

Guía para la Evaluación de Elegibilidad de Financiación de Proyectos de Eficiencia Energética

Tipo de Proyecto

Energía Solar Fotovoltaica



Glosario



2- Aplicabilidad



**7. Análisis de riesgos
ambientales y sociales**



3- Introducción



8- Criterios de elegibilidad



**Tabla de
conversiones**



4- Descripción de la tecnología



**9- Monitoreo, reporte y
verificación del proyecto**



5- Descripción del proyecto



10- Caso de estudio



1. Presentación



6- Requerimiento de inversión



11- Referencia



Glosario

Célula solar fotovoltaica: dispositivo que transforma la radiación solar en energía eléctrica.

Dióxido de carbono (CO₂): es el principal gas de efecto invernadero, emitido principalmente a través del uso del transporte, la industria, la producción de energía eléctrica, la agricultura y la deforestación.

Factor de emisión: promedio de un gran número de mediciones de emisiones de contaminantes atmosféricos que son representativas de un tipo de fuentes de emisión, por ejemplo, el factor de emisión del Sistema Interconectado Eléctrico de Colombia es 0,37 kg de CO₂ /kWh (EIA, 2012); esto quiere decir que por cada 100 kWh consumidos se emiten 37 kg de CO₂.

Gases de efecto invernadero (GEI): los gases de efecto invernadero son la principal causa del calentamiento global. La mayoría de estos gases como el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), los óxidos nitrosos (NO_x), entre otros, son liberados a la atmósfera por la actividad humana.

Generador fotovoltaico: asociación en paralelo de ramas fotovoltaicas.

Instalación solar fotovoltaica: aquella que dispone de módulos fotovoltaicos para la conversión directa de la radiación solar en energía eléctrica, sin ningún paso intermedio.

Irradiancia solar: potencia radiante incidente por unidad de superficie sobre un plano dado. Se expresa en kW/m².

Irradiación solar: energía incidente por unidad de superficie sobre un plano dado, obtenida por integración de la irradiancia solar durante un intervalo de tiempo dado, normalmente una hora o un día. Se mide en kWh/m²/día.

kWp: medición de la potencia en kW que genera un módulo solar cuando recibe una irradiación solar de 1.000 W/m².

Medición neta: es un esquema de utilidad general para el uso y pago del recurso eléctrico en el cual un cliente que genera su propia energía eléctrica hace una cuenta neta entre sus excedentes de generación y su consumo.



Glosario

Módulo o panel fotovoltaico: conjunto de células solares directamente interconectadas y encapsuladas como único bloque, entre materiales que las protegen de los efectos de la intemperie.

Pérdidas por orientación: cantidad de irradiación solar no aprovechada por el sistema SFV como consecuencia de no tener la orientación óptima.

Pérdidas por inclinación: cantidad de irradiación solar no aprovechada por el sistema SFV como consecuencia de no tener la inclinación óptima.

Pérdidas por sombras: cantidad de irradiación solar no aprovechada por el sistema SFV como consecuencia de la existencia de sombras sobre el mismo en algún momento del día.

Performance Ratio o coeficiente de rendimiento: expresa la relación del rendimiento energético real con respecto al rendimiento energético teóricamente posible. Este coeficiente es prácticamente independiente de la orientación de una instalación fotovoltaica y de la irradiación solar que incide sobre ella. Por este motivo, con ayuda del coeficiente de rendimiento, es posible comparar instalaciones fotovoltaicas conectadas a red en diferentes lugares del mundo.

Periodo de retorno simple: tiempo que tarda una inversión en pagarse basado en el flujo de caja del proyecto. . Por ejemplo, el período de retorno simple de una inversión de 300 USD con ahorros anuales de 100 USD tiene un periodo de retorno simple de 3 años.

Potencia nominal del generador o potencia pico: suma de las potencias máximas de los módulos fotovoltaicos.

Radiación solar: es la energía procedente del sol en forma de ondas electromagnéticas.

SFV: sistema solar fotovoltaico

Valor Exante: valor medido antes del cambio tecnológico en proyectos de eficiencia energética o energías renovables.

Valor Expost: valor medido después del cambio tecnológico en proyectos de eficiencia energética o energías renovables.



