

06-009

## **PROBLEMS OF SUSTAINABILITY IN COOPERATION PROJECTS: THE CASE OF ISOLATED PHOTOVOLTAIC SYSTEMS IN THE SAHARAN REFUGEE CAMP**

*Muñoz Cerón, Emilio* <sup>(1)</sup>; *Fuentes Conde, Manuel* <sup>(2)</sup>; *Vivar, Marta* <sup>(2)</sup>; *Aguilera Tejero, Jorge* <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Universidad de Jaén, <sup>(2)</sup> Universidad De Jaén

Traditionally, autonomous photovoltaic systems have been the protagonists in the supply of energy in areas isolated from the electricity grid. It is for this reason that this type of systems are the preferred choice in rural electrification projects of international cooperation. Although photovoltaic systems have proved to be a mature technology with optimal durability prospects, there are frequent cases of failure of electrification projects once they have been implemented. This communication identifies the problems found in a quality control of several isolated photovoltaic systems in hospitals and health posts in the Saharan refugee camp. It has been detected that the great majority of this type of installations does not work properly, finding some systems also totally dismantled, even to the short time of reception, which comes to wonder about the sustainability of this type of projects.

*Keywords: electricity access; photovoltaic; training; cooperation project; sustainability*

## **PROBLEMAS DE SOSTENIBILIDAD EN PROYECTOS DE COOPERACIÓN: EL CASO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AISLADOS EN EL CAMPO DE REFUGIADOS DEL SÁHARA**

Tradicionalmente, los sistemas fotovoltaicos autónomos han sido los protagonistas en el suministro de energía en zonas aisladas de la red eléctrica. Es por ello, que este tipo de sistemas son los escogidos preferentemente en los proyectos de electrificación rural de cooperación internacional. A pesar de que los sistemas fotovoltaicos han mostrado ser una tecnología madura y con perspectivas de durabilidad óptimas, resultan frecuentes los casos de fracasos de proyectos de electrificación una vez que estos se han implementado. En esta comunicación se identifican los pormenores encontrados en un control de calidad de diversos sistemas fotovoltaicos aislados existentes en hospitales y postas sanitarias del campo de refugiados del Sáhara. Se ha detectado que la gran mayoría de este tipo de instalaciones no funciona correctamente, llegando a estar algunos sistemas totalmente desmantelados, incluso al poco tiempo de recepcionarse, lo que viene a cuestionar la sostenibilidad de este tipo de proyectos.

*Palabras clave: acceso eléctrico; fotovoltaico; capacitación; proyecto de cooperación; sostenibilidad*

Correspondencia: Emilio Muñoz Cerón emunoz@ujaen.es



©2020 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

## 1. Introducción

La trayectoria de penetración en el mercado energético que la tecnología solar fotovoltaica (FV) ha mostrado en los últimos años, es una muestra de que se trata de una tecnología madura con unos altos niveles de fiabilidad y durabilidad. Esto, junto con su carácter modular ha permitido que, tradicionalmente, los sistemas fotovoltaicos, mayoritariamente en su vertiente de autónomos, hayan sido los protagonistas en facilitar el suministro de energía, de una forma sostenible, a zonas aisladas de la red eléctrica (Cherni and Preston, 2007; Lillo et al., 2015; Mandelli et al., 2016).

Este acceso a la electricidad es especialmente relevante en los campamentos de refugiados, destacando que hasta 7 millones de personas desplazadas en dichos campamentos tienen acceso a la electricidad durante menos de 4 horas al día, y que, a diferencia de los proyectos tradicionales de electrificación rural, la energía no se considera un factor clave en las acciones humanitarias, ya que tradicionalmente se ha considerado una inversión a largo plazo, mientras que la previsión de duración de un campamento de refugiados se considera temporal (Lehne et al., 2016). No obstante, existen realidades de asentamientos para desplazados que han perdurado en el tiempo, como es el caso que atañe al presente manuscrito, ya que los campamentos saharauis en Argelia llevan establecidos desde 1975. En estos casos, las acciones humanitarias a corto plazo no son válidas y hay que garantizar el suministro de energía (Bellanca, 2014).

