10.37"S	66°53'49.22"W	6.00°
10	Chijlla Vinto	21°30'3.91"S	66°53'30.40"W	6.00°

Fuente: Información extraída de las coordenadas de Google Earth Pro.

Esta tabla demuestra las coordenadas exactas donde están proyectadas las múltiples centrales fotovoltaicas. Además de la latitud y longitud, se tiene la información de la inclinación del lugar. Al ubicar estos sectores se escogió cuidadosamente que la pendiente de los territorios sea lo más cercano posible a cero. Este factor es importante al momento de construir la planta para poder disminuir los costos de planeación del terreno, ya que las estructuras requieren tener un suelo homogéneo.

Gráfico 13: Mapa de ubicación geográfica de las plantas fotovoltaicas mediante Google Earth



Fuente: Elaboración propia utilizando Google Earth

El gráfico 13 muestra cómo se vería desde una perspectiva general la ubicación de las centrales fotovoltaicas. El signo del árbol verde en el mapa representa el área protegida Eduardo Abaroa. En ese sentido la ubicación del proyecto está situado más al Noreste del departamento, donde ninguna de las centrales este cerca o dentro de alguna de las áreas naturales de importancia nacional. De igual manera contrarrestando ambos mapas de SERNAP se logra disminuir el impacto ambiental y social en el que se puede incurrir a nivel turístico, fauna, flora y urbano.

El propósito de establecer complejos de plantas fotovoltaicas está relacionado con dos objetivos principales. El primero corresponde a la cercanía a las poblaciones, donde los habitantes encontrarán una fuente laboral. Las personas que vivan en Bertani, Ledezma, Chijlla Vinto y Catani Catani podrían participar en el proyecto. Desde esta perspectiva la ejecución de las centrales traería una externalización positiva al lugar. La segunda razón está relacionada con la economía de conglomeración. Ésta estará detallada de forma explícita en el acápite de recomendaciones puesto que saldría de los límites de investigación en cual está encuadrado el presente trabajo.

Con la ubicación ya decidida, los resultados de la estimación fotovoltaica en base a los datos utilizados son los siguientes:

Tabla 11: Resultados de la estimación de la Planta Fotovoltaica

Estimacion de la Propuesta Fotovoltaica			
Caracteristicas	Unidades	Planta FV Modelo Oruro Fase 1	Planta FV Propuesta
Capacidad Instalada	MW	50.0	367.6
Paneles Solares	No	150,000.0	1,102,800.0
Inversores	No	46.0	338.2
Area	Ha	300.0	2,205.6
Inversion	\$us	125,000,000.0	919,000,000.0
Paneles Solares	No	150,000.0	1,102,800.0
Vida Util	Años	30.0	30.0
Produccion Anual	MWh/Año	105,000.0	771,960.0
Costo Total (Rutina y Variable) *	\$us/año	1,150,000.0	8,454,800.0
Costo por Megawatt *	\$us/MWh	26.4	26.4
Costo de Inversion	\$us	39,581,475.9	291,003,010.5
Fondo de Reserva *	\$us/Año	302,893.5	2,226,873.0

Fuente: Elaboración propia utilizando datos extraídos de (ENDE, 2015).

Esta tabla presenta los resultados de la estimación de la planta fotovoltaica que es comparada con la represa Bala –Chepete. En el lado izquierdo se muestran los datos obtenidos de la central Oruro Fase 1, mientras que en el lado derecho se muestran los resultados de la propuesta. Los indicadores que están marcados con asterisco, fueron calculados a partir de la información del trabajo de Zaratti. Tal como se mencionó anteriormente, los indicadores de ésta última investigación fueron calculados igualmente para Oruro Fase 1 para obtener una presentación de cifras uniformes. El tiempo de construcción fue el único dato que estuvo basado en la investigación de Carlos Bonadona.

Los proyectos fotovoltaicos parten del supuesto que el precio de la generación eléctrica es de 70 dólares americanos, esta cifra fue tomada a partir de la estimación presentada por Zaratti. A partir de esta deducción se pudo calcular ciertos indicadores económicos como ingreso bruto y neto. La siguiente información destaca los aspectos comparativos entre la hidroeléctrica y central solar.

Tabla 12: Comparación de indicadores entre Bala-Chepete y planta fotovoltaica

Indicadores Economicos				
		Bala+Chepete	Propuesta de FV	10 Plantas FV
Característica	Unidad	Valor	Valor	Valor
Potencia Instalada	Mw	3,676	368	3,676
Inversion Total	\$us	5,322,603,830.72	919,000,000.00	9,190,000,000.00
Precio por energía	\$us/MW	42.80	42.80	42.80
Costo de Energia	\$us/MW	80.51	26.40	26.40
Utilidad por unidad	\$us/MW	(37.71)	16.40	16.40
OPEX+ Amortizacion	\$us	53,039,225,855.00	611,453,200.88	6,114,532,008.83
Costo Potencia	\$us/MW	1,447,933.58	2,500,000.00	2,500,000.00
Indicadores Tecnicos				
		Bala+Chepete	Propuesta de FV	10 Plantas FV
Característica	Unidad	Valor	Valor	Valor
Tiempo de Construccion	Años	16	1	10
Produccion Anual	MWh/Año	8,485,377.30	771,960.00	7,719,600.00
Relacion Area/Potencia Instalada	Km2/MW	0.21	0.06	0.06
Total de area ocupada	km2	770.00	22.056	220.56
Indicadores Medioambientales				
		Bala+Chepete	Propuesta de FV	10 Plantas FV
Característica	Unidad	Valor	Valor	Valor
Colindante alguna área protegida	N/A	Si	No	No
Emision de Metano	Gg HC4/año	177	0	0
Indicadores Sociales				
		Bala+Chepete	Propuesta de FV	10 Plantas FV
Característica	Unidad	Valor	Valor	Valor
Cantidad de Personas desplazadas	No	5,164	0	0
Existencia de objetos Arqueologicos	No	41	0	0

Fuente: Elaboración propia.

La información de la tabla 12 detalla los indicadores que son comparables en ambos proyectos para reflejar la eficiencia energética, económica, ambiental y social que destaca cada uno de ellos por categoría. La primera columna presenta los resultados de la represa Bala-Chepete, la segunda representa una de las diez centrales fotovoltaicas con potencial de un décimo de la capacidad instalada en la hidroeléctrica, la última consta de la sumatoria de todas las centrales propuestas.

Dentro del análisis económico, se puede observar que la inversión de la planta fotovoltaica en su totalidad es significativamente mayor a la que requiere el proyecto Bala-Chepete. La primera

demanda 9,190,000,000 dólares americanos para construir el proyecto, mientras que la hidroeléctrica precisa de 5,322,603,831 dólares americanos. El precio por megawatt producido a de ambos proyectos es de 42.48 USD/ MW el cual proviene como dato de referencia de la hidroeléctrica Jirau. Se decidió tomar en cuenta este precio ya que este proyecto fue licitado por el gobierno brasilero y tiene una potencia instalada similar a la de ambos proyectos¹⁹. Cabe recalcar que no se encontró en los informes de Geodata el precio de generación eléctrica, por tanto se basó dicha cifra en un aproximado. Estos resultados deben ser comparados con el costo de generación de electricidad para analizar el nivel de rentabilidad que tendrían cada ellos. En el caso de la hidroeléctrica, este es de 80.51 \$us/MW²⁰ según el análisis financiero que presenta Geodata en los informes, mientras que el proyecto en comparación es de 26.40 \$us/MW. Bajo estos números, la hidroeléctrica no tiene utilidad alguna puesto que el costo es mayor al precio tomado en cuenta. Por tanto la pérdida por unidad de energía generada es de 37.71 \$us. El proyecto fotovoltaico en contraparte tendría una ganancia de 16.40 \$us/MW, lo que equivale al 38% de rentabilidad.

