



BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO

---

# Evaluación Financiera y Económica del Proyecto Electrificación Rural con Energía Renovable (BO-X1013)

---

Cochabamba, Julio, 2013

# Evaluación Financiera y Económica del Proyecto Electrificación Rural con Energía Renovable (BO-X1013)

---

## Contenido

1. INTRODUCCIÓN .....	3
1.1. El Sistema Eléctrico Boliviano.....	3
1.2. Cobertura Eléctrica.....	4
1.3. Demandas de Energía en Áreas Rurales.....	4
1.4. Potencial de Energía Renovable .....	5
a) Potencial de energía solar .....	5
b) Potencial de energía eólica .....	6
c) Potencial hidroenergético .....	8
d) Potencial energético de la biomasa .....	9
2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO .....	10
3. SUPUESTOS Y METODOLOGÍA.....	12
3.1 Objetivos .....	12
3.2 Metodología .....	12
4. BENEFICIOS DEL PROYECTO.....	13
4.1. Sistemas Híbridos .....	13
4.2. Sistemas Fotovoltaicos para Establecimientos Educativos y de Salud.....	14
4.3. Sistemas Termosolares.....	16
4.4. Pico Sistemas Fotovoltaicos .....	17
5. COSTOS DEL PROYECTO.....	17
5.1. Inversiones .....	18
a) Inversiones en Sistemas Híbridos.....	18
b) Inversiones en Sistemas Fotovoltaicos .....	19
c) Inversiones en Sistemas Termosolares.....	21
d) Inversiones en Pico Sistemas Fotovoltaicos.....	22
5.2. Razones Precio Cuenta de Eficiencia .....	22
5.3. Costo de Operación y Mantenimiento .....	23
a) Sistemas híbridos.....	23

b) Sistemas Fotovoltaicos.....	23
c) Sistemas Termosolares.....	24
d) Pico sistemas Fotovoltaicos .....	25
5.4. Costos Financieros.....	25
6. EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA.....	25
7. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD .....	26
7.1. Análisis de Sensibilidad Sistemas Híbridos .....	26
7.2. Análisis de Sensibilidad Sistemas Fotovoltaicos.....	27
7.3. Análisis de Sensibilidad Sistemas Termosolares .....	27
7.4. Análisis de Sensibilidad Pico Sistemas Fotovoltaicos .....	27
8. EVALUACIÓN FINANCIERA.....	28
8.1. Sistemas Híbridos .....	28
8.2. Sistemas Fotovoltaicos .....	29
8.3. Sistemas Termosolares.....	29
8.4. Pico Sistemas Fotovoltaicos .....	29
9. CONCLUSIONES .....	30
9.1. Sobre la Viabilidad Socioeconómica y Financiera .....	30
a) Sistemas Híbridos .....	30
b) Sistemas Fotovoltaicos en Educación y Salud .....	30
c) Sistemas Termosolares.....	31
d) Pico Sistemas Fotovoltaicos .....	31
9.2. Mecanismos Institucionales para Asegurar la Sostenibilidad .....	31
9.3. Capacitación y Seguimiento .....	32
9.5. Aspectos Ambientales .....	32

# Evaluación Financiera y Económica del Proyecto Electrificación Rural con Energía Renovable (BO-X1013)

---

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. El Sistema Eléctrico Boliviano

El sistema eléctrico boliviano compuesto por el Sistema Interconectado Nacional (SIN) y los Sistemas Aislados (SA). El SIN interconecta a las capitales y a los principales municipios de los departamentos de La Paz, Oruro, Potosí, Cochabamba, Chuquisaca, Beni y Santa Cruz. Quedan fuera del SIN las áreas rurales y los municipios más alejados de las principales ciudades de estos departamentos; y también los departamentos de Tarija y Pando, lugares donde los SA cubren los requerimientos de electricidad de la población.

Existen 24 centrales hidroeléctricas y 9 centrales termoeléctricas conectadas al SIN. En el 2012, la potencia instalada en el SIN fue de 1.450 Mega-Watts (MW), con una demanda máxima, de 1.103-MW. La provisión de energía en el SIN proviene en un 33% de centrales hidroeléctricas y 67% de centrales termoeléctricas que principalmente utilizan gas natural como combustible, el cual tiene un costo fijo para la generación.

La potencia instalada en los SA, incluyendo auto productores, fue de 244 MW en el 2011, 94% de la generación proviene de combustibles fósiles, en su mayoría diésel importado y subsidiado, el cual representa un alto costo para el estado, y solo 6% de generación hidroeléctrica en los SA. De las 78 centrales eléctricas en los SA, 57 funcionan con diésel oil; 17 con GN y sólo 4 con energía hidráulica (AE, 2012). Estos SA están concentrados en el norte y este del país, y el departamento de Beni concentra la mayor parte los usuarios con 58%. El tamaño de estos SA varía desde una decena de kilovatios (kW), hasta cerca de 10 MW (Cobija) Los usuarios en los SA ascienden a cerca de 200.000<sup>1</sup>.

Para el caso de los SA, la generación en base a diésel ha sido considerada hasta la fecha como la alternativa natural para el suministro eléctrico en pequeña escala (sobre todo en el Norte del país), ante la ausencia de redes de Gas Natural o recursos hidroeléctricos aprovechables.

Este combustible importado por Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos (YPFB), es provisto a los operadores a un precio subsidiado de 0,16 US\$ /litro. El costo de mercado para la importación de diésel se encuentra por encima de 1,30 US\$/litro. Pese al subsidio del combustible, los SA tienen tarifas eléctricas de 0,14 US\$/kWh en promedio, y que en algunos es cercana a 0,30 US\$/kWh, comparados con 0,08 US\$/kWh para el SIN. La energía de los SA, en su mayor parte, no es provista

---

<sup>1</sup> Viceministerio de Energía e Hidrocarburos, 2011

veinticuatro horas al día, y en muchos casos se limita solo al periodo entre las 6 y 11 de la noche<sup>2</sup>, lo que limita las actividades productivas, y otros usos como ser educación y salud.

## 1.2. Cobertura Eléctrica

En Bolivia, la cobertura eléctrica urbana se calcula en 91% y en las áreas rurales en 53%<sup>3</sup>, incluyendo los SA. Se estima que existen cerca de 417.790 hogares sin electricidad en Bolivia especialmente en zonas aisladas y dispersas, extremadamente distantes de las redes eléctricas. La relación entre la falta de acceso a la electricidad y los altos niveles de pobreza es directa.

Las familias que no cuentan con electricidad cubren sus necesidades energéticas con pilas (para linternas y radios), velas y mecheros (iluminación), de alto costo relativo para el segmento de bajos ingresos. Asimismo, la falta de electricidad incide negativamente en la prestación de servicios de salud y educación. En las áreas rurales se estima que existen cerca de veinte mil establecimientos públicos (postas de salud, escuelas y otros) que carecen de un suministro apropiado de energía<sup>4</sup>.

Hasta el momento, la principal opción de solución para el problema del suministro energético ha sido la extensión de la red eléctrica, con costos promedio de conexión por familia de aproximadamente 1.300 \$US. No obstante, al incrementarse la cobertura, se incrementa también el costo de conexión de nuevas familias; las razones para esta situación es que las comunidades están cada vez más lejanas, más aisladas y el número de familias que vive en ellas es pequeño (alrededor de 20 familias como promedio). Esto significa que la red eléctrica se acerca al límite técnico y económico como solución.

Revisando las variables de dispersión geográfica y reducidos grupos poblacionales con niveles altos de aislamiento, así como el tipo de demandas existentes, se puede ver que las energías renovables tienen un extraordinario nivel de correspondencia como solución a las demandas energéticas de estas comunidades.

## 1.3. Demandas de Energía en Áreas Rurales

Las demandas de energía en el área rural tienen al menos tres vertientes: las demandas domésticas, comunales o sociales y productivas.

Entre las demandas domésticas, las principales demandas son de iluminación, comunicación (radio, televisión), cargador de celular, y en menor grado algunos electrodomésticos. En el campo térmico las demandas son de calor para cocción, calentamiento de agua.

Las demandas de tipo comunal consideran aspectos de uso social como: iluminación de postas y escuelas, radiocomunicación o telefonía, sistemas de video/televisión, bombeo de agua potable, refrigeración en postas de salud.

---

<sup>2</sup> Con excepción de los SA administrados por la Cooperativa Rural de Electrificación (CRE) en el departamento de Santa Cruz, que cuentan con una tarifa equiparable a la urbana (U\$0.08/kWh) y con calidad de servicio adecuada a la normativa. Esto es posible, ya que se realiza un subsidio cruzado entre las concesiones urbanas de la CRE y los SA que administra.

<sup>3</sup> Estimación al 2012 según fuentes oficiales. El último censo disponible fue realizado el año 2001.

<sup>4</sup> Fuente Evaluación de Impacto EnDev (2005-2010).

Las demandas productivas son variadas y dependen de la región específica, en mayor grado se necesita energía para bombeo de agua para riego y abrevaderos de ganado, accionamiento de molinos, maquinaria de carpintería, pequeños talleres metalmecánicos, refrigeración, etc.

**Tabla 1. Consumo de Energía en Comunidades Dispersas sin Acceso a Electricidad**

<b>Fuentes de Energía</b>	<b>Total (%)</b>
Iluminación	4,91
Cocción	89,97
Calentamiento de agua	3,79
Calefacción ambiente	0,04
Refrigeración alimentos	0,59
Audiovisión	0,10
Electrodomésticos	0,01
Bombeo	0,14
Generación Electricidad	0,12
Usos no energéticos	0,32
<b>TOTAL</b>	<b>99,99</b>

Fuente: Cambio Climático, Agua y Energía en Bolivia. 2011

Como se observa, a pesar de que muchas de las demandas se concentran en el uso de la electricidad. Exceptuando la demanda de energía para la cocción de alimentos, el consumo mayor corresponde a la iluminación, seguido por el calentamiento de agua.

Esta demanda se torna crítica en locales como postas de salud y escuelas, donde se junta directamente a un uso sanitario, que en algunos casos, se puede subsanar utilizando como energético el Gas Licuado de Petróleo (GLP) en garrafas, las cuales son transportadas largas distancias desde los centros de producción, y pueden costar hasta cinco veces su costo de mercado en el área rural. Una situación similar viven los hogares rurales dispersos.

## **1.4. Potencial de Energía Renovable**

### **a) Potencial de energía solar**

De acuerdo con el “Atlas de distribución de la energía solar en Bolivia”, “los niveles de radiación más bajos corresponden a los meses de mayo, junio y julio que pertenecen a la estación de invierno y los niveles de radiación más altos corresponden a los meses de octubre, noviembre y diciembre que corresponden a las estaciones de primavera y verano.

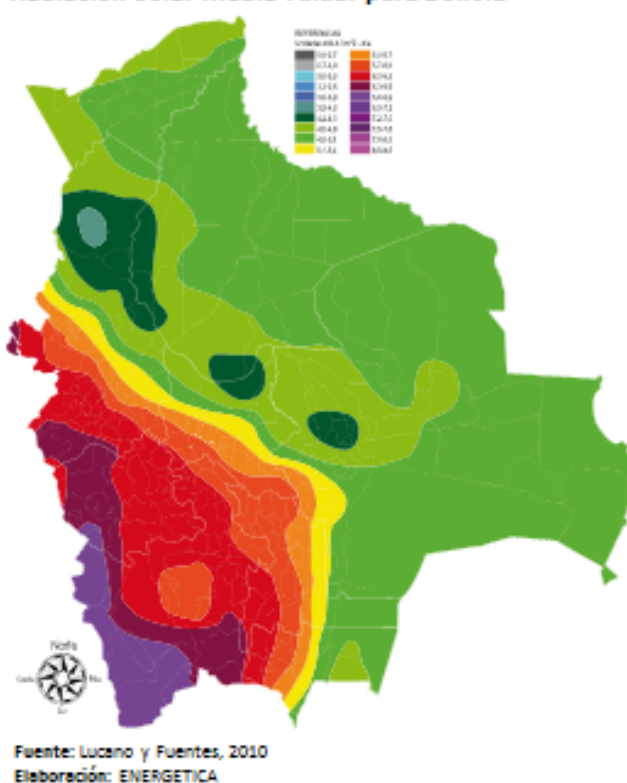
Visto territorialmente se observa del mapa de radiación anual, que la región noreste de Bolivia, a partir de la Cordillera Oriental presenta los valores más bajos de media anual de radiación Global, entre 3,9 – 5,1 kWh/m<sup>2</sup>día debido a que esta región es una zona de baja altitud sobre el nivel del mar caracterizada por su clima tropical y alta humedad generando una mayor dispersión de la radiación solar, en tanto que, en la zona suroeste la radiación solar aumenta, ya que en esta región se encuentra la región del altiplano y las zonas con mayor altitud con respecto al nivel del mar con clima seco y valores de radiación entre 5,1 – 7,2 kWh/m<sup>2</sup>día.