Uno de los principales problemas relacionados con el acceso a la energía en los campos de refugiados, es la falta de acceso a los recursos naturales y la libertad de movimiento, debido a la supuesta temporalidad de dicho asentamiento (Lyytinen, 2009). En general, el acceso a la energía es mediante madera recogida en las inmediaciones o la adquisición de combustible para iluminación, pero la población desplazada se encuentra a menudo en zonas donde el recurso forestal es limitado o inexistente, y las posibilidades de acceso a los combustibles son muy limitadas.

Particularizando en el caso del pueblo saharauí, a pesar de que originariamente los campamentos tenían un carácter provisional, el paso del tiempo en un ambiente climatológico hostil ha hecho necesaria la construcción de ciertas infraestructuras mínimas para dotar al entorno de unas condiciones básicas de habitabilidad. Entre ellas, las infraestructuras relacionadas con el suministro energético se consideran prioritarias para el desarrollo de cualquier sociedad. El suministro energético, particularizado en la generación eléctrica, es una actividad fundamental para el desarrollo de las tareas en centros educativos, administrativos y sanitarios.

Debido a la dispersión de los campamentos entre sí, y a la falta de recursos energéticos y económicos propios, se hace poco viable la planificación a largo plazo de un sistema eléctrico tradicional basado en centrales de generación eléctrica y una posterior distribución a los usuarios finales. En aquellas poblaciones que se encuentran situadas en zonas cercanas a Tinduf, que es la ciudad argelina más próxima a los campos, se dispone de suministro eléctrico mediante líneas de media tensión instaladas por el gobierno argelino. No obstante, existe una gran falta de continuidad y seguridad en el abastecimiento eléctrico, puesto que ante picos de demanda energética, estas regiones son las primeras que se desconectan de la red eléctrica. De ahí que tradicionalmente en los campamentos se recurra a soluciones que perpetúen el carácter temporal de los asentamientos y, además, permitan la generación eléctrica de forma descentralizada y sin interrupciones.

Por su accesibilidad, las fuentes energéticas descentralizadas más usadas en los campamentos son las basadas en pequeños generadores diésel y los sistemas fotovoltaicos autónomos (SFA), pero los primeros presentan problemas de suministro y calidad del

combustible fósil, por no mencionar la contaminación que producen. En relación a los sistemas fotovoltaicos, existen numerosas instalaciones donadas por distintas organizaciones, que se encuentran repartidas entre los centros administrativos, los centros sanitarios y algunos colegios, principalmente. El problema de estas instalaciones radica principalmente en la ausencia de una implantación sostenible, por la falta de planificación y detección de necesidades energéticas reales en unos casos, o por haber primado el carácter asistencialista de algunos proyectos de cooperación, obviando las futuras necesidades y demandas que la implantación de este tipo de sistemas energéticos tiene asociada. Las donaciones de estas instalaciones por diferentes ONGs han supuesto una dispersión y desigualdad en cuanto a la calidad y cantidad de las mismas, y en la mayoría de casos, una aparición temprana de problemas técnicos.

La realidad detectada es que, a pesar de la abundancia del recurso solar existente en la zona, existe un grave problema de sostenibilidad de las instalaciones fotovoltaicas por falta de recambios, y sobre todo de mano de obra cualificada. Se han tenido noticias de algunos sistemas que nunca se pusieron en marcha por desconocimiento de su funcionamiento, como es el caso del sistema FV instalado en un hospital en Dakhla. Resultan frecuentes los casos de fracasos de proyectos de electrificación una vez que estos se han implementado, y principalmente por no haber tenido en cuenta a la población local para su implementación

Por tanto, se estima oportuno una identificación de los sistemas FV autónomos que, instalados bajo diferentes proyectos de cooperación, se encuentran fuera de servicio o bajo condiciones de funcionamiento por debajo de lo esperado, centrándonos, por su impacto, en aquellos instalados en centros sanitarios u hospitales existentes en el lugar. Posteriormente, se propondrá un protocolo de actuación para la reparación y mantenimiento de dichas instalaciones generadoras de energía renovable.

La consecución de estos objetivos repercutirán en una mejora de la salud en la población, gracias al funcionamiento sin interrupciones del hospital y de los centros de atención primaria, así como permitirán reducir la dependencia de combustibles fósiles (gasoil principalmente) para la generación de electricidad que necesitan estos centros sanitarios.

