

# **SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EN ESCUELAS RURALES: EL CASO DE LA PROVINCIA DE CORRIENTES, ARGENTINA.**

**C. Bello<sup>#</sup>, L. Vera<sup>#</sup>, A. Busso<sup>#</sup>**

<sup>#</sup> GER – Grupo en Energías Renovables - FaCENA – UNNE.

Av. Libertad 5470 – 3400 Corrientes. Argentina

Tel./Fax: (03783) 473931 - e-mail: [cjbell@gmail.com](mailto:cjbell@gmail.com) ; [ajbusso@gmail.com](mailto:ajbusso@gmail.com)

## **INTRODUCCIÓN**

En el contexto actual mundial de preocupación energética, las energías renovables aparecen como alternativas viables cuando se trata de resolver problemas de contaminación ambiental y de acceso a la energía. Si bien el uso de la energía eléctrica abarca un elevado porcentaje de la población mundial, en muchos países la proporción de la población rural que tiene acceso a la electricidad es baja. Esto se debe a que la conexión a una red de distribución centralizada resulta poco rentable cuando más aislado se encuentra el usuario. Por este motivo los gobiernos o las compañías de electricidad dan preferencia a la electrificación convencional en zonas urbanas, y actualmente se plantea el problema de la falta de acceso a la energía eléctrica para más de dos mil millones de personas en el mundo <sup>[1]</sup>.

El acceso a la energía eléctrica produce una mejora de las condiciones de vida: acceso a la salud, higiene, educación, información (audiovisual) pero también actividades económicas (agricultura, artesanía, comercio), necesidades, individuales como colectivas, que generalmente pueden ser satisfechas a través de electricidad solar fotovoltaica, eólica o a partir de microturbina.

Para las comunidades rurales, considerando su situación geográfica (regiones de mucho sol), la utilización del recurso solar a través de sistemas fotovoltaicos es una solución viable técnicamente y económicamente, y es importante destacar que utiliza una fuente gratuita, “la radiación solar”. Sin embargo, un sistema fotovoltaico no es una fuente sin límite de energía eléctrica como una conexión a la red tradicional y el tiempo de vida del sistema depende de un uso razonable y responsable. Los otros motivos que perjudican la implementación de las energías renovables son principalmente el bajo costo de las energías fósiles, la falta de políticas coherentes en energías renovables, la falta de recursos de forma general en las zonas necesitadas, un mercado de las energías renovables poco desarrollado en estas zonas, y una falta de conocimiento de la población sobre energías renovables.

Las necesidades en energía en zonas rurales aisladas existen desde hace años pero el mercado rural en los países en desarrollo nunca resultó significativo para dirigir el desarrollo tecnológico de los pequeños sistemas fotovoltaicos. Actualmente una tendencia en los países desarrollados está permitiendo avanzar en el sector: actualmente existe una gran cantidad de ejemplos de sistemas solares fotovoltaicos conectados a la red en zonas urbanas, como el programa promovido por el Ministerio de Economía

japonés, o el programa de promoción de la energía solar fotovoltaica en la Unión Europea, cuyo objetivo es llegar a 3.000 MWp en el año 2010 <sup>[9]</sup>. Esto permitió un crecimiento de los sistemas fotovoltaicos para la electrificación rural.

## **PROYECTOS DE ELECTRIFICACIÓN RURAL**

En el sector de la electrificación rural, el Proyecto de Energías Renovables en Mercados Rurales (PERMER), que se inició en el año 1999, es el principal programa de cobertura nacional. Con el suministro de energía eléctrica a comunidades aisladas, y a aproximadamente 6.000 entidades de servicios públicos de todo tipo, como escuelas (figuras 1.- y 2.-), se espera beneficiar a aproximadamente 30.000 usuarios de bajos ingresos en todo el país. El PERMER es un proyecto de alto contenido social, cuyos objetivos son atender al mejoramiento de la calidad de vida de las comunidades rurales dispersas, contribuyendo al alivio a la pobreza en las mismas <sup>[2]</sup>. En resumen, se entiende que la implementación de soluciones técnicas para un acceso a la energía eléctrica no debe afectar a la población considerada, y que el objetivo tiene una fuerte apuesta al aspecto social.

