

# Caracterización de proyectos de generación de energía eléctrica domiciliarios aislados de la red a partir de energía solar fotovoltaica y cuantificación de las principales variables en Argentina

Cibeira Natalia\*, Pendón Manuela, Williams Eduardo, Granada Maite, Couselo Romina

*UIDET Formulación y Evaluación de Proyectos. Facultad de Ingeniería.  
Universidad Nacional de La Plata. 1 y 47, La Plata, Buenos Aires.  
[natalia.cibeira@ing.unlp.edu.ar](mailto:natalia.cibeira@ing.unlp.edu.ar)  
[natalia.cibeira@gmail.com](mailto:natalia.cibeira@gmail.com)*

## RESUMEN

En la actualidad la forma en que se produce y consume energía no es sustentable. Las principales fuentes de generación son los combustibles fósiles, recursos escasos y principales causantes del cambio climático. En Argentina, la matriz energética es altamente dependiente de estos combustibles, fundamentalmente petróleo y gas. Frente a este contexto, las energías renovables, y en particular la energía solar fotovoltaica, tienen por delante un rol protagónico en el futuro energético argentino. Para aprovechar el potencial de energía solar existente en el país, además del desarrollo a gran escala de proyectos conectados a la red, es necesario potenciar la generación domiciliar aislada. Tradicionalmente estas instalaciones han sido utilizadas en zonas rurales sin acceso a la red de distribución. No obstante, el costo decreciente de los paneles, baterías e inversores junto al aumento del rendimiento de los inversores y el aumento de las tarifas de energía, parecieran hacer de este tipo de instalaciones una opción viable a profundizar en las ciudades del país.

El objetivo del presente trabajo es caracterizar, a través de la identificación, análisis y cuantificación de sus variables clave, los proyectos de generación domiciliarios de energía eléctrica a partir de energía solar fotovoltaica, con el fin de poder obtener mediante la elaboración de flujos de fondos, indicadores de rentabilidad y conclusiones sobre la conveniencia de estos sistemas.

**Palabras Claves:** Energías renovables, solar fotovoltaica, generación aislada.

## ABSTRACT

Currently the way that energy is produced and consumed is unsustainable. The main sources of generation are fossil fuels, which are scarce and a major cause of climate change. In Argentina, the energy matrix is highly dependent on these fuels, mainly oil and gas. Against this background, renewable energy, particularly solar photovoltaics, has a leading role in the Argentine energy future. To exploit the potential of existing solar energy in the country, besides the large-scale development projects connected to the grid, it is necessary to boost the domiciliary generation off-grid. Traditionally, these facilities have been used in rural areas without access to the distribution grid. However, the decreasing cost of the panels, batteries and inverters together with the increased efficiency of inverters and the increased energy tariffs, seem to make this type of facility a viable option to deepen into the country's cities.

The purpose of this study is to characterize through the identification, analysis and quantification of its key variables, residential projects of electricity generation from photovoltaic solar energy in order to obtain profitability indicators and conclusions about the appropriateness of these systems by the cash flow analysis.

**Keywords:** Renewable energy, solar photovoltaic, isolated generation.

## **1. INTRODUCCIÓN**

Para aprovechar el potencial de energía solar existente en el país, además del desarrollo a gran escala de proyectos conectados a la red, es necesario potenciar la generación aislada.

Como antecedentes en Argentina se puede citar el PERMER (Proyecto de Energías Renovables en Mercados Rurales) el cual se constituyó en el año 2000 con el objetivo de facilitar el acceso a la energía en poblaciones rurales dispersas, alejadas de las redes de distribución. El desarrollo de este proyecto, finalizado en el año 2012 permitió la electrificación de una gran proporción de la población rural dispersa beneficiando a aproximadamente 1.800 escuelas, 350 servicios públicos y 27.000 viviendas. [1]

En la actualidad se está desarrollando el PERMER II, cuyo principal objetivo es ampliar el acceso a la energía en las poblaciones rurales aisladas y en el cual la Nación invertirá más de 240 millones de dólares.

Por las características del país aún quedan grandes extensiones sin redes de energía eléctrica, sobre todo en las áreas rurales, donde los habitantes no cuentan con este servicio básico en sus viviendas.

En el presente trabajo se realiza una investigación a partir de información secundaria con el objetivo de identificar las variables más relevantes en proyectos de autoabastecimiento mediante energía solar fotovoltaica y sus factores determinantes.

