

PATIO SOLAR EN EL CAMPUS DE LA REFORMA UNIVERSITARIA. PRIMER SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A RED DE LA PROVINCIA DEL CHACO.

Pilar, Claudia A.; Vera, Luis H; Roibón, María J.

Facultad de Arquitectura y Urbanismo y Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional del Nordeste - Av. Las Heras N° 727 – 3500
Resistencia – Provincia del Chaco - República Argentina.

claudiapilar2014@gmail.com; luis.horacio.vera@comunidad.unne.edu.ar; maijoroibon@hotmail.com

Palabras clave: energías renovables, prototipo experimental, interdisciplinariedad.

Resumen:

En el Campus de la Reforma Universitaria de 1918 de la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE), en agosto de 2014 se inauguró un “Patio Solar” que tiene por objetivo convertirse en un nodo de experimentación, investigación, capacitación, difusión y sensibilización a la comunidad sobre la importancia de las energías renovables.

Es la primera y (hasta el momento) única implementación de un Sistema Fotovoltaico Conectado a Red (SFCR) de la ciudad de Resistencia y de la Provincia del Chaco.

Se realizó en el marco del programa “Interconexión de Sistemas Fotovoltaicos a la Red Eléctrica en Ambientes Urbanos” otorgado en el marco de la convocatoria FITS 2010 – Energía Solar, del FONARSEC. Este programa tuvo por objetivo promover la implementación de SFCR sobre la hipótesis de la coexistencia de los sistemas tradicionales de generación de energía eléctrica con sistemas Fotovoltaicos distribuidos.

Como integrante del programa la UNNE ha construido este SFCR como nodo experimental consistente en una Cubierta Solar ubicada en un Patio Urbano, con el objeto de dar visibilidad social a la propuesta y acercar al vecino las energías renovables.

Desde su instalación se ha realizado el monitoreo de las principales variables que lo caracterizan, con la intención de evaluar su comportamiento e interacción en condiciones de operación con la red de distribución de energía eléctrica.

1. Introducción

Nuestro sistema energético se encuentra en crisis. Resultan innegables y elocuentes los efectos nocivos del uso irracional de los recursos energéticos fósiles y sus problemas ambientales asociados. La demanda mundial de energía que crece continuamente ha conducido al sistema energético mundial (centralizado y principalmente dependiente de fuentes finitas no renovables), a cambiar este paradigma a través de sistemas de abastecimiento descentralizados de energía que utilizan recursos renovables. En una de las vertientes de este nuevo modelo se encuentra la tecnología solar de generación distribuida integrada a entornos urbanos.

A nivel mundial, los países desarrollados, ya cuentan en su matriz energética con el aporte de la generación descentralizada a través de Sistemas Fotovoltaicos Conectados a la Red. Actualmente, en la República Argentina, se está implementando esta nueva política energética a través de la realización de los primeros SFCR experimentales demostrativos en entornos urbanos. Dentro de estas iniciativas, una de la más importante es llevada adelante por el FONARSEC a través de la convocatoria FITS 2010 – Energía Solar, que financia parcialmente el Proyecto “Interconexión de Sistemas Fotovoltaicos a la Red Eléctrica en Ambientes Urbanos”. Proyecto en el cual participa la Universidad Nacional del Nordeste realizando su aporte en el diseño, instalación y seguimiento de siete SFCR en provincias del Norte argentino. El Consorcio IRESUD es el coordinador de las acciones a nivel nacional.

El diseño del patio urbano fue elaborado sobre un abordaje integral considerando los distintos aspectos de la propuesta como ser: espacio arquitectónico y urbano, el paisaje, los elementos constructivos, las instalaciones conexas y las tecnologías que permitan la concreción del proyecto, en este contexto se propuso un espacio intermedio entre el campus y la ciudad, que permita vincular a los alumnos y a la ciudadanía a través de un espacio común, dotado del equipamiento necesario para realizar actividades de esparcimiento y recreo al aire libre, con una “cubierta solar” que visa de lugar de encuentro y acercamiento con la tecnología fotovoltaica.

En el diseño se incorporan criterios de sustentabilidad ambiental como ser la reutilización de troncos acopiados en el terreno (para las columnas de la pérgola y para el diseño de esculturas a modo de hito), la preservación de la “permeabilidad del suelo”, la construcción mediante Residuos de Construcción y Demolición (RCD) como ser losetas y bloques de hormigón, el uso de sistemas constructivos de bajo impacto ambiental y la conformación de espacios para la socialización, el esparcimiento, el estudio en un ambiente distendido y en contacto con la naturaleza, así como la concreción de un nodo experimental que permita monitorear los resultados de este proyecto demostrativo.

De esta manera, se plantea una experiencia aplicada innovadora que contribuye al conocimiento tecnológico necesario para impulsar un cambio de escala en el uso de la energía solar, mediante un trabajo interdisciplinario de distintas áreas de la Universidad de las Facultades de Arquitectura, Ingeniería y Ciencias Exactas, Naturales y Agrimensura.