Además, se distinguen regiones de niveles de radiación que van aumentando de noreste a suroeste, tendencia igualmente observada en un estudio previo para la obtención de los mapas de radiación solar en Bolivia” (Lucano y Fuentes 2010, 4).

Vale la pena hacer notar que las variaciones de la tasa de radiación, entre la época de invierno y verano, no son mayores al 25%; lo que significa que la disponibilidad de energía solar en el país permanente y estable. Por este motivo, se puede concluir que la utilización de la energía solar en todo el territorio nacional es factible, a excepción de algunas zonas que constituyen menos del 3% del territorio, ya que han sido identificadas como zonas de formación de nubes. Estas zonas corresponden a las fajas orientales de la cordillera de los Andes, donde la tasa de radiación solar es muy baja, haciendo impracticable su utilización.

**Gráfico 1.**

### **Radiación Solar Media Anual para Bolivia**



Esta situación hace de Bolivia una de las regiones de mayor radiación solar del planeta y con mayores posibilidades de aprovechamiento de la misma. Esas posibilidades, hasta el momento, han estado siendo aprovechadas por medio de los sistemas fotovoltaicos y, en menor medida, por medio de colectores solares para calentar agua; lamentablemente, todavía está ausente algún intento de aprovechamiento por medio de la concentración solar.

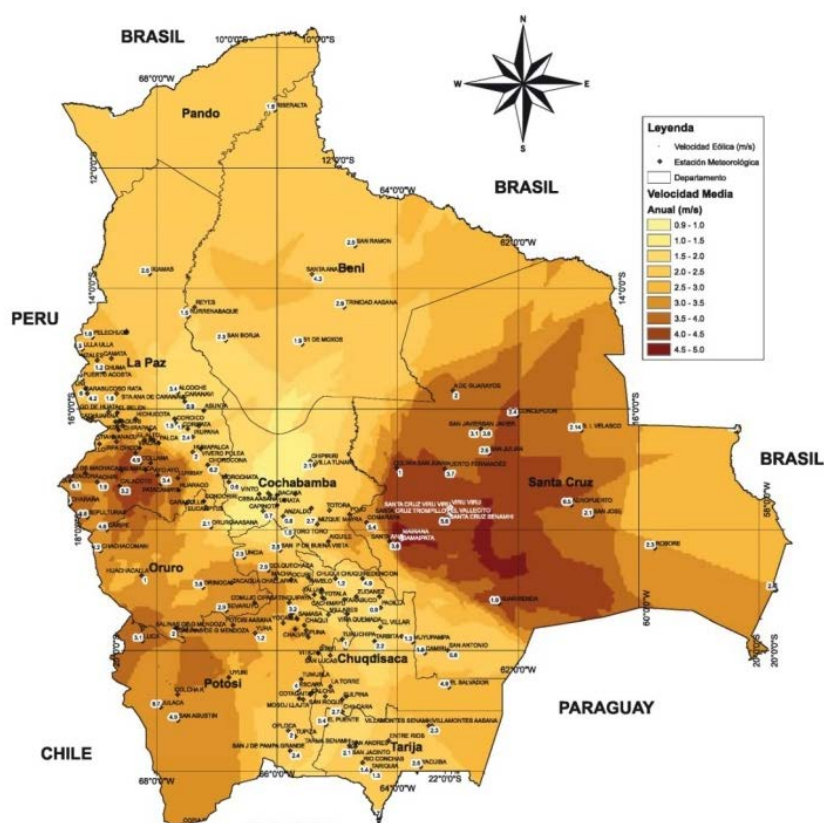
### **b) Potencial de energía eólica**

La Transportadora de Electricidad (TDE) ha elaborado, con el empleo de técnicas satelitales, un mapa eólico para Bolivia. Aunque muestra tendencialmente dónde actuar, no es concluyente en su información, por lo cual es preciso realizar mediciones e inspecciones in-situ antes de avalar un proyecto eólico como tal.

Como se puede inferir, la principal barrera para el desarrollo de esta energía es el desconocimiento del potencial de la energía eólica en el país, pues la excesiva localidad de este recurso (debido a la topografía del territorio nacional) no permite una explotación adecuada.

Otra barrera consiste en la falta de información sobre las ventajas de la tecnología por parte de los proveedores y/o fabricantes, así como la instalación de sistemas piloto que muestren en campo los beneficios que se pueden prestar y que ayudarían a difundir la tecnología.

**Gráfico 2. Mapa Potencial Eólico de Bolivia**



Fuente: TDE

A tiempo de advertir que “ninguna fórmula única define el mejor recurso eólico porque muchas variables afectan el éxito posible de un proyecto de energía eólica”, el “Atlas Eólico de Bolivia” determinó que “el recurso eólico más robusto en Bolivia” esta:

- 1) Alrededor de la ciudad de Santa Cruz de la Sierra, en su mayoría al sur y al oeste del centro urbano;
- 2) En la frontera suroeste de Bolivia con Chile y Argentina en el Departamento de Potosí;
- 3) En un corredor que va más o menos de este a oeste entre las ciudades de Santa Cruz y La Paz que corre al sur de la línea de transmisión de 230 KV entre Santa Cruz y Cochabamba y ligeramente al norte de la misma entre Cochabamba y La Paz; y



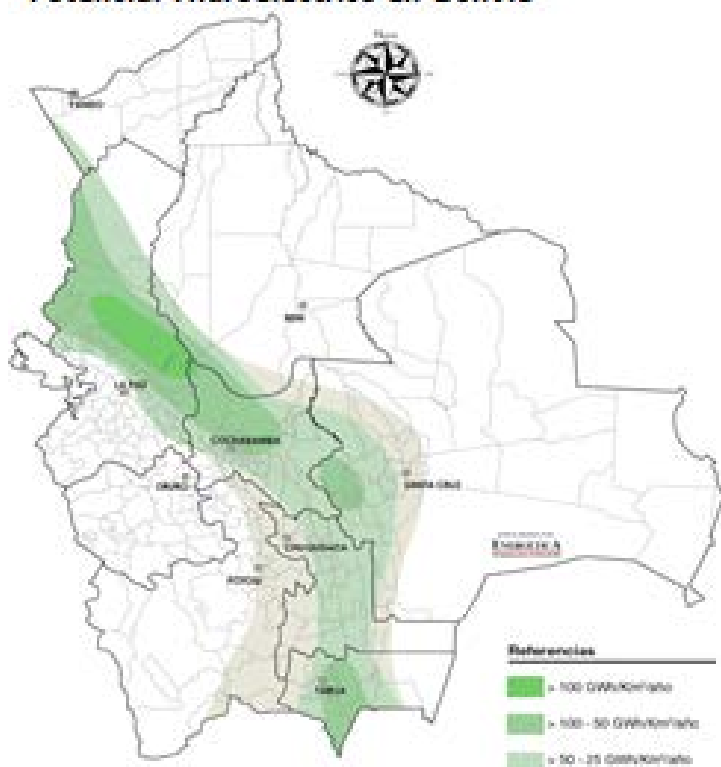
4) En un 'corredor' más o menos norte – sur entre el área justo al este de la ciudad de Oruro y al oeste de la ciudad de Potosí (3TIER 2009, 28)”

Evidentemente, la información que contiene el Atlas y las conclusiones que de ella se derivan corresponden a la fase de prospección y evaluación preliminar del recurso eólico, siendo importante este avance, como los mismos autores del Atlas lo reconocen, es preciso todavía realizar mediciones y pruebas in-situ antes de encarar algún proyecto eólico.

### c) Potencial hidroenergético

Gráfico 3.

#### Potencial Hidroeléctrico en Bolivia



**Fuente:** (Ministerio de Energía e Hidrocarburos 1990)

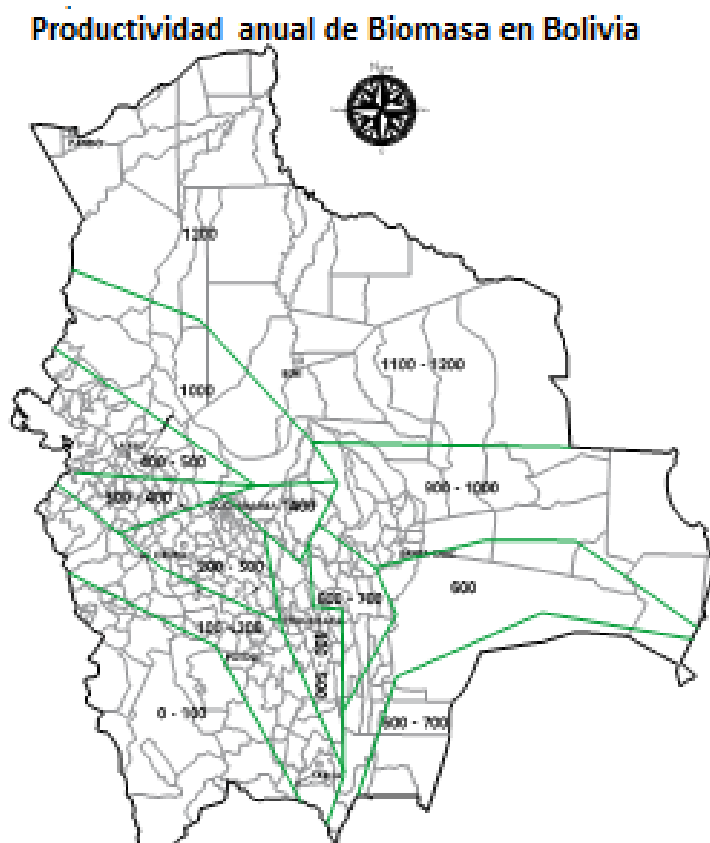
Bolivia, de acuerdo con los estudios realizados por la Empresa Nacional de Electricidad (ENDE), tiene un potencial hidroeléctrico estimado en 39.800 MW. (ENDE 1987), de la cual apenas se está utilizando 460 MW. Este potencial hidráulico también ha sido evaluado en el estudio: Planificación Energética Rural para Bolivia (Ministerio de Energía e Hidrocarburos 1990), el mismo que ha determinado que la región subandina del país, es decir la que va de los Andes Orientales hacia los llanos, es donde hay mayores posibilidades de aprovechar esta fuente energética.

Como consecuencia del primer estudio mencionado, a principios de los años 90, ENDE inventarió y validó 81 proyectos hidroeléctricos, con una capacidad superior a los 10MW de potencia, cuya gran mayoría hasta ahora no se han ejecutado. (Montes de Oca, 2005). Sin embargo, todavía resta realizar estudios que identifiquen y sistematicen la información de todos aquellos lugares donde sea posible instalar Micro Centrales Hidroeléctricas (MCH), es decir, generadores hidroeléctricos con una potencia igual o menor a los 2MW.

Teniendo en cuenta que la especial configuración fisiográfica del país, sobre todo en los costados de la cordillera oriental, permite presuponer que hay amplias opciones para aprovechar los caudales y caídas menores de agua; se puede concluir señalando que el país cuenta con las condiciones físicas necesarias para encarar un desarrollo del potencial hidráulico en condiciones sumamente ventajosas.

#### d) Potencial energético de la biomasa

Gráfico 4.



**Fuente:** (Ministerio de Energía e Hidrocarburos 1990)

En vista de que el término biomasa agrupa a una serie variada de recursos forestales, productos y desechos agrícolas, desechos animales y humanos, desechos industriales y urbanos, los cuales pueden transformarse en energía; referirse al potencial energético de la biomasa obliga a realizar ciertas precisiones y especificaciones.

En el caso boliviano, el mayor potencial de biomasa forestal se encuentra en las regiones norte y noreste del país; seguida de la región sureste; precisamente las zonas más bajas de la cuenca del Amazonas. En contrapartida, la región suroeste del país, precisamente donde se ubica el Altiplano boliviano y todos los valles interandinos, que se van formando a medida que la altura de la Cordillera Oriental va descendiendo, la existencia de biomasa forestal es más escasa.