A partir de su identificación y estudio se analizan las viabilidades técnica, económica y financiera y se estiman valores actuales de variables e indicadores de conveniencia, para finalmente poder determinar la factibilidad de su utilización como alternativa de autoabastecimiento en el país.

## **2. LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN ARGENTINA**

Un sistema fotovoltaico se puede definir como un conjunto de equipos eléctricos y electrónicos que producen energía eléctrica a partir de la radiación solar. [2]

A grandes rasgos los sistemas fotovoltaicos pueden clasificarse en dos grandes grupos: conectados a red (grid connected) y autónomos o aislados de la red (off-grid).

Los componentes del sistema fotovoltaico dependen del tipo de aplicación que se considera (conectada o no a la red). Una instalación fotovoltaica aislada está formada por los equipos destinados a producir, regular, acumular y transformar la energía eléctrica.

La Argentina, posee un gran potencial para la generación de energía eléctrica a partir de la energía solar fotovoltaica. La radiación solar, promedio al norte del río Colorado (2 millones de km<sup>2</sup>), es de 4,58 kWh/m<sup>2</sup> día, promedio anual. [3]

## **3. GENERACIÓN DOMICILIARIA AISLADA CON ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA**

### **3.1. Viabilidad Técnica**

Para poder determinar la viabilidad técnica de proyectos de autoabastecimiento de energía a través de la tecnología solar fotovoltaica se podrían considerar y analizar los siguientes factores clave: lugar de emplazamiento, consumo a abastecer, tecnología a utilizar, dimensionamiento del sistema, energía producida, operación y mantenimiento y confort del usuario.

#### **3.1.1 Lugar de emplazamiento**

Lo primero que se debe analizar son las características del lugar donde se desea emplazar el sistema fotovoltaico. Dos factores importantes a tener en cuenta son la energía solar disponible y su variación anual y la inclinación óptima de los paneles fotovoltaicos para captar la máxima energía solar posible.

En cuanto a la energía solar disponible, los datos de radiación se obtienen de bases de datos que proceden de medidas realizadas por estaciones terrestres o estimadas a partir de imágenes de satélite.

Para la elección de la base de datos debe resolverse el compromiso entre cercanía de la medida al lugar de la instalación y larga duración de la base temporal. Debe tenerse en cuenta que las discrepancias entre bases de datos pueden llegar a ser de hasta el 30%, y por tanto, todos los resultados posteriores deben manejarse sin perder la perspectiva de esta incertidumbre. Por tanto, es sumamente importante referenciar cualquier estimación de energía a la base de datos empleada para el cálculo.

De las bases de datos, se obtiene la radiación solar diaria en el plano horizontal [kWh/m<sup>2</sup>/día] y a partir de esta información se deben realizar los cálculos para estimar el valor de la radiación en un plano inclinado.

Existe un mapa de "Atlas de Energía Solar de la República Argentina", elaborado por Hugo Grossi Gallegos y Raúl Righini, Universidad Nacional de Luján, el cual muestra la distribución del promedio de la Radiación Global Diaria [kWh/m<sup>2</sup>].

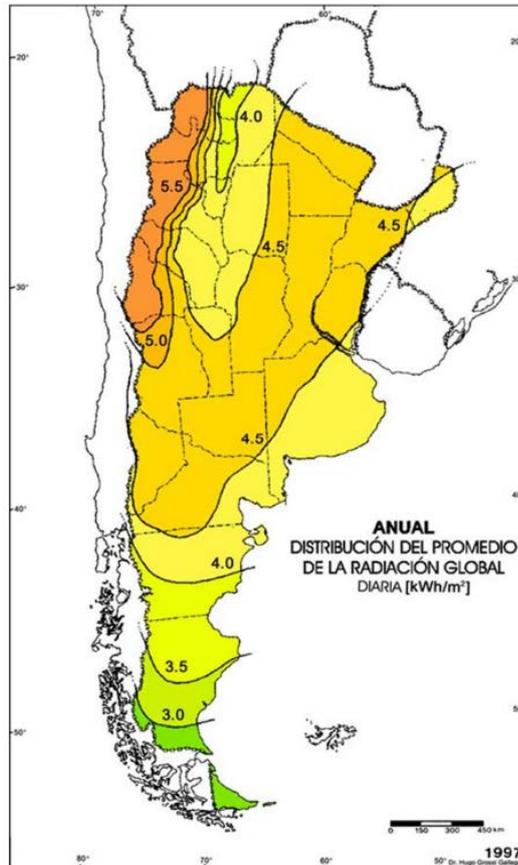


Figura 1. Distribución del promedio de la Radiación Global Diaria [kWh/m<sup>2</sup>] en la República Argentina. Fuente: "Atlas de Energía Solar de la República Argentina", elaborado por Hugo Grossi Gallegos y Raúl Righini, Universidad Nacional de Luján