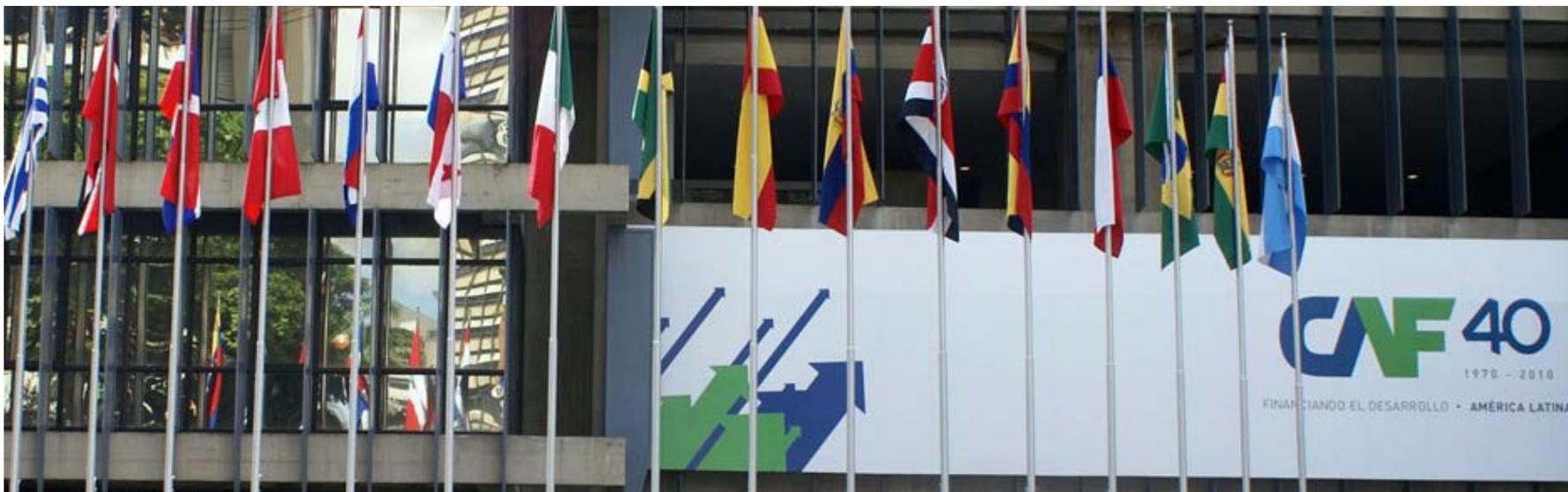
Tabla de conversiones

En la tabla 1 se presentan las unidades utilizadas en este manual que sirven como referencia para las diferentes conversiones de unidades que se encuentran a lo largo del documento.

Tabla 1. Tabla de conversión de unidades.

Energía	Megawatt-hora (kWh)	Kilowatt-hora (kWh)	watt-hora (kWh)
Megawatt-hora (MWh)	1	1.000	1.000.000
Kilowatt-hora (kWh)	0,001	1	1.000
Watt-hora (Wh)	0,000001	0,001	1

Potencia	Megawatt (kW)	Kilowatt (kW)	watt (kW)
Megawatt (MW)	1	1.000	1.000.000
Kilowatt (kW)	0,001	1	1.000
Watt (W)	0,000001	0,001	1



1. Presentación

CAF -banco de desarrollo de América Latina- tiene como misión impulsar el desarrollo sostenible y la integración regional, mediante el financiamiento de proyectos de los sectores público y privado, la provisión de cooperación técnica y otros servicios especializados. Constituido en 1970 y conformado en la actualidad por 19 países 17 de América Latina y el Caribe, junto a España y Portugal y 13 bancos privados, es una de las principales fuentes de financiamiento multilateral y un importante generador de conocimiento para la región.

CAF adelanta el desarrollo del Programa de Eficiencia energética desde la demanda (EE) y Negocios Verdes (NV) con Instituciones Financieras (IF), cuyo objetivo es fomentar una mayor inversión de empresas Latinoamericanas en NV y EE. Para lograrlo contarán con financiamiento de CAF a través de las líneas de crédito que mantiene con IF's, asistencia técnica y fortalecimiento de mercados en NV y de EE.

En este contexto, esta guía dirigida a las Instituciones Financieras, tiene

como objetivo fortalecer los programas ambientales y sociales de las IF's y mejorar sus capacidades, las de sus clientes y las de sus recursos de outsourcing; para identificar, evaluar y financiar proyectos de EE; asimismo, gestionar los riesgos ambientales y sociales asociados con la financiación este tipo de proyectos.

Incluye aspectos técnicos y de inversión, criterios de elegibilidad de proyectos para ser financiados por las IF's, y los mecanismos de monitoreo, reporte y verificación de los beneficios ambientales generados por las inversiones realizadas.

Esta guía es parte de un conjunto de documentos que comprende los sectores y tecnologías con mayor potencial de fomentar las inversiones en eficiencia energética. En la tabla 2 se presenta el conjunto de documentos elaborados para el Programa de Eficiencia Energética desde la Demanda (EE-D) y Negocios Verdes (NV) con Instituciones Financieras (IF's) de acuerdo con el tipo de proyecto y el sector.

Tabla 2. Manuales por sector y guías por tipo de proyecto

Manuales Por Sector											
Guías Por Tipo De Proyecto	Alimentos y bebidas	Textiles	Cemento	Pulpa y papel	Siderurgia y metal mecánica	Agroindustria	Hoteles y hospitales	Alumbrado público	Grandes superficies	Transporte	
	Motores de alta eficiencia	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
	Cogeneración de energía	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓		
	Sustitución de combustibles	✓	✓	✓	✓		✓			✓	
	Iluminación de alta eficiencia	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓		
	Calderas y sistemas de vapor	✓	✓		✓		✓				
	Aire acondicionado						✓		✓		
	Refrigeración	✓							✓		
	Calentamiento de agua con energía solar						✓				
	Hornos			✓		✓					
	Aire comprimido	✓	✓	✓	✓	✓					
	Energía solar fotovoltaica						✓	✓	✓		
	Automatización de procesos						✓	✓	✓		

Así por ejemplo se elaboró la guía para el desarrollo de proyectos de energía solar fotovoltaica, que es aplicable al sector de hoteles y hospitales, alumbrado público y grandes superficies.



2. Aplicabilidad

Esta guía presenta los aspectos técnicos, financieros y ambientales relacionados con el desarrollo de proyectos de inversión en sistemas de energía solar fotovoltaica y los beneficios de su implementación con las tecnologías disponibles en el mercado latinoamericano.