Considerando ejemplos de estudios sobre sistemas fotovoltaicos e impacto social, se puede mencionar un trabajo, realizado en unas islas del Pacífico, que plantea una pregunta interesante: “Mejor o peor? El papel de la energía solar fotovoltaica (FV) en el desarrollo sostenible” <sup>[3]</sup>. Los resultados muestran cómo el acceso a la electricidad limitado a la iluminación no influye directamente el nivel de vida de las familias, cuando “tener luz” no se relaciona con actividades económicas e ingresos económicos. También aparecen los problemas de la capacidad tecnológica del usuario, o de los sistemas que dejan de funcionar antes de cumplir su tiempo de vida.

De la misma forma, las cuestiones técnicas que se plantean durante el mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos muchas veces tienen que ver con el usuario: tomando otro ejemplo, en un informe sobre un proyecto de electrificación a base de sistemas fotovoltaicos autónomos realizado en zona de Amazonía Peruana <sup>[4]</sup>, se relata el problema del remplazo de las baterías, explicando que el propio usuario las cambia por baterías inadecuadas (automotrices de segunda mano). Además, en transferencia de tecnología, el informe indica que es necesario capacitar a los usuarios para que sepan que tienen que acudir al técnico local cuando enfrenten problemas del sistema fotovoltaico que no puedan resolver por ellos mismos. También se considera conveniente que haya una persona en cada comunidad a cargo del mantenimiento de los equipos.



*Figura 1.- Sistema fotovoltaico de 600Wp instalado en la escuela n° 223 Paraje San Lorencito – dpt. de Empedrado – prov. de Corrientes, Argentina, junto con el maestro y los alumnos de dicha escuela.*

En Argentina, los proyectos realizados antes del PERMER sufrieron de problemas similares, como en la provincia de Salta (primeros sistemas instalados en los años 80 <sup>[6]</sup>) o en la provincia de Santa Fe <sup>[5]</sup>, donde se realizó un proyecto de electrificación de 163 escuelas en el año 1997, proyecto hoy totalmente abandonado: todos los sistemas quedaron fuera de servicio. Para las escuelas que no lograron conectarse a la red convencional, volver a no tener más electricidad representa una regresión terrible. Existen otros ejemplos de problemas en proyectos similares. Sin embargo parece costoso aprender de estas lecciones, y como lo explica el Dr. C. Cadena, en un análisis del caso de privatización del suministro eléctrico disperso en la provincia de Salta <sup>[6]</sup>, se observa actualmente “un número creciente de proyectos de electrificación fotovoltaica para aplicaciones varias, muchos de los cuales no cumplen con los requisitos mínimos de sostenibilidad, estando por tanto destinados al fracaso, con la consecuente frustración de los usuarios”, agregando, en otra publicación <sup>[7]</sup>, que “se puede decir que a pesar de que no existen recetas o fórmulas que aplicar tal cual lo haría un alquimista, es factible reconocer ciertas acciones que permiten llevar adelante la inserción de la tecnología con el menor impacto”. Tales proyectos deberían buscar la apropiación del sistema por parte del usuario en un necesario “ida y vueltas con los responsables del área técnica”, considerando el papel tan importante de la capacitación como principal colaboración en las tareas de mantenimiento. En otros análisis vuelve también como problema principal la sostenibilidad de los propios proyectos, directamente ligado a la capacitación del usuario y a veces replanteando el concepto de tecnología apropiada <sup>[8]</sup>.

### **PROYECTO PERMER EN CORRIENTES, ELECTRIFICACION DE 85 ESCUELAS: PRIMEROS ESTUDIOS**

El proyecto PERMER de electrificación para escuelas rurales aisladas, benefició a diecinueve departamentos de la provincia de Corrientes, en Argentina, con una matrícula total de 2280 alumnos (figura 3). En este contexto, el Grupo en Energías

Renovables de la Facultad de Ciencias Exactas – Universidad Nacional del Nordeste, participó en la inspección de las obras de instalación y está a cargo del mantenimiento de las instalaciones fotovoltaicas. Los sistemas instalados en las escuelas están compuestos de módulos fotovoltaicos de tensión nominal de 12 Voltios y de potencia pico de 50 Watt, de acumuladores tipo plomo-acido de 12 Voltios y de una capacidad de 220 Amper-hora, de reguladores de carga de tensión 24 V y corrientes máxima de 20 o 40 Amperes, y de inversores de corriente continua 24 Voltios a corriente alterna 220 Voltios de potencia 2000 Volt-Amper. Una estimación de las necesidades de cada escuela llevó a dimensionar sistemas de 400 a 1500 Watt-pico de potencia instalada.