No existen datos sistematizados respecto a la cantidad de estiércol producido en el país y pasible de ser utilizado en la generación de energía. Aunque se puede identificar las regiones del país donde mayor uso energético se da al estiércol; o se puede inferir que la ganadería intensiva y/o aquellas zonas de ganadería estabulada o semi-estabulada producen una cantidad considerable de estiércol; todavía está pendiente un estudio que cuantifique y estime el potencial de la biomasa animal.

Algo similar se puede decir respecto a los desechos que producen las industrias bolivianas. En efecto, aunque ya se están ejecutando proyectos puntuales para producir electricidad a partir de este tipo de materia orgánica, tampoco se ha estimado el potencial energético de los desechos y el aserrín de las empresas madereras, del bagazo de caña de las azucareras, de la cascarilla de arroz de las beneficiadoras de dicho producto, etc. A esta situación debe sumarse la ausencia de estudios respecto al potencial energético de los residuos urbanos.

Valga anotar que también están ausentes las investigaciones y el necesario debate sobre las posibilidades de utilización de la biomasa para generar energía, y los problemas que surgirían debido a ese uso. A diferencia de las otras fuentes renovables de energía, en el caso de la biomasa existen límites y proporciones que conviene tener en cuenta y evaluarlas antes de su utilización.

## 2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El Plan Nacional de Desarrollo (DS 29272) establece los siguientes objetivos para el sector eléctrico y que se deben lograr a través de cuatro políticas:

*“Garantizar el suministro eléctrico, asegurando el acceso universal a este servicio en forma sostenible y con equidad social, con políticas de: 1) Desarrollar infraestructura eléctrica para atender las necesidades internas y generar excedentes para la exportación, 2) Incrementar la cobertura del servicio eléctrico en el área urbana y rural, 3) Soberanía e independencia energética y 4) Consolidar la participación del Estado en el Desarrollo de la Industria Eléctrica”.*

En relación a la Política 2, el PND señala que los proyectos a través de los cuales se incrementará la cobertura del servicio eléctrico son la *“interconexión de sistemas aislados, la extensión de redes eléctricas, la densificación de usuarios en redes de distribución, el incremento de la capacidad de distribución eléctrica; la generación a gas natural y las energías renovables”.*

Por otro lado, para el cumplimiento de la Política 3, “Soberanía e independencia energética”, el PND señala que *“Esta política tiene como estrategia desarrollar fuentes de energías renovables que garanticen la independencia energética, para lo cual se propone la implementación de programas y proyectos que permitan la independencia energética y el desarrollo e investigación en energías alternativas (hidroelectricidad, geotérmica, biodiesel, biomasa, fotovoltaicos, eólica, etc.).”*

Finalmente, en la Política 4, el PND señala como logro *“el desarrollo de fuentes energéticas renovables para incrementar la oferta de generación y, así, garantizar la seguridad energética”.*

Las energías renovables han sido mencionadas en tres de las políticas señaladas por el Plan Nacional de Desarrollo para el sector eléctrico, principalmente asociadas a la expansión de la cobertura del servicio de electricidad y a la soberanía e independencia energética.

Por otro lado, si bien el Plan Nacional de Desarrollo señala los grandes lineamientos de política en relación a las energías renovables, la implementación de dichas políticas recae definitivamente sobre el Viceministerio de Electricidad y Energías Alternativas, principalmente para la utilización de estas fuentes en la generación de electricidad.

El Programa Electricidad para Vivir con Dignidad, dependiente del Viceministerio de Electricidad y Energías Alternativas, ha incluido el componente de energías renovables como un medio para lograr

la universalización del servicio de electricidad. Es así que el Decreto Supremo 29635 que crea dicho Programa señala lo siguiente:

*“Componente Energías Renovables: Se refiere a la implementación de fuentes energéticas renovables y alternativas: Sistemas Fotovoltaicos, Micro Centrales Hidroeléctricas, Biomasa, Eólico. Se estima que por lo menos 180.000 hogares rurales deberán ser atendidos mediante estos sistemas descentralizados por la alta dispersión de los asentamientos.”*

Finalmente, el Plan de Universalización Bolivia con Energía plantea como objetivo que:

*“El área urbana deberá pasar del 90% (2010) al 97% en el 2015 y luego al 100% para el año 2020. En el área rural deberá pasar del 50% (2010) al 70% en el 2015, luego al 87% en el año 2020 y lograrse la universalización del servicio en el año 2025.”*

De acuerdo a las estimaciones de crecimiento de la población y tomando en cuenta la que actualmente no tiene servicios de electricidad en el área rural, el Plan estima integrar a 547.000 hogares hasta el año 2025.

Una de las principales aplicaciones de las energías renovables es la generación de electricidad para la atender demandas locales y que no podrían ser satisfechas mediante redes eléctricas. A su vez, estas fuentes energéticas son una alternativa a los generadores de electricidad que funcionan con diésel ya que resuelven el problema del transporte, almacenamiento y distribución del diésel para generar electricidad en sistemas dispersos y aislados.

En este contexto, en respuesta a una solicitud del Gobierno de Bolivia, el BID apoyando el logro de las metas de acceso universal del país, está preparando una donación del Fondo Nórdico de Desarrollo, para financiar un Programa de Electrificación Rural con Energías Renovables - BO-X1013 (el Programa), el cual complementara al Programa de Electrificación Rural - PER (préstamo 2460/BL-BO aprobado el año 2010), y se ejecutara en el marco del PEVD.

El Programa apoyará el desarrollo e implementación de proyectos con energías renovables, tanto en los SA del departamento del Beni, como en áreas no interconectadas al SIN en el Altiplano.

De esta manera el Programa se enmarca en el artículo 20 de la Constitución Política del Estado (CPE), que establece el derecho al acceso universal y equitativo a los servicios básicos de agua potable, alcantarillado, electricidad, gas domiciliario, postal y telecomunicaciones, en el artículo 9 que establece como rol fundamental del Estado el garantizar acceso a la salud y a la educación.

En el Plan Nacional de Desarrollo, el Programa Electricidad para Vivir con Dignidad y el Programa de Acceso Universal, proponiendo alternativas para expandir la cobertura del servicio eléctrico, aprovechando el potencial de energías renovables.

De manera específica, para el caso de los SA que suministran electricidad a la población no interconectada al SIN en base a diésel, el Programa, asegurará la sostenibilidad del servicio, al incorporar la generación con energías renovables, disminuyendo el consumo de diésel garantizando la calidad y continuidad del servicio, y disminuyendo el costo de la subvención para el Estado.

## 3. SUPUESTOS Y METODOLOGÍA

### 3.1 Objetivos

El objetivo general del Programa es apoyar el desarrollo y uso de energía sostenible en Bolivia, contribuyendo a: (i) incrementar el uso de las energías alternativas y la diversificación de la matriz de generación; (ii) la reducción del consumo de combustibles fósiles, y su costo para el Estado; y (iii) contribuir a la sostenibilidad del desarrollo a través de la reducción del impacto del cambio climático en la población y su entorno.

Los objetivos específicos del Programa son:

- (i) desplazar la generación de electricidad basada en combustibles fósiles en SA, mediante suministro, instalación y puesta en marcha de por lo menos tres sistemas de generación utilizando energía renovable en los SA del departamento del Beni (300-kW);
- (ii) apoyar a identificar soluciones para instalar sistemas de generación a través de fuentes renovables en SA, mediante el financiamiento de hasta ocho estudios a diseño final;
- (iii) promover la energía renovable a través de la provisión de energía a escuelas y centros de salud, mediante 375 sistemas SFV (90-kW), 300 sistemas termo solares (STS) calentadores de agua y 3000 pico sistemas fotovoltaicos. En este último caso, los beneficiarios serán hogares de bajos recursos en áreas rurales sin acceso electricidad.
- (iv) difundir los resultados del Programa, a fin de incentivar el uso de energías renovables mediante cuatro talleres<sup>5</sup>.

### 3.2 Metodología

Se ha previsto como metodología de evaluación, realizar una evaluación socioeconómica de costo beneficio para cada una de las intervenciones propuestas, utilizando las Razones de Precios de Cuenta (RPC) estimadas por la Dirección General de Inversión Pública, para corregir precios de mercado a precios de eficiencia en numerario de consumo.

A efectos del desarrollo de la evaluación socioeconómica y financiera se han considerado los siguientes componentes:

- Sistemas híbridos (componente fotovoltaica)
- Sistemas fotovoltaicos aislados
- Sistemas termosolares
- Pico sistemas fotovoltaicos

En cada una de las intervenciones, se comparará la situación con y sin proyecto, considerando los costos y beneficios a identificarse para cada componente. Como tasa social de descuento se adoptará el 12%. Una vez realizada la evaluación socioeconómica se efectuará un análisis de sensibilidad, para identificar probables riesgos como consecuencia de cambios en los principales parámetros.

Una vez realizada la evaluación socioeconómica, se procederá a realizar una evaluación financiera cada uno de los componentes, siguiendo los mismos conceptos anteriores, usando una tasa privada

---

<sup>5</sup> El número final de los equipos se ajustará de acuerdo al resultado de las licitaciones públicas

de descuento (10%) y comparando los costos e ingresos financieros de los sistemas de energía para cada uno de los casos.

## 4. BENEFICIOS DEL PROYECTO

Los beneficios identificados se concentran en los ahorros energéticos y económicos producto del desplazamiento de energía convencional que se utilizaría en caso de no implementar este Programa con energías renovables. Si bien existen una serie de beneficios colaterales como el incremento en la escolaridad, la mejora en la salud, o la disminución en la mortalidad materno infantil, dada la escasa información de línea base, y la dificultad de cuantificar los beneficios, los mismos no han sido considerados en la evaluación económica.

A continuación se describen los beneficios cuantificados para cada una de las intervenciones:

### 4.1. Sistemas Híbridos

En el caso de los Sistemas Híbridos, se ha identificado como beneficio fundamental el desplazamiento de la energía generada por diésel (situación sin proyecto), por la generación renovable (situación con proyecto). Monetariamente se ha estimado los ahorros que significan para el Estado este desplazamiento, considerando el precio internacional del diésel en el mercado externo (precio de importación). Asimismo se ha incorporado el ahorro debido al costo de transporte, y el ahorro por reducción de costos de operación y mantenimiento de generadores a diésel que serían desplazados.

Como referencia se considera tres sistemas híbridos, en el cual cada campo fotovoltaico tendría aproximadamente 100 kWp, totalizando 300 kWp.

Para la estimación del ahorro de diésel se considera el nivel de radiación promedio anual de la región del Beni, una eficiencia de 90% en la generación fotovoltaica y finalmente una productividad de 3 kWh/litro de diésel (típica de los generadores térmicos de la zona).

**Tabla 2. Ahorro de Diésel, considerando 300 kWp de sistemas fotovoltaicos**

Descripción	Cantidad	Unidad
Potencia del sistema	100	kWp
Numero de sistemas	3	
Precio Diésel subsidiado	0,16	US\$/litro
Precio Diésel mercado externo (*)	1,37	US\$/litro
Radiación media anual Beni	5,0	kWh/m <sup>2</sup> /día
Eficiencia del sistema	0,9	
Energía generada efectiva al año	492750,0	kWh
Diésel desplazado	164250,0	Litros/año
<b>Costo del diésel subsidiado</b>	<b>26280,0</b>	<b>US\$/año</b>
<b>Costo diésel a precio de oportunidad</b>	<b>225022,5</b>	<b>US\$/año</b>

(\*) <http://www.paginasiete.bo/2012-11-15/Economia/Destacados/10Eco001151112.aspx>

Para la estimación del ahorro en transporte se considera un costo medio de 1 Bs/litro, dato asumido a partir de la información de los operadores de YPFB.

**Tabla 3. Ahorro en Costo de transporte de Diésel**

Descripción	Cantidad	Unidad
Costo de transporte por litro (Bs)	1	Bs/litro
Costo de transporte por litro (US\$)	0,14	US\$/litro
<b>Ahorro total en transporte</b>	<b>23599,14</b>	<b>US\$/año</b>

Para estimar el ahorro por la reducción de costos de O&M en las unidades diésel que serán sustituidas por el generador fotovoltaico se considera una fracción solar de 0,6. Bajo ese supuesto, la introducción de la energía de un generador fotovoltaico de 100 kWp, supone un ahorro de un 39% en un sistema aislado de 175 kW. La estimación del ahorro se muestra a continuación.