Los proyectos de energía solar fotovoltaica son ideales en sitios donde existen demandas constantes energía eléctrica con altos costos de la electricidad.

Los sectores con mayor potencial para el desarrollo de proyectos de inversión en sistemas de generación de energía solar fotovoltaica son los siguientes, para los cuales se han desarrollado manuales sobre las oportunidades de eficiencia energética, como por ejemplo los hoteles, los almacenes de retail y las industrias.

Sectores con mayor potencial para desarrollar proyectos de proyectos de cogeneración:



Hoteles



Hospitales



Grandes superficies



Alumbrado público

¹ Fuente: *Combined Heat and Power, Evaluating the benefits of greater global investment – International Energy Agency, IEA. 2008.*



3. Introducción

De acuerdo al informe de La Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA), en su informe titulado “Costes de Generación de Energía Renovable en 2014”, los costos de generación de energía a través de fuente de energías renovables, como la eólica y la energía solar fotovoltaica, se han venido igualando respecto a las tecnologías de generación convencionales a través de combustibles fósiles, hecho que se ha potenciado por los descensos en algunos costos de inversión en la tecnología.

Tomando como referencia a la misma agencia, en su reporte “Estadísticas de Capacidad Renovable” publicado en 2016, para finales de 2015 en el mundo la capacidad instalada y conectada en energía solar fotovoltaica era de 220.360 MW, un incremento del 22% sobre el año 2014.

En América Latina la capacidad instalada en Centro América y el Caribe pasó de 244 MW a 823 MW, y en Sur América de 607 MW a 1.124 MW; el crecimiento acelerado, en especial en Centro América y el Caribe, se debe en parte a la variación de los precios de la electricidad en la mayor parte de esta región, la creciente demanda, los problemas de seguridad energética, fenómenos climatológicos como el denominado “niño” y el desarrollo de políticas que promueven las inversiones en energías renovables que han proporcionado un terreno fértil para el despliegue de esta tecnología solar.

En la tabla 3 se resumen las diferentes políticas que buscan incentivar el desarrollo de la energía renovable en Latinoamérica.

Tabla 3. Políticas de energías renovables en América Latina.¹

		Argentina	Belice	Bolivia	Brasil	Chile	Colombia	Costa Rica	Ecuador	El Salvador	Guatemala	Guyana	Honduras	México	Nicaragua	Panamá	Paraguay	Perú	Surinam	Uruguay	Venezuela	
Política nacional	Objetivo de energías renovables																					
	Estrategia/ley de energías renovables																					
	Ley/programa de energía solar																					
Incentivos fiscales	Exención de IVA																					
	Exención del impuesto de la renta																					
	Beneficios fiscales importación/exportación																					
	Exención racional de impuestos locales																					
	Impuesto sobre el carbono																					
	Depreciación acelerada																					
	Otros beneficios fiscales																					

- Activo
- Expirado, sustituido o inactivo

Parte del desarrollo de energía solar en la región se viene presentando en el sector comercial y de servicios (ej. grandes superficies, almacenes de retail, hoteles, centros de distribución, hospitales, aeropuertos, etc.), instalaciones que cuentan con tarifas eléctricas más altas que el sector industrial tienen altos consumos en horas del día acordes con la radiación solar y cuentan con grandes áreas disponibles para la instalación de un generador fotovoltaico

¹ *Energías Renovables en América Latina 2015. Sumario de Políticas. IRENA (2015).*



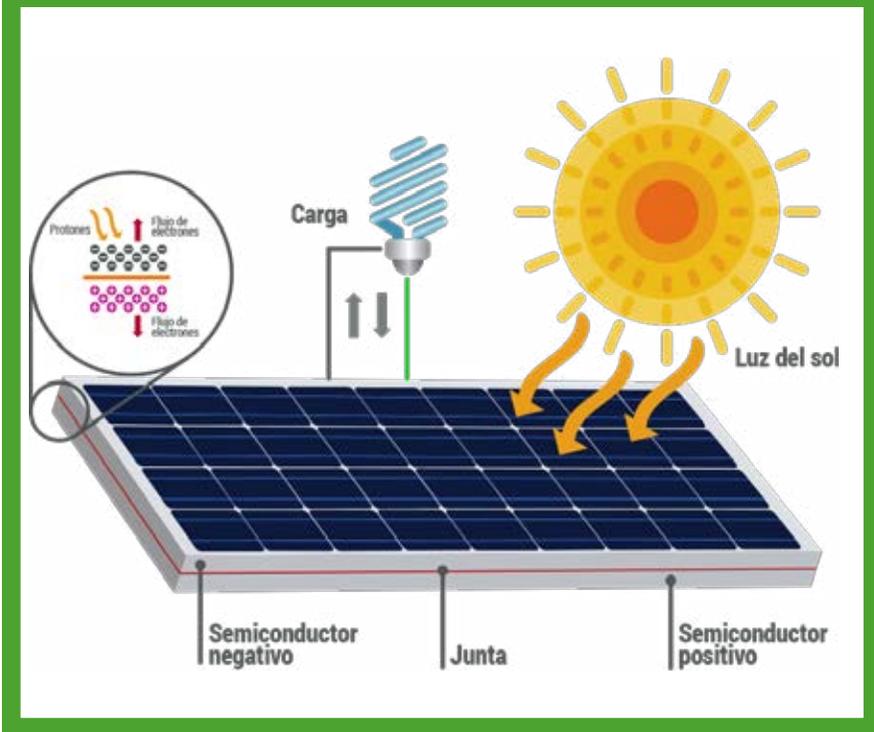
4. Descripción de la tecnología

4.1. Módulos fotovoltaicos existentes.

La energía solar fotovoltaica consiste en la transformación directa de la radiación solar en energía eléctrica. Se basa en el aprovechamiento a partir de las propiedades de los materiales semiconductores mediante las células fotovoltaicas.