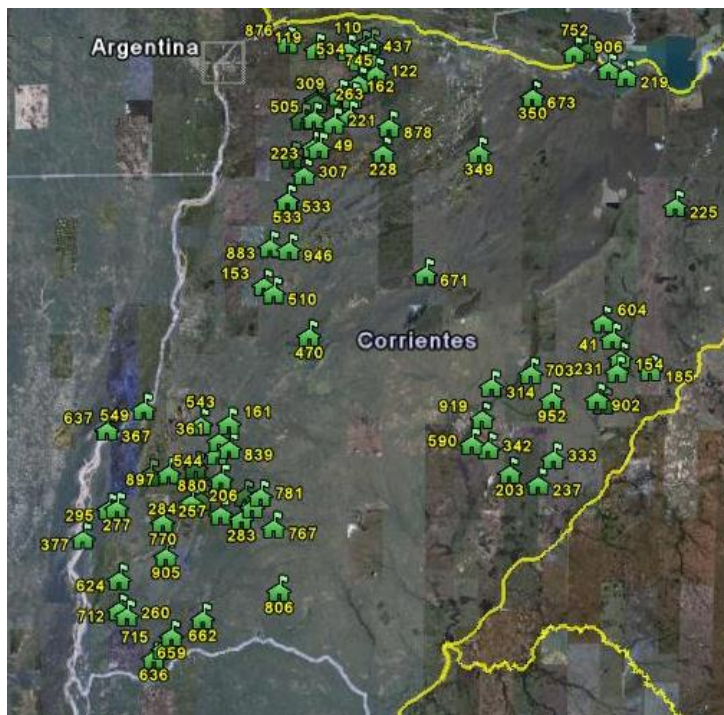
*Figura 2.- Sistema fotovoltaico de 600Wp instalado en la escuela n° 49 Paraje Bernachea – dpt. de Empedrado – prov. de Corrientes, Argentina junto con el maestro y los alumnos de dicha escuela.*

Durante los últimos meses, se pudieron realizar visitas de mantenimiento en 24 escuelas las que permitieron dar una idea del estado y del buen uso de los sistemas fotovoltaicos instalados. Generalmente, el motivo de estas visitas fue el aviso de un corte energético, y cuando resultó posible se realizó una simple visita de control en las escuelas próximas. En su gran mayoría los problemas se relacionan con un deterioro grave del inversor (etapas de potencia o de control quemadas). En segundo plano aparecen problemas de envejecimiento precoz de ciertas baterías, y de forma general se constató que una parte considerable de los problemas registrados se deben a un mal uso de los sistemas instalados. También tres escuelas sufrieron de robos repetidos y quedaron hasta la actualidad inoperantes.

Debido a que el 5% de los inversores instalados están fuera de servicio antes de cumplir un año podría resultar preocupante, ya que sus reparaciones resultan largas y costosas. Muchas veces, el problema registrado se relaciona con la conexión de un artefacto defectuoso, como una bomba de agua eléctrica usada o con una conexión clandestina



hacia otra vivienda. Existen también casos de cortocircuitos internos debido al ingreso de insectos.



*Figura 3.- Distribución geográfica de las escuelas con sistemas fotovoltaicos autónomos instalados por el PERMER en la provincia de Corrientes.*

En relación a los acumuladores, varios comentarios pueden ser realizados: los acumuladores o baterías de tipo plomo-ácido utilizadas necesitan ciertas precauciones en su instalación y mantenimiento. En el caso estudiado, las baterías están conectadas en serie de a dos (para lograr 24V) y luego en paralelo para aumentar la capacidad del banco. En una conexión en paralelo, todos los elementos deben ser idénticos, evitando asociaciones de baterías de diferentes edades, que traen como consecuencia el envejecimiento precoz de las baterías nuevas. En una conexión en serie la necesidad que todos los acumuladores sean idénticos es mayor todavía: una misma corriente las atraviesa, por lo tanto la presencia de un elemento defectuoso puede significar para el resto de los acumuladores sobrecargas y descargas profundas. Para operaciones de mantenimiento, se recomienda agregar un fusible en serie por batería, de manera de poder aislarlas fácilmente cuando se realiza un control de estado. Al no disponer de fusibles individuales en las instalaciones consideradas (por el sobre costo en el proyecto que esto hubiese demandado), el control de tensión en los bornes de cada batería resulta ser una información relativa (la batería esta conectada al resto del banco cuando se realiza la medición). En consecuencia, en cada visita se midió la densidad del electrolito como parámetro más representativo del estado de carga de cada acumulador encontrándose baterías que presentaban un estado regular de carga. Se verificó una disparidad en la densidad para baterías de un mismo banco: un tercio de las escuelas visitadas presenta este problema, lo que se puede asociar con la falta de líquido observada en las mismas.