**Tabla 4. Ahorro en O&M por reducción de kWh generados**

Descripción	Cantidad	Unidad
Costo de mantenimiento (como porcentaje de la inversión)	2,5%	de la inversión
Potencia del sistema tipo	175	kW
Costo de inversión en generación diésel	900	US\$/kW
Inversión total	157500	US\$
Costo de mantenimiento Generador Diésel por año	3937,5	US\$/año
<b>Ahorro anual (39%)</b>	<b>1535,6</b>	<b>US\$/año</b>

Fuente: MEPER

Todos los ahorros han sido proyectados a 20 años, tiempo de referencia de vida útil de un sistema fotovoltaico.

#### 4.2. Sistemas Fotovoltaicos para Establecimientos Educativos y de Salud

La cuantificación de beneficios considera como alternativa de suministro de energía eléctrica pequeños generadores a gasolina. Para la identificación de ahorros se considera los costos de inversión, operación y mantenimiento de estos generadores a gasolina. Se asume que los generadores operan tres horas al día, por lo que una segunda fuente de beneficios son los ahorros provocados en los profesores y sanitarios al no incurrir en gastos en energéticos como pilas, velas y mecheros, fuera de estas tres horas.

Los generadores de gasolina van asociados a la idea de usos institucionales, ya que normalmente son propiedad de la Alcaldía e implican gastos de combustible así como los gastos de O&M en el tiempo, que son cubiertos por esta entidad. En estos casos se ha visto que cuando los profesores/sanitarios usan el generador en horario nocturno, la comunidad y los técnicos de la HAM los responsabilizan por fallas que se podrían dar. Entonces, aunque exista el generador, por las dificultades mencionadas, será complicado que los profesores/sanitarios usen este equipo diariamente en la noche, lo que resulta en que profesores y sanitarios siguen usando pilas, velas y mecheros para consumo propio.

Cuando existe el sistema fotovoltaico, es más fácil hacer uso nocturno de iluminación y radio por parte de los profesores y sanitarios (que normalmente habitan junto al edificio público), puesto que el sistema no tiene limitación para entregar esta energía, no implica costos adicionales ni presiones técnicas sobre el sistema. El ahorro en energéticos tradicionales para los profesores y sanitarios es efectivo y las limitaciones institucionales desaparecen en este caso.

El generador considerado para uso en establecimientos educativos prevé un uso promedio de 3 horas/día mayormente en horarios diurnos, cuando se usen recursos multimedia, uso de radiograbadoras, actos cívicos, etc. Eventualmente algunas noches cuando haya reuniones en la escuela se prendería el generador. La estimación de ahorros se muestra en la Tabla 5. El costo de combustible utilizado es el costo real para el país (costo de oportunidad del combustible).

**Tabla 5. Condiciones de Servicio con un Generador a Gasolina. Establecimientos Educativos**

Descripción	Cantidad	Unidad
Vida útil	4	Años
Gasto de gasolina	0,8	litros/hora
Consumo aceite	0,01	litros/hora
Horas de funcionamiento por día	3	horas/día
Días de funcionamiento al año	300	días/año
Combustible	720	litros/año
Aceite	9	litros/año
Precio de la gasolina	1,37	\$US/litro
Precio del aceite	6,47	\$US/litro

Al igual que en el caso del diésel, costo de la gasolina que se considera, es el costo de oportunidad en la zona.

**Tabla 6. Estimación de Beneficios en Establecimientos Educativos**

Costos	Cantidad	Unidad
<b>1. Inversión</b>		
Generador a Gasolina de 550 W	300	\$US
<b>2. Costos anuales</b>		
Combustible	986,40	\$US/año
Aceite	58,19	litros/año
Repuestos	50,00	\$US/año
Técnico mecánico	70,00	\$US/año
<b>Total Anual</b>	<b>1164,59</b>	<b>\$US/año</b>
<b>3. Ahorros en los profesores</b>		
Consumo en pilas, velas y mecheros (2 profes)	250	\$US/año

El generador considerado para uso en establecimientos sanitarios prevé un uso promedio de 3 horas/día, sobre todo para energizar el equipo de radiocomunicación, eventualmente algunas noches cuando haya reuniones y también en situaciones de emergencia. A continuación se muestra la estimación de ahorros. El costo de combustible utilizado es el costo real para el país (costo de oportunidad).



**Tabla 7. Condiciones de Servicio con un Generador a Gasolina. Establecimientos Sanitarios**

Condiciones	Cantidad	Unidad
Vida útil	4	Años
Gasto de gasolina	1,25	litros/hora
Consumo aceite	0,012	litros/hora
Horas de funcionamiento por día	3	horas/día
Días de funcionamiento al año	300	días/año
Combustible	1125	litros/año
Aceite	10,08	litros/año
Precio de la gasolina	1,37	\$US/litro
Precio del aceite	6,47	\$US/litro

Al igual que en el caso del diésel, costo de la gasolina que se considera, es el costo de oportunidad en la zona.

**Tabla 8. Estimación de Beneficios en Establecimientos Sanitarios**

Costos	Cantidad	Unidad
<b>1. Inversión</b>		
<b>Generador a Gasolina de 1100 W</b>	<b>350</b>	<b>\$US</b>
<b>2. Costos anuales</b>		
Combustible	1541,25	\$US/año
Aceite	69,80	litros/año
Repuestos	50,00	\$US/año
Técnico mecánico	70,00	\$US/año
<b>Total Anual</b>	<b>1731,08</b>	<b>\$US/año</b>
<b>3. Ahorros en los Sanitarios</b>		
Consumo pilas, velas y mecheros (2 sanitarios)	136	\$US/año

#### 4.3. Sistemas Termosolares

**Tabla 9. Características del Calentamiento de Agua con GLP**

Condiciones	Cantidad	Unidad
Poder calorífico del GLP	13,76	kWh/kg
Eficiencia combustión	60%	
Eficiencia tuberías	85%	
Energía aprovechable 1 kg GLP	7,02	kWh
Salto térmico del agua 45° (ducha) - 15° (red)	30°	C
Energía para calentar 200 litros a 45°C	6,96	kWh
Agua calentada por 1 kg de GLP	201,6	Litros
Costo 1 kg GLP	0,43	\$US
Vida útil de un calefón a GLP	10	Años

El uso de sistemas termosolares para calentar agua, considera como beneficios los ahorros de no implementar la alternativa de calentamiento con calefones a Gas Licuado de Petróleo (GLP).

Inicialmente se realiza el cálculo térmico equivalente para calentar 200 litros utilizando GLP como fuente energética, que se muestra en la Tabla 9.

Para el cálculo se considera los costos de inversión en calefón, instalaciones, garrafas, etc. así como los costos de operación y mantenimiento y, finalmente el costo de combustible.

**Tabla 10. Estimación de Beneficios en Sistemas Termosolares**

<b>Costos</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>
<b>1. Inversión</b>		
Costo de un calefón a GLP (17 l/min)	420	\$US
Costo de una Garrafa de GLP	25	\$US
Costo de instalación	100	\$US
<b>Total</b>	<b>545</b>	<b>\$US</b>
<b>2. Costos de Operación</b>		
Costo de O&M cada 2 años	40	\$US/2 años
Costo de reemplazo válvula cada 5 años	70	\$US/5 años
Costo de combustible por año	157	\$US/año

#### 4.4. Pico Sistemas Fotovoltaicos

Para el caso de implementar picos sistemas fotovoltaicos que consisten básicamente en un punto de iluminación, así como el recargado de celular, se considera como ahorros aquellos en los que incurriría una familia al iluminar un punto de luz con velas y, el ahorro que tendrán en la compra de pilas para linterna, dado que el pico sistema fotovoltaico es portable y puede dar ambos servicios (iluminación móvil como linterna y, iluminación fija en un ambiente).

**Tabla 11. Ahorro en energéticos tradicionales de una familia**

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>
Ahorros en pilas de linterna 24 pares/año	13,8	\$US/año
Ahorros en velas (1 vela/día)	26,2	\$US/año
<b>Total ahorros</b>	<b>40,0</b>	<b>\$US/año</b>

## 5. COSTOS DEL PROYECTO

El presupuesto total del programa se muestra a continuación, a efecto de tener una visión completa del alcance del mismo.

**Tabla 12. Presupuesto Total del Programa**

<b>Categoría De Inversión</b>	<b>TOTAL \$US</b>
<b>Componente I – Sistemas Híbridos</b>	<b>1.500.000</b>
Determinación del alcance y diseño de Sistemas Híbridos	200.000
Instalación de Sistemas Híbridos	1.300.000
<b>Componente II. Sistemas Solares</b>	<b>3.050.000</b>
Sistemas Termo-solares	750.000
Sistemas Fotovoltaicos	2.000.000
Pico-lámparas fotovoltaicas	300.000
<b>Componente III. Supervisión, Monitoreo y Difusión</b>	<b>450.000</b>
Supervisión y Monitoreo	400.000
Capacitación, talleres y difusión	40.000
<b>Auditoría</b>	<b>10.000</b>
<b>Contingencias</b>	<b>96.940</b>
<b>Comisión 5%</b>	<b>268.260</b>
<b>Total \$US</b>	<b>5.365.200</b>

## 5.1. Inversiones

Los costos relacionados directamente con las inversiones a realizar para la puesta en marcha del Programa en sus diferentes componentes (equipos, obras civiles, instalaciones y transporte). De manera agregada son los siguientes.

**Tabla 13. Componentes de Inversión por Tecnología**

<b>Categoría de Inversión</b>	<b>TOTAL</b>
Instalación de Sistemas Híbridos	1.300.000
Sistemas Termo-solares	750.000
Sistemas Fotovoltaicos	2.000.000
Pico-lámparas fotovoltaicas	300.000
<b>Total \$US</b>	<b>4.350.000</b>

Los costos de inversión por tipo de tecnología estimados en base a cotizaciones actuales se muestran a continuación, donde se especifica todo el detalle presupuestado.

El presupuesto utilizado en la evaluación económica considera solo los costos de inversión de todos aquellos ítems que tienen una relación directa con la generación de energía, a fin de comparar las situaciones con y sin proyecto. Los ítems del presupuesto que serían adquiridos independientemente de la fuente energética no fueron considerados en el presupuesto, a fin de permitir evaluar los costos atribuibles puramente a la alternativa seleccionada, estos ítems son:

- Equipo de computación, impresora y televisión (para las escuelas)
- Equipo de refrigeración, equipo de telecomunicaciones (para las postas de salud),

Esta información sobre inversiones se muestra a continuación.

### a) Inversiones en Sistemas Híbridos

La inversión sobre sistemas híbridos considera inicialmente el detalle para un sistema de generación fotovoltaica de 100 kWp como módulo base, con todos sus componentes y, luego se extrapola a 300

kWp. En la Tabla se muestra los ítems estimados en su valor con y sin impuestos, estos últimos se utilizarían para realizar la evaluación socioeconómica correspondiente.

**Tabla 14. Inversión en Sistemas Híbridos**

Ítem	Descripción	Costo Unitario US\$	Cantidad	Con Impuestos Total US\$	Sin Impuestos Total US\$
1.1	Campo de paneles fotovoltaicos de 100 kWp	1255,00	100	125500,00	106800,50
1.2	Banco de Baterías 16700 Ah	6,60	16700	110220,00	82775,22
1.3	Inversores conectados a la red 100 kW	270,00	100	27000,00	20277,00
1.4	Inversores cargadores de baterías 130 kW	480,00	130	62400,00	46862,40
1.5	Estructuras para paneles solares 1000 m2	25540,00	1	25540,00	21581,30
1.6	Obras civiles y accesorios	37473,33	1	37473,33	31664,97
1.7	Montaje	45200,00	1	45200,00	38194,00
		<b>TOTAL 100 kWp</b>		<b>433333,33</b>	<b>348155,39</b>
		<b>TOTAL 300 kWp</b>		<b>1300000,00</b>	<b>1044466,16</b>

Para efecto de evaluación, la distribución de la inversión en los rubros de bienes transables, materiales locales, mano de obra, etc. se muestra a continuación.