Las células fotovoltaicas, también llamadas celdas o fotoceldas, transforman la energía lumínica (fotones) en energía eléctrica (flujo de electrones libres) mediante el efecto fotoeléctrico. El silicio es actualmente el material más comúnmente usado para la fabricación de células fotovoltaicas. Este material se obtiene por reducción del silicio, compuesto más abundante en la corteza de la Tierra, en particular el cuarzo de alta pureza. En la figura 1 se presentan los elementos de un panel solar fotovoltaicos y su principio de funcionamiento.

Figura 1. Esquema de funcionamiento de un panel solar fotovoltaico.²



¹Fuente: <http://www.powerstein.com.mx/como-funciona/comp-funciona-urbano-dia/>

Existen diferentes tipos de módulos fotovoltaicos, pero aún siguen siendo de mayor uso y aplicabilidad los siguientes dos tipos:

- > **Módulos con células de silicio monocristalino:** están formados por un único cristal de silicio. Su eficiencia eléctrica en pruebas de laboratorio es aproximadamente del 24% y en los módulos comerciales del 16%.
- > **Módulos con células de silicio policristalino:** están formados por un conjunto de cristales de silicio, los cuales se originan enfriando artificialmente una célula monocristalina para fragmentarla formando los cristales individuales. Su eficiencia en pruebas de laboratorio es aproximadamente del 19,8% y en los módulos comerciales del 14%.

- > **Módulos de lámina delgada:** estos módulos son más finos y versátiles que permiten incluso en algún caso su adaptación a superficies irregulares, mediante el empleo del silicio con otra estructura o de otros materiales semiconductores. Su eficiencia nominal es del 13% y su eficiencia comercial es del 8 %, su gran ventaja es su bajo precio.

La energía solar fotovoltaica cuenta con una gran variedad de aplicaciones, desde la industria aeroespacial hasta su uso en calculadoras y juguetes, pero su mayor aplicación y desarrollo consiste en la producción de energía a gran escala para la venta de energía a la red eléctrica o a pequeña escala para consumo en viviendas. Dentro de esta última aplicación se diferencian dos tipos de instalaciones fotovoltaicas: instalaciones aisladas de red que operan con baterías e instalaciones conectadas a red.

4.2. Instalación solar fotovoltaica aislada de red.

Estas instalaciones son usadas especialmente en lugares en los que no se cuenta con acceso a la red eléctrica y resulta más económico instalar un sistema fotovoltaico que tender una línea entre la red y el punto de consumo. La electricidad generada se destina a autoconsumo.

Las principales aplicaciones de los sistemas aislados son: electrificación de viviendas y edificios, principalmente para iluminación y electrodomésticos de baja potencia; igualmente se emplea para soluciones de alumbrado público, aplicaciones agropecuarias y ganaderas, bombeo y tratamiento de agua, antenas de telefonía aisladas de la red, señalización y comunicaciones.

Una instalación fotovoltaica para este tipo de aplicaciones cuenta normalmente con los siguientes equipos básicos:

- **Generador fotovoltaico:** conformado por el grupo de módulos conectados entre sí, los módulos se pueden conectar en “paralelo” o “serie-paralelo” para alcanzar el voltaje nominal de trabajo de la instalación (12, 24 o 48 voltios en corriente continua).

El dimensionamiento del generador y la configuración dependen del perfil de consumos y la demanda energética total a cubrir.

- **Estructuras:** es un elemento necesario para colocar los módulos con la inclinación y orientación adecuadas para conseguir el mejor rendimiento posible en la instalación solar.
- **Acumuladores (baterías):** este elemento es el encargado de almacenar la energía eléctrica producida por el generador fotovoltaico, y poder suministrarla cuando sea requerida, en los días nublados, en las noches o en momentos en que la demanda de potencia sea superior a la producción del campo fotovoltaico. Los acumuladores empleados normalmente en instalaciones fotovoltaicas son los de tipo estacionario y dependiendo de las características del electrolito pueden ser de tipo ácida (de plomo ácido, Pb-Sb, Pb-Cd) o alcalina (níquel-cadmio).
- **Regulador de carga:** es el dispositivo encargado de proteger los acumuladores de las sobrecargas que puede ocasionar el generador fotovoltaico al igual que de las descargas excesivas. También ofrece infor-

mación complementaria que ayuda al monitoreo y seguimiento de la instalación.

- **Inversor:** este dispositivo tiene la función de convertir la corriente continua (CC) en corriente alterna (CA). La potencia en CA del inversor o grupo de inversores depende de la potencia de las cargas conectadas al sistema eléctrico que se desea energizar con el sistema fotovoltaico. En las instalaciones en donde se tengan cargas de equipos tales como motores y bombas eléctricas, se debe considerar el pico de consumo generado por estos equipos durante su arranque. En los costos de inversión de un proyecto de energía solar fotovoltaica se debe tomar en cuenta que aunque la vida útil del proyecto es por lo general de 25 años, los inversores tienen una vida útil un poco mayor a 10 años teniendo que ser reemplazados durante el proyecto.