Cabe destacar que además de la radiación solar diaria es necesario conocer la variación de la misma a lo largo del año, ya que esta es muy distinta en invierno y en verano. Otro factor importante a analizar en el lugar de emplazamiento es la inclinación de los paneles, ya que la energía captada por los mismos dependerá de su orientación respecto del sol. En general los paneles tienen que estar orientados al ecuador. En hemisferio sur, significa que deben estar orientados hacia el norte.

### 3.1.2. Consumo a abastecer

Una vez definido el lugar de emplazamiento, se debe determinar el consumo que se debe abastecer. Para esto se deben conocer todos los electrodomésticos que se utilizan en el hogar, el consumo de los mismos y la cantidad de horas diarias que se utilizan en las distintas estaciones del año. Como puede observarse esto depende de cada vivienda en particular, pero para el análisis se estima un consumo de 1360 W promedio anual, que incluye luminarias led, heladera con freezer, notebook, tv led y cualquier electrodoméstico cuyo consumo no supere los 1000 W. Además hay que considerar el autoconsumo del inversor, que suele ser de 50 W.

### 3.1.3. Tecnología a utilizar

Los componentes del sistema fotovoltaico pueden ser agrupados en tres subsistemas:

- Subsistema de Generación, responsable de transformar la energía solar en electricidad. Conformado por los paneles solares.
- Subsistema de almacenamiento, encargado de almacenar la energía eléctrica producida por el panel solar durante el día. Corresponde a la batería.
- Subsistema de control, permite tener el control de todo el sistema fotovoltaico y monitorear su buen funcionamiento. Normalmente está compuesto por el regulador de carga, el interruptor termomagnético, y la fusilera de protección para consumo.[4]

A su vez, si los consumos son de corriente alterna, es necesario incorporar un inversor al sistema, capaz de transformar la energía de corriente continua generada en corriente alterna.

Los componentes de los sistemas fotovoltaicos han ido evolucionando a lo largo de las últimas décadas.

En la actualidad, los paneles solares más utilizados son los monocristalinos y los policristalinos.

En cuanto a las baterías, las más utilizadas son las de plomo de ciclo profundo. Existen otros desarrollos recientes, como las de litio, pero aún no se comercializan de forma masiva en el mundo. Los inversores, reguladores de carga y demás conexiones eléctricas se encuentran de variadas marcas y calidades en el mercado.

### **3.1.4. Dimensionamiento del sistema**

Dimensionar un sistema fotovoltaico significa calcular el número de sus componentes y su interconexión, para cumplir unos objetivos determinados que dependen de la aplicación concreta.

Si se trata de un sistema fotovoltaico autónomo su objetivo será asegurar la disponibilidad de electricidad durante el máximo tiempo posible.

En el dimensionado, como en todo problema de diseño, hay infinitas soluciones. Y siempre es una solución de compromiso entre diversos factores técnicos, económicos y sociales.

Basándose en el principio de energía generada igual a la energía consumida, los pasos para el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico aislado, son los siguientes:

- 1.- Cálculo de la energía consumida por día (según el cálculo previamente realizado)
- 2.- Selección de las horas solar pico (HPS) para la aplicación (de acuerdo a la ubicación geográfica)
- 3.- Dimensionado del generador fotovoltaico: número de paneles y su interconexión
- 4.- Dimensionado del sistema de acumulación: determinación de la cantidad de baterías
- 5.- Dimensionado regulador
- 6.- Dimensionado inversor
- 7.- Dimensionado cableado

### **3.1.5. Energía producida**

Conociendo la demanda de energía y habiendo dimensionado el sistema fotovoltaico, se calcula la energía producida.

### **3.1.6. Operación y mantenimiento**

Las instalaciones fotovoltaicas tienen una vida útil calculada entre los 20 y 30 años.