**Tabla 15. Desagregación de Costos de Inversión. Sistemas Híbridos**

Rubros	Participación
Bienes Transables	82%
Materiales Locales	12%
Mano de Obra Calificada	3%
Mano de Obra Semicalificada	3%
M. De O. No Calificada Urbana	0%
M.de O. No Calificada Rural	0%

#### **b) Inversiones en Sistemas Fotovoltaicos**

En este componente el presupuesto del proyecto considera la compra de computadores, impresoras, televisores, así como de equipos de radiocomunicación y también de refrigeradores de vacunas. Estos equipos pueden funcionar con energía fotovoltaica, o con energía convencional; por tanto si bien son parte de las inversiones a realizar, para la evaluación económica sólo se considera el componente energético.

A continuación se detalla las inversiones (con y sin impuestos) para establecimientos educativos, considerando un sistema tipo de 200 Wp de potencia; finalmente se muestra el total para 300 instalaciones similares.

**Tabla 16. Inversión en Sistemas Fotovoltaicos para Establecimientos Educativos. 200 Wp**

Item	Descripción	Costo Unitario US\$	Cantidad	Con Impuestos Total US\$	Sin Impuestos Total US\$
	<b>No Energético</b>				
1.1	Equipo de computación Laptop	1030,00	1	1030,00	773,53
1.2	Impresora	180,00	1	180,00	135,18
1.3	Televisor de pantalla plana 21"	350,00	1	350,00	262,85
	<b>Energético</b>				
1.4	Paneles fotovoltaicos de 100 Wp	400,00	2	800,00	680,80
1.5	Inversor de 350 W	230,00	1	230,00	172,73
1.6	Baterías 200 Ah	325,00	2	650,00	549,25
1.7	Controlador de carga 20/20 A	94,00	1	94,00	79,43
1.8	Lámparas de 7 y 11 W	14,00	7	98,00	82,81
1.9	Convertor de voltaje DC/DC	18,00	1	18,00	15,21
1.10	Estructura para 200 Wp	150,00	1	150,00	126,75
1.11	Accesorios de instalación (cables, interruptores, etc.)	350,00	1	350,00	295,75
1.12	Transporte e instalación	340,29	1	340,29	287,55
		<b>TOTAL Sistema 200 Wp</b>		<b>4290,29</b>	<b>3461,84</b>
		<b>TOTAL 300 Sistemas</b>		<b>1287087,00</b>	<b>1038550,51</b>

Para las instalaciones en establecimientos de salud, se repite el ejercicio, separando los equipos de consumo del componente netamente energético y también se muestra la inversión con y sin impuestos. El sistema básico al que corresponde el desglose de costos es de 400 Wp, en la última línea del presupuesto se extrapola el mismo para 75 sistemas similares.

**Tabla 17. Inversión en Sistemas Fotovoltaicos para Establecimientos de Salud. 400 Wp**

Item	Descripción	Costo Unitario US\$	Cantidad	Con Impuestos Total US\$	Sin Impuestos Total US\$
	<b>No Energético</b>				
1.3	Equipo de refrigeración de vacunas	3800,00	1	3800,00	2853,80
1.4	Equipo de radio comunicación	1200,00	1	1200,00	901,20
	<b>Energético</b>				
1.1	Paneles fotovoltaicos de 100 Wp	400,00	4	1600,00	1361,60
1.2	Inversor de 350 W	230,00	1	230,00	172,73
1.5	Baterías 200 Ah	325,00	4	1300,00	1098,50
1.6	Controlador de carga 20/20 A	94,00	1	94,00	79,43
1.7	Lámparas de 7 y 11 W	14,00	8	112,00	94,64
1.8	Convertor de voltaje DC/DC	18,00	1	18,00	15,21
1.9	Estructura para panel de 200 Wp	300,00	1	300,00	253,50
1.10	Accesorios de instalación (cables, interruptores, etc.)	400,00	1	400,00	338,00
1.11	Transporte e instalación	451,51	1	451,51	381,53
		<b>TOTAL Sistema 400 Wp</b>		<b>9505,51</b>	<b>7550,14</b>
		<b>TOTAL 75 Sistemas</b>		<b>712913,25</b>	<b>566260,19</b>

El total de inversiones en sistemas fotovoltaicos se muestra a continuación.

**Tabla 18. Inversión Total Estimada en Sistemas Fotovoltaicos Educación y Salud**

	Descripción	Cantidad	Con Impuestos Total US\$	Sin Impuestos Total US\$
1	Establecimientos de Educación	300 sistemas	1287087	1038550
2	Establecimientos de Salud	75 sistemas	712913	566260
	<b>TOTAL</b>		<b>2'000.000</b>	<b>1604810</b>

Para efecto de evaluación, la distribución de la inversión en los rubros de bienes transables, materiales locales, mano de obra, etc. se muestra a continuación. Esta distribución se aplica exclusivamente al componente energético de estos sistemas.

**Tabla 19. Desagregación de Costos de Inversión. Sistemas Fotovoltaicos**

Rubros	Participación
Bienes Transables	40%
Materiales Locales	40%
Mano de Obra Calificada	10%
Mano de Obra Semicalificada	10%
M. De O. No Calificada Urbana	0%
M.de O. No Calificada Rural	0%

### c) Inversiones en Sistemas Termosolares

Se considera como sistema termosolar típico a instalar, un modelo de 200 litros de capacidad, con protección anticongelante. Los sistemas identificados son de tecnología de placa plana de cobre, con tanques de acero inoxidable y vida útil de 20 años. En la Tabla 20 se muestra el desglose costos con y sin impuestos y en la última línea, el costo total para 300 unidades que se instalarían.

**Tabla 20. Inversión en Sistemas Termosolares. 200 litros**

Item	Descripción	Costo Unitario US\$	Cantidad	Con Impuestos Total US\$	Sin Impuestos Total US\$
1.1	Colector solar de 1.4 m2	380,00	2	760,00	642,20
1.2	Termotanque de 200 litros	1050,00	1	1050,00	887,25
1.3	Estructuras para colector solar	140,00	1	140,00	118,30
1.4	Accesorios de instalación (cañerías, válvulas, etc.)	170,00	1	170,00	143,65
1.5	Transporte e instalación	380,00	1	380,00	321,10
	<b>TOTAL STS 200 litros</b>			<b>2500,00</b>	<b>2112,50</b>
	<b>TOTAL 300 STS</b>			<b>750000,00</b>	<b>633750,00</b>

Para efecto de evaluación, la distribución de la inversión en los rubros de bienes transables, materiales locales, mano de obra, etc. se muestra a continuación, se debe considerar que los sistemas termosolares son de industria local.

**Tabla 21. Desagregación de Costos de Inversión. Sistemas Termosolares**

Rubros	Participación
Bienes Transables	10%
Materiales Locales	30%
Mano de Obra Calificada	25%
Mano de Obra Semicalificada	35%
M. de O. No Calificada Urbana	0%
M. de O. No Calificada Rural	0%

#### **d) Inversiones en Pico Sistemas Fotovoltaicos**

Los pico sistemas fotovoltaicos a instalar, corresponde a equipos que tienen paneles de tecnología cristalina de 3 Wp como mínimo, con lámparas LED de 120 lúmenes o más, batería recargable con capacidad mayor a 2000 mAh, y un grado de protección contra el polvo y agua IP54 o superior. Adicionalmente debe ofrecer una posibilidad de salida para carga de celular o radio.

Los costos estimados se describen a continuación.

**Tabla 22. Inversión en Pico Sistemas Fotovoltaicos. 3 Wp**

Item	Descripción	Costo Unitario US\$	Cantidad	Con Impuestos Total US\$	Sin Impuestos Total US\$
1.1	Lámpara de LED	56,00	1	56,00	47,66
1.2	Panel de 3 Wp	15,00	1	15,00	11,27
1.3	Cargador de celular	9,00	1	9,00	6,76
1.4	Transporte y entrega	20,00	1	20,00	16,90
		<b>TOTAL Pico SFV 3 W</b>		<b>100,00</b>	<b>82,58</b>
		<b>TOTAL 300 Pico SFV</b>		<b>300000,00</b>	<b>247740,00</b>

Para efecto de evaluación, la distribución de la inversión en los rubros de bienes transables, materiales locales, mano de obra, etc. se muestra a continuación, en este caso la mayor parte del equipo es de procedencia importada, aunque el ensamble es local.

**Tabla 23. Desagregación de Costos de Inversión. Sistemas Termosolares**

Rubros	Participación
Bienes Transables	80%
Materiales Locales	0%
Mano de Obra Calificada	5%
Mano de Obra Semicalificada	15%
M. de O. No Calificada Urbana	0%
M. de O. No Calificada Rural	0%

## **5.2. Razones Precio Cuenta de Eficiencia**

De acuerdo a la Resolución Ministerial No. 159 de septiembre de 2006 (Ministerio de Planificación del Desarrollo), se ha realizado la corrección de los costos de inversión, de manera que reflejen el costo real de los recursos para la economía. Se usaron los siguientes valores:

**Tabla 24. Razones Precio Cuenta**

RPC Divisa	1,24
RPC Mano de Obra Calificada	1
RPC Mano de Obra Semicalificada	0,43
RPC Mano de Obra no Calificada Urbana	0,23
RPC Mano de Obra no Calificada Rural	0,47
RPC Gastos Generales	1,00

### 5.3. Costo de Operación y Mantenimiento

Los costos de operación y mantenimiento son diferentes entre los sistemas propuestos, por tecnología, pero también por tipo de uso final.

#### a) Sistemas híbridos

En este caso, básicamente el mayor costo de O&M se concentra en el recambio que se debe realizar a las baterías cada 10 años. Adicionalmente se considera la necesidad de realizar un mantenimiento preventivo anual, donde el mayor insumo es la mano de obra local calificada.

**Tabla 25. Costos unitarios O&M Sistemas Híbridos**

Item	Descripción	Costo US\$	Periodicidad
1	Reposición de banco de baterías cada 10 años	8.277,22	10 años
2	Mantenimiento preventivo anual	2.000,00	1 año

Para aspectos de evaluación económica, los costos de O&M se ha estimado que corresponde a la siguiente distribución.

**Tabla 26. Desagregación de Costos de O&M. Sistemas Híbridos**

Descripción	Preventivo	Reposición Baterías
Bienes Transables	10%	82%
Materiales Locales	10%	12%
Mano de Obra Calificada	40%	3%
Mano de Obra Semicalificada	40%	3%
M. de O. No Calificada Urbana	0%	0%
M. de O. No Calificada Rural	0%	0%

#### b) Sistemas Fotovoltaicos

Para estos sistemas, las tareas de operación y mantenimiento preventivo se consideran como servicios anuales a realizarse por parte de técnicos especializados. Adicionalmente hay que prever realizar un cambio de baterías cada 5 años y un cambio de inversor, conversor y controlador cada 10 años.



**Tabla 27. Costos Unitarios O&M Sistemas Fotovoltaicos**

Item	A) Establecimientos educativos	Costos \$US	Periodicidad
1.	1 visita al año para mantenimiento preventivo	150,00	1 año
2.	Cambio de baterías cada 5 años	650,00	5 años
3.	Cambio de inversor, controlador y convertidor cada 10 años	342,00	10 años
	<b>B) Establecimientos de salud</b>		
1.	1 visita al año para mantenimiento preventivo	200,00	1 año
2.	Cambio de baterías cada 5 años	1.300,00	5 años
3.	Cambio de inversor, controlador y convertidor cada 10 años	342,00	10 años

Para aspectos de evaluación económica, los costos de O&M se ha estimado que corresponde a la siguiente distribución.

**Tabla 28. Desagregación de Costos de O&M. Sistemas Fotovoltaicos**

Descripción	Preventivo	Reposición Baterías y otros
Bienes Transables	10%	40%
Materiales Locales	10%	40%
Mano de Obra Calificada	40%	10%
Mano de Obra Semicalificada	40%	10%
M. de O. No Calificada Urbana	0%	0%
M. de O. No Calificada Rural	0%	0%

### c) Sistemas Termosolares

Para los sistemas termosolares, los costos de O&M consideran sobre todo la visita anual de técnico especializado, para efectuar una revisión general del sistema, limpieza, ajustes y otros. Adicionalmente se puede considerar el cambio de alguna pieza de plomería (llaves de paso, válvulas o, elementos que tengan fugas), o el recambio de material aislante en tuberías expuestas.