Lo observado induciría evidentemente un deterioro prematuro de las baterías y las causas pueden ser múltiples: uso excesivo del sistema, mal funcionamiento del regulador de carga lo cual puede ocurrir en un sistema con dos reguladores en paralelo, mal funcionamiento del inversor; se observó después de 3 días nublados el caso de un inversor entregando corriente a la instalación de la escuela cuando el banco de baterías tenía una tensión general de 21,76V y la mitad de las baterías estaban por de bajo de los 10V; o también, evaporación natural por temperaturas altas (mas de 40°C en temperatura ambiente durante el verano).

Los módulos fotovoltaicos son los únicos en no presentar importantes problemas durante su primer año de funcionamiento, aunque resulta difícil establecer un diagnostico. De forma general, los módulos se encontraron limpios y en dos casos recibían una sombra parcial debido a la vegetación. Para tener una información más precisa sobre la calidad y el rendimiento de los módulos utilizados, se ensayaron 64 paneles (módulos fotovoltaicos). Los resultados, obtenidos de paneles nuevos, podrán ser comparados en el futuro con ensayos de paneles usados (detección de un eventual deterioro precoz de los módulos). Durante los ensayos se observó que en condiciones estandarizadas (radiación de 1000 W/m<sup>2</sup> y temperatura de celda de 25 °C) casi todos los módulos alcanzan la potencia máxima esperada. Sin embargo, en condiciones reales de uso, con una temperatura de panel que supera los 50 °C (ensayos realizados en el mes de abril en la ciudad de Corrientes) se obtuvo una potencia máxima promedio un 7% inferior a lo esperado para una marca y un 13% menos para otra. Además, se identificaron seis módulos de comportamiento anormal bajo altas temperatura, como se lo puede observar en la figura 4.

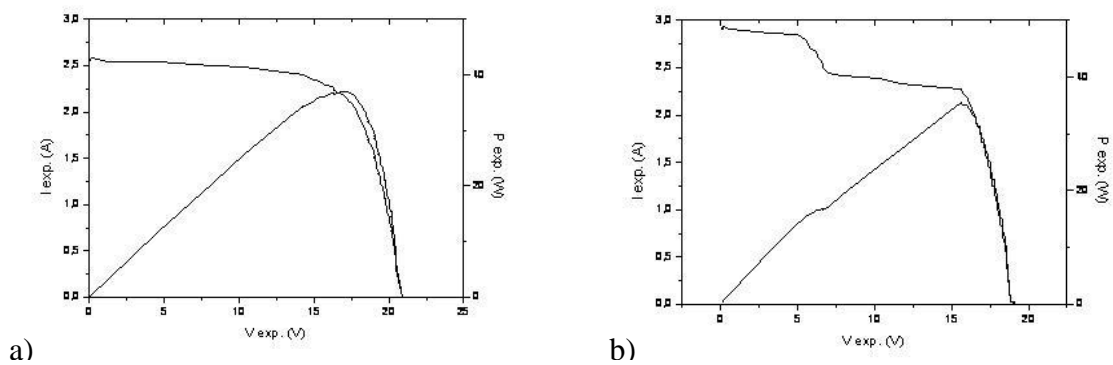
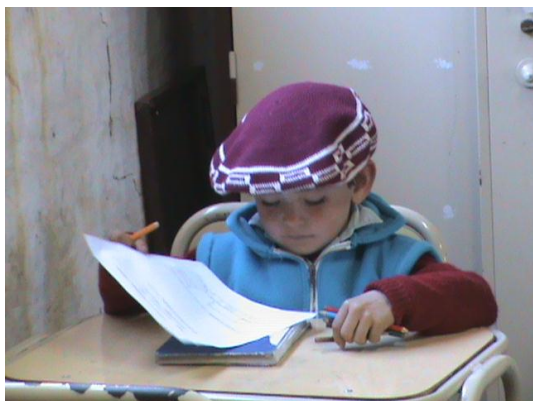


Figura 4.- Curvas I-V y P-V de un mismo panel, en el caso a) registradas el día 03/06/2009 con una temperatura de celda de 31 °C y una radiación natural de 763 W/m<sup>2</sup>, y en el caso b) registradas el día 15/04/2009 con una temperatura de celda de 51 °C y una radiación natural de 985 W/m<sup>2</sup>.