Por su propia configuración carente de partes móviles, los paneles fotovoltaicos requieren muy poco mantenimiento, al mismo tiempo el control de calidad de los fabricantes es general y rara vez presenta problemas.

Dos aspectos a tener en cuenta primordialmente son, por un lado, asegurar que ningún obstáculo haga sombra sobre los módulos, y por el otro, mantener limpia la parte expuesta a los rayos solares de los módulos fotovoltaicos.

Las pérdidas producidas por la suciedad pueden llegar a ser de un 5%, y se pueden evitar con una limpieza periódica adecuada.

Las baterías tienen una vida útil más reducida que los paneles, de 3 a 5 años. Generalmente para los sistemas domiciliarios aislados se utilizan las baterías selladas, libres de mantenimiento.

### **3.1.7. Confort del usuario**

El confort del usuario es una variable importante a analizar.

En este caso en particular, la opción que se propone mediante la utilización de energías renovables, trae añadidas algunas ventajas muy importantes a ser tenidas en cuenta, relacionadas con la comodidad del usuario:

- Los sistemas fotovoltaicos son silenciosos, ya que no poseen partes móviles, frente a los generadores de combustión que producen ruidos molestos.
- Respecto a la distancia de colocación, el hecho de almacenar energía en un sistema de baterías, permite tener acceso a la misma sin necesidad de moverse del lugar. El generador de combustión, exige un accionar de arranque, y uno de detención, teniendo que ser la persona que se encuentra en el lugar quien deba realizarlo, y si preservamos la comodidad y el confort y lo colocamos cerca de la residencia, el ruido que mencionábamos anteriormente será muy molesto, pero por el contrario si queremos alejarlo evitando este factor, incurrimos en una molestia muy grande teniendo que ir hasta el lugar de colocación, con las dificultades que esto genera.
- El arranque y apagado del motor de combustión es algo que como se mencionó antes, se suprime en los sistemas fotovoltaicos.
- Menor riesgo físico. El sistema fotovoltaico puede ser colocado sobre los tejados, evitando el contacto con las personas. Minimizaría el riesgo respecto al motor de combustión, que tiene riesgos de inflamación por el combustible utilizado, utiliza componentes mecánicos de alta velocidad de rotación, y genera altas temperaturas en sus partes expuestas.
- El sistema solar evita la necesidad de un depósito de combustible, que minimiza el riesgo físico y mejora la comodidad del usuario, teniendo un factor menos del cual preocuparse, no solo por el hecho de tener que realizar la tarea logística de reposición del combustible sino por el posible impedimento cuando las situaciones climáticas no son las mejores.[5]

En este aspecto, los sistemas fotovoltaicos generan un confort que puede ser percibido por el cliente, y que no solo debe ser considerado, sino que puede ser un factor predominante.

## **3.2. Viabilidad económica y financiera**

### **3.2.1. Inversión inicial necesaria**

La inversión inicial requerida para lograr el autoabastecimiento de energía eléctrica a partir de un sistema solar fotovoltaico aislado consta básicamente de los siguientes componentes:

- Paneles solares
- Banco de baterías
- Regulador de carga
- Inversor de corriente
- Tablero de comando y control con llaves térmicas
- Cableado
- Estructura de soporte
- Instalación y puesta en marcha del sistema.

En el país, muchas empresas brindan instalaciones llave en mano que incluyen los sistemas propiamente dichos (paneles, baterías, regulador, inversor e instalación), el traslado del personal y equipos hasta el lugar de la instalación y por último el costo del cableado de conexionado desde los paneles hasta el banco de baterías. El traslado o flete puede variar considerablemente de acuerdo al lugar de instalación, dada la gran extensión del país. El cableado de conexionado también es variable y depende del lugar de instalación tanto de los paneles como del banco de baterías.

Las empresas del mercado suelen ofrecer kits domésticos que abastecen desde 600 W promedio hasta 3000 W promedio. Si bien se pueden realizar configuraciones para cada consumo en particular, suelen ofrecerse sistemas pre-armados para los consumos mencionados.

Con los kits de más de 1300W, dependiendo de la zona, se puede abastecer computadoras, una heladera con freezer clase A, iluminación, un lavarropas y electrodomésticos en general con consumos menores a 1000 W de forma simultánea. También se puede abastecer pequeñas herramientas como soldadoras o moledoras, pero en intervalos de corta duración, debido a su gran consumo energético. En general, estos sistemas no se pueden utilizar para alimentar aire acondicionado, ventiladores y estufas eléctricas.