Otra particularidad financiera que pueden observarse en las fuentes de energía renovables son los costos de operación y amortización de cada uno de ellos. En la situación de la represa, la sumatoria de los costos de operación son de 53,039,225,855 \$us mientras que el de la propuesta fotovoltaica es de 6,114,532,008.83 \$us. Esta diferencia en cifra puede deberse por el alto costo de rotación de partes significativas por el sistema hidroeléctrico como ser las turbinas de agua. En cambio, los insumos de una central fotovoltaica no sufren de una manutención significativa de partes puesto que los colectores solares no requieren de mucho movimiento de estructura. La única actividad mecánica llevada a cabo es el cambio de inclinación de los soportes por el movimiento del sol durante el día. Por esta razón es que este tipo de indicador es significativamente menor al proyecto hidroeléctrico.

¹⁹ La hidroeléctrica Jirau tiene características similares a la del Bala-Chepte y el central fotovoltaico ya que su potencia instalada es de 3.300 MW. Además genera su energía a partir de turbinas Bulbo las cuales también planean ser utilizadas dentro de la represa boliviana. Por otra parte, el hecho de que la represa se encuentra en el Brasil, permite ubicar el mismo contexto futuro en el cual Bolivia quiere exportar la energía eléctrica.

²⁰ Cabe recalcar que la hidroeléctrica Bala-Chepete es un proyecto conjunto de dos represas bajo un sistema de cascada lo que quiere decir que existe dos costos de generación eléctrica. El análisis financiero Bala 220 tiene un resultado de 80.51 USD/MW, mientras que el Chepete 400 generaría electricidad a un costo de 55.01 USD/MW. Siendo que el proyecto considera a ambos embalses en su totalidad, se tomó la sumatoria de la inversión de ambos como así el costo más alto de generación eléctrica.

Por otro lado cabe recalcar que la tasa de interés por amortizar la deuda en el proyecto fotovoltaico es del 31.67%, mientras que el costo de oportunidad del Bala-Chepete es del 12%. La diferencia de porcentaje que presenta la central solar con respecto a la hidroeléctrica se debe a que los cálculos estimados parten de la fotovoltaica Oruro Fase 1. Sin embargo, esta cifra es elevada para el tipo de desarrollo de proyectos en cuestión; siendo que en general los préstamos suelen provenir de organizaciones internacionales las cuales dan una tasa de préstamo preferencial, teniendo como rango entre el 8 al 12%.

La amortización es un aspecto importante en el análisis financiero puesto que es uno de los factores que incide en el costo unitario de electricidad en el proyecto. Ya que existe una diferencia de tasa entre ambos proyectos, se decidió construir un análisis de escenarios si es que se tomaran en cuenta otras tasas de préstamo, tal como puede observarse en la siguiente tabla:

Tabla 13: Análisis de escenarios por interés de préstamo para la Planta Fotovoltaica

Análisis de Escenarios de la Planta Fotovoltaica					
Tasa de Interés	Amortización Total (\$us)	Opex+Amortización Total (\$us)	Costo de Energía (\$us/MW)	Precio de Energía (\$us/MW)	Utilidad por energía (\$us/MW)
31.67%	2,910,473,000.00	6,114,974,903.60	26.40	42.8	16.40
12%	1,102,800,000.00	4,307,301,903.60	18.60		24.20
6%	551,400,000.00	3,755,901,903.60	16.22		26.58

Fuente: Elaboración propia.

Se tomó en cuenta la misma tasa de interés que la represa Bala-Chepete y aquella que el Banco Central de Bolivia está otorgando como techo para proyectos productivos si es que el sector privado fuese a construir la central fotovoltaica. Además la tabla cuenta con el análisis de los cambios en el costo de generación por unidad eléctrica y la utilidad que se tendría en cada escenario. Aun con un interés alto, como ser del 31.67%, el proyecto tiene una rentabilidad del 16.40\$us/MW. Si se tomara en cuenta el 12%, los costos de operación más la amortización disminuyen hasta ser de 4,307,301,903.60 \$us, esto también repercute en el costo y rentabilidad siendo de 18.60 \$us/MW y 24.20\$us/MW respectivamente. Con el interés del 6%, los costos de operación y amortización son aún más bajos por ser de 3,755,903.60 \$us. De misma manera el

costos de energía sería de 16.22\$/us/MW y la utilidad de 26.82\$/us/MW. En todos los escenarios el proyecto es económicamente viable.

El último aspecto financiero dentro de la tabla 12 es el costo potencia. Este resultado refleja la relación del costo de inversión entre la potencia instalada. Por tanto, mientras más alto el resultado más costo representa producir un solo megawatt instalado. En ese sentido, los resultados obtenidos demuestran que el proyecto hidroeléctrico es menos costoso que el proyecto fotovoltaico por cada megawatt instalado. El primero requiere de 1,447,934 \$us de inversión para instalar un megawatt de potencia mientras que el segundo emplea 2,500,000 \$us para generar la misma capacidad eléctrica. Bajo éste indicador, es más económico la represa que el proyecto solar.

El análisis técnico contempla el factor producción anual de cada uno. El cálculo demuestra que la hidroeléctrica genera más energía efectiva anual que la central fotovoltaica. El primero registra 8,485,377.30 MWh/año mientras que el segundo rinde 7,719,600 MWh/año. Bajo términos de producción la represa Bala-Chepete puede generar mayor cantidad de energía que el proyecto propuesto.

El indicador área/potencia es parte del análisis de la eficiencia energética. Este cálculo refleja el resultado de la cantidad de territorio necesitado para generar un megawatt de potencia eléctrica. Ya que dentro de la comparación se cuenta con la misma potencia instalada para ambos proyectos, el resultado reflejará la capacidad tecnológica de utilizar la menor cantidad de área para generar energía eléctrica. Siendo que el resultado para la central fotovoltaica es 0.06 km²/MW y de la hidroeléctrica es 0.2082 km²/MW, se comprueba que es más eficiente de utilizar paneles solares como fuente de energía puesto que logra utilizar menos espacio que la energía hidráulica.

La comparación de resultados a nivel social es claramente definido mediante la comparación del número de personas desplazadas. La planta solar no requiere desplazar alguna de ellas, mientras que el Bala y Chepete afectará a 5,164 personas de distintos grupos étnicos. Además estos nativos perderían una parte cultural de sus propios orígenes puesto que el proyecto impactaría de forma directa a 41 objetos arqueológicos. Estos a su vez no solo tienen valor social para los indígenas de Pílon Laja sino que deben ser considerados también como patrimonio nacional.

Entre estos objetos se encuentran cerámicas de distintas tradiciones y petroglifos a orillas del Río Beni. Bajo este análisis, el proyecto fotovoltaico no repercutiría con artículos de esta clase.

El análisis ambiental, presenta resultados que indican mayor nivel de mitigación por parte de la propuesta solar que la represa Bala-Chepete. El primero no colinda con áreas protegidas o parques naturales del país mientras que el segundo tiene cercanía con tres zonas pertenecientes a esta categoría. En ese mismo sentido, la ubicación del proyecto fotovoltaico logra mitigar el impacto a los animales y vegetales del lugar por estar alejado de la reserva Natural Eduardo Abaroa, Parque Nacional Toro Toro, Área Protegida Tariquia y Reserva Biológica de la Cordillera Sama. Además cabe recalcar que una de las ventajas que tienen el proyecto a base de energía solar, es que Potosí posee vastas zonas desérticas las cuales permiten reducir el daño a nivel medio ambiental. En contraste, la represa tiene la desventaja que además de localizar la hidroeléctrica entre dos áreas protegidas de Bolivia, estas mismas áreas colindan con el Parque Nacional Behuaja Sonene y Zona Reservada Tambopata Cadamo, las cuales son pertenecientes al Perú. Por tanto los cambios que se producirán en los ecosistemas del Madidi y Pílon Lajas pueden potencialmente repercutir en los ecosistemas de las tierras fronterizas del país vecino.