El interés de un seguimiento de las escuelas abarca también el nivel social, se considera que la electricidad es uno de los puntos base para el desarrollo. Además, una mejor calidad de vida, vía el acceso a la electricidad, debería evitar una migración la población rural hacia las ciudades. Sin embargo, tres escuelas encuestadas perdieron más de 5 alumnos este año. En dos casos se trata de la mudanza de una sola familia, pero con suficientes hijos como para que resulte significativo.

Aprovechando algunas visitas donde estaban presentes los maestros y los alumnos, y por el intermedio de encuestas y actividades escritas (ver figura 5), se obtuvo una visión general del nivel de satisfacción de los usuarios y de una posible evolución de sus necesidades. Los 18 maestros encuestados se mostraron satisfechos, tanto en el mejoramiento de las condiciones de confort como a nivel educativo (uso de material multimedia por iniciativas propias). De los 8 alumnos de la escuela n° 49 (figura 2) y de los 15 alumnos de la escuela 223 (figura 1), analizando el orden de preferencia que ellos dan a diferentes artefactos (ventilador, heladera, televisor, radio-grabador, computadora), es notable que el aspecto cultural representa más para ellos que el aspecto de confort: el televisor llega en primera posición, seguido por la computadora, y el ventilador llega último. Sin embargo, el programa de equipamiento de estas escuelas tiene previsto la instalación de ventiladores después de las luminarias, antes que se hable de proveer materiales audiovisuales. La opinión de los maestros se reparte de forma equitativa entre las dos opciones.



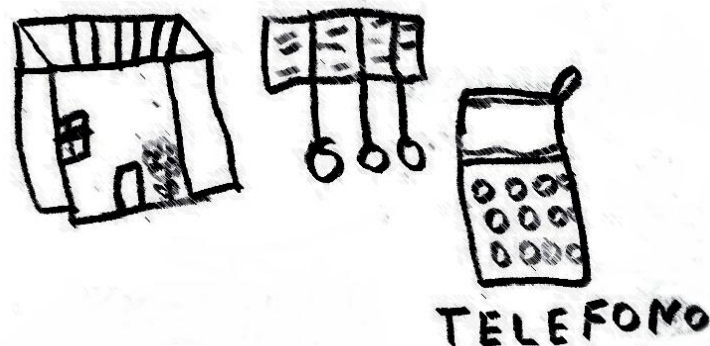
*Figura 5.- Alumnos de diferentes edades participando a las actividades organizadas en el contexto de un estudio social del proyecto.*

Durante estas actividades, se buscó evaluar lo que la electricidad cambió en la escuela a través de los dibujos de los niños (figura 6). La posibilidad de cargar un teléfono celular resulta para ellos sumamente importante: casi el 70% de los alumnos lo mencionan. Merece presentar dos otros indicadores interesantes: ningún alumno supo relacionar entre sí los diferentes elementos de un sistema solar, y la totalidad de ellos no dispone de electricidad en su casa. Es un elemento que deberá tomarse en cuenta en una próxima etapa del proyecto PERMER en la región, cuando se instalaran sistemas similares para la electrificación domiciliaria.

Un maestro explicó que por primera vez, muchos alumnos pudieron activar un interruptor eléctrico, o enchufar algún artefacto eléctrico. Si bien en esta escuela no se está utilizando elementos multimedia durante las clases, la nueva instalación eléctrica permitió a este maestro la incorporación de nuevos conceptos en sus clases de ciencia y de tecnología (lo relacionado con la energía).

En otra escuela, una actividad con alumnos de 8 a 13 años de una misma familia permitió estimar el consumo del hogar en velas, kerosén y pilas, solamente para la iluminación y la radio: se calculó unos \$ 2.200 (pesos argentinos) de gasto anual. La importancia de estas actividades, para ir alfabetizando los alumnos a la tecnología y

despertando sus intereses para los sistemas solares podría resultar crucial en el futuro para el éxito o el fracaso de este tipo de proyecto, ya que no implica solamente la formación de los alumnos sino también la formación de los maestros.