A tenor de lo descrito en la presente introducción, en esta comunicación se identifican los pormenores encontrados en un control de calidad de diversos sistemas fotovoltaicos aislados existentes en hospitales y postas sanitarias del campo de refugiados del Sáhara, donde se ha sido testigo de que la gran mayoría de este tipo de instalaciones no funciona correctamente, llegando a estar algunos sistemas totalmente desmantelados, incluso al poco tiempo de su recepción.

Con esta comunicación se persigue el objetivo de destacar, mediante la identificación de varios casos reales, la importancia de realizar un seguimiento a los proyectos de electrificación rural, una vez estos han finalizado su instalación, así como hay que poner especial énfasis en la formación técnica de personal local para su mantenimiento.

## **2. Metodología**

En el marco del proyecto de cooperación en el que se ha realizado la presente comunicación, así como atendiendo al contexto existente en los campos de refugiados descritos en la introducción, se han realizado las siguientes fases de actuación:

- Identificación de problemas técnicos en las instalaciones existentes de sistemas fotovoltaicos autónomos ubicadas en centros sanitarios, así como la elaboración de un plan de acción para la reparación y mantenimiento de las instalaciones de energía existentes.

- Formación de la población para que adquieran los conocimientos básicos en relación con los sistemas de energía, realizando un uso correcto de los mismos e incrementando su vida útil. Para ello, se han propuesto diversas reuniones con los dirigentes locales para identificar cuál es su percepción de las necesidades energéticas en la comunidad.
- Formación y capacitación de personal local para el mantenimiento y reparación de las infraestructuras instaladas de energía fotovoltaica, así como la puesta en marcha de un laboratorio docente para la formación teórico-práctica de sistemas fotovoltaicos.

Centrándonos en la fase relacionada con el objeto de la presente comunicación, esto es, la identificación de los problemas de sostenibilidad de los sistemas FV aislados, el análisis de campo de las instalaciones fotovoltaicas en los centros de salud se llevó a cabo en 2015, visitando cuatro hospitales regionales, correspondientes a las wilayas de El Aiun, Awserd, Smara y Dakhla; una escuela de enfermería en Smara, y siete centros médicos de atención primaria.

Para la inspección analítica de campo de dichas instalaciones, se han seguido las recomendaciones publicadas en la literatura al respecto (Egido et al., 1998; Egido and Camino, 2008; Léna, 2013), resumiendo a continuación las tareas llevadas a cabo:

- Verificación del Diseño Original. Como paso previo a la inspección de las instalaciones fotovoltaicas, se estima necesario la revisión del diseño original del sistema, verificando que sea correcto y adecuado a las condiciones climáticas locales y las cargas de consumo esperadas. En este punto, las especificaciones de todos los componentes que conforman el sistema FV deben ser verificadas para garantizar su cumplimiento con el diseño inicial.
- Inspección del Generador Fotovoltaico. Los principales aspectos a revisar en este componente del sistema comienzan con su orientación y el ángulo de inclinación de los módulos fotovoltaicos, que como pauta general debe coincidir como máximo con la latitud del lugar más 10°. Posteriormente, hay que verificar si el acceso a los módulos fotovoltaicos, para la limpieza y la inspección de las cajas de conexión, es practicable. A continuación, es necesario comprobar si los módulos fotovoltaicos están correctamente fijados a la estructura y si su superficie está limpia, carente de sombras y a nivel constructivo, no están rotos o deteriorados.

Debido a que la ubicación de estos campamentos es en mitad del desierto, es fundamental evaluar los factores ambientales, tales como la exposición a altas temperaturas a lo largo del año o el polvo de la arena en la superficie de los módulos, siendo este último una de las principales causas de pérdida de energía en las plantas fotovoltaicas, especialmente en entornos adversos (Ghazi et al., 2014; Maghami et al., 2016; Mehmood et al., 2017). Finalmente, se debe revisar el estado del cableado de los módulos y las cajas de conexión de continua (DC), las cuales deben de estar selladas e intentando identificar cualquier signo de corrosión que pueda comprometer el rendimiento del sistema.