En la figura 2 se presenta un esquema de una instalación solar fotovoltaica aislada de la red.



³Fuente: <http://energiatecsolar.com.br>

4.3. Instalación solar fotovoltaica de conexión a red.

En este tipo de instalación, la energía eléctrica generada por el sistema fotovoltaico se inyecta parcial o totalmente a la red eléctrica como si fuera una central de producción de energía eléctrica. Estas instalaciones tienen la particularidad de trabajar en intercambio con la red eléctrica local. En la práctica, durante las horas de luz solar el usuario consume de forma instantánea la energía solar producida por la instalación fotovoltaica, mientras que cuando no haya radiación solar o ésta no es suficiente, o en caso de que el usuario requiera más energía eléctrica de la que el sistema solar está en condición de suministrar, será la red eléctrica la que garantizará el abastecimiento de la energía eléctrica necesaria.

Por otro lado, si ocurre que la instalación solar produce más energía que la requerida por el usuario, esa energía solar no utilizada puede ser cedida a la red siempre y cuando la regulación de la región o país lo permita, en este caso se habla de transferencia de "excedentes" a la red eléctrica local.

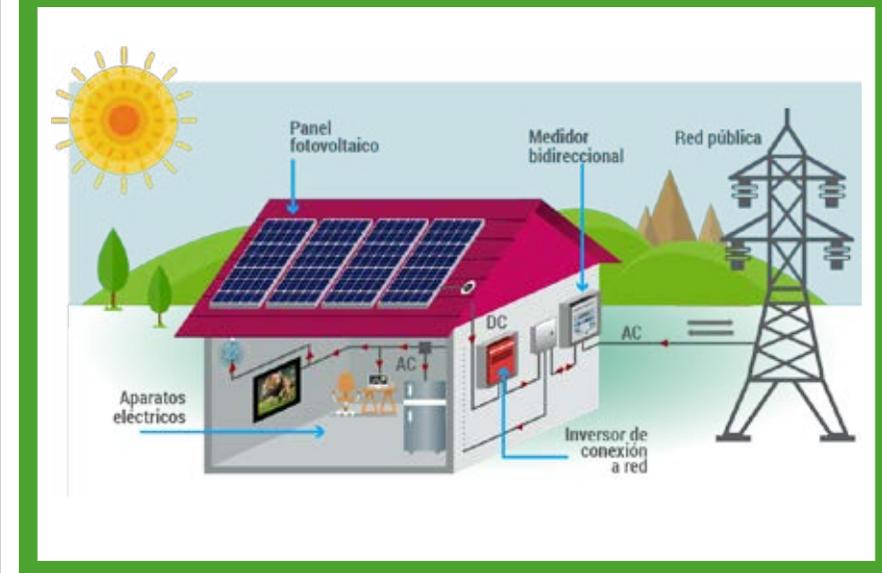
Una instalación fotovoltaica para este tipo de aplicaciones cuenta normalmente con los mismos elementos de una instalación solar fotovoltaica aislada de la red, excepto que no cuentan con sistemas de almacenamiento con baterías y tienen los siguientes elementos adicionales:

- > **Contador bidireccional de energía:** este equipo permite contabilizar la energía generada por la instalación solar fotovoltaica y la energía consumida desde la red, realiza lectura neta del consumo de energía.
- > **Punto de conexión:** punto en donde se conecta la instalación fotovoltaica con la red de distribución eléctrica si la instalación fotovoltaica genera excedentes y éstos pueden ser inyectados a la red nacional, la ubicación y características del punto de conexión son competencia directa de la compañía eléctrica que determina las condiciones técnicas que se deben cumplir.

Tanto las instalaciones solares fotovoltaicas conectadas a red como las aisladas, cuentan con otra serie de elementos como lo son las protecciones eléctricas tanto en la parte de corriente continua y corriente alterna, la red de puesta a tierra, sistema de monitoreo y seguimiento de la generación y rendimiento de la instalación.

En la figura 3 se presenta un esquema de una instalación solar fotovoltaica conectada a la red.

Figura 3. Esquema de una instalación solar fotovoltaica conectada a la red.⁴



⁴Fuente: <http://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica-e-seus-componentes>



5. Descripción del proyecto

Un proyecto de energía solar fotovoltaica en los sectores de servicios, especialmente en hoteles, hospitales y grandes superficies, consiste en desplazar parte del consumo de energía tomada de la red eléctrica por la energía generada a través de un sistema fotovoltaico reduciendo la energía facturada por la compañía eléctrica; normalmente la potencia fotovoltaica se fija en función del área disponible y que no supere la curva de demanda horaria diurna, para evitar excedentes de energía fotovoltaica. Para los casos en los que se generen excedentes de energía, y si la regulación del país lo permite, se inyectarían a la red para su comercialización y/o descontarlos de la facturación eléctrica bajo el modelo de la medición neta.

En caso de zonas no interconectadas o edificaciones que autogeneren a través de grupos electrógenos, (p. ej. hoteles ubicados en islas o zonas alejadas), se implementan instalaciones solares fotovoltaicas que se integran a los generadores convencionales basados en combustibles fósiles y así sustituir parte de la generación por energía fotovoltaica, esta solución se denomina sistema híbrido. Para dar viabilidad económica a este tipo de pro-

yectos normalmente no se consideran sistemas de acumulación, por lo que se pretende desplazar la generación con combustibles en horas del día.

