

Christophe J. J. Bello

**USO DE SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS
PARA LA ELECTRIFICACIÓN RURAL EN EL NORTE ARGENTINO,
EN UN CONTEXTO DE CRISIS ENERGÉTICA MUNDIAL**

Monografía presentada al Eco_Lógicas: Concurso Mercosur
de Monografías sobre Energías Renovables y Eficiencia
Energética, auspiciado por el Instituto IDEAL. Orientadores:
Doctores Carlos Cadena y Luis Vera.

Grupo Energías Renovables (GER) – Departamento de Física
Facultad de Ciencias Exactas (FaCENA) – Universidad Nacional del Nordeste (UNNE)
Avenida Libertad 5470, C.P. 3400 Corrientes, República Argentina.
e-mail: cjbbello@gmail.com

Año 2011

RESUMEN

En un contexto energético actual marcado por distintas crisis, los recursos energéticos convencionales presentan perspectivas tan pesimistas que las energías renovables aparecen como alternativas cada vez más competitivas. Así pasa en la electrificación rural descentralizada en los países del Sur, que benefician en un aumento excepcional de nuevas instalaciones solares fotovoltaicas. En la presente monografía, se elevan los actuales motivos del éxito de la energía solar fotovoltaica y se trata de concientizar el uso de la misma en la región Norte de Argentina. Con tales objetivos, se definieron dos ejes de trabajo. En una primera parte, se consta de la disponibilidad a venir de los principales recursos energéticos presentes en la matriz mundial, y de las preocupaciones ambientales ligadas a sus usos, para fortalecer la idea de que las fuentes renovables son las energías del futuro. En la segunda parte, el trabajo de análisis se focaliza en la importancia de los sistemas fotovoltaicos autónomos (SFA) para la electrificación rural, y en su uso en el Norte Argentino, en donde la mayoría de las escuelas rurales aisladas se ven equipadas con este tipo de sistemas de generación eléctrica. A través de una síntesis de los SFA instalados en esta región y de la información disponible sobre sus estados actuales, se consta que existen fallas en la organización de sus mantenimientos, asociadas a factores externos no previstos y que afectan a sus confiabilidades. Finalmente, el año 2011 será caracterizado en Argentina por una gran expansión del uso de SFA, y, comunicar sobre las primeras lecciones aprendidas resulta primordial para que se tomen en cuenta factores de importancia en el momento de implementar estos nuevos sistemas.

PALABRAS CLAVE: Sistemas Fotovoltaicos Autónomos, Electrificación Rural Descentralizada, Energías Renovables.

ABSTRACT

In the current context of global energy crisis, conventional energy resources have so pessimistic perspectives that renewable energies appear as whenever more competitive. It happens like that in the field of rural electrification in Southern Countries, which benefit from an exceptional increase of new solar photovoltaic installations. In this paper, we present the reasons for the current success of photovoltaic solar energy and we seek to raise awareness for its use in the northern region of Argentina. In the first part, we find the willingness to come from the major energy resources present in the global matrix and environmental concerns related to its uses, strengthen the idea that renewable energies are the future. In second part, the analysis focuses on the importance of stand-alone photovoltaic systems (SAPV) for rural electrification, and its use in Northern Argentina where most isolated rural schools are equipped with this type of generation systems power. Through a synthesis of the SAPV systems installed in this region and the available information about their current status that is established that there is a lack of organization in their maintenance, associated with unforeseen external factors which affect their reliability. Finally, in 2011 Argentina will be characterized by a great expansion of the use of SAFV systems, and communicating about the first lessons learned is essential to take into account relevant factors at the time of implementing these new systems.

KEY WORDS: Stand-Alone Photovoltaic Systems, Decentralized Rural Electrification, Renewable Energy.

ÍNDICE

Introducción	4
Metodología	4
Desarrollo	5
<i>Problemáticas energéticas actuales y energías renovables</i>	5
El petróleo	5
El carbón.....	6
El gas natural	6
Centrales nucleares	7
Las fuentes renovables en la generación mundial de energía eléctrica	7
Transacciones financieras en las energías renovables.....	8
<i>Uso de sistemas fotovoltaicos autónomos (SFA) para la electrificación rural</i>	9
Importancia de las tasas de electrificación en los países del Sur para sus índices de desarrollo ...	9
Límites de alcance de la red eléctrica tradicional y programa de electrificación rural descentralizada (ERD) con SFA en Argentina	10
Soluciones técnicas para la ERD y problema de confiabilidad de los SFA	11
Configuraciones particulares de SFA: escuelas correntinas y chaqueñas	11
Dimensionamiento de los SFA en la provincia de Corrientes.....	12
Patrón de consumo y adecuación del dimensionamiento en una escuela correntina	13
Tipos de factores que pueden afectar el buen funcionamiento de un SFA	13
Estadísticas del mantenimiento de SFA en Corrientes	14
Gestión de SFA en otras provincias	16
Conclusión	17
Referencias Bibliográficas	18

INTRODUCCIÓN

La crisis energética mundial aparece en la actualidad como un problema social de los más preocupantes. Por un lado, los límites en recursos que presentan las fuentes de energía tradicionales implican una búsqueda de alternativas. Por otro lado, se vinculan las energías fósiles con graves problemas ambientales, principalmente con la generación de gases del efecto invernadero que provocan un peligroso calentamiento global del planeta. En el Congreso Mundial de Energía de Montreal 2010 (Canadá), por ejemplo, las principales multinacionales del sector energético aceptaron nuevas problemáticas, dejando de cuestionar justamente la legitimidad del cambio climático. También, se habló del acceso a la energía para las zonas rurales de los países del Sur, con una intervención del director de la mayor empresa privada mundial de carbón que mencionó una situación preocupante para más de 1.500 millones de personas en el mundo, víctimas de pobreza energética.

Esta situación global favorece el uso de las energías renovables, no solamente por el potencial todavía no explotado que presentan, sino también, por permitir el acceso a un modo de energía moderna, a aquellas personas olvidadas de la sociedad.

En las zonas rurales aisladas de los países del Sur, la gran dispersión de los pobladores prioriza el uso de sistemas individuales de generación eléctrica, y los programas actuales de electrificación rural van generalizando el uso de sistemas solares fotovoltaicos de tipo autónomos (SFA).