**Tabla 29. Costos unitarios O&M Sistemas Termosolares**

Item	Descripción	Costo US\$	Periodicidad
1	Mantenimiento preventivo anual	120,00	1 año
2	Accesorios de plomería	97,18	1 año

Para aspectos de evaluación económica, los costos de O&M se ha estimado que corresponde a la siguiente distribución.

**Tabla 30. Desagregación de Costos de O&M. Sistemas Termosolares**

Descripción	Preventivo
Bienes Transables	5%
Materiales Locales	5%
Mano de Obra Calificada	50%
Mano de Obra Semicalificada	40%
M. de O. No Calificada Urbana	0%
M. de O. No Calificada Rural	0%

#### d) Pico sistemas Fotovoltaicos

Los pico sistemas fotovoltaicos solamente requieren un cambio de baterías cada 10 años. No exige la presencia de técnicos ni otros requerimientos. El costo estimado es el siguiente.

**Tabla 31. Costos unitarios O&M Pico Sistemas Fotovoltaicos**

Item	Descripción	Costo US\$	Periodicidad
1	Mantenimiento preventivo anual	0,00	1 año
2	Recambio de baterías (equipo y servicio)	47,66	10 años

Para aspectos de evaluación económica, los costos de O&M se ha estimado que corresponde a la siguiente distribución.

**Tabla 32. Desagregación de Costos de O&M. Pico Sistemas Fotovoltaicos**

Descripción	Reposición
Bienes Transables	80%
Materiales Locales	0%
Mano de Obra Calificada	5%
Mano de Obra Semi calificada	15%
Mano de Obra No Calificada Urbana	0%
Mano de Obra No Calificada Rural	0%

#### 5.4. Costos Financieros

Al tratarse de una donación del Fondo Nórdico para el Desarrollo (FND), no existen costos financieros asociados al proyecto.

### 6. EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA

Los indicadores utilizados para realizar la evaluación socioeconómica del Proyecto Electrificación Rural con Energía Renovable (BO-X1013) son los siguientes:

- El Valor Actual Neto Socioeconómico (VANS), calculado como el valor presente del flujo de beneficios socioeconómicos netos descontado a la tasa social de descuento (12%). Un proyecto será factible socioeconómicamente si el VANS es mayor a cero, lo que significa que esta solución es rentable para el país en su conjunto.
- La Tasa Interna de Retorno Socioeconómica (TIRS), que corresponde a la tasa de descuento que hace cero al VANS. Si la TIRS es igual o mayor a 12%, nuevamente el proyecto es rentable desde la óptica social y económica para el país.

En el anexo se muestran las tablas de cálculo para cada uno de los componentes. Bajo esos lineamientos se tienen los siguientes resultados para cada componente de tecnología.

**Tabla 33. Indicadores de Evaluación Socioeconómica por Componente**

Componente	TIRS	VANS	Observaciones
Sistemas Híbridos	23,46%	812.976 \$US	Viable
Sistemas Fotovoltaicos	50,47%	2'541.515 \$US	Viable
Sistemas Termosolares	13,25%	26.264 \$US	Viable
Picos Sistemas Fotovoltaicos	43,07%	571.597 \$US	Viable

Como se observa en todos los casos, la implementación de los diferentes componentes son viables social y económicamente. Esto permite aseverar que desde el punto de vista del país la ejecución del proyecto será beneficiosa. Las altas tasas de retorno de los sistemas híbridos y fotovoltaicos se explican por el alto subsidio que existe a los combustibles líquidos. Si se considera el costo de mercado (0,54\$/litro) para la gasolina, en vez del costo de oportunidad (1,37 \$us/litro) la TIRS resulta 23,42%.

## 7. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

A efecto de validar la robustez de los indicadores de la evaluación socioeconómica de los diferentes componentes del programa, se considera como variables:

- Variaciones en la inversión (incremento de la inversión)
- Variaciones en los costos de O&M (incremento de los costos de O&M)
- Variaciones en el beneficios estimados (reducción de los beneficios esperados)

Para el análisis de sensibilidad se considera como valor 1 la situación base que corresponde a la situación evaluada y que se ha descrito en los puntos anteriores.

### 7.1. Análisis de Sensibilidad Sistemas Híbridos

Para realizar el análisis se considera un incremento en las inversiones correspondiente al 50%, un incremento de los costos de O&M en 50% y una disminución de beneficios de 40%.

**Tabla 34. Análisis de Sensibilidad. Sistema Híbridos**

Caso	Inversión	Costos de O&M	Beneficios	VANS \$US	TIRS
Base	1	1	1	812.971	23,5%
+ Inversión	1,5	1	1	260.542	14,6%
+ O&M	1	1,5	1	756.713	22,9%
- Beneficios	1	1	0,6	837	12,0%

Se puede observar que en todos los casos, la TRS está por encima de la referencia que se ha considerado nominalmente como 12% y el VANS es mayor a cero. El caso más crítico es la reducción de beneficios en un 40%, que prácticamente lleva al límite al proyecto. Sin embargo esta situación es improbable que se presente, dado que el mayor beneficio son los ahorros en diésel, implicaría una reducción del precio internacional de este combustible en una proporción casi similar. A fin de verificar este punto, se analizó la TIRS con una precio internacional de diésel 40% menor, verificándose que el proyecto aún es viable socioeconómicamente (TIRS>12%).

## 7.2. Análisis de Sensibilidad Sistemas Fotovoltaicos

Para realizar el análisis se considera un incremento en las inversiones correspondiente al 50%, un incremento de los costos de O&M en 50% y una disminución de beneficios de 40%.

**Tabla 35. Análisis de Sensibilidad. Sistemas Fotovoltaicos**

Caso	Inversión	Costos de O&M	Beneficios	VANS \$US	TIRS
Base	1	1	1	2.541.495	50,5%
+ Inversión	1,5	1	1	2.063.720	33,2%
+ O&M	1	1,5	1	2.223.279	46,8%
- Beneficios	1	1	0,6	888.104	26,3%

Se puede observar que en todos los casos, la TRS es 2 a 3 veces más que el valor de referencia (considerado nominalmente como 12%). Asimismo, en todos los casos el VANS es mayor a cero.

## 7.3. Análisis de Sensibilidad Sistemas Termosolares

En este caso particular el proyecto tiene una sensibilidad alta para la inversión, un 4% de incremento, pone en el límite el VANS y la TIRS. En cuanto a los incremento de los costos de O&M el componente puede soportar hasta un 20% de incremento. Respecto a la disminución de beneficios el componente tiene una sensibilidad alta solo soporta un 4% de decremento. Si bien este componente es bastante sensible a los costos de inversión (y disminución de beneficios) debe mencionarse que la tendencia es a la baja de los mismos, debido al desarrollo de las tecnologías, y al incremento del mercado para los sistemas, por lo que el riesgo se considera bajo.

**Tabla 36. Análisis de Sensibilidad. Sistemas Termosolares**

Caso	Inversión	Costos de O&M	Beneficios	VANS \$US	TIRS
Base	1	1	1	26.264	13,25%
+ Inversión	1,04	1	1	2.842	12,13%
+ O&M	1	1,2	1	8.060	12,39%
- Beneficios	1	1	0,96	1.792	12,08%

## 7.4. Análisis de Sensibilidad Pico Sistemas Fotovoltaicos

Para realizar el análisis se considera un incremento en las inversiones correspondiente al 60%, un incremento de los costos de O&M en 60% y una disminución de beneficios de 40%.

**Tabla 37. Análisis de Sensibilidad. Pico Sistemas Fotovoltaicos**

Caso	Inversión	Costos de O&M	Beneficios	VANS \$US	TIRS
Base	1	1	1	571.597	43,1%
+ Inversión	1,6	1	1	407.122	26,2%
+ O&M	1	1,6	1	541.036	42,6%
- Beneficios	1	1	0,6	212.935	24,3%

Con las variaciones realizadas, en el caso más crítico, la TRS es el doble de la nominal y el VANS es siempre mayor a cero. Este componente en particular es bastante robusto debido al ahorro que representaría para las familias en relación al uso de energéticos tradicionales.

## **8. EVALUACIÓN FINANCIERA**

Una evaluación financiera desde el punto de vista privado se realizó para cada componente, considerando en cada caso los posibles ingresos que podría generar el proyecto, y los costos del mismo desde el punto de vista del Proyecto (considerando impuestos). Se considera como valor de referencia una TIR de 10%, para la cual el VAN debería ser igual o mayor a cero. La tasa de descuento adoptada (10%) corresponde a la establecida por la normativa para el sector eléctrico en Bolivia.

En todos los casos la evaluación determinó que la viabilidad financiera de los componentes depende de tener un aporte a fondo perdido (total o parcial) para la inversión. Por lo que se verifica que las intervenciones no serían atractivas desde el punto de vista de una inversión privada.

Asimismo, en esta parte de la evaluación se verifica para cada componente, que los costos financieros de operación y mantenimiento puedan ser cubiertos por las entidades operadoras, municipios o usuarios, a fin de garantizar la sostenibilidad de los sistemas.

En el anexo se muestran las tablas de cálculo con el detalle correspondiente.

### **8.1. Sistemas Híbridos**

En el caso de los sistemas híbridos se ha considerado como ingreso del proyecto, la venta de la energía generada por estos sistemas considerando una tarifa existente en las regiones donde se implementaría el proyecto de 1,01 Bs/kWh (0,145 \$US/kWh).

Considerando el 100% de la inversión como un costo, el proyecto no es viable financieramente, ya que la tarifa no permitiría cubrir los costos de inversión, operación y mantenimiento en este caso.

No obstante, para una tasa de descuento de 10%, y un subsidio en la inversión del 60% la evaluación financiera arroja un VAN de 2 \$US, mayor a cero.

Entonces, se puede decir que, considerando la inversión inicial como donación, los resultados obtenidos para los sistemas híbridos muestran que en las condiciones del proyecto, con la tarifa propuesta los operadores beneficiados podrían alcanzar a financiar hasta un 40% de los costos totales de inversión, además de cubrir totalmente los costos de O&M lo cual asegura la sostenibilidad del proyecto, con un VAN igual a cero.

Alternativamente, si toda la inversión es una donación, se permitirá bajar los costos totales de producción de energía en los SA, y por ende reducir la tarifa final de todo el SA.

En este punto debe aclararse que se usó una tarifa promedio (0,145 \$us/kWh) para el cálculo, y que en muchos casos, sobre todo en sistemas aislados menores, la tarifa es superior a los 0,2 \$us/kWh, lo que mejoraría el impacto de los sistemas de energía renovable en la situación financiera de los operadores.

## 8.2. Sistemas Fotovoltaicos

En el caso de los sistemas fotovoltaicos se considera como un ingreso anual el pago de un servicio equivalente al que se provee con los sistemas instalados (provisión de energía), tanto en establecimientos educativos como de salud. Este monto es el que deberá pagar el municipio para garantizar la operación y mantenimiento del sistema.

Para realizar la evaluación financiera se considera que a una tasa de descuento de referencia del 10%, el VAN debería ser igual o mayor a cero.

Considerando el 100% de la inversión como un costo, el proyecto no es viable financieramente, ya que la tarifa no permite cubrir los costos de inversión, operación y mantenimiento.

No obstante, dado el carácter eminentemente social del proyecto, si toda la inversión inicial es una donación, los resultados obtenidos para los sistemas fotovoltaicos muestran qué, en el caso de suministrarse el servicio a un precio de 24,13 \$US/mes (289,63 \$US/año), se cubren completamente los costos de operación, mantenimiento y reposición de baterías, lo que asegura la sostenibilidad del proyecto en el tiempo, con un VAN igual a cero.

Los ahorros que se provoca en los maestros y sanitarios en pilas, velas y mecheros, se estiman en 250 \$US/año, por lo que si se vuelca estos gastos para cubrir parte de la O&M de estos sistemas (bajo algún acuerdo específico), se tendría una importante fuente de repago. El resto deberá ser cubierto por el municipio.

## 8.3. Sistemas Termosolares

Para los sistemas termosolares para calentamiento de agua sanitaria, se considera como ingreso anual, el pago de un servicio equivalente a un operador que preste el mismo servicio (provisión de agua caliente).

La evaluación financiera considera como indicador que, a una tasa de descuento de referencia del 10%, el VAN debería ser igual o mayor a cero.