En cuanto al análisis de la emisión de gases de efecto invernadero, se obtuvo la cantidad de metano producido por ambos proyectos. Este indicador es de vital importancia puesto que este componente es uno de los más dañinos para la atmósfera. El metano es 21 veces más nocivo para el medioambiente que el dióxido de carbono. Según los datos provenientes del informe de Geodata, la hidroeléctrica emitirá 177 gigagramos de metano por año; mientras que la planta fotovoltaica no reproducirá ningún tipo de gas perjudicial para la capa de ozono (Geodata A, 2015).

Finalmente, se realizó una última estimación de la cantidad de flora y fauna que podrían estar involucrados dentro del área del proyecto. Para esto se realizó una variable proxy. El cálculo de uno de ellos consistió en dividir el total de especies de plantas encontradas en el PNANMI Madidi y TCO Pílon Lajas entre la superficie total de ambos territorios. El resultado es una estimación de la cantidad de vegetación encontrada por kilómetro cuadrado. Este último es posteriormente multiplicado por el área de ocupación que tendrá el Bala-Chepete. De esa manera se obtiene el número de especies de flora potencialmente afectado por la construcción del

proyecto. De igual manera se sigue el mismo procedimiento para determinar el número de animales que estarían involucrados. El análisis demuestra que la hidroeléctrica afectaría a 377 especies vegetativas y 106 animales.

Para que sea un indicador comparativo, se realizó el mismo cálculo para la planta fotovoltaica. Sin embargo, es más dificultoso recabar información del número de especies de flora y fauna ubicadas en los lugares exactos donde están proyectadas las centrales por ser un ambiente desértico y sin registros de estas variables. Es así que se utilizaron los datos provistos de dos áreas protegidas de Potosí que tuvieran aspectos climáticos similares a los territorios escogidos. Se escogió la Reserva Biósfera Cordillera Sama y Reserva Nacional de Fauna Andina Eduardo Abaroa. Los resultados determinaron que el proyecto podría afectar aproximadamente 1 especie de fauna y 4 de flora.

Como última herramienta de comparación bajo esta perspectiva se tiene la matriz de impacto ambiental y social de ambos proyectos reflejada en la tabla 15. Dicha herramienta permite analizar si las repercusiones de las acciones son positivas o negativas en la etapa de ejecución. Para establecer la magnitud de cada una se consideró la siguiente escala:

Tabla 14: Escala de Impactos ambientales y sociales de la matriz:

Impactos Positivos	1=Bajo	2=Moderado	3=Alto
Impactos Negativos	A=Bajo	B=Moderado	C=Alto

Fuente: Información extraída de (Fundación Solón A, 2017)

Si se compara la situación que presenta el Bala-Chepete en comparación a la planta fotovoltaica propuesta, esta última logra mitigar la mayoría de las repercusiones que tendría la represa. Esto se debe porque la central solar se realizaría en una zona desértica, donde no existiese impacto alguno sobre la fauna, flora o generación de desperdicio en el lugar. Es por esta razón que existen ciertas columnas en la matriz que están vacías. Los impactos de dispersión de partículas y compresión de tierras son bajos puesto que la ubicación de las plantas fotovoltaicas fueron seleccionadas por tener una inclinación baja o de cero grados, permitiendo mitigar de la mejor forma el levantamiento de polvo o tierra en el ambiente. Asimismo mega hidroeléctrica presenta

escenarios donde los impactos negativos serían altos, mientras que el desarrollo de la central solar solo alcanzan escalas moderadas.

Tabla 15: Matriz de Impactos Sociales y Ambientales de los proyectos

Actividades del Proyecto	Partículas Factor Dispersion	Variaciones de Caudal	Aceites Y Grasas	Solidos Disueltos	Coliformes fecales	Compactacion	Erosion	Riesgos	Uso de Suelos	Fauna Terrestres	Fauna Acuatica	Vegetacion Y Flora Terrestre	Vegetacion Y Flora Acuatica	Ruido-Comunicacion	Paisajismo	R	Socioeconomico					
																	Aire	Agua	Suelo	Ecologia		
Chepete	Etapas: Ejecucion																					
	1. Apertura de caminos de acceso y construccion de un puentes	B	A		A	A	A	B	B	A	B	B	B	C	A	C	A	2	2	A	C	
	2. Instalacion de Faenas	A	A		A		A	A	B	A	A	A		B		B	A	3	3	A	A	
	3. Disposicion materiales de excavacion	A	B		B	B	B	C	B	B	C	C		C		C		3				
	4. Transporte de materiales, equipos y personal		A		A		B	A	A	A	A	A		A		A		3	3			
	5. Extraccion de material de canteras y agregados	B	B		A	A	A	A	A	B	A	A		A		A		3	3			
	6. Desviacion del rio Beni para la construccion de la presa	B	B		C	A	C	A	B	A	A	B	C	C	C	B	A	3		B		
	7. Ejecucion Planes de desmonte	A	A		A		A	B	B	B	C	C		C	B	C	A	3		C	C	
	8. Construccion de la presa vertedero en RCC	B	A	B	C	A	C	A	C	B	B	C	C	C	C	C	B	A	3	3	B	
	9. Construccion casa de maquina y montaje de equipos	A	A	A		A		A	B	A	A	A		A		B	A	3	3			
	10. Construccion de subestaciones y montaje de equipos		A	A		A		A			A	A		A		A	A	3	3			
	11. Construccion de fundaciones para torres			A		A		A			B	A		A		A	A	3	3		B	
	12. Montaje de torres metalicas							B				B		B		B	A	3	3	A	A	
	13. Tendido y tesado de conductores y cables de guardia															C	A	3	3			
Bala	Etapas: Ejecucion																					
	1. Apertura de caminos de acceso y construccion de un puentes	B	A		A	A		A	B	B	A	B	B	B	C	A	C	A	2	2	A	C
	2. Instalacion de Faenas	A	A		A		A	A	B	A	A	A		B		B	A	3	3	A	A	
	3. Disposicion materiales de excavacion	A	B		B	B	B	C	B	B	C	C		C		C		3				
	4. Transporte de materiales, equipos y personal		A		A		B	A	A	A	A	A		A		A		3	3			
	5. Extraccion de material aluvial	B	B		A	A	B	A	A	A	B	A	A		A		A	3	3			
	6. Desviacion del rio Beni para la construccion de la presa	B	B		C	A	C	A	B	A	A	B	C	C	C	B	A	3		C		
	7. Ejecucion Planes de desmonte	A	A		A	A	A	B	B	B	C	C		C	B	C	A	3		C	C	
	8. Construccion de la presa flexible	B	A	B	C	A		A	C	B	B	C	C	C	C	C	B	A	3	3	B	
	9. Construccion casa de maquina y montaje de equipos	A	A	A		A		A	B	B	A	A		A		B	A	3	3			
	10. Construccion de subestaciones y montaje de equipos		A	A		A		A	A		A	A		A		A	A	3	3			
	11. Construccion de fundaciones para torres		A	A		A		A			A	A		A		A	A	3	3		B	
	12. Montaje de torres metalicas							B	A		B	B		B		B	A	3	3	A	A	
	13. Fundido y tesado de conductores y cable de guardia							B								A	A	3	3			
Planta Fotovoltaica	Etapas: Ejecucion																					
	1. Movimiento de tierras, desbroce	A	A								A	A		A		B	A	3	3			
	2. Nivelacion y compactacion del terreno	A	A					A			A											
	3. Construccion de caminos de operacion y mantenimiento	B	B					B	A		B											
	4. Construccion de Planta Fotovoltaica	B	B					A			B	A		A		A	A	3	3			
	5. Construccion e instalacion de caseta concentradora de energia	A	A					A			A	A		A		A		3	3		3	
	6. Instalacion de transformadores																A	3	3			
	7. Construccion de subestacion electrica	A	A					A			A	A		A		A	A	3	3			
	8. Seccionador para concentrar todas las energias provenientes del sistema de media tension																A	3	3			
	9. Linea de conduccion aereas y subterranas para medir alta tens	A	A								A	A				A	A	3	3			
	10. Construccion de areas de oficinas, centro de acopio, bodega y taller mecanico	A	A								A	A				A	A	3	3			
	11. Caseta y cercamiento del predio	A	A								A	A				A	A	3	3			