En Argentina, principalmente a través del Proyecto de Energías Renovables en Mercados Rurales (PERMER), numerosas provincias ya se beneficiaron de instalaciones fotovoltaicas para escuelas, centros comunitarios, puestos sanitarios y viviendas, con una generación aproximada de 1MWp (Red REEEP, 2009). Sumando los SFA instalados a través de programas provinciales o de iniciativas privadas, se estimaba que en el año 2006, siete mil hogares familiares recibían electricidad vía generación fotovoltaica (Scarabée, 2008). Además, el año 2011 será significativo para la electrificación rural descentralizada (ERD) en el país, con la instalación, por el PERMER, de más de 15.000 SFA domiciliarios en 12 provincias distintas, lo que representa una potencia de 1,9MWp (PERMER, 2009).

METODOLOGÍA

Como en muchos países de América del Sur, Argentina ve la implementación de importantes programas de ERD con sistemas fotovoltaicos, en un momento clave de crisis energética global y mundial. Considerándose este contexto, el presente trabajo pretende aclarar cuál es la situación de la energía solar fotovoltaica en la generación eléctrica de forma general y en la electrificación rural

descentralizada de forma particular, focalizándose finalmente en las instalaciones de tipo SFA del Norte Argentino.

Basándose en una metodología de análisis objetiva, se presentan en la primera parte las perspectivas que ofrecen cada una de las habituales fuentes de energía. Las estimaciones de los recursos energéticos suelen cambiar según los intereses personales de los autores. Por lo tanto, no se tomaron en cuenta los datos más pesimistas, sino las opiniones de especialistas y profesionales de cada sector energético por separado. En complemento, se analizan las tendencias de las energías renovables en la actualidad y los intereses económicos que representan.

Luego, en la segunda parte, se analiza la importancia que toman los SFA en la ERD y los motivos de sus éxitos. En muchas provincias de Argentina, estos sistemas de generación solar representan una tecnología nueva, y en consecuencia resulta algo crucial seguir estos primeros pasos. Para este estudio, se presentan esencialmente datos disponibles para las provincias del Norte Argentino. Se consideró que la instalación de SFA por el PERMER se realizó en distintas etapas a lo largo de los diez últimos años, con la evidencia de que la experiencia adquirida en cada provincia será diferente. De la misma manera, las configuraciones de los SFA que se van instalando evolucionan. En consecuencia, un análisis de las dificultades que se encuentran en estos sistemas debe relacionarse tanto con las condiciones de operación, cómo también, con las particularidades técnicas de cada SFA. Esta es la metodología que se planteó, para poder concluir con los principales factores que afectan el funcionamiento de los SFA en esta región, basándose en un resumen de la información disponible en los ministerios provinciales y por el PERMER, y de las experiencias adquiridas por los distintos equipos de mantenimiento.

DESARROLLO

Problemáticas energéticas actuales y energías renovables

En la matriz energética mundial, aparece en primera posición el petróleo (36%), luego el carbón (28%), el gas natural (23%), finalmente, las energías renovables (7%) y la energía nuclear (6%) (fuente: BP Statistical Review of World, 2007). En marzo del 2010, se realizó el International Energy Forum en Cancún (México), cuyos países miembros, son los responsables del 90% del consumo y de la producción de petróleo y gas a nivel mundial. Las principales preocupaciones del fórum se relacionaron con el agotamiento de las reservas de petróleo, y aparece, en las conclusiones de uno de los documentos de trabajo, que: “utilizando estimaciones conservadoras en la demanda futura, PCF Energy estima que el suministro de líquidos llegue a su cenit en el periodo 2020-2025”. Las energías fósiles son la base de 2/3 de la producción eléctrica mundial (Observ'ER, 2008) y los productos petroleros son predominantes a nivel del consumo final (43% en el 2004). En

consecuencia, como lo escribe Mosquera (2008), “si el petróleo está en jaque, la energía toda está en jaque”. El cenit del petróleo preocupa en todos los niveles, principalmente políticos y económicos, pero lo que más está en juego es probablemente la dependencia energética de todo un sistema que se opone al cambio.

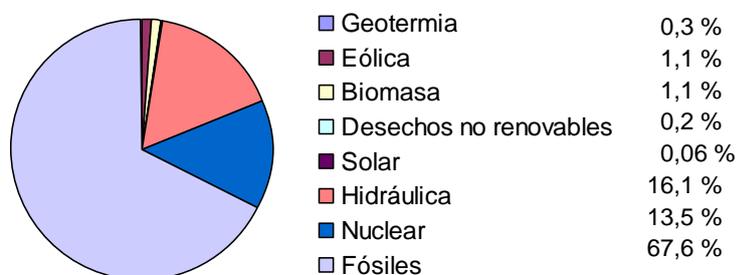
El carbón es otro combustible fósil, a veces presentado como “el salvador de la crisis” debido al bajo costo de explotación de sus importantes reservas naturales. Sin embargo, un artículo de la revista Nature, publicado en noviembre del 2010 y titulado “The End of Cheap Coal” (Heinberg y Fridley, 2010), critica una política energética mundial paralizada por la falsa idea de que el carbón debería permanecer barato durante las próximas décadas. El Grupo Inter-gubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) es responsable de otra publicación de importancia, donde se predice que el pico global de producción de carbón de los actuales yacimientos ocurrirá cerca del 2011. Los autores especifican que “el actual foco de atención en la captura y secuestro geológico del carbón podría estar equivocado” y que “la comunidad global debería dedicar su atención al ahorro y al incremento de eficiencia de la generación eléctrica con carbón” (Patzek y Croft, 2010).