Para instalaciones nuevas en las que se desee implementar un proyecto de energía solar fotovoltaica, se toma en cuenta que se dejaría de consumir de una fuente de energía eléctrica convencional. Por ende, los ahorros se miden con respecto a una situación hipotética de consumo eléctrico del 100% de una fuente de energía convencional.

En sistemas de alumbrado público se viene extendiendo el uso de iluminación del tipo LED autónomo, en donde la energía consumida por la luminaria es suministrada por un pequeño módulo fotovoltaico y almacenada en una batería diseñada normalmente con una autonomía de dos días, para tener respaldo en días nublados. Este sistema es necesario para cada luminaria (o poste). Este tipo de alumbrado público debe ser energéticamente eficiente para optimizar el uso de energía acumulada, por lo que deben contar con sensores de presencia y fotoceldas para su encendido y apagado automático.



5.1. Línea base energética del proyecto.

La línea base energética se determina con el consumo promedio anual de la edificación (hotel, hospital, grandes superficies), este consumo se obtiene a través de la facturación mensual suministrada por la compañía eléctrica o por el registro de generación de los grupos electrógenos para el caso de energía autogenerada.

Para una aplicación de alumbrado público convencional nuevo o en operación, la línea base del proyecto se puede determinar usando la siguiente fórmula:

$$\text{Consumo } \left(\frac{\text{kWh}}{\text{año}} \right) = (\text{Potencia lámpara (kW)} * \text{Régimen de operación } \left(\frac{\text{hora}}{\text{día}} \right) * 365 \left(\frac{\text{día}}{\text{año}} \right) * \text{total de lámparas (unidad)})$$

5.2. Potencial de ahorro energético y reducción de emisiones

El potencial de ahorro de energía y de reducción de emisiones de un proyecto de energía solar fotovoltaica corresponde a la energía desplazada por el sistema solar del consumo de energía actual (línea base).

Para la evaluación energética, económica y ambiental de un proyecto de energía solar fotovoltaica se requiere como mínimo la siguiente información que se resume en la tabla 4.

Tabla 4. Información mínima requerida para evaluar un proyecto de energía solar fotovoltaica.

Parámetro	Unidad	Fuente/Formula	Valor	Parámetro	Unidad	Fuente/Formula	Valor
A. Área disponible.	m ² .	Medición realizada en campo o medida aproximada a través de foto satelital.		I. Performance ratio típico de la instalación (Rendimiento de la instalación después de descontar las pérdidas típicas del sistema fotovoltaico).	%	Experiencia – Aplicar el valor indicado únicamente para la evaluación de factibilidad del proyecto. En el diseño de detalle el performance ratio se determina con simulación del sistema fotovoltaico en software especializado.	75%
B. Factor de corrección de área disponible (Espacios mínimos requeridos entre módulos, tejas traslucidas, pasarelas de mantenimiento, etc).	Adimensional.	Criterio de diseño – Aplicar el valor indicado únicamente para la evaluación de factibilidad del proyecto. En el diseño de detalle se determina el área disponible realizando la distribución del generador fotovoltaico sobre planos arquitectónicos.	1,5	J. Generación fotovoltaica.	kWh/año	$G*H*365*I$	
C. Área disponible corregida para generador fotovoltaico.	m ² .	A/B		K. Consumo energético actual.	kWh/año	Línea base energética.	
D. Potencia nominal módulo fotovoltaico.	W	Ficha técnica módulo fotovoltaico.		L. Porcentaje de energía eléctrica desplazada sobre el consumo total actual.	%	$(J/K)*100$	
E. Área módulo fotovoltaico.	m ² /módulo	Ficha técnica módulo fotovoltaico.		M. Precio de la energía actual (o valor de autogeneración actual si es el caso).	USD/kWh	Datos de operación de la instalación.	
F. Número de módulos fotovoltaicos.	Unidad	C/E		N. Ahorro económico.	USD/año	$J*M$	
G. Potencia pico generador fotovoltaico.	kWp	$(F*D)/1.000$		O. Inversión.	USD	Dato de inversión.	
H. Irradiación solar en sitio.	kWh/m ² /día	Base de datos climatológicos.		P. Periodo de retorno de inversión	Años	O/N	
				Q. Factor de emisión.	Kg CO ₂ /kWh	Dato Agencia Internacional de Energía o red nacional de energía.	
				R. Reducción de emisiones anuales.	Kg CO ₂ /año	$J*Q$	

Para un proyecto de renovación de alumbrado público con energía solar, se requiere estimar la línea base del sistema actual de acuerdo a la fórmula del punto 5.1, dicho consumo multiplicado por el precio de la energía actual corresponde al ahorro económico del proyecto. Con el ahorro se remite a la tabla 4, fila "O", para finalizar la evaluación del proyecto.

La reducción de emisiones se calcula teniendo en cuenta al factor de emisión de la energía eléctrica o del combustible empleado actualmente en caso de que sea electricidad autogenerada.

Los factores de emisión se pueden obtener de la base de datos de Agencia Internacional de Energía (<http://www.iea.org/statistics/topics/co2emissions/>). Si se usa energía eléctrica autogenerada o cogenerada, el factor de emisión deberá calcularse para el caso específico.