- Verificación del Resto del Sistema (BOS, del inglés Balance of the System). Los componentes del BOS incluyen el banco de baterías, el regulador de carga, los puntos de consumo, el cableado (excepto el propio del generador) y los inversores.

En cuanto al banco de baterías, el aspecto a inspeccionar en primer lugar es la identificación del tipo de batería y la capacidad de la misma, así como la existencia o no de interconexiones paralelas entre baterías y si hay algún tipo de protección que evite el cortocircuitado de los terminales. La presencia de oxidación y corrosión en los terminales y cableado, y la ubicación en una zona ventilada de los mismos, serán otros de los aspectos a inspeccionar. Finalmente, se asegurará que el nivel del electrolito esté por

encima del mínimo, que su densidad sea la correcta, esto es, entre 1,1 y 1,28 g/cm<sup>3</sup>, y dentro del estado de carga, que no haya baterías totalmente descargadas.

La inspección del regulador pasa por comprobar si su ubicación es la adecuada, (protegido del sol y de la lluvia), y con fácil acceso a los fusibles y terminales; que no haya signos de rotura o sobrecalentamiento del dispositivo; que los niveles de tensión sean los adecuados conforme a las características del fabricante; los fusibles en condiciones adecuadas, esto es, que no estén quemados ni cortocircuitados, y finalmente, que las interconexiones con el generador FV, las baterías y las cargas sean las adecuadas.

El cableado debe estar correctamente etiquetado y codificado por colores para identificar la polaridad, y adecuadamente fijado a las estructuras de soporte y a las paredes. Otro requisito importante es su sección mínima según las recomendaciones publicadas: desde el generador FV hasta el regulador de carga debe tener una sección mínima de 2,5 mm<sup>2</sup>, mientras que desde el regulador de carga hasta las baterías, ésta debe ser de 4 mm<sup>2</sup> como mínimo.

Por último, en el caso de existencia de cargas en alterna, el sistema FV dispondrá de un inversor, cuya inspección se limita a observar si el estado general es el adecuado (sin roturas ni señales de sobrecalentamiento) y que los fusibles estén en condiciones adecuadas de funcionamiento.

### **3. Resultados**

Tras la aplicación de la metodología descrita, los resultados identificados en los controles de calidad realizados a los diferentes sistemas FV ubicados en los centros sanitarios inspeccionados y que afectan a su durabilidad, y por extensión ponen en peligro la sostenibilidad de los proyectos bajo el cual se concibieron, se describen a continuación.

Tras la visita a los centros médicos de atención primaria, es importante señalar que todos los resultados, en cuanto al tipo de incidencias, son uniformes, lo que significa que se han encontrado los mismos problemas en todas las instalaciones. En general, el tamaño medio de los sistemas fotovoltaicos instalados en estos centros es de 325 Wp, compuesto por 5 módulos fotovoltaicos de una potencia nominal de 65 Wp, un grupo de baterías y un regulador, además de las cargas que principalmente son luminarias basadas en tubos fluorescentes y una pequeña nevera para el almacenamiento de medicamentos y vacunas. Según los informes del Ministerio de Salud de la República Árabe Saharaui Democrática (RASD) (Ministry of Health of RASD, 2010), la edad media de dichos sistemas es de 10 años, a excepción de las baterías, que se han cambiado al menos una vez en dicho periodo, aunque el promedio de edad oscila en torno a los 3 años.

Si bien la configuración de los SFA de estos centros sanitarios era muy homogénea entre los mismos, la realidad de los 4 hospitales regionales y la escuela de enfermería es bien distinta. En cuanto al tamaño, los sistemas fotovoltaicos oscilan entre los 960 Wp del hospital de Awserd, los 2,2 kWp de El Aiun, los 4,6 kWp de Dakhla o los 11,8 kWp del hospital regional de Smara, mientras que la instalación ubicada en la Escuela de Enfermería es de 1566 Wp. Esto significa que los sistemas FV son muy heterogéneos, incluyendo varios tipos de módulos FV, reguladores, baterías e inversores.