De todos los combustibles fósiles, el gas natural es el menos contaminante, considerándose la liberación de dióxido de carbono, el principal de los gases del efecto invernadero, responsables del calentamiento global. Además, tiene múltiples usos, tanto residenciales como industriales. Puede aplicarse a la generación de energía eléctrica y al remplazo de la nafta en los automóviles. Su costo por unidad calórica siempre ha sido más ventajoso que el del petróleo. Sin embargo, con tantos beneficios, el gas natural ocupa apenas un cuarto de la matriz energética mundial. Las tres razones principales son: la dificultad de transportarlo y almacenarlo, la demanda de importantes obras de infraestructuras para su utilización en la red domiciliaria, y la limitación logística en el uso como remplazo de la nafta en el rubro automotor (Mosquera, 2008). Si bien van mejorando las tecnologías ligadas al transporte de gas y que el “Liquefied Natural Gas” está de moda, cuesta mantener un aumento significativo de la producción de gas natural a nivel mundial.

Frente a un exceso mundial de generación de dióxido de carbono (CO₂), el uso de fuentes de energías fósiles se ve culpado. Los países que se caracterizan por pocas emisiones de CO₂ (menos de 100g de CO₂/kWh, que corresponde al 20% del promedio mundial) generan alrededor del 80% o más de su energía eléctrica a partir de la hidrogenación (Brasil y Noruega), del nuclear (Francia) o de una combinación de los dos (Suiza y Suecia). En el otro extremo, países con altos niveles de emisiones de dióxido de carbono (más de 800g de CO₂/kWh) no tienen centrales nucleares (Australia) o pocas (China e India) (International Atomic Energy Agency, 2009).

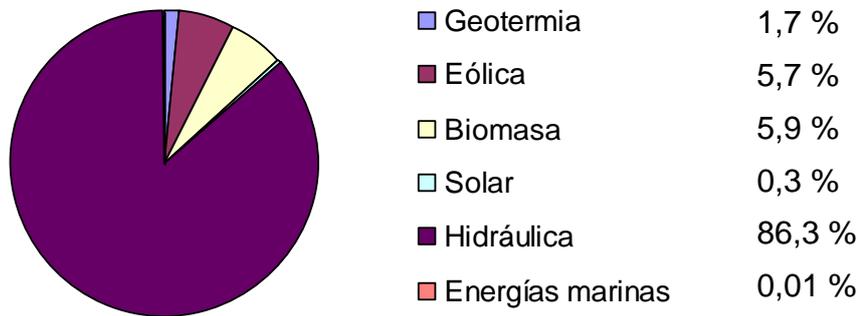
La generación de energía eléctrica a través de centrales nucleares presenta varias ventajas: permite estimaciones a largo plazo con costos de generación estables, garantiza una cierta seguridad energética y no participa de manera directa al cambio climático. Sin embargo, durante los últimos 15 años, la producción energética mundial de origen nuclear evolucionó lentamente y por escalones. En el año 2008 la crisis económica afectó a proyectos de futuras instalaciones nucleares, y en marzo del 2011 el accidente nuclear de Fukushima (Japón) provocó un freno aún más importante para la actividad nuclear en muchos países. Alemania, por ejemplo, decidió en solamente cuatro meses, pasar de un plan para ampliar la vida de sus centrales nucleares a querer cerrar todas. Los problemas técnicos y ambientales ligados a la actividad nuclear son complejos y finalmente su competitividad económica depende, para cada instalación nueva, de las condiciones locales: alternativas disponibles, estructuras de mercado y políticas de gobierno. La Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA en inglés) ya precisaba, antes del accidente japonés, que la energía nuclear no será la “bala de plata” que salvará a los hombres de tantos desafíos energéticos (Rogner y Mc Donald, IAEA, 2010).

Si las energías renovables representan el 7% de la matriz energética mundial, el 18,7% de la producción de energía eléctrica se genera a partir de fuentes de origen renovable (figura 1). La energía hidráulica predomina con el 86,6% (figura 2), pero con un crecimiento mínimo frente a la actual dinámica de la energía solar y de la eólica (figura 3). Con un importante despegue del sector fotovoltaico, la energía solar, que tenía una participación casi inexistente diez años atrás, está haciéndose un lugar entre las principales fuentes de energía del futuro. Algunos países contribuyeron más que otros en la promoción del mercado FV, siempre con crecimientos inesperados. En Alemania por ejemplo, el objetivo fijado para 2010 de un 12,5% de energías renovables en la producción eléctrica nacional fue alcanzado a mediados de 2007 gracias al programa “100.000 techos solares” lanzado por el gobierno en 1999, y gracias a la entrada en vigencia, de una ley sobre energías renovables, la EEG (Erneuerbare – Energien – Gesetz). Esta ley logró suficiente éxito como para servir de modelo a más de 40 países en todo el mundo.



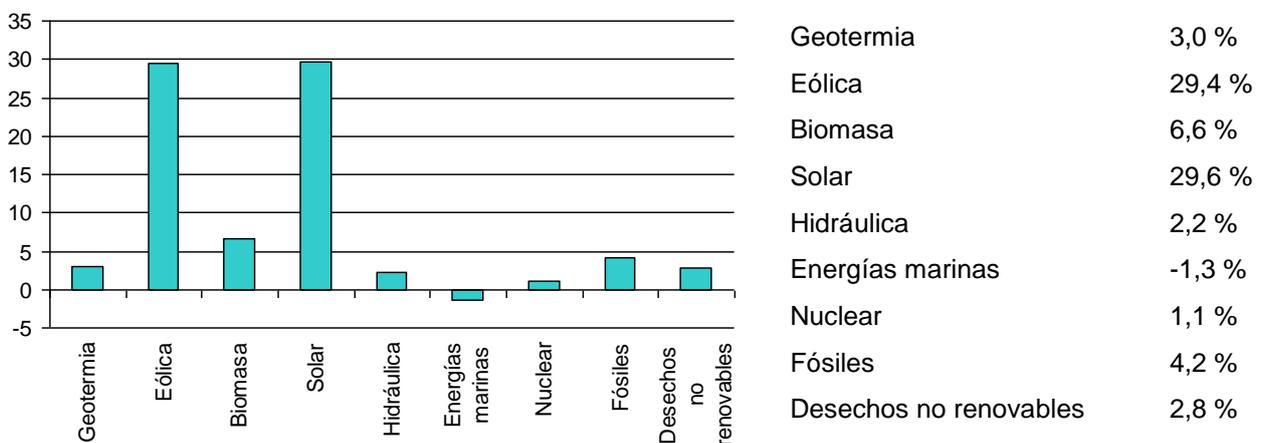
Fuente: Observ'ER, 2008.