6. Requerimiento de inversión

De acuerdo a los precios recientes del mercado, una inversión de un sistema solar fotovoltaico de más de 100 kWp conectado a la red, tiene un costo específico aproximado de 1,5 USD/Wp instalado, discriminado como se explica en la tabla 5.

Tabla 5. Discriminación índice de inversión.

Sistema de instalación solar	Indicador por potencia pico (USD/Wp)	Porcentaje (%)
Módulos FV Mono – Policristalino.	0,69	46%
Inversores solares y controlador de planta fotovoltaica.	0,27	18%
Cableado de potencia y control (canaletas y tuberías), comunicaciones para señal de monitoreo remoto.	0,12	8%
Tablero de protección DC y tablero totalizador AC con sus respectivas protecciones y Módulo de medida tipo bidireccional.	0,015	1%
Estructuras metálicas.	0,21	14%
Diseño, instalación, supervisión y puesta en marcha.	0,195	13%
TOTAL	1,5	100%

Para sistemas de menos de 100 Wp se tiene un costo específico aproximado de 1,9 USD/Wp. En soluciones de alumbrado público con energía solar fotovoltaica el costo específico varía en un rango entre 1.000 y 3.000 USD/luminaria solar, dependiendo de la potencia, la iluminancia y aplicación de la luminaria.

⁴Fuente: Elaboración propia a partir de los precios promedio del mercado.



7. Análisis de riesgos técnicos, ambientales y sociales

En la siguiente matriz se resumen los potenciales riesgos ambientales y sociales de un proyecto de energía solar fotovoltaica.

Tabla 6. Matriz de riesgos técnicos, ambientales y financieros.

	Riesgo	Tipo	Estrategia de mitigación
	Eficiencia del sistema.	Técnico	Realizar un diseño adecuado teniendo en cuenta las mediciones de campo y usando algún software especializado para el cálculo de la instalación.
	Calidad de los equipos de la instalación.	Técnico	Usar solamente equipos que cuenten con certificaciones internacionales o nacionales si son aplicables.
	Rentabilidad de la instalación.	Financiero/Técnico	Establecer los costos de inversión de acuerdo con los precios del mercado, tomar en cuenta las inversiones adicionales por el recambio de componentes del sistema solar fotovoltaico durante la vida útil del proyecto e incluir en el análisis los posibles incentivos fiscales y tributarios que se otorgan a este tipo de proyectos.
	Disposición final de residuos.	Ambiental	Todos los residuos que se generen en la instalación del sistema solar fotovoltaico y desmantelamiento de equipos actuales (aplica para alumbrado público) se deben entregar a una compañía acreditada que certifique su disposición final adecuada de acuerdo a los lineamientos de la normativa aplicable.

Este tipo de proyectos no presenta riesgos sociales.



8. Criterios de elegibilidad

Los criterios fundamentales para la elegibilidad de un proyecto de energía solar fotovoltaica son:

- Un sistema solar fotovoltaico conectado a la red eléctrica normalmente puede producir entre el 10 y el 40 % del las necesidades de energía de la instalación donde se desarrolle. Por tanto, un criterio de elegibilidad es que se sustituya el consumo de energía de la red mínimo un 10%.
- Teniendo en cuenta que un sistema solar FV sustituye un porcentaje del consumo de energía eléctrica de una fuente que emite GEI, la reducción de emisiones que puede generar el proyecto es proporcional al porcentaje de energía eléctrica que se deja de consumir de la fuente actual o hipotética (en caso de ser un proyecto nuevo). Por esto, para que un proyecto solar fotovoltaico sea elegible, debe reducir al menos un 10% las emisiones de GEI.
- Los planes de financiamiento para proyectos de inversión en sistemas solares fotovoltaicos deben tener en cuenta que el periodo de retorno simple de estos proyectos está entre 10 y 12 años, dependiendo de los costos de inversión, de los precios de la energía eléctrica y de los incentivos tributarios que se otorguen en el país donde se hace el proyecto. De acuerdo con esto, un criterio de elegibilidad es que el periodo de retorno simple de la inversión sea inferior a 12 años.

Tomar en cuenta que para que un proyecto de energía solar fotovoltaica sea elegible, debe cumplir simultáneamente los 3 criterios anteriores.



9. Monitoreo, reporte y verificación del proyecto

El monitoreo y verificación de un proyecto de energía solar fotovoltaica puede hacerse de manera continua instalando un medidor de energía antes del punto de conexión a la red. Este monitoreo se puede hacer de manera remota y en línea, y reporta además de la generación eléctrica, valores de radiación, otros indicadores y alarmas que permiten gestionar y evaluar el rendimiento de la instalación solar fotovoltaica. La energía generada por el sistema fotovoltaico corresponde a la energía desplazada de la red o del sistema de autogeneración actual (si aplica), y que se traduce en los ahorros generados del proyecto.

Los indicadores que se pueden utilizar para el reporte se presentan en la tabla 6.

Tabla 6. Indicadores de monitoreo del proyecto solar fotovoltaico.

Indicador	Unidad	Valor Exante	Valor Expost
Generación de energía fotovoltaica.	kWh/año	No aplica	
Consumo de energía de red o de la autogeneración actual (si aplica).	kWh/año		
Reducción de consumo de energía de la red.	kWh/año	No aplica	
Reducción de emisiones de GEI.	Ton CO ₂ /año		

Sí el sistema solar fotovoltaico está desplazando energía de una autogeneración con combustibles, se pueden usar indicadores de consumo no en términos energéticos (p. ej. kWh/año) sino en términos de volumen o masa (p. ej. galones/año, m³/año, etc.).