Fuente: Elaboración propia e información extraída de (Fundación Solón A, 2017)

Capítulo III

3.1 Conclusiones

Con los datos obtenidos se concluye cuáles fueron los resultados de cada una de las perspectivas. Mediante el análisis económico se pudo comprobar que la inversión de una central fotovoltaica es mayor a la represa Bala Chepete. Si bien es un resultado positivo para la hidroeléctrica cabe tomar en cuenta que el precio de los sistemas fotovoltaicos ha ido disminuyendo a través de los años y según los pronósticos futuros la tendencia será de la misma manera. Los colectores solares han decrecido en precio de forma significativa pero las partes metálicas del sistema no han bajado con la misma rapidez. Sin embargo, existen ciertos factores que permiten reducir los costos de producción. Uno de ellos es la presencia de empresas nacionales que producen alguna de las partes más costosas de las centrales solares. Batebol y Phocos son empresas locales que manufacturan baterías, convertidores y reguladores de carga. Esto permite que el precio de estas no se eleve por la importación de las mismas.

Dentro del análisis existieron otros indicadores que ayudaron a profundizar de mejor manera cual sería el proyecto más conveniente para ser ejecutado. El costo por megawatt producido demostró que la hidroeléctrica es mucho más alto que el costo de producción de la central solar. El análisis es aún más negativo para el Bala-Chepete cuando se compara el costo por megawatt y el precio al cual se debería vender cada unidad de energía al Brasil puesto que se obtendría una pérdida del 38.03 \$us/MW producido. En contraparte, el proyecto propuesto en la investigación tiene un costo más bajo que el precio, lo cual permite obtener una rentabilidad del 28.96 \$us/Mw.

El análisis de los costos de operación y amortización de deuda permitieron analizar cuál de los dos proyectos es financieramente más atractivo en el largo plazo. El cálculo de la amortización de la planta fotovoltaica fue estimado a partir de una distinta tasa de interés que la que utilizó la represa. Esto se debe porque el proyecto solar tomó en cuenta el porcentaje que presenta la planta fotovoltaica Oruro Fase 1, la cual es el modelo base de todos los cálculos de la propuesta. El costo de inversión para estos proyectos solares es del 31.86%. Geodata por otra parte utilizó el 12% para estimar los pagos de interés que deben realizarse a través de la vida útil de la represa.

Tomando en cuenta que existe una diferencia significativa entre ambas tasas y que el porcentaje normalmente suele ser alrededor del 12% de interés, se prosiguió a realizar un análisis de escenarios. En dicho estudio se presentó los resultados de la cantidad de amortización y costo de capital de la planta fotovoltaica si tuviera que pagar a un 31.86%, 12% y 6%. El primer escenario toma en cuenta el interés original, el segundo es un escenario hipotético si el financiamiento proviene de un organismo cooperativo internacional y el tercer caso simula aquel donde la banca es el financiador. El Banco Central de Bolivia ha decretado que el techo de la tasa de interés que los bancos deberían prestar a proyectos productivos es del 6% para empresas grandes (Mamani, 2014).

La amortización y los costos de operación repercuten en el resultado del costo de generación por megawatt producido. En todos los escenarios provistos, la central fotovoltaica tiene bajos costos de producción en relación al precio tomado en cuenta y por ende una utilidad significativa. Sin embargo, la hidroeléctrica presenta pérdidas utilizando el 12% de interés por el capital prestado.

En ese sentido la estructura de costos de la hidroeléctrica Bala-Chepete no es competitiva en comparación al precio de un proyecto licitado en el Brasil. Esto complica el objetivo de convertir a Bolivia en el corazón energético del Cono Sur. Una de las últimas licitaciones brasileras realizadas en Abril del 2018, mostraron que los precios promedio finales al cual se acordaron los contratos fueron de 35.46 US/Mw y 20.30 US\$/MW. El primero proviene de proyectos que utilizan la fuente solar y el segundo a base de generación eólica. Bajo este panorama la planta fotovoltaica tendría aun la posibilidad de poder participar en este tipo de competencia energética para exportar electricidad. Es así que bajo la perspectiva económica la central solar es más eficiente que la hidroeléctrica Bala-Chepete (Singh, 2018).

Desde la perspectiva técnica se determinó que la represa logra producir mayor cantidad de energía que la central fotovoltaica. La primera genera 8,485,377 Mwh/año mientras que la segunda manufactura 7,719,600 Mwh/año. No obstante, los indicadores área/potencia, área de ocupación y tiempo de construcción obtienen resultados más favorables para el proyecto solar. Esto se debe a que se necesita menos cantidad de área de ocupación, menos espacio para producir un megawatt y menor tiempo de espera para que la central comience a trabajar. En ese sentido es más factible optar por la inversión de los colectores solares.

Bajo perspectivas sociales y ambientales, el proyecto fotovoltaico anula los costos que se enfrenta la mega represa por estar ubicada en las áreas protegidas del Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado Madidi y la Reserva Biosfera y Tierra Indígena Comunitaria de Origen Pilón Lajas. El número de personas desplazadas, los objetos arqueológicos, cantidad de flora y fauna que estarían impactados de forma directa como indirecta por la hidroeléctrica, son aspectos negativos que se recalcan al ejecutar un proyecto de esta magnitud. En contra parte si se ejecutan diez plantas fotovoltaicas que en conjunto tengan la misma capacidad instalada que el Bala-Chepete, se logra mitigar el riesgo de dañar el ecosistema y eludir la compensación de las personas nativas que viven en el lugar. Los territorios desérticos de Potosí permiten reducir cualquier daño ambiental y social, además de no estar ubicadas a cercanías de áreas protegidas.

Los indicadores por especies demostraron que la hidroeléctrica logra impactar a 160 especies de fauna y 377 especies de flora entre las cuales algunas de ellas son endémicas de Bolivia. En contra parte, el proyecto fotovoltaico estima impactar a 4 de flora y 1 de fauna. La diferencia que ambos presentan es de suma importancia, la cantidad de seres vivos que resultarían amenazados por el proyecto hidráulico refleja un costo social internacional, siendo que estas áreas son categorizadas como el pulmón del mundo. Los tipos de animales y vegetación existentes en los parques nacionales no pueden ser encontrados en ningún otro lugar. Si bien el indicador de especies realizado para la fotovoltaica es una estimación, la planificación de la ubicación de las centrales aseguró que estarían alejadas de los espacios de valor de Potosí. Entre éstas se encuentran: Parque Nacional Toro Toro, Reserva Nacional de Fauna Andina Eduardo Abaroa, Área Protegida Tariquia y Reserva Biológica Cordillera Sama.

De igual manera se verán afectados 5,164 personas de distintas etnias puesto que estarían ubicados dentro y alrededor de la represa. En contraparte, las fotovoltaicas no desplazarían a personas alrededor del área de ocupación. El posicionamiento de las centrales ha sido planificado para que las poblaciones cercanas al proyecto puedan optar por trabajar en las plantas fotovoltaicas. Además, se tomó en cuenta que la distancia escogida no impacte de manera negativa a las áreas utilizadas en agricultura. Por tanto, bajo la perspectiva ambiental y social el proyecto propuesto en la investigación es más eficiente que la hidroeléctrica Bala-Chepete.

Los resultados de la matriz de impacto ambiental y social permitieron comprender las acciones que se realizarán para poder construir cada una de las centrales y qué tipo de repercusiones se verían involucrados a nivel biótico como abiótico del lugar. De acuerdo con la escala establecida para analizar dicha información se pudo concluir que los daños por parte de la central solar son menores para los lugares que han sido seleccionados. Esto se debe porque el proceso de instalación de paneles solares es menos invasivo que construir una represa siendo que el segundo requiere de cierta magnitud de inundación mientras que el primero no. Otra razón por la cual el proyecto fotovoltaico es menos nocivo es por la ubicación desértica que tienen las centrales, donde la presencia de fauna y flora es muy escasa en comparación a la que presenta el Parque Madidi y la Reserva Biosfera Pilon Lajas.