Figura 1: Estructura de la producción mundial de energía eléctrica.



Fuente: Observ'ER, 2008.

Figura 2: Estructura de la prod. mundial de energía eléctrica de origen renovable.



Fuente: Observ'ER, 2008.

Figura 3: Tasa anual de crecimiento de cada fuente de energía, entre 1998 y 2008.

Entre el año 2004 y el año 2007, la inversión mundial en el ámbito de las energías renovables pasó de 33.000 a 148.000 millones de dólares (Fuente: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2008). Los principales grupos energéticos y financieros mundiales se ven atraídos por una interesante tasa de rentabilidad y buscan aumentar progresivamente su participación en el sector, de tal manera que las multinacionales como Alstom, Areva, General Electric, Suez, Total o ENI, todas invirtieron en energías renovables. Sin embargo, existen otros procesos de inversión posibles para el sector de las energías renovables, como el Fondo mundial para el medio ambiente (GEF en inglés) y el Mecanismo de desarrollo limpio (CDM en inglés) definidos a través del protocolo de Kyoto y que incentivan a las empresas de los países industrializados a invertir en actividades que reducen las emisiones de gases del efecto invernadero en los países en vías de desarrollo. Efectivamente, el uso de energías renovables presenta la gran ventaja de no generar CO₂.

Así se estima, por ejemplo, que gracias a la ley EEG en Alemania, se dejaron de emitir 45 millones de toneladas de gas carbónico solamente para el año 2006 (El Atlas de Le Monde Diplomatique III, 2009). El protocolo de Kyoto abrió un nuevo mercado, para quienes quieren especular en el mercado del carbono. Marruecos es un ejemplo interesante, ya que, el país quiere posicionarse cómo líder del continente africano en este mercado con un objetivo de más de 15 MtC/año a ofrecer para el 2020. Sin embargo, el país logró vender solamente 280.000 toneladas en el 2009, debido a la complejidad del CDM. Es que, respecto a los sistemas fotovoltaicos instalados en contextos de electrificación rural (más de 50.000 SFA en el 2010 en todo el país), no se pudo medir y justificar las emisiones que se evitan.

Finalmente, la actual crisis energética es global y mundial, y deberá acentuarse de forma preocupante en los próximos años. A medida que van a ir desapareciendo los recursos fósiles, la llegada de las energías renovables se hace inevitable, de tal manera que serán las energías del futuro. A los argumentos detallados en los párrafos anteriores, puede agregarse el incremento de las poblaciones en los países del Sur, asociado a la globalización de un modo de vida moderno, gran consumidor de energía. Este contexto, debería llevar al hombre a repensar su relación con el planeta y principalmente con los recursos energéticos que éste le ofrece.

Uso de sistemas fotovoltaicos autónomos para la electrificación rural

En el último informe anual del Consejo Mundial de Energía, el Dr. C. Frei (Secretario General), relaciona el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo del Milenio¹ con un indispensable acceso a servicios energéticos modernos para los 1.500 millones de personas que no se benefician todavía (World Energy Council, 2011). Es también uno de los objetivos principales presentados por las Naciones Unidas, que llegaron a designar el año 2012 como “el Año Internacional de la Energía Sostenible para Todos”. Los indicadores de desarrollo habitualmente utilizados por estas instituciones internacionales para clasificar los países, resultan ser dependientes de las respectivas tasas de electrificación. Finalmente, queda aceptado que el acceso a la energía eléctrica produce una mejora de las condiciones de vida: acceso a la salud, higiene, educación, información (audiovisual) y telecomunicación, pero también actividades económicas (agricultura, artesanía, comercio, etc.) (Fuente: Gouvello y Maigne, 2000). Estas necesidades, individuales como colectivas, generalmente se pueden satisfacer a través de pequeños sistemas de generación eléctrica. Son características que

¹ “La adopción de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) en el año 2000 supuso un hito para la comunidad internacional ya que constituyen uno de los pocos compromisos globales en materia de desarrollo apoyados a nivel mundial. Los ODM establecen puntos de referencia y objetivos específicos y medibles para erradicar la pobreza extrema y promocionar la paz y la seguridad. Aunque dichos objetivos se fijaron para ser alcanzados en 2015, está claro que los esfuerzos para lograr su cumplimiento están siendo insuficientes.” Extraído del sitio internet del “Center for Economic and Social Rights” (<http://cesr.org/>).

corresponden a los sectores rurales de los países del Sur, y la energía solar les ofrece soluciones cada vez más competitivas a través de la generación fotovoltaica.

En muchos países del Sur, las reformas de los sectores energéticos consistieron en modificar sus estructuras, separando las actividades de generación de las de transmisión y de distribución, generalmente sin lograr una mejora de las tasas de electrificación (Pereira, 2010). En Argentina, la extensión de la red eléctrica parece haber llegado a su máximo en el 2004 con 9 familias de cada 10 recibiendo un servicio de energía eléctrica (Tabla 1). Esto se debe a que la conexión a una red de distribución centralizada resulta poco rentable cuando más aislado se encuentra el usuario. Para mejorar las tasas de electrificación en el país, se promovió progresivamente a partir del año 1999 el uso de las energías renovables a través del PERMER, que se define como un proyecto de alto contenido social: sus objetivos son “atender al mejoramiento de la calidad de vida de las comunidades rurales dispersas, contribuyendo al alivio a la pobreza en las mismas” (Secretaría de Energía de La Nación, 2009). El PERMER está financiado por el Gobierno Nacional, donde el 70% lo aporta la Secretaría de Energía a través de un préstamo del Banco Mundial. En el 2009, este programa tenía activas más de 6.000 instalaciones fotovoltaicas de tipo SFA (Tabla 2). El mismo año, según datos informados por las Naciones Unidas, unas 70.000 familias argentinas no contaban todavía con acceso a la energía eléctrica.

Tabla 1: Evolución de la electrificación rural convencional en Argentina. Frecuencia relativa de familias recibiendo un servicio de energía eléctrica.

1990	1998	2000	2004	2005	2006
78%	84%	85%	90%	90%	90%

Fuente: Scarabée, 2008.