Considerando el 100% de la inversión como un costo, el proyecto no es viable financieramente, ya que la tarifa no permite cubrir los costos de inversión, operación y mantenimiento.

Si la inversión inicial es una donación completa, los resultados obtenidos para los sistemas termosolares muestran qué, en el caso de suministrarse el servicio a un precio de 9,86 \$US/mes, se cubren completamente los costos de operación, mantenimiento y reposición, lo que asegura la sostenibilidad del proyecto en el tiempo, con un VAN igual a cero. Este costo debería ser cubierto por el municipio beneficiario, a fin de garantizar la sostenibilidad.

## 8.4. Pico Sistemas Fotovoltaicos

Para los pico sistemas fotovoltaicos se considera ingreso anual, el pago que haría el usuario de un servicio de iluminación.

La evaluación financiera considera como indicador qué, a una tasa de descuento de referencia del 10%, el VAN debería ser igual o mayor a cero.

Considerando que la inversión inicial es una donación, los resultados obtenidos para los pico sistemas fotovoltaicos muestran que, en el caso de suministrarse el servicio a un precio de 1,2 \$US/mes, se cubren completamente los costos de operación, mantenimiento y reposición, lo que asegura la sostenibilidad del proyecto en el tiempo, con un VAN igual a cero. En este caso, el municipio beneficiario deberá establecer mecanismos de pago con los beneficiarios, a fin de garantizar la sostenibilidad de los sistemas.

El costo de pagar el servicio a un operador privado (conexión de red), puede superar en 3 o 4 veces el valor de la tarifa establecida en este caso. Esa es una de las razones para que exista un componente hundido de inversión inicial.

## 9. CONCLUSIONES

### 9.1. Sobre la Viabilidad Socioeconómica y Financiera

Efectuados los análisis correspondientes se puede concluir que los diferentes componentes del proyecto son viables desde el punto de vista socioeconómico, y pasan el análisis de sensibilidad. Asimismo, se verificó la viabilidad financiera de los sistemas considerando la inversión como una donación, es decir se verificó que los costos de operación y mantenimiento de los sistemas pueden ser cubiertos por las entidades beneficiarias, lo que garantiza su sostenibilidad.

De manera específica:

#### a) Sistemas Híbridos

Al considerar los indicadores de evaluación socioeconómica se constata que el proyecto es viable para el Estado.

**Tabla 38. Indicadores de Evaluación Socioeconómica. Sistemas Híbridos**

Componente	TIRS	VANS	Observaciones
Sistemas Híbridos	23,46%	812.976 \$US	Viable

En la evaluación financiera realizada al componente de sistemas híbridos se ve que si las inversiones son subsidiadas en un 100%, el costo promedio de operación y mantenimiento (O&M) del componente fotovoltaico alcanza a 0,03 US\$/kWh. Este costo es menor a la tarifa promedio actual de los sistemas aislados en la región, lo que indica que la instalación de estos sistemas podría permitir inclusive una rebaja de los costos totales de suministro a los usuarios, expresándose como una tarifa menor a la existente.

Sin embargo de mantenerse las tarifas actuales de energía (0,14 \$US/kWh), los operadores podrían cubrir adicionalmente a los costos de O&M, hasta 40% de los costos de inversión de la componente fotovoltaica de los sistemas híbridos que se implementen.

#### b) Sistemas Fotovoltaicos en Educación y Salud

Al considerar los indicadores de evaluación socioeconómica para el componente de sistemas fotovoltaicos para educación y salud, se constata que el proyecto es viable para el Estado.

**Tabla 39. Indicadores de Evaluación Socioeconómica. Sistemas Fotovoltaicos**

Componente	TIRS	VANS	Observaciones
Sistemas Fotovoltaicos	50,47%	2'541.515 \$US	Viable

La evaluación financiera muestra qué, los costos de O&M no se constituyen en un riesgo en sí mismo (24,14 \$US/mes), dada la baja cuantía de los mismos, y tampoco serán una carga financiera excesiva para las Alcaldías Municipales que estén a cargo del proyecto, pues no impactan el POA anual que tienen. Sin embargo es necesario generar un mecanismo institucional que garantice la provisión de los recursos necesarios para la O&M de estos sistemas.

### c) Sistemas Termosolares

Al considerar los indicadores de evaluación socioeconómica se constata que el proyecto es viable para el Estado.

**Tabla 40. Indicadores de Evaluación Socioeconómica. Sistemas Termosolares**

Componente	TIRS	VANS	Observaciones
Sistemas Termosolares	13,25%	26.264 \$US	Viable

Los servicios que prestan los STS son de alto impacto en aspectos sanitarios. Los costos de O&M que aseguren la sostenibilidad alcanza a un valor de 9,86 \$US/mes, un valor relativamente bajo. En ese sentido los STS instalados en infraestructura a cargo de los Municipios, no significaran una carga financiera en los presupuestos que se manejan en general, nuevamente lo importante es asegurar que las Alcaldías Municipales cumplan con los aspectos formales de inscripción de recursos suficientes en los POAS anuales.

### d) Pico Sistemas Fotovoltaicos

Al considerar los indicadores de evaluación socioeconómica se constata que el proyecto es viable para el Estado.

**Tabla 41. Indicadores de Evaluación Socioeconómica. Pico Sistemas Fotovoltaicos**

Componente	TIRS	VANS	Observaciones
Picos Sistemas Fotovoltaicos	43,07%	571.597 \$US	Viable

En este último componente, uno de los más robustos, los costos de O&M equivalen a 1,2 \$US/mes, valor que se encuentra por debajo de los gastos que actualmente realizan las familias comprando 1 vela por día (que significa 2,15 \$US/mes) y, dada la alta utilidad de estos pico sistemas no se ve riesgos que limiten su operatividad en el largo plazo, considerando adicionalmente la larga vida útil de los equipos.

## 9.2. Mecanismos Institucionales para Asegurar la Sostenibilidad

En todo el Programa, un aspecto prioritario es asegurar el cumplimiento de las tareas de operación y mantenimiento, para asegurar la sostenibilidad de los sistemas que se instalen. Esto implica que



previa a la instalación se deben realizar una serie de acuerdos institucionales que aseguren este hecho.

En los sistemas híbridos es necesario que los operadores respectivos asuman el compromiso de llevar a cabo las tareas de O&M con regularidad y calidad y, que se reserven los recursos para el efecto. Como se ve el gasto más alto se produce cada 10 años, al momento de recambiar los bancos de baterías. En esta situación es importante efectuar desde el inicio la recaudación de recursos para ese momento. Al ser operadores de pequeños sistemas eléctricos, implica que participe el VMEEA y la Autoridad de Electricidad como responsable de la regulación del sector.

En el caso de los sistemas termosolares, y sistemas fotovoltaicos para educación y salud, el compromiso deberá ser asumido por los respectivos Municipios receptores de las instalaciones, una situación particular deberá ser planteada para los pico sistemas fotovoltaicos, donde a través del Municipio se formalice el compromiso de uso apropiado y reposición de baterías, por cuenta de los usuarios finales.

De todas maneras sería importante que una dependencia al interior del PEVD, como por ejemplo la existente Oficina Técnica de Monitoreo (OTM), asuma la responsabilidad por el seguimiento del cumplimiento de los convenios y realice inspecciones periódicas para verificar el funcionamiento correcto de los sistemas instalados.

### **9.3. Capacitación y Seguimiento**

Al ser componentes tecnológicos que exigen un relativo cuidado en su operación, es importante que al momento de la instalación se realice una capacitación a los futuros operadores de los sistemas, de manera que se explique claramente los alcances, limitaciones, ventajas, cuidados y aspectos delicados en cada una de las tecnologías.

Por otro lado sería óptimo que el proceso de compra incorpore algunos servicios adicionales por un periodo corto de tiempo, como por ejemplo la realización de tareas de O&M en las cuales participe el personal que estará a cargo de los equipos instalados.

Finalmente es importante que se exijan manuales detallados de O&M a un nivel operativo y fácilmente entendibles por personal local de las comunidades, en español como mínimo. Esto garantizará de alguna manera que los documentos sea utilizados por el personal a cargo de O&M.

### **9.5. Aspectos Ambientales**

Al ser componentes de energías renovables no se considera la generación de un impacto negativo en el medio ambiente. Sin embargo será necesario cuidar que para el caso de uso de baterías, se disponga de un procedimiento de recojo y reciclamiento a futuro.

Para la realización de las instalaciones, el único cuidado a tener, es la no irrupción en áreas restringidas de áreas protegidas o parques nacionales, donde eventualmente pueden existir comunidades que infringen estas disposiciones y que obviamente no tienen acceso a servicios básicos, por lo que sería importante tener una validación de áreas (cuando haya un parque nacional o un área protegida) con el SERNAP.

*Cochabamba, Julio, 2013*

## Anexos

---

## Anexo 1

### Tablas de Evaluación Socioeconómica por Componente

---



Electrificación Rural con Energía Renovable (BO-X1013)

Componente: SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

EVALUACION SOCIOECONOMICA

DATOS

Nombre:	SFV's	
	Educación	Salud
Periodo de Analisis	20 años	75
Numero de sistemas	300	12%
Tasa de Descuento	687.082,52	284.635,20
Costo Total:	US\$	US\$
Razones Precio Cuenta de Eficiencia	1,24	
RPC Divisa	1,00	
RPC Mano de obra calificada	0,43	
RPC Mano de obra semicalificada	0,23	
RPC Mano de obra no calificada urbana	0,47	
RPC Mano de obra no calificada rural	1,00	
RPC Gastos Generales		

COSTOS

Costos de Inversión

	2014	2015	2016
Bienes Transables	50%	50%	40%
Materiales Locales	240.985,99	240.985,99	40%
Mano de Obra Calificada	194.343,54	194.343,54	40%
Mano de Obra Semicualificada	48.585,89	48.585,89	10%
M. De O. No Calificada Urbana	20.891,93	20.891,93	10%
M.de O. No Calificada Rural	0,00	0,00	0%
Costo Inversión	504.807,35	504.807,35	

Costos de Operación y Mantenimiento

Preventivo Reposición Baterías y otros

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
Bienes Transables	10%	40%																			
Materiales Locales	10%	40%																			
Mano de Obra Calificada	40%	10%																			
M. De O. No Calificada Urbana	0%	0%																			
M.de O. No Calificada Rural	0%	0%																			

Costo de O&M

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
Bienes Transables	3.720,00	7.440,00	7.440,00	7.440,00	7.440,00	7.440,00	7.440,00	7.440,00	7.440,00	7.440,00	142.465,31	7.440,00	7.440,00	7.440,00	7.440,00	7.440,00	7.440,00	7.440,00	7.440,00	7.440,00	7.440,00
Materiales Locales	3.000,00	6.000,00	6.000,00	6.000,00	6.000,00	6.000,00	6.000,00	6.000,00	6.000,00	6.000,00	114.891,38	6.000,00	6.000,00	6.000,00	6.000,00	6.000,00	6.000,00	6.000,00	6.000,00	6.000,00	6.000,00
Mano de Obra Calificada	12.000,00	24.000,00	24.000,00	24.000,00	24.000,00	24.000,00	24.000,00	24.000,00	24.000,00	24.000,00	88.821,75	24.000,00	24.000,00	24.000,00	24.000,00	24.000,00	24.000,00	24.000,00	24.000,00	24.000,00	24.000,00
Mano de Obra Semicualificada	5.160,00	10.320,00	10.320,00	10.320,00	10.320,00	10.320,00	10.320,00	10.320,00	10.320,00	10.320,00	38.163,35	10.320,00	10.320,00	10.320,00	10.320,00	10.320,00	10.320,00	10.320,00	10.320,00	10.320,00	10.320,00
M. de O. No Calificada Urbana	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
M. de O. No Calificada Rural	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Costo O&M	0,00	23.880,00	47.760,00	47.760,00	47.760,00	47.760,00	47.760,00	47.760,00	47.760,00	47.760,00	384.371,78	47.760,00	47.760,00	47.760,00	47.760,00	47.760,00	47.760,00	47.760,00	47.760,00	47.760,00	47.760,00