Con todo lo analizado, se demuestra que existen condiciones económicas que imposibilitan a Bolivia competir dentro de un mercado energético si es que se optara por la generación de electricidad a base de agua. Si bien los costos de la fotovoltaica son aun favorables dentro de las subastas energéticas del Brasil, aún existe una alta competencia por parte de otras naciones o empresarios que pueden generar este insumo a precios aún más bajos. Por otra parte, existen impactos sociales y ambientales que son muy costosos para la sociedad si es que se transformara la matriz energética a base de hidroeléctricas; más aún cuando el contexto mundial se ve perjudicado por consecuencias graves del calentamiento global que hacen de estos recursos naturales invaluable para la vida del ser humano.

Al mismo tiempo se refleja que la estructura energética de Bolivia es altamente dependiente de los recursos hidrocarbúricos. Por tanto, si se opta por otro método de ejecución de proyectos eléctricos, los resultados podrían ser más beneficiosos. Si se transformara la matriz energética a base de fuentes renovables para que la electricidad sea consumida internamente y no exportada a países vecinos, entonces se podría aprovechar de otras oportunidades. El consumo interno de electricidad se sustentaría de recursos renovables provocando la liberación de cierta cantidad de recursos fósiles. Estos últimos serían transados en el mercado externo y cierta cantidad de ingresos provenientes serían destinados a la inversión de energía renovable. Este proceso de transformación permitiría que paulatinamente la nación empiece a independizarse del uso de los recursos no renovables y logre solidificar su posición dentro del mercado energético.

Capítulo IV

4.1 Recomendaciones

La central fotovoltaica concibe la idea de que el gobierno central es la institución que financie el mismo mediante la ejecución de Ende ya que sería el mismo procedimiento que se plantea con la represa Bala-Chepete. La propuesta tiene el potencial de presentar mejores resultados si se proyecta bajo una estructuración mixta, donde exista un riesgo compartido entre empresas privadas y públicas. El hecho de que las centrales estén ubicadas con cierta cercanía entre sí, permite la creación de una economía de conglomeración geográfica. De esta manera se creará un ambiente donde las empresas tengan incentivos económicos y políticos para incurrir en el rubro energético. Los resultados de las centrales serán más eficientes porque tendrán un ambiente de desarrollo competitivo.

Es importante recalcar que toda energía renovable tiene sus limitaciones. Por esta misma razón la mejor manera de explotar energía sustentable es mediante un plan de integración energética. En este debe concebirse la idea de utilizar distintas fuentes renovables para compensar las limitaciones de cada una y que trabajen de una forma sinérgica. De esta manera la producción será más eficiente aun cuando no se cuenten con condiciones climatológicas favorables para alguna de las energías renovables.

En ese mismo sentido, la integración debe concebir dentro de su planificación aquellas fuentes renovables que tienen la capacidad de revolucionar el mercado energético. Según el análisis de la IEA, se pronostica que la Bioenergía moderna será la nueva forma de producir electricidad de una manera sustentable. Debido a la innovación tecnológica esta fuente será la más explotada de forma global y se espera que provea electricidad cuatro veces más que las contribuciones solares y eólicas combinadas. Además se estima que la bioenergía será la energía renovable más consumida entre el periodo del 2018 al 2023 en todo el mundo por el nivel de funcionamiento en los sectores industria y transporte (International Energy Agency A, 2018).

Operacionalización de Variables

Categoría	Dimensiones	Observables
Proyecto Fotovoltaico	Evaluación Económica: Proponer un proyecto fotovoltaico que permita generar electricidad a un costo por Mega Watt más bajo que el proyecto hidroeléctrico Bala Chepete y sea más competitivo en el mercado energético Brasileiro.	1-Realizar una comparación económica a partir del monto de inversión que cada proyecto presenta
		2-Comparar el costo de energía por mega watt del proyecto fotovoltaico contra el hidroeléctrico para determinar la eficiencia de cada uno
		3- Comparar el precio de venta de energía de los proyectos para determinar cuán competentes son en el mercado energético brasileiro.
		4- Realizar una comparación de la producción anual de megawatt por año para poder definir la eficiencia productiva
		5-Se determina la relación del área de ocupación entre ambos proyectos tomando en cuenta que tanto la central fotovoltaica como la hidroeléctrica tienen la misma capacidad instalada.
		6- La relación OPEX determinará cual de los proyectos genera mayores costos de operación a través de la vida útil.
	Evaluación Social: Reducir el número de personas que estarían afectadas de manera directa o indirectamente por vivir dentro o cerca del proyecto fotovoltaico.	1-Para la evaluación de impacto social se comparará el número de personas desplazadas de forma directa e indirecta de cada proyecto.
	Evaluación Ambiental: Minimizar el impacto ambiental de manera tal que sea menor o nulo en comparación al proyecto hidroeléctrico.	2- Se tomará en cuenta la existencia de artefactos arqueológicos para evaluar el impacto patrimonial del país y de las comunidades.
		1-Determinar la ubicación colindante de otras áreas protegidas a los proyectos de energía alternativas tomadas en cuenta.
		2- Para realizar una comparación a nivel ambiental se comparan la reducción de toneladas de emisión de CO2 al implementar cada proyecto.
		3-Como indicador de eficiencia energética se utilizará la relación de área ocupada por megawatt producido . De esta manera se obtiene la comparación sobre cuál proyecto ocupa menos territorio con la misma capacidad instalada.
	4-El número de especies de fauna y flora afectadas por cada uno de los proyectos permite decidir cuán invasivo es cada uno de ellos	

Bibliografía

- Acciona Energía. (3 de Noviembre de 2018). *Planta Fotovoltaica El Romero Solar*. Obtenido de <https://www.acciona-energia.com/es/areas-de-actividad/fotovoltaica/instalaciones-destacadas/planta-fotovoltaica-el-romero-solar/>
- Agencia Japonesa de Cooperación Internacional. (2013). *Introduction of Clean Energy by Solar Electricity Generation System in the Plurinational State of Bolivia*. Nippon Koei Co LTD.
- Banco Interamericano de Desarrollo . (2013). *Evaluación Financiera y Económica del Proyecto de Electrificación Rural con Energía Renovable*. Cochabamba.
- Banco Mundial . (Febrero de 2019). *Banco de Datos* . Obtenido de Consumo de energía per cápita: www.databank.bancomundial.org/data/source/world-development-indicators
- Biodiversidad Mexicana . (2016). *Hitos Ambientales*. Obtenido de <http://www.biodiversidad.gob.mx/planeta/hitosamb.html>
- Bonadona, C. (2018). *Reemplazar proyecto mega hidroeléctrica El Bala-Chepte por centrales fotovoltaicas*. Madrid: Universidad Rey Juan Carlos de Madrid .
- Centro de Ecología y Pueblos Andinos. (19 de Julio de 2012). *Educación Ambiental e intelectual* . Obtenido de La importancia de la biodiversidad en Bolivia: Proteger y conservar es un deber: http://www.cepaoruro.org/index.php?option=com_content&view=article&id=920:la-importancia-de-la-biodiversidad-en-bolivia-proteger-y-conservar-es-un-deber-19-07-12&catid=18:educacion-ambiental-e-intercultural&Itemid=45
- Click Energy . (9 de noviembre de 2016). *Everything you need to know about Solar Energy* . Obtenido de Medium : <https://www.clickenergy.com.au/news-blog/everything-you-need-to-know-about-solar-energy/>
- El Economista. (9 de Septiembre de 2015). *Las Energías Renovables, una apuesta internacional*. Obtenido de <http://www.economista.es/firmas/noticias/6989096/09/15/Energias-Renovables-apuesta-internacional.html>
- El Tiempo . (27 de Noviembre de 2015). *La cruzada por evitar un planeta 2 grados centígrados más caliente* . Obtenido de <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-16443087>
- ENDE. (2015). *Construcción de la planta solar fotovoltaica* . Obtenido de www.ende.bo/proyectos/resena/proyecto-construccion-de-la-planta-solar-fotovoltaica-oruro-50-mw
- Energetica. (2015). *Mapa Solar de Bolivia*. Obtenido de www.energetica.org.bo/energetica/publicacionesd.asp?d=278