Esta falta de homogeneidad entre las instalaciones, que hubiera simplificado las labores de mantenimiento, suele ser debido a que los proyectos de cooperación que promovieron dichos proyectos fueron distintos y especialmente a que se han ejecutado programas de renovación y mejora de las instalaciones existentes sin un trabajo previo de campo, planificación o coordinación entre las diversas ONGs implicadas. Es por ello por lo que los sistemas fotovoltaicos tienen diferentes años de antigüedad: mientras que las instalaciones

FV de los hospitales de Dakhla y Smara tienen entre 3 y 8, la instalación del hospital de Awserd fue ejecutada hace 12 años y la Escuela de Enfermería ronda los 18-20 años de antigüedad. No obstante, a pesar de que las características principales del sistema FV difieren entre los hospitales, las instalaciones presentan problemas similares en lo que se refiere a la operación y mantenimiento de los componentes.

Siguiendo la misma distribución que las tareas identificadas en la metodología, el primer paso para analizar la sostenibilidad de este tipo de proyectos ha sido la verificación del diseño original.

En el lado positivo, en lo que a los centros de atención primaria se refiere, es que los diseños iniciales del sistema fotovoltaico fueron los adecuados de acuerdo con las condiciones climáticas del lugar y el consumo esperado de las cargas calculadas inicialmente. Otro aspecto positivo es la alta calidad de los componentes que se han utilizado para la confección de los sistemas fotovoltaicos.

No obstante, a pesar de que los sistemas fotovoltaicos se diseñaron originalmente de acuerdo con las condiciones climáticas y las cargas esperadas, estos diseños han sido modificados con posterioridad. El 100% de los sistemas revisados han sido cambiados, tal y como se muestra, a modo de ejemplo, en las figuras 1 y 2, que se corresponde con el hospital de Dakhla y la escuela de enfermería respectivamente.

**Figura 1: Cambios en el diseño de la instalación con respecto a lo originalmente recepcionado**



El cambio de baterías y/o cargas los principales componentes que han sido repuestos, y no como consecuencia de un proceso de mantenimiento normal. En general, las cargas conectadas se han incrementado en un 67% de las instalaciones, sin tener en cuenta la capacidad real del sistema fotovoltaico, lo que ha provocado que en más del 33% de los casos analizados, las cargas conectadas son excesivas para el diseño inicial. Este hecho influye negativamente en acortar de manera drástica la vida media de las baterías, que han pasado de tener una vida útil esperada de 7-9 años hasta los 2-3 años.

Esta sobrecarga del sistema suele ser el común denominador de la gran mayoría de los programas de electrificación rural con sistemas solares, especialmente cuando las necesidades de los usuarios finales no han sido adecuadamente evaluadas y no se ha proporcionado la formación adecuada al usuario (IEA-PVPS, 2014).

La modificación de los diseños originales también se ha producido a nivel de generador, con el objetivo de aumentar la potencia nominal total del sistema. No obstante, la falta de formación ha provocado que las modificaciones no hayan sido las correctas, siendo común



encontrar sistemas compuestos por módulos de diferentes características conectados indistintamente en serie y en paralelo en el mismo array, lo que provoca pérdidas de rendimiento y mal funcionamiento del generador fotovoltaico, causando puntos calientes.

Cabe destacar que en el caso de los hospitales, se ha observado que las cargas conectadas al generador son excesivas, y la inspección mostró que los consumos en continua (DC) se conectaban en algunos casos directamente a las baterías, sin pasar por el regulador de carga.

**Figura 2: Ampliaciones de instalaciones FV existentes sin control de calidad**



El resultado obtenido tras la ejecución de la segunda tarea del control de calidad en los centros de atención primaria, esto es, la inspección del generador fotovoltaico, destaca porque la orientación y los ángulos de inclinación son los adecuados, los módulos fotovoltaicos están correctamente anclados a la estructura, y por regla general, están en general en buenas condiciones, ya que solamente un 17% se encuentran totalmente dañados.

No obstante, se han identificado otros problemas que resultan ser críticos para el buen funcionamiento y mantenimiento de los sistemas FV, como es la ausencia, en el 100% de los casos, de un acceso fácil para la inspección de las cajas de conexión y la limpieza de los módulos. Esta última tarea básica de mantenimiento, a pesar de resultar crítica, máxime por el lugar de la instalación, no había sido ejecutada en ninguna de las instalaciones, las cuales presentaban elevados índices de suciedad por polvo.