BENEFICIOS

Reducción de gastos

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
Ahorro pilas, velas, etc establecimientos	42600,00	85200,00	85200,00	85200,00	85200,00	85200,00	85200,00	85200,00	85200,00	85200,00	85200,00	85200,00	85200,00	85200,00	85200,00	85200,00	85200,00	85200,00	85200,00	85200,00	85200,00
Ahorro en operación gen gasolina	239603,86	479207,72	479207,72	479207,72	479207,72	479207,72	479207,72	479207,72	479207,72	479207,72	479207,72	479207,72	479207,72	479207,72	479207,72	479207,72	479207,72	479207,72	479207,72	479207,72	479207,72
Ahorro en reposición gen gasolina	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Beneficios	0,00	282.203,86	564.407,72	564.407,72	564.407,72	564.407,72	564.407,72	564.407,72	564.407,72	564.407,72	564.407,72	564.407,72	564.407,72	564.407,72	564.407,72	564.407,72	564.407,72	564.407,72	564.407,72	564.407,72	564.407,72

Flujo

-504.807,35	-246.483,49	516.647,72	516.647,72	516.647,72	516.647,72	516.647,72	516.647,72	516.647,72	516.647,72	516.647,72	180.035,93	516.647,72	516.647,72	516.647,72	516.647,72	516.647,72	516.647,72	516.647,72	516.647,72	516.647,72	516.647,72
-------------	-------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------

VANS

2.541.515 US\$

TIRS

50,47%



Electrificación Rural con Energía Renovable (BO-X1013)

Componente: PICO SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

EVALUACION SOCIOECONOMICA

DATOS

Nombre:	Pico SFVs
Periodo de Análisis	20 años
Numero de sistemas	3000
Tasa de Descuento	12%
Costo Total:	247.740,00 US\$

Razones Precio Cuenta de Eficiencia

RPC Divisa	1,24
RPC Mano de obra calificada	1,00
RPC Mano de obra semicalificada	0,43
RPC Mano de obra no calificada urbana	0,23
RPC Mano de obra no calificada rural	0,47
RPC Gastos Generales	1,00

COSTOS

Costos de Inversión

	2014	100%
Bienes Transables	245.758,08	80%
Materiales Locales	0,00	0%
Mano de Obra Calificada	12.387,00	5%
Mano de Obra Semicalificada	15.979,23	15%
M. De O. No Calificada Urbana	0,00	0%
M.de O. No Calificada Rural	0,00	0%
Costo Inversión	274.124,31	

Costos de Operación y Mantenimiento

	Reposición Lámparas
Bienes Transables	80%
Materiales Locales	0%
Mano de Obra Calificada	5%
Mano de Obra Semicalificada	15%
M. De O. No Calificada Urbana	0%
M.de O. No Calificada Rural	0%

Costo de O&M

Bienes Transables	0,00
Materiales Locales	0,00
Mano de Obra Calificada	0,00
Mano de Obra Semicalificada	0,00
M. de O. No Calificada Urbana	0,00
M. de O. No Calificada Rural	0,00

Costo O&M

	0,00
--	------

BENEFICIOS

Reducción de gastos en energéticos tradicion

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	
Ahorro de pilas	41379,31	41379,31	41379,31	41379,31	41379,31	41379,31	41379,31	41379,31	41379,31	41379,31	41379,31	41379,31	41379,31	41379,31	41379,31	41379,31	41379,31	41379,31	41379,31	41379,31	
Ahorro en velas	78663,79	78663,79	78663,79	78663,79	78663,79	78663,79	78663,79	78663,79	78663,79	78663,79	78663,79	78663,79	78663,79	78663,79	78663,79	78663,79	78663,79	78663,79	78663,79	78663,79	
Beneficios	0,00	120.043,10	120.043,10	120.043,10	120.043,10	120.043,10	120.043,10	120.043,10	120.043,10	120.043,10	120.043,10	120.043,10	120.043,10	120.043,10	120.043,10	120.043,10	120.043,10	120.043,10	120.043,10	120.043,10	

T

Pilaje	-274.124,31	120.043,10	120.043,10	120.043,10	120.043,10	120.043,10	120.043,10	120.043,10	120.043,10	120.043,10	120.043,10	120.043,10	120.043,10	120.043,10	120.043,10	120.043,10	120.043,10	120.043,10	120.043,10	120.043,10	120.043,10
--------	-------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------

VANS

TIRS	571.597	US\$
------	---------	------

43,07%

## Anexo 2

### Tablas de Cálculo de Evaluación Financiera por Componente

---



Electrificación Rural con Energía Renovable (BO-X1013)

Componente: SISTEMAS HÍBRIDOS EN BEN

EVALUACION FINANCIERA

DATOS

Nombre:	Sistemas Híbridos	
Potencia del campo fotovoltaico	100	KWp
Periodo de Análisis	20	años
Numero de sistemas	3	
Tasa de Descuento	10%	
Costo Total:	1,300,000.00 US\$	

COSTOS

Costos de Inversión

	2014	2015	2016
	33%	33%	33%
Costo Inversión (US\$)	433.333,33	433.333,33	433.333,33
Subsidio a la Inversión (%)	60%	60%	60%
Monto Subsidio (US\$)	173.333,33	173.333,33	173.333,33

Costos de Operación y Mantenimiento

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
Costo de O&M		2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00	112.220,00	112.220,00	112.220,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00
Costo O&M	0,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00	112.220,00	112.220,00	112.220,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00

INGRESOS

Tarifa por kWh generado	1,01 Bs	
Tarifa por kWh generado	0,146 US\$	

Venta de Electricidad

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
Venta de Electricidad		71.349,00	71.349,00	71.349,00	71.349,00	71.349,00	71.349,00	71.349,00	71.349,00	71.349,00	71.349,00	71.349,00	71.349,00	71.349,00	71.349,00	71.349,00	71.349,00	71.349,00	71.349,00	71.349,00	71.349,00
Beneficios	0,00	71.349,00	71.349,00	71.349,00	71.349,00	71.349,00	71.349,00	71.349,00	71.349,00	71.349,00	71.349,00	71.349,00	71.349,00	71.349,00	71.349,00	71.349,00	71.349,00	71.349,00	71.349,00	71.349,00	71.349,00

Flujo

	-173.333,33	-103.984,34	-103.984,34	69.349,00	69.349,00	69.349,00	69.349,00	69.349,00	69.349,00	69.349,00	-40.871,00	-40.871,00	-40.871,00	-40.871,00	69.349,00	69.349,00	69.349,00	69.349,00	69.349,00	69.349,00	69.349,00
--	-------------	-------------	-------------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	------------	------------	------------	------------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

VAN

	2	US\$
--	---	------

## Electrificación Rural con Energía Renovable (BO-X1013)

Componente: SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

### EVALUACION FINANCIERA

#### DATOS

Nombre:	SFV/s Educación	SFV/s Salud
Periodo de Análisis	20 años	75
Numero de sistemas	300	10%
Tasa de Descuento	10%	US\$
Costo Total:	819.087,00	337.913,25
	US\$	US\$

#### COSTOS

Costos de Inversión	2014	2015
Costo Inversión (US\$)	50%	50%
Subsidio a la Inversión (%)	578.500,13	578.500,13
Monto Subsidio (US\$)	100%	100%
	0,00	0,00

#### Costos de Operación y Mantenimiento

Costo de O&M	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
Costo de Operación y Mantenimiento	60.000,00	60.000,00	60.000,00	60.000,00	60.000,00	60.000,00	60.000,00	60.000,00	60.000,00	60.000,00	60.000,00	60.000,00	60.000,00	60.000,00	60.000,00	60.000,00	60.000,00	60.000,00	60.000,00	60.000,00	60.000,00
Costo O&M	0,00	60.000,00	60.000,00	60.000,00	60.000,00	60.000,00	60.000,00	60.000,00	60.000,00	60.000,00	480.750,00	60.000,00	60.000,00	60.000,00	60.000,00	60.000,00	352.500,00	60.000,00	60.000,00	60.000,00	60.000,00

#### INGRESOS

Cuota anual por SFV instalado  
Cuota anual por SFV instalado

2015,83 Bs/año  
289,63 US\$/año

24,14 \$US/mes

#### cuota anual

cuota anual	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
Cuota anual	108.611,75	108.611,75	108.611,75	108.611,75	108.611,75	108.611,75	108.611,75	108.611,75	108.611,75	108.611,75	108.611,75	108.611,75	108.611,75	108.611,75	108.611,75	108.611,75	108.611,75	108.611,75	108.611,75	108.611,75	108.611,75
Beneficios	0,00	108.611,75	108.611,75	108.611,75	108.611,75	108.611,75	108.611,75	108.611,75	108.611,75	108.611,75	108.611,75	108.611,75	108.611,75	108.611,75	108.611,75	108.611,75	108.611,75	108.611,75	108.611,75	108.611,75	108.611,75

Flujo

Flujo	0,00	48.611,75	48.611,75	48.611,75	48.611,75	48.611,75	48.611,75	48.611,75	48.611,75	48.611,75	-372.138,25	48.611,75	48.611,75	48.611,75	48.611,75	-243.898,25	48.611,75	48.611,75	48.611,75	48.611,75	48.611,75
-------	------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-------------	-----------	-----------	-----------	-----------	-------------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

VAN

VAN	0	US\$																			
-----	---	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Electrificación Rural con Energía Renovable (B-O-X1013)

Componente: SISTEMAS TERMOSOLARES

EVALUACION FINANCIERA

DATOS  
Nombre: Sistemas Termosolares  
Periodo de Analisis: 20 años  
Numero de sistemas: 300  
Tasa de Descuento: 10%  
Costo Total: 750.000,00 US\$

COSTOS  
Costos de Inversión  
2014 2015  
50% 50%  
Costo Inversión (US\$) 375.000,00 375.000,00  
Subsidio a la Inversión (%) 100% 100%  
Monto Subsidio (US\$) 0,00 0,00

Costos de Operación y Mantenimiento

Costo de O&M  
Costo O&M

INGRESOS

Cuota anual por STS instalado 823,66 Bs  
Cuota anual por STS instalado 118,33 US\$

cuota anual

Beneficios

Flujo

VAN

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
Costo de O&M	16.750,00	37.500,00	37.500,00	37.500,00	37.500,00	37.500,00	37.500,00	37.500,00	37.500,00	37.500,00	37.500,00	37.500,00	37.500,00	37.500,00	37.500,00	37.500,00	37.500,00	37.500,00	37.500,00	37.500,00	37.500,00
Costo O&M	0,00	18.750,00	37.500,00	37.500,00	37.500,00	37.500,00	37.500,00	37.500,00	37.500,00	37.500,00	37.500,00	37.500,00	37.500,00	37.500,00	37.500,00	37.500,00	37.500,00	37.500,00	37.500,00	37.500,00	37.500,00
INGRESOS																					
Cuota anual por STS instalado	823,66 Bs																				
Cuota anual por STS instalado	118,33 US\$																				
cuota anual	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Cuota anual	35497,84	35497,84	35497,84	35497,84	35497,84	35497,84	35497,84	35497,84	35497,84	35497,84	35497,84	35497,84	35497,84	35497,84	35497,84	35497,84	35497,84	35497,84	35497,84	35497,84	35497,84
Beneficios	0,00	35.497,84	35.497,84	35.497,84	35.497,84	35.497,84	35.497,84	35.497,84	35.497,84	35.497,84	35.497,84	35.497,84	35.497,84	35.497,84	35.497,84	35.497,84	35.497,84	35.497,84	35.497,84	35.497,84	35.497,84
Flujo	0,00	16.747,84	-2.002,16	-2.002,16	-2.002,16	-2.002,16	-2.002,16	-2.002,16	-2.002,16	-2.002,16	-2.002,16	-2.002,16	-2.002,16	-2.002,16	-2.002,16	-2.002,16	-2.002,16	-2.002,16	-2.002,16	-2.002,16	-2.002,16
VAN	0	US\$																			

**Datos**

**Nombre:** Pico SFVs

Periodo de Análisis	20 años
Numero de sistemas	3000
Tasa de Descuento	10%
Costo Total:	300.000,00 US\$

Costo Inversión (US\$)	Subsidio a la Inversión (%)	Monto Subsidiado (US\$)
300.000,00	0%	300.000,00
100%		
2014		

**Costo de O&M**  
**Costo de Operación y Mantenimiento**

Pago anual por lampara	96,77 Bs	8,1 Bs/mes
Pago anual por lampara	13,90 US\$	1,2 US\$/mes

Pago anual	0	2014	41.7
Pago anual	0.00	41.7	41.7
Beneficios			

VAN 0 US\$