- Energía 16. (9 de Abril de 2018). *Planta Fotovoltaica en Bolivia cuenta con 19.152 paneles solares*.
Obtenido de Energía 16/www.energia16.com/plant-fotovoltaica-en-bolivia/09/04/2018
- Energía Solar. (3 de Enero de 2018). *Energía Renovable*. Obtenido de <https://twenergy.com/a/que-son-las-energias-renovables-516>
- Fernandez, A. (15 de Octubre de 2009). *Paneles Solares: Así evolucionan* . Obtenido de Consumer Eroski : www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/energia_y_ciencia/2009/10/15/188572.php
- Fundacion Eroski. (15 de Octubre de 2009). *Paneles Solares: asi evolucionan*. Obtenido de Consumer: http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/energia_y_ciencia/2009/10/15/188572.php
- Fundación Milenio. (27 de Septiembre de 2017). *Energías renovables, oportunidades desaprovechadas*.
Obtenido de <https://fundacion-milenio.org/coy-346-energias-renovables-oportunidades-desaprovechadas/>
- Fundacion Proteger, Internaitonal Rivers y ECOAS. (8 de Noviembre de 2018). *Dams in Amazonia* .
Obtenido de About US: <http://dams-info.org/en/about/us/>
- Fundación Solar. (2013). *Centrales Hidroeléctricas de pequeña escala, la experiencia de la Fundación Solar en Guatemala*. Guatemala.
- Fundación Solón A. (2017). *Mega Hidroeléctricas Exportar y Morir. Tunupa*, 11.
- Fundación Solón B. (2017). *Situación de la energía solar en Bolivia*. La Paz.
- Fundación Solón C. (26 de Junio de 2017). *Situación de la energía solar en Bolivia*. Obtenido de www.fundacionsolon.org/2017/06/26/situacion-de-la-energia-solar-en-bolivia/
- Fundación Solón D. (19 de Junio de 2017). *¿Bolivia líder en energía solar?* Obtenido de <https://fundacionsolon.org/2017/07/19/bolivia-lider-en-energia-solar/>
- Geodata A. (2015). *Tomo 1.5 Análisis de la información Ambiental*. Cochabamba.
- Geodata B. (2016). *Tomo 2.2 Estudios de Alternativas*. La Paz: ENDE.
- Global CCS Institute . (29 de noviembre de 2018). *The Falling Costs of Renewables*. Obtenido de <https://hub.globalccsinstitute.com/publications/rethinking-energy-towards-new-power-system/21-falling-costs-renewables>
- International Energy Agency A. (2018). *Market Analysis and forecast from 2018 and 2023*. Obtenido de iea.org/renewables2018
- International Energy Agency B. (4 de Octubre de 2017). *Solar PV grew faster than any other fuel in 2016*.

IRENA. (2014). *REthinking Energy: Towards a new power systema*. IRENA.

José Roca . (16 de Septiembre de 2014). *Los costes fotovoltaicos caen en un 80% en los últimos 5 años* .
Obtenido de El periodico de la energía : www.elperiodicodelaenergia.com/los-costes-de-la-fotovoltaica-caen-un-80-en-los-ultimos-cinco-anos/

La Razón . (20 de Octubre de 2016). *La Razon Economía . ENDE: Bolivia generará 11.000 MW de energía por medio de hidroeléctricas hasta el 2025*, pág. 1.

LaFuente, R. O. (2012). *La energía Solar Fotovoltaica en Bolivia*. Petro Press.

Los Tiempos. (19 de Noviembre de 2016). *Cidob se declara en emergencia en rechazo a la construcción El Bala y Chepete*. Obtenido de
<http://www.lostiempos.com/actualidad/economia/20161119/cidob-se-declara-emergencia-rechazo-construccion-bala-chepete>

Mamani, L. (9 de Julio de 2014). *Rigen tasas máximas del 6% al 11,5% en créditos productivo*. Obtenido de Página Siete: www.paginasiete.bo/economia/2014/7/10/rigen-tasas-maximas-115-creditos-productivos-26384.html

Maria Serrano, D. P. (2017). *Análisis Prospectivo del uso de energía solar*. Colombia: Universidad Autónoma de Aguas Calientes.

Mecafenix, F. (10 de Julio de 2018). *El diodo ¿Qué es y para qué sirve?* Obtenido de Ingenieria mecafenix: www.ingmecafenix.com/electronica/diodo-semiconductor/

Medium. (7 de Agosto de 2017). *How PV Solar Plants work? A begginers guide*. Obtenido de <https://medium.com/@solar.dao/how-pv-solar-plants-work-a-begginers-guide-79f085b8ee88>

Miguel Fuentes, M. M. (2012). *Costos de Generacion de Electricidad Fotovoltaica en Bolivia y barreras para su expansion* . Brasil : IV Congreso Brasileiro de Energía Solar y V Conferencia Latino Americana del ISE.

Minsterio de Hidrocarburos y Energía. (2014). *Balance Energético Nacional*. Santa Cruz: Alpha Graphics.

Observatorio Boliviano de Cambio Climático y Desarrollo . (19 de Julio de 2017). *Paises líderes en energía solar en América Latina* . Obtenido de <https://obccd.org/2017/07/19/paises-lideres-en-energia-solar-en-america-latina/>

Observatorio Boliviano de Cambio Climático y Desarrollo. (19 de Julio de 2017). *Paises Líderes en energía solar en América Latina*. Obtenido de www.obccd.org/2017/07/19/paises-lideres-en-energia-solar-en-america-latina