Otro problema grave es el sombreado de los módulos por su propia estructura soporte y/u otros elementos externos, hecho que se daba también en el 100% de los sistemas analizados en los centros de salud. Resultan llamativos algunos ejemplos encontrados,

como el observado en la figura 3, donde la sombra se produce por una falta total de conocimiento de los usuarios de la instalación.

Finalmente, el último problema identificado está relacionado con las cajas de conexión que fueron abiertas para su inspección, estando muchas de ellas sin sellar y a menudo con arena dentro por carecer de la protección IP adecuada.

**Figura 3: “Auto-sombreado” del generador fotovoltaico**



La tarea 2 del protocolo de actuación descrito en la metodología, pero aplicada a los hospitales y a la escuela de enfermería, ha resultado en la identificación de las mismas deficiencias que las encontrados en los centros de salud, si bien, se detectó una diferencia y es en el estado de conservación de los módulos FV. Mientras que los ubicados en las postas sanitarias estaban normalmente en buenas condiciones, los pertenecientes al generador de las instalaciones de los hospitales y la escuela, que son más grandes en potencia, estaban, por norma general, en mal estado de conservación, teniendo todas las instalaciones células quemadas y/o partes rotas, principalmente el vidrio (figura 4). El hecho de tener algunos módulos con este defecto en sus células, es debido principalmente, a la interconexión de módulos de características diferentes y a las sombras existentes, lo que provoca la aparición de puntos calientes que dañan los módulos y reducen su rendimiento eléctrico, junto con su vida útil media hasta en 7 años, cuando los valores normales son de 20-25 años.

La verificación del resto del sistema (BOS) es el punto que ha registrado el mayor número de incidencias detectadas, y por tanto estos componentes suelen ser los responsables de la no sostenibilidad de los proyectos bajo los cuales se implementaron los sistemas analizados.

En primer lugar, las baterías de los centros de salud, por lo general estaban ubicadas adecuadamente en un lugar protegido y con ausencia de líquido derramado, sin embargo, algunos de los problemas detectados, y que deberían resolverse lo antes posible, han sido: etiquetado incorrecto o inexistente del tipo y capacidad de la batería, terminales oxidados (43% de los casos) y falta de medidas para evitar cortocircuitos accidentales entre terminales en un 86% de las instalaciones visitadas. En cualquier caso, los problemas más



graves detectados han sido la interconexión en paralelo de varias baterías (71%) y, en todos los SFA, los niveles de electrolito se encontraban por debajo del mínimo (ver figura 5).

**Figura 4: Estado de conservación de módulos FV ubicados en los hospitales regionales**



**Figura 5: Deficiencias detectadas en las baterías de los SFA**



En cuanto a las baterías de los hospitales, su estado de conservación ha sido mejor con respecto a las postas sanitarias. Por lo general, se encuentran en un lugar apropiado, adecuadamente interconectadas en serie, y no totalmente descargadas, como sucedía en la mitad de los casos de los centros sanitarios.

El siguiente elemento del BOS inspeccionado en cada instalación ha sido los reguladores de carga, que en líneas generales estaban en lugares adecuados, cubiertos y, por lo general, con fácil acceso a los fusibles y terminales. Principalmente se detectaron dos tipos de malas prácticas: por un lado, el estado de los fusibles, que estaban ausentes, quemados o en cortocircuito en un 67% de los sistemas analizados, mientras que el problema más grave detectado ha sido una incorrecta conexión, ya que el 83% de las instalaciones inspeccionadas no estaban conectados adecuadamente, bien porque había una conexión directa entre los módulos FV y las baterías, o porque las cargas de consumo se conectaban directamente a las baterías, ignorando por completo la función del regulador de carga.

El cableado de todas las instalaciones presenta serias deficiencias, principalmente relacionadas con los puntos de conexión, su fijación a la estructura y canalizaciones, así como la sección mínima requerida, tal y como se aprecia en la figura 6.

**Figura 6: Malas prácticas detectadas en el cableado de los SFA**



Por último, en las instalaciones donde había inversores, se ha comprobado que estos se encontraban funcionando correctamente, siendo los principales problemas los relacionados con la ausencia de fusibles y protecciones en algunos casos, y la conexión de potencia superior del generador a la de las especificaciones del fabricante del inversor, lo que se traduce en pérdidas de energía innecesarias.