Tabla 2: SFA instalados por el PERMER en las diferentes provincias argentinas.

Provincia	Escuelas con SFA	Servicios Públicos	SFA Residenciales	Mini-Redes FV
Catamarca	36			2
Córdoba	86			
Corrientes	85			
Chaco	208		1680	
Jujuy	58		1900	4
La Rioja	60			
Misiones	24	42		
Neuquén	51	34	530	
Río Negro	26			
Salta	178	314		14
San Juan	16	52		
Santiago del Estero	502			
Tucumán	39	13	250	
<i>Total</i>	<i>1369</i>	<i>455</i>	<i>4360</i>	<i>20</i>

Fuente: PERMER, 2009.

Para el abastecimiento de energía eléctrica a establecimientos escolares o viviendas no conectados a la red convencional, existen varias soluciones técnicas como el muy conocido grupo electrógeno, con su costo inicial razonable pero con sus inconvenientes de manutención y de reabastecimiento de combustible en zonas retiradas. En la provincia de Corrientes, ciertas escuelas ya disponían de grupos electrógenos antes de la instalación de los sistemas fotovoltaicos, y otras pidieron la instalación de un grupo electrógeno después, mostrando la complementariedad de los dos tipos de sistemas. Por un lado, el uso de un grupo electrógeno suele restringirse a pocas horas en la semana, solamente cuando se necesita alimentar una bomba de agua eléctrica o en la ocasión de eventos importantes. Esto se debe al sobre dimensionamiento de la mayoría de los grupos electrógenos para el uso de unas luminarias, radio y televisor, los cuales consumen poco durante varias horas diarias. Para tal uso, un SFA aporta una mejor calidad de servicio, evitando gastos excesivos en combustible. Por otro lado, el pedido de grupos electrógenos “de emergencia” en escuelas que ya disponían de un SFA, demuestra, que la solución fotovoltaica no es confiable al 100%. En este contexto el término “confiabilidad” aplicado a un SFA toma un sentido particular. No se trata de la seguridad de la instalación, como en el ejemplo de una central nuclear, sino más bien de una relación directa con la disponibilidad del sistema de generación solar. Hasta ahora, los estudios de confiabilidad de los SFA, se han centrado fundamentalmente en las labores de dimensionamiento, sin considerar la evolución de los sistemas en operación real, la degradación y averías de sus componentes, ni por lo tanto, su influencia sobre dicha disponibilidad energética inicialmente estimada (Villar, 2003).

Para presentar una situación actual de los SFA instalados en la región Norte de Argentina, corresponde como primer punto analizar cuáles son las características de estos sistemas y si están en adecuación con las necesidades locales. Básicamente, un SFA es un sistema de generación eléctrica, que se constituye de un panel o conjunto de módulos fotovoltaicos, un acumulador o banco de baterías, un regulador de carga, y a veces un inversor CC/CA. La configuración y diseño de los SFA cambian de manera a adaptarse lo mejor posible a las necesidades del usuario. Cuando el uso se limita a la iluminación se eligen sistemas solamente de corriente continua (CC) por una cuestión de simplicidad, y se opta por una conversión a corriente alterna (CA) cuando la mayoría de los artefactos utilizados lo necesitan. Por ejemplo, los SFA domiciliarios instalados por el PERMER, de potencia FV inferior a 200Wp, no disponen de inversores. Sin embargo, se encuentran variantes en la configuración de los SFA instalados en escuelas rurales. En la provincia de Corrientes, la instalación eléctrica de estos establecimientos se ve alimentada totalmente en 220V alterna, incluyéndose las luminarias. En la provincia del Chaco, las escuelas con SFA tienen una doble instalación eléctrica, con las luminarias alimentadas en 12V continua y el resto de las tomas en 220V alterna. Por un lado,

la opción de tener todo en corriente alterna, elegida en Corrientes, permite aliviar los gastos en cables que, representa una doble instalación eléctrica, pero con el uso de inversores de mayor potencia. Por otro lado, la falla de un inversor en una escuela chaqueña no perjudica el uso de las luminarias, mientras que las escuelas correntinas están totalmente dependientes del buen funcionamiento de sus inversores, provocando justamente un aumento notable de los reclamos en esta provincia (Bello, 2010).

La filosofía del diseño de un sistema fotovoltaico autónomo, incluyéndose el dimensionamiento, es bastante diferente a la de un sistema fotovoltaico conectado a red, ya que en un SFA la acumulación de la energía a través de baterías es tan importante como la generación FV. Efectivamente, los elementos de este tipo de instalación deben guardar entre sí proporciones justas y equilibradas, para lograr una entrega de energía eléctrica que corresponda con el consumo. Para un dimensionamiento adecuado, existen métodos de cálculo basados en estimaciones de consumo diario y datos meteorológicos disponibles. En la provincia de Corrientes, el dimensionamiento de los SFA instalados en las escuelas rurales fue definido por el Ministerio de Educación de la Nación, el cual consideró la cantidad de ambientes, la superficie y uso de cada uno de ellos, necesidad de Lúmenes por metro cuadrado para cada ambiente particular (aula, cocina, estar, etc.) para estimar una cantidad de luminarias y de ventiladores de techo, un consumo para la vivienda docente y otros por equipamiento audiovisual. Así se obtuvo un consumo estimativo diario por escuela. Luego, fueron considerados 22 días de clase por mes, una eficiencia global del sistema del 85% (sin los módulos FV), 3,6 horas de sol pico (1000W/m²) sobre el plano inclinado de los módulos FV durante el mes más crítico del año y 3 días de autonomía, con una profundidad de descarga de baterías del 70%. Como resultados, se determinaron capacidades de generación y de acumulación particulares de cada escuela (Figura 4).

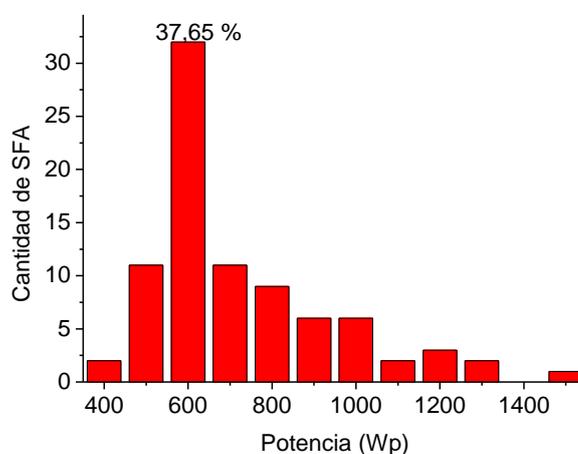


Figura 4: Distribución de las potencias instaladas en los SFA de Corrientes.