Los equipos suelen ser modulares, lo que cual quiere decir que si se tiene un consumo mayor se puede ampliar el sistema mediante una mayor cantidad de paneles y baterías.

De acuerdo a un relevamiento de presupuestos realizado, la inversión inicial requerida para instalar un sistema fotovoltaico aislado domiciliario es de 60.000 a 80.000 \$/kW, lo cual incluye todos los gastos necesarios para tener el sistema funcionando.

### **3.2.2. Beneficios obtenidos**

En la actualidad la mayoría los hogares aislados de las redes eléctricas, utilizan grupos electrógenos para poder abastecerse de energía. Si bien estos equipos han avanzado tecnológicamente requieren de un mantenimiento continuo y poseen un alto consumo de combustibles.

Los beneficios obtenidos por la utilización de energía solar fotovoltaica podrían considerarse como aquellos que resulten del ahorro en combustibles.

Un grupo electrógeno de pequeña potencia, entre 1,4 KW y 2 KW de energía generada, consume entre 1 a 1,5 litros de combustible por hora. A su vez poseen una autonomía que varía de acuerdo a los modelos, pero que puede alcanzar las once o doce horas.

La mayoría de los grupos electrógenos, excepto los de dos tiempos, utilizan aceite para la lubricación debiéndose cambiar periódicamente cada cierto número de horas de funcionamiento. Para contabilizar el número de horas que funciona el grupo, hay que tener (sino lo lleva el grupo de origen) un contador de horas, que se instala a partir de una derivación de la línea que va del grupo, a la caja de protecciones. Además, en los motores a nafta, hay que limitar y cambiar, si es necesario, las bujías. También hay que limpiar el filtro de aire y el del combustible, y cambiar el del aceite, si disponen del mismo.

Las familias aisladas de la red eléctrica suelen utilizar el grupo electrógeno en los horarios donde no tienen luz natural. Por este motivo se considera un tiempo de utilización del grupo electrógeno de 4 horas por día, y tomando la nafta a un valor de \$18,50, el costo diario de generación de energía es de \$74,00, siendo de \$2.220 mensuales.

A su vez, muchos hogares rurales utilizan heladeras a gas o kerosene. Una heladera a gas encendida las 24 horas consume una garrafa de 15 Kg en treinta días según datos de los fabricantes. Considerando el precio de la garrafa social a la fecha, esto tendría un costo de combustible de \$97 por mes.

Con los datos anteriores, se puede concluir que una familia posee un costo de \$2.317 mensuales a \$27.804 anuales. Éstos pueden ser considerados un ahorro en caso de instalar un sistema solar de baja potencia.

### 3.2.3. Costos de operación y mantenimiento

Considerando los planes de mantenimiento preventivo recomendados por los fabricantes e instaladores de los sistemas fotovoltaicos, se considera como costo de mantenimiento anual la visita de un técnico especializado para comprobar el correcto funcionamiento del mismo. Esta, según la consulta a expertos en la materia tiene un valor de \$3000 en promedio. Cabe destacar que este costo depende fundamentalmente de la distancia entre el servicio técnico y el cliente particular.

No se consideran en el análisis los costos por reposición de los paneles y otros elementos del sistema, ya que los mismos tienen una larga vida útil. Según especialistas la vida útil de los paneles puede establecerse en 25 años.

Las baterías de ciclo profundo utilizadas en estos sistemas tienen una vida útil aproximada de 4 años a 35° según los fabricantes. Por lo que se considera un recambio de baterías cada cuatro años. Para un banco de 4 baterías de 115 A, 12V se requiere una inversión de \$22.500 cada cuatro años.

### 3.2.4. Flujo de Fondos

Considerando los beneficios y costos estimados previamente, se realiza un análisis financiero, con un flujo de fondos sencillo, de un sistema solar fotovoltaico aislado para alimentar una vivienda familiar tipo.

Se estima un consumo de 1.360W promedio anual, una inversión inicial de \$81.600, una reinversión cada cuatro años para el cambio del banco de baterías de \$22.500, un ahorro base de costos de combustible de \$27.804 anual y un costo base de mantenimiento de \$3.000 anual.