En paralelo a los resultados técnicos descritos, se identifican y resumen a continuación algunos de los resultados más relevantes que han influido en la calidad y durabilidad de estos sistemas.

La falta de formación del personal local tanto para la operación en condiciones normales, como para el mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos, ha producido numerosas de estas incidencias que reducen drásticamente su vida útil: desde la falta de acceso al generador fotovoltaico para su limpieza e inspección, hasta la suciedad generalizada en todos los sistemas o el alto porcentaje de módulos que presentan puntos calientes que han reducido la vida útil de los módulos fotovoltaicos.

Por otro lado, los diseños iniciales de los sistemas fotovoltaicos han sido modificados a lo largo del tiempo sin tener en cuenta el tamaño de la instalación fotovoltaica, generalmente debido a la falta de formación sobre los sistemas fotovoltaicos. Estos cambios en el diseño original se han centrado fundamentalmente en un mayor número de cargas conectadas a los sistemas y que en general exceden sus características de potencia, es decir, los puntos de consumo han aumentado, pero el generador FV y el BOS no han sido redimensionados. También se han detectado ejemplos como que en algunas instalaciones, los inversores han sido sustituidos por otros de menor potencia nominal mientras las cargas han aumentado. Estos hechos resultan especialmente críticos en las instalaciones más grandes, como son los hospitales regionales, teniendo como principal consecuencia la reducción de la vida útil de las baterías, de 8-10 años a tan sólo 2 años en alguno de los ejemplos analizados.

Tal y como se ha mencionado, el cableado y la interconexión de los elementos también han sido objeto de muchas incidencias, especialmente causados tras la modificación de los sistemas sin un proyecto definido previamente. En algunos ejemplos, se han detectado conexiones directas entre las baterías y las cargas sin hacer uso del regulador. Otros problemas de interconexión han estado relacionados con los módulos FV, donde tras la

modificación del diseño original con el objetivo de aumentar la potencia total del sistema, la inspección ha mostrado que se han usado módulos fotovoltaicos con características técnicas diferentes conectados en serie y en paralelo, reduciendo así el rendimiento general del sistema y provocando la formación de puntos calientes. Otra de las incidencias relacionadas con la interconexión ha sido la unión en paralelo de varias baterías, hecho que es totalmente desaconsejable, ya que reduce drásticamente su vida útil. Por último, el cableado se ha realizado generalmente sin respetar las secciones estándar mínimas, sin las protecciones adecuadas y sin un mínimo criterio para su trazado.

#### **4. Conclusiones**

Tras una cuidadosa y exhaustiva inspección de los SFA ubicados en los centros sanitarios de los campamentos de refugiados saharauis, incluyendo tanto a los sistemas de mayor potencia, como son los instalados en cada uno de los cuatro hospitales regionales y la escuela de enfermería, así como aquellos pequeños sistemas que prestan servicio a los siete centros médicos comunitarios, la principal conclusión, relacionada con la identificación de los problemas técnicos asociados a la operación de los SFA es que, a pesar de que los componentes fotovoltaicos utilizados en las instalaciones suelen ser de muy alta calidad, el mantenimiento es prácticamente inexistente, y por tanto, la durabilidad de los mismos se ve drásticamente mermada, y con ello, la sostenibilidad de los proyectos que promovieron dichas instalaciones.

Para resolver este tipo de incidencias detectadas, sería necesario organizar un programa de formación sobre sistemas fotovoltaicos autónomos, que incluya tanto conceptos generales, especialmente de dimensionamiento e interconexión, así como de operación y mantenimiento y apropiado a las singularidades de la población objeto de la misma. Esto también se debe hacer cuando una nueva instalación o modificación es proyectada por cualquier ONG, al mismo tiempo que se realiza un profundo trabajo de campo. Estas acciones no sólo aumentarían la vida útil de los sistemas actualmente instalados, sino también la sostenibilidad de este tipo de proyectos, que se traduce en una mejora de las condiciones de vida de la población refugiada saharauí, que sigue dependiendo de la tecnología fotovoltaica para el suministro de electricidad en los centros de salud.