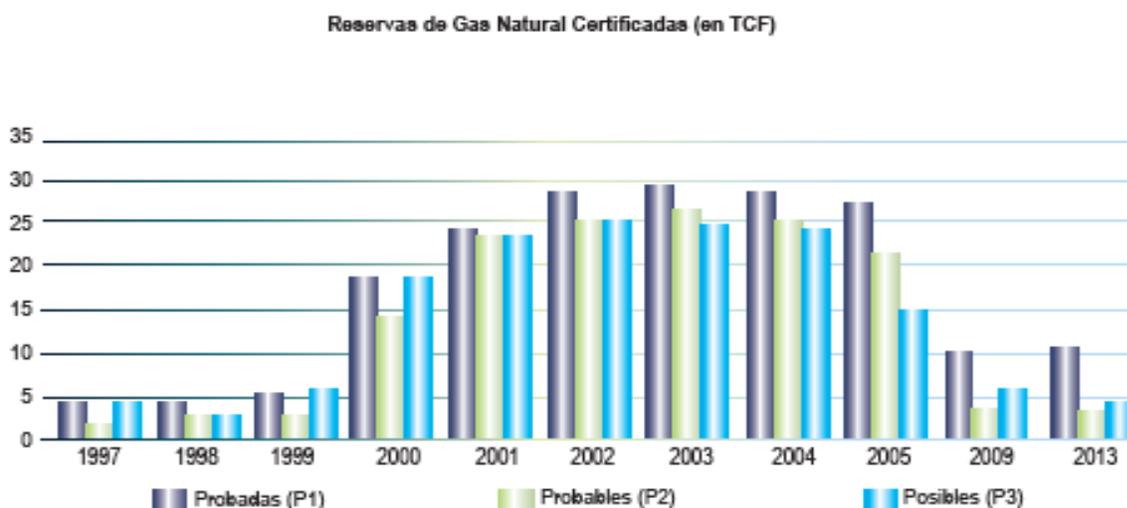
- Ohl Energy . (25 de Noviembre de 2011). *Legado de Russell Ohl* . Obtenido de <http://ohlenergy.com/es/acerca-de-ohl/historia/278-legado-de-rusell-ohl>
- OLADE. (2010). *OsieLAC Sistema de Información Energética de Latinoamérica y el Caribe*. Obtenido de Estadística Energética e Información Legal : www.sier.olade.org/
- Ortiz, J. (2013). *Viabilidad Técnica Económica de un sistema fotovoltaico de pequeña escala*. Bogota: Visión Electronica.
- Pagina Siete . (31 de Diciembre de 2016). *Uchupiamonas ratifica su rechazo a El Bla y Chepete*. Obtenido de <http://www.paginasiete.bo/nacional/2016/12/31/uchupiamonas-ratifica-rechazo-bala-chepete-122272.html>
- Sanabria, A. (2017). *Análisis Costo/Beneficio de la implementación de tecnologías de energía con paneles solares en la ese hospital San Cristobal*. Bogota: Universidad Militar de Nueva Granada.
- SERNAP. (2018). *Areas Protegidas*. Obtenido de www.sernap.gob.bo/areas-protegidas/
- Singh, N. (6 de Abril de 2018). *En detalle los precios récord que arrojaron las últimas subastas de renovables en Latinoamérica*. Obtenido de Energía Estratégica: <http://www.energiaestrategica.com/en-detalle-los-precios-record-que-arrojaron-las-ultimas-subastas-en-latinoamerica/>
- Solargis A. (2014). *Solar Resource map of Bolivia*. Obtenido de Global Horizontal Irradiation: www.solargis.com/maps-and-gis-data/download/bolivia
- Solargis B. (2015). *Solar resource maps form Germany*. Obtenido de Global Horizontal Irradiation: www.solargis.com/maps-and-gis-data/download/germany
- Soto, G. (2013). *Plan de negocios para la implementación de la energía solar fotovoltaica para las industrias en Chile*. Santiago: Universidad de Chile Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Facultad de Ingeniería.
- Twenergy A. (2018). *¿Qué son las energías renovables?* Obtenido de <https://twenergy.com/a/que-son-las-energias-renovables-516>
- Twenergy B. (2018). *¿Qué es la energía hidráulica?* Obtenido de <https://twenergy.com/a/que-es-la-energia-hidraulica-426>
- Universidad Mayor San Simón. (2016). *Atlas de Radiación Solar Global de Bolivia* . La Paz.
- Wang, Uclia. (17 de August de 2017). *How do solar panels got so cheap?* Obtenido de Medium: www.medium.com/s/everything-you-need-to-know-about-solar/how-solar-panels-got-so-cheap-fff8ae2dc620

X-ELIO. (2017). *Evaluación de Impacto Social para el Parque Solar Fotovoltaico Xoxocotla*. Mexico: X-ELIO.

Zaratti, F. (2016). *Energías Renovables en Bolivia para el cambio de la matriz eléctrica*.

Anexo

Gráfico A 1: Reservas de Gas Natural



Fuente: Gráfico extraído del informe realizado por (Ministerio de Hidrocarburos y Energía, 2014)

Gráfico A 2: Proyectos de energía solar en Bolivia

Proyectos de energía solar que estarían conectados al SIN

Proyecto de energía solar fotovoltaica	Potencia MW	Inversión millones (Bs.)	Inversión millones USD/MW	Año de funcionamiento
Uyuni-Potosí	60	654,24	1,6	2017
Oruro fase I	50	870,00	2,5	2018
Yunchará-Tarija	5	68,85	2,0	2017
Oruro Fase II	50	870,00	2,5	2019
Total	165	2.463,09	2,2	

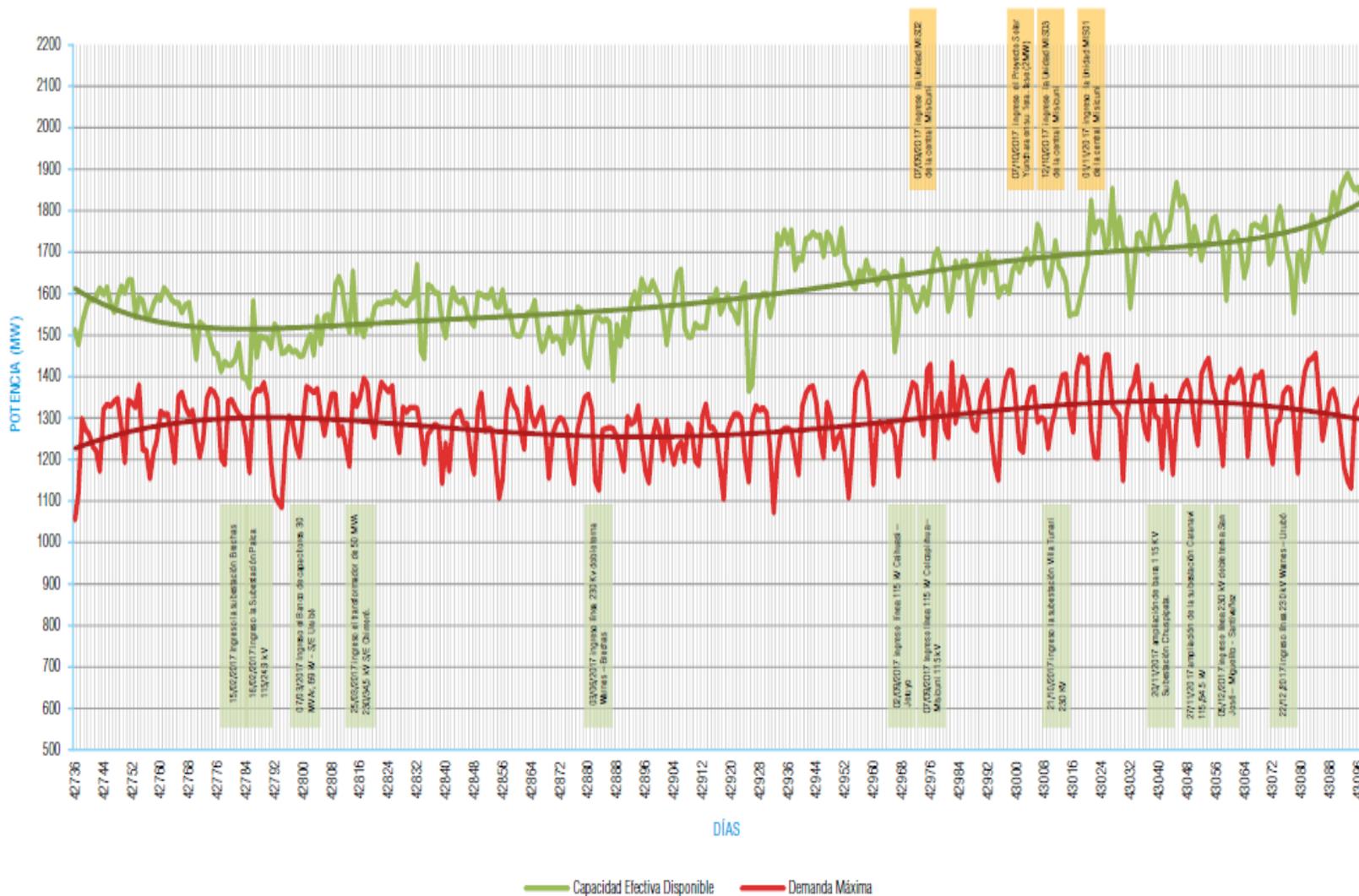
Fuente: Gráfico extraído del informe realizado por (Fundación Solón B, 2017)

Gráfico A 3: Clasificación de Centrales Hidroeléctricas de los Estados Unidos de América y Europa

Central hidroeléctrica	Potencia (kilovatios)
Pico central	0 a 10
Micro central	10 a 100
Mini central	100 a 1,000
Pequeña central	1,000 a 10,000
Mediana central	10,000 a 100,000

Fuente: Tabla extraída del informe realizado por la (Fundación Solar, 2013).