Se selecciona un horizonte de evaluación de diez años y un valor remanente de la inversión calculado por el método contable en el último año del horizonte de \$40.800, por cuanto para el sistema fotovoltaico se estima una vida útil tecnológica de veinte años.

A continuación se muestra el flujo de fondos obtenido y su acumulado.

Tabla 1. Flujo de fondos caso base.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Valor de recuperado											40.800
Ahorro en costos		27.804	27.804	27.804	27.804	27.804	27.804	27.804	27.804	27.804	27.804
Costo mantenimiento		-3.000	-3.000	-3.000	-3.000	-3.000	-3.000	-3.000	-3.000	-3.000	-3.000
Inversión Inicial	-81.600				-22.500				-22.500		
FLUJO DE FONDOS	-81.600	24.804	24.804	24.804	2.304	24.804	24.804	24.804	2.304	24.804	65.604
FLUJO DE FONDOS ACUM	-81.600	-56.796	-31.992	-7.188	-4.884	19.920	44.724	69.528	71.832	96.636	162.240

### 3.2.5. Indicadores de conveniencia

A partir del flujo de fondos planteado en el caso base, se calcula el Valor Actual Neto y el periodo de recuperado de la inversión inicial.

Para el caso base se considera una tasa de descuento del 20%.

Se simulan dos escenarios en función de incrementos previstos en los costos de mantenimiento y del ahorro por combustible.

Los escenarios se evalúan para dos tasas de descuento, 20% y 30%, como se indica en la siguiente tabla.

Tabla 2. Indicadores de conveniencia para distintos escenarios.

	VAN	PR
TC = 20%		
Situación base	\$ 12.896	5
10% Costo mantenimiento + 20% Costo de combustible	\$ 167.770	3
20% Costo de mantenimiento + 30% Costo de combustible	\$ 322.224	3
TC = 30%		
10% Costo mantenimiento + 20% Costo de combustible	\$ 81.122	3
20% Costo de mantenimiento + 30% Costo de combustible	\$ 168.932	3

#### **4. CONCLUSIONES**

Se identificaron las variables relevantes en proyectos de generación eléctrica a partir de energía solar fotovoltaica aislados de la red, desde la una perspectiva técnica, tales como lugar de emplazamiento, consumo a abastecer, tecnología a utilizar, dimensionamiento del sistema, energía producida, operación y mantenimiento y confort del usuario. Desde la perspectiva económica es necesario considerar fundamentalmente tres variables relevantes, la inversión inicial, el beneficio en ahorro de combustibles ante la alternativa de autoabastecerse con grupos electrógenos y los costos de operación y mantenimiento.

Aun cuando las inversiones en los sistemas fotovoltaicos son relativamente altas y deberían ser afrontadas en su totalidad por los propios usuarios, resultaría conveniente en comparación con el ahorro de costos que representa el abastecimiento con generadores a nafta. Utilizando valores actuales de mercado, la inversión, para un caso tipo, podría recuperarse entre el tercer y quinto año.

No obstante, se deben analizar en detalle las variables relevantes identificadas y sus posibles modificaciones durante el horizonte de evaluación para poder determinar la conveniencia financiera del proyecto.

La viabilidad técnica se ve favorecida por la importante disponibilidad del recurso solar con que cuenta el país a lo largo de gran parte de su extensión, la amplia variedad de los componentes del sistema y la creciente oferta de servicios llave en mano, así como servicios de mantenimiento.

Se concluye que el abastecimiento de sistemas aislados de la red a partir de energía solar fotovoltaica sería factible, además de contribuir al desarrollo de comunidades autosustentables y amigables con el medio ambiente.

#### **5. BIBLIOGRAFIA**

[1] Unidad Coordinadora Proyecto PERMER II Subsecretaría de Energía de la Nación (2015). Manual de operaciones PERMER II. Argentina

[2] Lamigueiro, O. P. (2013). Energía Solar Fotovoltaica. España.

[3] Moragues, D. J. (2010). Energías renovables en Argentina. Estado actual y prospectiva. Buenos Aires: Instituto Argentino de la Energía.

[4] GIZ, C. A. (2013). Manual de instalación de un sistema fotovoltaico domiciliario. Lima.

[5] Martínez, L. S. (2011). La percepción del confort. Análisis de los parámetros de diseño y ambientales mediante Ingeniería Kansei: Aplicación a la biblioteca de Ingeniería del Diseño (UPV).