Otra conclusión destacable es la falta de cooperación entre los organismos y agencias de cooperación que trabajan en el terreno, lo que implica que a pesar de las buenas intenciones y de la importancia de los esfuerzos, estas ONGs suelen centrarse en una instalación en particular, la cual financian, se encargan del diseño y su instalación en el terreno y finalizando el proyecto sin tiempo para la formación del personal que se encargará de la operación diaria, poniendo una vez más en relieve la dificultad de la sostenibilidad de este tipo de proyectos, tal y como ha sucedido en otros ejemplos (IEA-PVPS, 2014).

Particularizando en el caso analizado, en general, se ha identificado que una misma instalación fotovoltaica correspondiente a un centro de atención primaria en concreto, ha sido objeto de diferentes financiaciones procedentes de varias ONGs sin coordinación entre ellas. Por tanto, sería necesario mejorar la coordinación de los esfuerzos realizados por estos organismos para que la cooperación pueda mantenerse en el tiempo.

#### **Agradecimientos**

Este trabajo ha sido posible gracias a la financiación de la 'Agencia Andaluza de Cooperación Internacional para el Desarrollo' (AACID) con el número de proyecto 2014DEC008.

## 5. Referencias

- Bellanca, R., 2014. Sustainable Energy Provision Among Displaced Populations: Policy and Practice, Chatham House: The Royal Institute of International Affairs.
- Cherni, J.A., Preston, F., 2007. Rural electrification under liberal reforms: the case of Peru. *J. Clean. Prod.* 15, 143–152. doi:10.1016/j.jclepro.2006.01.029
- Egido, M.A., Camino, M., 2008. Guía de Normas y protocolos Técnicos para la Electrificación Rural con Energías Renovables, Universidad Politécnica de Madrid.
- Egido, M.A., Lorenzo, E., Narvarte, L., 1998. Universal technical standard for solar home systems. *Prog. Photovoltaics Res. Appl.* 6, 315–324. doi:10.1002/(SICI)1099-159X(199809)6:5<315::AID-PIP229>3.0.CO;2-E
- Ghazi, S., Sayigh, A., Ip, K., 2014. Dust effect on flat surfaces – A review paper. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 33, 742–751. doi:10.1016/J.RSER.2014.02.016
- IEA-PVPS, 2014. PV Systems for Rural Health Facilities in Developing Areas - A completion of lessons learned.
- Lehne, J., Blyth, W., Lahn, G., Bazilian, M., Grafham, O., 2016. Energy services for refugees and displaced people. *Energy Strateg. Rev.* 13–14, 134–146. doi:10.1016/J.ESR.2016.08.008
- Léna, G., 2013. Rural Electrification with PV Hybrid Systems, IEA PVPS Task 9 – CLUB-ER.
- Lillo, P., Ferrer-Martí, L., Boni, A., Fernández-Baldor, Á., 2015. Assessing management models for off-grid renewable energy electrification projects using the Human Development approach: Case study in Peru. *Energy Sustain. Dev.* 25, 17–26. doi:10.1016/j.esd.2014.11.003
- Lyytinen, E., 2009. Household energy in refugee and IDP camps: Challenges and solutions for UNHCR, *New Issues in Refugee Research*.
- Maghami, M.R., Hizam, H., Gomes, C., Radzi, M.A., Rezadad, M.I., Hajighorbani, S., 2016. Power loss due to soiling on solar panel: A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 59, 1307–1316. doi:10.1016/J.RSER.2016.01.044
- Mandelli, S., Barbieri, J., Mereu, R., Colombo, E., 2016. Off-grid systems for rural electrification in developing countries: Definitions, classification and a comprehensive literature review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 58, 1621–1646. doi:10.1016/j.rser.2015.12.338
- Mehmood, U., Al-Sulaiman, F.A., Yilbas, B.S., 2017. Characterization of dust collected from PV modules in the area of Dhahran, Kingdom of Saudi Arabia, and its impact on protective transparent covers for photovoltaic applications. *Sol. Energy* 141, 203–209. doi:10.1016/J.SOLENER.2016.11.051
- Ministry of Health of RASD, 2010. Technical report on PV installations at health institutions. Rabouni, Tindouf, Algeria.

**Comunicación alineada con los  
Objetivos de Desarrollo Sostenible**