El valor de la reducción de emisiones se calcula teniendo en cuenta el origen de la energía eléctrica que se consume en la actualidad, para sistemas conectados a la red se usa el factor de emisión del país respectivo, para el caso de autogeneración convencional con combustibles, se debe usar el factor de emisión de acuerdo a la tecnología de generación que se utilice.

10. Caso de estudio

Una tienda por departamentos cuenta con un área disponible (apta) para instalar los dispositivos de 2.625 m², cuenta con un consumo eléctrico promedio de 170.880 kWh/mes y una tarifa actual de 0,15 USD/kWh. Considerando el crecimiento en los precios de energía se plantea instalar un sistema solar fotovoltaico conectado a la red interna de la tienda, con el objeto de desplazar consumo de energía comprada de la red y además reducir el impacto ambiental debido a las emisiones evitadas.

La tabla 7 resume los datos para la evaluación del proyecto, el costo de la energía y el factor de emisión del país, para este caso se toma el factor de emisión de Colombia.

Tabla 7. Información obtenida para el caso de estudio.

Parámetro	Unidad	Fórmula	Valor	Parámetro	Unidad	Fórmula	Valor
A. Área disponible.	m ²		2.625	J. Inversión en el motor de alta eficiencia.	USD	Dato de inversión	20,000
B. Factor de corrección área disponible (Espacios mínimos requeridos entre módulos, tejas traslucidas, pasarelas de mantenimiento etc.).	Adimensional.		1,5	J. Generación fotovoltaica	kWh/año	G*H*365*I	317.208
C. Área disponible corregida para generador fotovoltaico.	m ²	A/B.	1.750	K. Consumo energético actual.	kWh/año		2.050.560
D. Potencia nominal módulo fotovoltaico.	W	Ficha técnica módulo fotovoltaico.	250	L. Porcentaje de energía eléctrica desplazada sobre el consumo total actual.	%	(J/K)*100	15,47
E. Área módulo fotovoltaico.	m ² /módulo	Ficha técnica Módulo Fotovoltaico.	1,7	M. Precio de la energía actual (o valor de autogeneración actual si es el caso).	USD/kWh		0,15
F. Número de módulos fotovoltaicos.	Unidad.	C/E	1.030	N. Ahorro económico.	USD/año	J*M	47.581
G. Potencia pico generador fotovoltaico.	kWp	(F*D)/1.000.	257,5	O. Inversión	USD	Dato de inversión	515.000
H. Irradiación solar en el sitio del proyecto.	kWh/m ² /día	Base de datos climatológica.	4,5	P. Periodo de retorno de inversión.	Años	O/N	10,8
I. Performance ratio típico de la instalación (Rendimiento de la instalación después de descontar las pérdidas típicas del sistema fotovoltaico).	%		75	Q. Factor de emisión.	Kg CO ₂ /kWh		0,37
				R. Reducción de emisiones anuales.	Kg CO ₂ /año	J*Q	117.367

Para este proyecto se puede observar que se alcanzan ahorros anuales de 47.581 USD/año por la instalación del sistema solar fotovoltaico, el retorno simple de la inversión es de 10,8 años, qué para una vida útil de la instalación de 25 años hace el proyecto viable desde el punto de vista financiero. Se obtiene además una reducción de emisiones anuales de 117 ton CO₂, lo que representa un valor agregado bajo el punto de vista de viabilidad ambiental del proyecto.

Beneficios del proyecto y elegibilidad para ser financiado por líneas verdes.

El proyecto genera ingresos de

2,3 USD

por cada dólar invertido en un periodo de 25 años de vida útil que tiene la instalación solar.

Ahorro de consumo de energía del

15,47%.

Reducción de emisiones del

15,47%

con respecto a las emisiones por consumir energía eléctrica de la red.

Tiempo de retorno inferior a

12 años.



11. Referencias

- > Código Técnico de la Edificación. BOE 28 de marzo de 2006. Ministerio de Fomento España.
- > Manual de Eficiencia Energética. Gas Natural Fenosa.
- > Energías Renovables en América Latina 2015. Sumario de Políticas. IRENA. 2015.
- > Estadísticas de Capacidad Renovable 2016. IRENA. 2016.
- > Energía Solar Fotovoltaica. ICAEN. Mayo 2011.
- > <http://www.iea.org/statistics/topics/co2emissions/>
- > https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_solar_fotovoltaica
- > <http://solar-energia.net/>
- > <http://www.sitiosolar.com/los-paneles-solares-fotovoltaicos/>
- > <http://www.damiasolar.com/>

Guía para la Evaluación de Elegibilidad de Financiación de Proyectos de Eficiencia Energética

Editor: CAF

Dirección Corporativa de Ambiente y Cambio Climático (DACC)

Ligia Castro de Doens, directora corporativa

Dirección Sectores Productivo y Financiero Región Norte (VSPF)

Mauricio Salazar, director

Autor:

MGM International

Coordinación y edición general

Camilo Rojas (DACC)

Jaily Gómez (VSPF)

René Gómez García (DACC)

Diseño Gráfico y Diagramación:

Tundra Taller Creativo | tundra.pe

Fotos:

Pixabay.com

Shutterstock