Desde la puesta en marcha de los 85 SFA instalados por el PERMER, en Corrientes en el año 2008, el Grupo de Energías Renovables (GER) de la Universidad Nacional del Nordeste realiza un seguimiento técnico de estos sistemas, participando también en su mantenimiento. Con el fin de estudiar con más detalles el comportamiento de un SFA en condiciones reales de uso, el GER instaló en octubre del 2010 un sistema de adquisición de datos (SAD) para el sistema de generación solar de una de las escuelas correntinas (Bello, 2010). Datos obtenidos durante siete meses de monitoreo permitieron definir un patrón de consumo energético típico para la escuela, analizando por separado la demanda en energía eléctrica en cada sector del establecimiento y asociándolos a distintos tipos de actividades (Bello, 2011). De día, el consumo del establecimiento corresponde a unos 100Wh para la zona escuela, más otros 150Wh para la zona vivienda². De noche, son 400Wh para la galería y 150Wh para la zona vivienda (Figura 5). El banco de batería está dimensionado para abastecer unos 3.000Wh/día durante 3 días, por lo tanto, el consumo nocturno observado en el establecimiento no es excesivo y corresponde a un uso moderado de los recursos del SFA. En época de baja radiación solar, los 800Wp del banco FV instalado no producen más de 2.880Wh, frente a una demanda diaria de 800Wh. Debe considerarse la eficiencia de cada elemento del SFA para conocer la energía exacta entregada por el sistema al usuario, pero aun así, su potencia general de producción supera ampliamente el consumo observado. En consecuencia, el SFA estudiado está sobre-dimensionado. En cuanto al valor de insolación considerado en el dimensionamiento original (3,6h de sol pico por día), se puede comparar con la radiación solar medida sobre el plano de los módulos FV durante el mes de junio, por ser la más baja registrada, con un promedio de 3,7h de sol pico por día. A partir del mes de marzo, exactamente a los 3 años de actividad para este SFA, aparecen cortes energéticos ante situaciones de consumo moderado, lo cual caracteriza una pérdida de capacidad importante del banco de baterías. Dentro de las posibles explicaciones, pueden mencionarse las descargas excesivas de los acumuladores, debido al funcionamiento de los inversores utilizados en esta escuela. Además, las temperaturas registradas en el ambiente de las baterías superan frecuentemente los 40°C, causa probable de la evaporación excesiva de los electrolitos observada durante el mantenimiento. Finalmente, este caso particular puede generalizarse a una gran parte de las escuelas correntinas, que ven la confiabilidad de sus SFA afectada por una limitación de la vida útil de las baterías.

Los factores que pueden perjudicar el buen funcionamiento de un SFA en zonas rurales aisladas son múltiples. En el contexto de la electrificación rural, se encuentran fácilmente estudios del impacto que pueda generar la implementación de ciertas tecnologías en los ámbitos económicos, sociales y ambientales de las poblaciones afectadas. De manera inversa, factores sociales o

² Gran parte de las escuelas rurales disponen de una vivienda para el docente o algún cuidador.

ambientales pueden afectar al funcionamiento de sistemas tecnológicos y en el caso particular de los SFA se observa tanto una relación directa con los usuarios, como ubicaciones en zonas geográficas austeras. Son factores que no suelen tomar tanta importancia en el funcionamiento de otros sistemas de generación eléctrica, sin embargo, no pueden ser omitidos de los SFA. Además, son factores que pueden cambiar de una región a otra, de una clase de usuario a otra, etc. Solamente un trabajo de campo, en colaboración directa con el personal docente de las escuelas que disponen de un SFA, puede dar cuenta de la situación en cada región. Finalmente, sin una organización adecuada del mantenimiento de los SFA en actividad, no se podrán evaluar los factores a tomar en cuenta para futuras instalaciones.

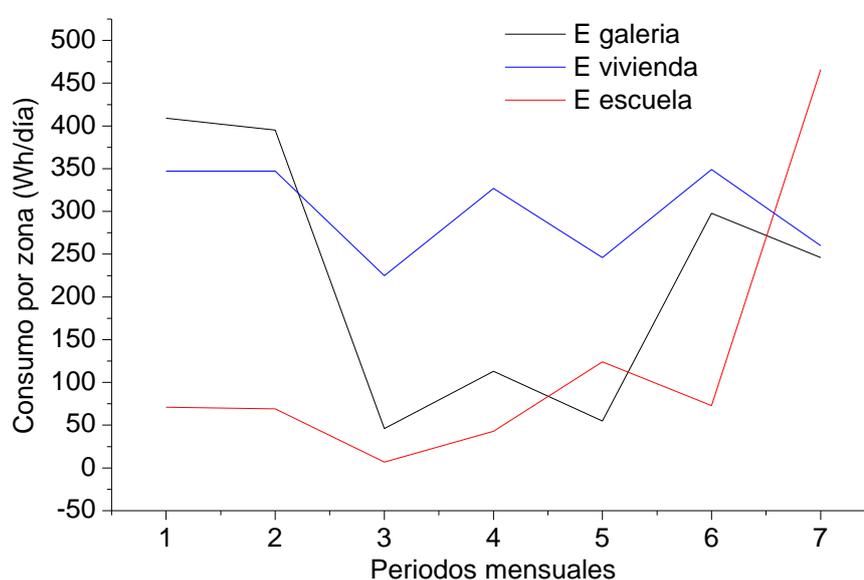


Figura 5: Promedios mensuales de datos registrados durante un total de 7 periodos.