Gráfico A 4: Oferta y Demanda de Energía MW- Gestión 2017



Fuente: Grafico extraído del Anuario Estadístico del Sector Eléctrico de Bolivia gestión 2017

Gráfico A 5: Número de personas afectadas de manera colindante a la represa Chepete 400

Colindantes al Área de Estudio de Identificación:

NOMBRE SECCIÓN	NOMBRE DEPARTAMENTO	TIPOLOGIA	MATRIZ CULTURAL	NUMERO DE HABITANTES
CUARTA SECCIÓN (Palos Blancos)	La Paz	TIOC Mosevenes	Mosevenes	8
OCTAVA SECCIÓN (Teoponte)	La Paz	Sindicato Agropecuario	Aymara - Quechua	32
PRIMERA SECCIÓN (Caranavi)	La Paz			92
PRIMERA SECCIÓN (Caranavi)	La Paz			43
PRIMERA SECCIÓN (Caranavi)	La Paz			47
CUARTA SECCIÓN (Palos Blancos)	La Paz			2
PRIMERA SECCIÓN (Caranavi)	La Paz			55
PRIMERA SECCIÓN (Caranavi)	La Paz			119
CUARTA SECCIÓN (Palos Blancos)	La Paz			35
OCTAVA SECCIÓN (Teoponte)	La Paz	Sindicato Agropecuario	Aymara - Quechua	7
OCTAVA SECCIÓN (Teoponte)	La Paz			54
CUARTA SECCIÓN (Palos Blancos)	La Paz	Sindicato Agropecuario	Aymara - Quechua	129
OCTAVA SECCIÓN (Teoponte)	La Paz	Sindicato Agropecuario	Aymara - Quechua	104
PRIMERA SECCIÓN (Caranavi)	La Paz			42
PRIMERA SECCIÓN (Caranavi)	La Paz			227
PRIMERA SECCIÓN (Caranavi)	La Paz	OTB	Aymara - Quechua	121
CUARTA SECCIÓN (Palos Blancos)	La Paz	TIOC Mosevenes	Mosevenes	375
CUARTA SECCIÓN (Palos Blancos)	La Paz			113
OCTAVA SECCIÓN (Teoponte)	La Paz	Sindicato Agropecuario	Aymara - Quechua	34
CUARTA SECCIÓN (Palos Blancos)	La Paz	Sindicato Agropecuario	Aymara - Quechua	21

Fuente: Tabla extraída de la ficha ambiental Chepete 400 elaborado por GEODATA.

Gráfico A 6: Número de personas que estarán afectadas dentro del embalse Chepete 400

Dentro del Embalse:

NOMBRE SECCIÓN	NOMBRE DEPARTAMENTO	TIPOLOGIA	MATRIZ CULTURAL	NUMERO DE HABITANTES
PRIMERA SECCIÓN (Caranavi)	La Paz	Sindicato Agropecuario	Aymara - Quechua	69
OCTAVA SECCIÓN (Teoponte)	La Paz	Colonia	Aymara - Quechua	88
OCTAVA SECCIÓN (Teoponte)	La Paz	TIOC Lecos Larecaja	Lecos	24
OCTAVA SECCIÓN (Teoponte)	La Paz	Sindicato Agropecuario	Aymara - Quechua	21
CUARTA SECCIÓN (Palos Blancos)	La Paz	TIOC Mosetenes	Mosetenes	17
PRIMERA SECCIÓN (Caranavi)	La Paz	Sindicato Agropecuario	Aymara - Quechua	123
CUARTA SECCIÓN (Palos Blancos)	La Paz	TIOC Mosetenes	Mosetenes	125
OCTAVA SECCIÓN (Teoponte)	La Paz	Sindicato Agropecuario	Aymara - Quechua	26
OCTAVA SECCIÓN (Teoponte)	La Paz	Sindicato Agropecuario	Aymara - Quechua	452
OCTAVA SECCIÓN (Teoponte)	La Paz	Cooperativa Agropecuario	Aymara - Quechua	106
CUARTA SECCIÓN (Palos Blancos)	La Paz	TIOC Mosetenes	Mosetenes	87
CUARTA SECCIÓN (Palos Blancos)	La Paz	Sindicato Agropecuario	Aymara - Quechua	38
PRIMERA SECCIÓN (Caranavi)	La Paz	Sindicato Agropecuario	Aymara - Quechua	40
CUARTA SECCIÓN (Palos Blancos)	La Paz	Sindicato Agropecuario	Aymara - Quechua	29
CUARTA SECCIÓN (Palos Blancos)	La Paz	OTB	Aymara - Quechua	121
PRIMERA SECCIÓN (Caranavi)	La Paz	Sindicato Agropecuario	Aymara - Quechua	140
CUARTA SECCIÓN (Palos Blancos)	La Paz	Sindicato Agropecuario	Aymara - Quechua	192
PRIMERA SECCIÓN (Caranavi)	La Paz	Sindicato Agropecuario	Aymara - Quechua	49
PRIMERA SECCIÓN (Caranavi)	La Paz	Sindicato Agropecuario	Aymara - Quechua	294
OCTAVA SECCIÓN (Teoponte)	La Paz			117
OCTAVA SECCIÓN (Teoponte)	La Paz	TIOC Lecos Larecaja	Lecos	24
PRIMERA SECCIÓN (Caranavi)	La Paz	Sindicato Agropecuario	Aymara - Quechua	129
OCTAVA SECCIÓN (Teoponte)	La Paz	Sindicato Agropecuario	Aymara - Quechua	3

Fuente: Tabla extraída de la ficha ambiental Chepete 400 elaborado por GEODATA.

Gráfico A 7: Número de personas colindantes con la represa Bala 220

Colindantes al Área de Estudio de Identificación:

NOMBRE SECCIÓN	NOMBRE DEPARTAMENTO	TIPOLOGIA	MATRIZ CULTURAL	NUMERO DE HABITANTES
Asunción del Quiquibey (Rurrenabaque)	Beni	TIOC Mosetenes	Mosetenes	181
Charque (Apolo)	La Paz	TIOC Lecos de Apolo	Lecos	25
San Antonio de Sani (Rurrenabaque)	Beni	TIOC Mosetenes	Mosetenes	84

Fuente: Extraído de la Ficha Ambiental Bala 220 elaborado por GEODATA

Gráfico A 8: Número de personas afectadas dentro del embalse por la represa Bala 220

Dentro del Embalse:

NOMBRE SECCIÓN	NOMBRE DEPARTAMENTO	TIPOLOGIA	MATRIZ CULTURAL	NUMERO DE HABITANTES
Carmen Florida (Rurrenabaque)	Beni	TIOC Mosetenes	Mosetenes	144
Real Beni (Rurrenabaque)	Beni	TIOC Mosetenes	Mosetenes	88
San Miguel (San Buenaventura)	La Paz	TIOC Takana	Takana	251
Villa Alcira (San Buenaventura)	La Paz	TIOC Takana	Takana	118
Suapi (Apolo)	La Paz	TIOC Lecos de Apolo	Lecos	30
Torewa (Apolo)	La Paz	TIOC Lecos de Apolo	Lecos	75
Bisal (Apolo)	La Paz	TIOC Lecos de Apolo	Lecos	14
Corte (Rurrenabaque)	Beni	TIOC Mosetenes	Mosetenes	25
Gredal (Rurrenabaque)	Beni	TIOC Mosetenes	Mosetenes	17
San Bernardo (Rurrenabaque)	Beni	TIOC Mosetenes	Mosetenes	48
San Luis Chico (Rurrenabaque)	Beni	TIOC Mosetenes	Mosetenes	90

Fuente: Extraído de la Ficha Ambiental Bala 220 elaborado por GEODATA