*Figura 6.- Dibujo de un alumno representando su escuela en la actualidad, ahora que disponen de electricidad.*

Son varias las anécdotas registradas durante el mantenimiento que apoyan a la necesidad de una formación mínima de los maestros: uso de aparatos eléctricos de mucha potencia, repetición de errores graves como conexión de bomba de agua defectuosa, lo que significa que el maestro encargado no entendió las recomendaciones de uso del sistema. También hubo un caso de escuela que quedó sin energía durante dos meses y el maestro por miedo de haber echo algo inadecuado no avisó a los responsables. A veces las operaciones para poner de nuevo en funcionamiento el sistema son simples y no justifican un largo viaje desde la capital de la provincia, como reiniciar el inversor después de un corte por baja tensión del banco de baterías, o el control de los interruptores térmicos y de los fusibles, tarea que realizan sin problema unos maestros, y para la cual no están formados los otros.

## **CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS PARA LA PROVINCIA**

A nivel técnico, las primeras conclusiones sobre el estado actual de los sistemas deberían permitir anticipar las futuras intervenciones (por ejemplo el remplazo de baterías), pero también orientar los estudios a realizar para mejorar los sistemas actuales, como la instalación de un sistema de monitoreo para obtener datos reales de consumo de energía, de eficiencia y de interrelación entre los elementos del sistema. Estos datos tienen a su vez un interés en el estudio del comportamiento del usuario, como una forma de entender lo que realmente se hace, y que a veces no se cuenta.

Por otro lado, se notaron varios problemas relativos a un mal uso de los sistemas, lo cual se puede interpretar como una falta de formación del usuario e incluso, falta de adaptación a la realidad que se debe hacer uso racional de la energía disponible. En los proyectos de electrificación rural de este tipo, el aspecto social resulta fundamental, ya que el destinatario se encuentra en contacto directo con el material instalado y que estos sistemas no representan fuentes “inagotables” de energías. Además, las dificultades de acceso de las zonas consideradas no permiten visitas regulares e implican que el personal de cada escuela sea el primer responsable del buen estado de su instalación.



Hasta la fecha, no hubo formación de los maestros o de los alumnos en este ámbito. Sin embargo esta previsto para el año que viene una extensión del programa al nivel domiciliario y el éxito del proyecto de las 85 escuelas es primordial para obtener la confianza de los futuros usuarios.

Por lo tanto, se propone seguir trabajando en 1) una mejor participación de los maestros en las tareas de mantenimiento, 2) presentarlos como vectores para una futura extensión del proyecto de electrificación rural, y 3) analizar el grado de sostenibilidad del proyecto por el intermedio de índices significativos.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- 1.- Información obtenida del sitio Internet de la ONG “Fondation Énergies pour le Monde” creada en 1990 y realizando proyectos de electrificación rural en todos los continentes.
- 2.- Proyecto PERMER, Manejo ambiental y social, Condiciones para su implementación en las provincias, Ministerio de planificación, inversión pública y servicios, Secretaría de energía de la nación, Marzo 2009.
- 3.- K. Mala, A. Schlapfer, T. Pryor. Better or worse? The role of solar photovoltaic (PV) systems in sustainable development: Case studies of remote atoll communities in Kiribati, Elsevier 2008, Renewable Energy 34 (2009) 358–361.
- 4.- Proyecto PER/98/G31 “Electrificación rural a base de energía fotovoltaica en el Perú” Recopilación de antecedentes y experiencias nacionales en electrificación rural fotovoltaica, Ministerio de energías y minas, Dirección ejecutiva de proyectos, Agosto, 2006.
- 5.- M. Cutrera, B. Gottlieb, M. Battioni, R. Crisalle, G. Risso, R. Koropecski, R. Arce, R.H. Buitrago. Comportamiento de los sistemas fotovoltaicos instalados en las escuelas rurales del Norte Santafesino, ASADES, 1999.
- 6.- C. Cadena. Electrificación fotovoltaica en zonas rurales de Salta: perspectivas, ASADES, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 9, 2005.
- 7.- C. Cadena. ¿Electrificación o energización? Mediante energías alternativas en zonas rurales, ASADES, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 10, 2006.
- 8.- V. M. Javi. Actualizaciones al concepto de tecnología apropiada, ASADES, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 10, 2006.
- 9.- P. Puig, M. Jofra. Energías renovables para todos – Solar fotovoltaica, Energías Renovables (revista), 2009.

-----