En Corrientes, el GER se encargó de las principales intervenciones de mantenimiento de los SFA, sin que se haya podido seguir un ritmo continuo de visitas por diversas cuestiones relacionadas, principalmente, a la falta de recursos económicos destinados a tales actividades. A partir del mes de marzo de 2010, se implementó un cronograma de visitas con operaciones sistemáticas de mantenimiento y el compromiso de controlar por lo menos dos veces por año cada sistema. En la Tabla 3 se exponen los problemas más frecuentes encontrados durante las visitas realizadas en el 2010. La falta de líquido o electrolito en las baterías (el 74% de las escuelas) no tiene repercusión a corto plazo sobre el buen funcionamiento de los SFA, pero sí resulta muy importante, respecto a pérdidas precoces de capacidad en los acumuladores, como ya fue mencionado anteriormente. En segundo plano, aparecen fallas graves en los inversores, siendo el factor predominante la presencia de ranas dentro de los aparatos (figura 6). Desde la puesta en operación de los SFA, pocos reguladores de carga presentaron fallas, y en uno de los casos un sobrecalentamiento produjo el

derretimiento de la carcasa de un regulador sin la activación de los elementos de protección (Figura 7). En cuanto a los módulos fotovoltaicos, se ha observado a los dos años de operación una decoloración con un patrón característico en algunos módulos. La misma se produce a lo largo de la zona central de las celdas tal como se aprecia en la figura 7. De forma general, para la provincia de Corrientes, la selección de los diferentes elementos en el diseño de los SFA no resultó ser la mejor solución técnica, ya sea por falta de adaptación a las condiciones reales de operación de la zona, y por simples cuestiones de calidad (Bello, 2010).

Tabla 3: Problemas más frecuentes encontrados en los SFA de Corrientes durante los 6 primeros meses del año 2010 (ciertas escuelas recibieron 2 visitas).

Total de referencia	Casos de electrolitos "secos"	Inversores fuera de servicio	Reguladores de carga fuera de servicio	Escuelas actualmente sin energía	Robos parciales o totales
Cantidad	32	8	1	10	4
50 visitas	64 %	16 %	2 %	20 %	8 %
43 escuelas	74 %	19 %	2 %	23 %	9 %



Figura 6: Presencia de ranas dentro de un inversor quemado.

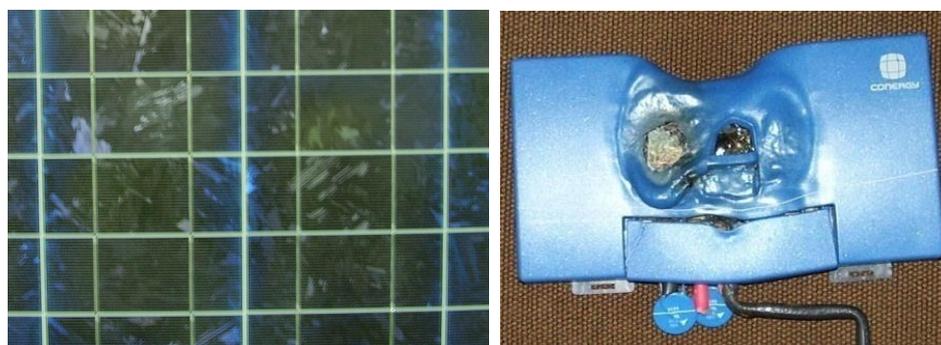


Figura 7: Deterioro visible de módulos FV y regulador de carga quemado.

A modo de comparación con Corrientes, se recabó información sobre mantenimiento y desperfectos en SFA instalados en otras provincias del Norte Argentino. En el caso del Chaco, de Salta, de Jujuy y de Tucumán, los sistemas instalados son tanto domiciliarios como destinados a escuelas (Tabla 2). Cada provincia presenta también diferencias en lo que respecta al clima. En el Chaco, la gran mayoría de las instalaciones se encuentran en el Impenetrable Chaqueño, región donde las temperaturas anuales registradas son casi las más altas del país. Este motivo provocó la necesidad de reemplazar una gran parte de los reguladores de carga en los SFA domiciliarios. La gestión del mantenimiento se hace a través de la Subsecretaria de Energía y Programas Especiales de la Provincia del Chaco, la cual contrata a la Cooperativa de Servicios Públicos del Norte Chaqueño de J. J. Castelli, para el mantenimiento de las instalaciones, con una preocupación actual centrada en el cambio de baterías por envejecimiento precoz no previsto. El primer SFA chaqueño se instaló en el año 2005, con unos 650 reclamos registrados para el año 2009 (34 % de los sistemas). Salta y Jujuy son otras provincias de importancia para este tipo de comparaciones, por ser unas de las primeras donde empezó a trabajar el PERMER. Además, se notan aportes significativos por parte de las entidades provinciales en la región, con 290 SFA domiciliarios instalados en Salta sin el PERMER y más de 1.000 en Jujuy. En Salta, la concesionaria es la Empresa de Servicios Eléctricos Dispersos S.A. (ESED). Según datos aportados por ella, durante los últimos años se registraron un promedio estimativo de 100 reclamos por año, representando el 15 % de los sistemas. En Jujuy, los datos obtenidos por la Empresa Jujeña de Sistemas Energéticos Dispersos S.A. (EJSEDSA) dan un estado actual de 4.341 SFA (más del doble de lo informado por el PERMER en el 2009), por un total de 449KWp.

En las provincias de Misiones y Tucumán, los gobiernos provinciales no asumieron de la misma manera la organización del mantenimiento necesario para mantener en operación los SFA instalados por el PERMER. En la provincia de Misiones, 42 salones comunitarios para las comunidades aborígenes guaraníes y 24 escuelas rurales recibieron sistemas fotovoltaicos, sin que se pueda obtener información concreta de sus actuales estados, tanto, por la vía de la distribuidora eléctrica, como por el intermedio del equipo encargado de las infraestructuras escolares. En Tucumán, la encargada del mantenimiento de los 250 SFA domiciliarios instalados en el 2001 es la Empresa de Distribución Eléctrica de Tucumán S.A. (EDET). Sin embargo, pueden emitirse dudas sobre la calidad del mantenimiento realizado, a base de un llamado de atención presentado dos años atrás desde la Unidad Ejecutora Provincial (UEP). Por lo que, Formosa, resulta ser la única provincia del Nordeste Argentino en no haber recibido la atención del PERMER, ni si quiera en las últimas licitaciones que prevén la instalación de más de 15.000 nuevos SFA domiciliarios en todo el país. Respecto a las provincias del Norte Argentino antes mencionadas, le corresponderían 1.000 SFA de

120Wp a Corrientes, 700 SFA de 100Wp al Chaco, 4856 SFA de 150Wp a Salta y 1682 SFA de 100Wp a Tucumán.

CONCLUSIÓN

El primer análisis, respecto a la situación particular de cada una de las fuentes tradicionales de energía, demuestra que las energías renovables van a tomar cada vez más importancia en la matriz energética mundial. Esta tendencia es notable a través de las transacciones financieras de las grandes empresas del sector energético, pero también por el uso casi sistemático de sistemas fotovoltaicos autónomos para la electrificación rural descentralizada en los países del Sur.

De la misma manera que en los países vecinos, el uso de SFA en Argentina es relativamente reciente. Por lo tanto, resulta primordial dar cuenta de las primeras experiencias en el sector, en previsión de una generalización de este tipo de sistemas. En zonas rurales aisladas del Nordeste Argentino, los SFA son generalmente las únicas fuentes de energía en las viviendas o escuelas donde se instalan, y si no logran un nivel de confiabilidad aceptable, pueden perder su credibilidad en las poblaciones rurales afectadas, perjudicando futuros programas de electrificación rural.

Un estudio del patrón de consumo en una escuela de la provincia de Corrientes da el ejemplo de un SFA ampliamente dimensionado, pero con pérdidas prematuras de su banco de baterías. Estadísticas del mantenimiento realizado en la provincia confirman que los acumuladores son, sin dudas, el punto débil de los SFA, y para evitar fallas en los sistemas, el remplazo de las baterías debe programarse con suficiente anticipación. Además, un modelo de inversor de las escuelas correntinas se vio afectado por la presencia de ranas, mientras que en el Chaco, son los reguladores de carga que resultaron inadaptados a las temperaturas extremas de la región. De cierta manera, una inadecuación de varios elementos perjudicó el funcionamiento y la confiabilidad de los SFA, generando también gastos no previstos en el mantenimiento. La provisión de fondos vía Banco Mundial implica de alguna manera para el PERMER entrar en un sistema economicista³. Esto explica que al momento de la toma de decisiones frente a diferentes arquitecturas para los SFA, se priorizan los factores económicos por sobre los de confiabilidad y de sustentabilidad.

En complemento, un inventario de los SFA instalados en cada provincia del Norte Argentino, asociado a sus distintas formas de organizar el mantenimiento, permite concluir que las provincias no se hacen cargo de forma sistemática de los sistemas solares entregados por el PERMER. Sin embargo, que se realice un mantenimiento mínimo es el punto clave de la confiabilidad de los SFA.

³ “Criterio o doctrina que concede a los factores económicos primacía sobre los de cualquier otra índole”, según el Diccionario de la Real Academia Española.

Faltaría incorporar a su organización desde el PERMER, para permitir también un necesario retorno de información desde el terreno hacia los equipos que planifican las futuras instalaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BELLO, Christophe; BUSSO, Arturo; VERA, Luis; CADENA, Carlos. **Factores que Afectan el Funcionamiento de Instalaciones Fotovoltaicas Autónomas en Regiones del Nordeste Argentino**. Congreso ASADES, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 14, 2010.

BELLO, Christophe et al. **Equipamiento de Adquisición de Datos para Sistemas Fotovoltaicos Autónomos Instalados en Escuelas de Corrientes**. Congreso Mundial de Ingeniería, Buenos Aires, 2010.

BELLO, Christophe et al. **Demanda Energética en una Escuela Rural Equipada con un Sistema Fotovoltaico Autónomo: un Caso de Estudio en la Provincia de Corrientes**. Congreso ASADES, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 15, 2011.

CADENA, Carlos. **¿Electrificación o energización? Mediante energías alternativas en zonas rurales**. Congreso ASADES, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 10, 2006.

DIAZ VILLAR, P. **Confiabilidad de los sistemas fotovoltaicos autónomos: aplicación a la electrificación rural**. Tesis doctoral, Madrid, 2003.

de GOUVELLO, Christophe; MAIGNE, Yves. **L'Electrification Rurale Décentralisée. Une chance pour les hommes, des techniques pour la planète**. Systèmes Solaires, Paris, 2000.

HEINBERG, Richard; FRIDLEY, Davis. **The end of cheap coal**. Nature, Vol 468, 2010.

LE MONDE DIPLOMATIQUE. **El Atlas III. Un mundo al revés**. Buenos Aires, 2009.

MOSQUERA, Marcelo. **Energía en el mundo - "La era de la escasez"**. Instituto de Estrategia Internacional. Cámara de Exportadores de la República Argentina. 2006.

OBSERV'ER. **Worldwide electricity production from renewable energy sources**. Ninth inventory, 2007.

PATZEK, Tadeusz; CROFT, Gregory. **A global coal production forecast with multi-Hubbert cycle analysis**. Energy 35, Elsevier, 2010.

PEREIRA, Marcio; FREITAS, Marcos; da SILVA Neilton. **Rural electrification and energy poverty: Empirical evidences from Brazil**. Renewable and Sustainable Energy Reviews 14 (1229–1240), 2010.

PERMER. **Provisión e instalación de equipos fotovoltaicos e instalación interna en viviendas rurales de diversas provincias**. Licitación internacional. 2009.

Red REEEP. **Energías renovables: diagnósticos, barreras y propuestas.** Secretaría de Energía y Fundación Bariloche, 2009.

SCARABÉES. **Boletín de conexión de la red de expertos en electrificación descentralizada,** N° 22, 2008.

SECRETARÍA DE ENERGÍA DE LA NACIÓN. **Proyecto PERMER, Manejo ambiental y social, Condiciones para su implementación en las provincias.** Ministerio de planificación, inversión pública y servicio de la República Argentina, Marzo 2009.

UNITED NATIONS. **Rural Population by Major Area, Region and Country, 1950-2050.** 2009

WORLD ENERGY COUNCIL. **World Energy Insight 2011.** Official Publication of the World Energy Council. 2011.