2. Propósito de la experiencia

El proyecto se enmarca en el programa “Interconexión de Sistemas Fotovoltaicos a la Red Eléctrica en Ambientes Urbanos” otorgado en el marco de la convocatoria FITS 2010 – Energía Solar, del FONARSEC. Es impulsado por el Consorcio público privado, denominado IRESUD, en el cual participan: CNEA –Dpto. Energía Solar, UNSAM –Esc. C&T y GESTEC-Esc. E&N, Aldar S.A., Edenor S.A., Eurotec S.R.L., Q-Max S.R.L., Tyco S.A y la Universidad Nacional del Nordeste, que es la encargada de coordinar el trabajo de instituciones públicas del Norte.

El programa tiene por objeto introducir en el país tecnologías asociadas con la interconexión a la red eléctrica, en áreas urbanas y periurbanas, de sistemas solares fotovoltaicos distribuidos, contemplando para ello cuestiones técnicas, económicas, legales y regulatorias.

La propuesta se basa en la hipótesis de la coexistencia de los sistemas tradicionales de generación y distribución de energía eléctrica con sistemas Fotovoltaicos distribuidos, situación que representa un cambio conceptual en lo que hoy se entiende en la Argentina como una red de distribución eléctrica. De esta manera, se plantea como una experiencia que contribuirá al conocimiento tecnológico necesario para impulsar un cambio de escala en el uso de la energía solar para la generación de electricidad.

Este conocimiento tecnológico es de alta relevancia para el proceso de instalación de fuentes renovables de energía que permita complementar y reducir la utilización de los actuales sistemas de generación basados en combustibles fósiles, con el fin de reducir las emisiones contaminantes.

Las energías renovables actualmente ocupan un lugar importante en la matriz energética mundial, aportando aproximadamente un cuarto de la misma (REN 21, 2016).

El crecimiento ha sido sostenido en los últimos años e impulsado por la implementación de políticas de incentivos y de promoción para la generación de energía limpia.

Más de 100 países aplican políticas de apoyo a las energías renovables teniendo como principal fundamento las ventajas ambientales, pero también para fortalecer el empleo, el desarrollo económico y tecnológico (REN21, 2016).

En el concierto internacional las distintas organizaciones formales e informales de países mues-

tran un compromiso con el desarrollo sustentable, incluyendo en sus agendas objetivos referidos a las energías sostenibles.

Los sectores empresarios y de inversionistas también declaran su interés en el sector exhortando a los gobiernos a implementar políticas que apoyen a las energías renovables.

El sector fotovoltaico posee un ritmo de crecimiento mayor que el resto de las energías renovables. La tasa de crecimiento de la energía solar fotovoltaica para el período interanual 2014 – 2015 fue del 25%, ubicándose muy por encima de los demás tipos. En términos prácticos esto equivale a un número estimado de ciento ochenta y cinco millones de paneles solares.

En una década la capacidad mundial FV se incrementó diez (10) veces (REN 21, 2016) favorecido por las mejoras tecnológicas que ocasionaron una importante disminución en los costos de los módulos FV así como del resto del sistema (IRENA, 2016). Además de su reconocida faceta ambiental, la utilización de tecnología FV para la generación de energía eléctrica se ha vuelto competitiva desde el punto de vista económico y técnico para países desarrollados y paulatinamente para países en vías de desarrollo, siendo estos últimos los casos de mayor interés desde el punto de vista del mercado.

En este contexto, se puede afirmar que la utilización de tecnología fotovoltaica para la generación de energía eléctrica, se ha transformado en una opción competitiva desde el punto de vista económico, técnico y ambiental, para países desarrollados y no desarrollados, transformando a algunas regiones de estos últimos en el nuevo horizonte del mercado fotovoltaico.

3. Metodología de abordaje

La elaboración de un proyecto arquitectónico y técnico de un SFCR requiere una serie de análisis previos que proporcionen a la instalación, luego de su implementación, confiabilidad, seguridad, garantía de una generación adecuada de energía, así como un adecuado diseño que se ajuste a las condiciones del entorno. Un análisis de los posibles lugares de implantación del SFCR es fundamental ya que permite al proyectista determinar el tipo y lugar más adecuado.

Otras variables necesarias a considerar fueron que el sitio estuviera lo suficientemente despejado para que la incidencia solar sea plena y directa; que pudiera ubicarse en bordes urbanos en contacto con la trama de la ciudad; en un sitio de visibilidad para la promoción de la experiencia por un lado y el cuidado del equipamiento a partir del control de la mirada colectiva, entre otros aspectos. Todos estos factores hicieron que se descartara la posibilidad de implantar el sistema fotovoltaico en el Campus Resistencia, dado que se encuentra prácticamente saturado de edificaciones y posee una forestación frondosa, de gran porte, cuya sombra limitaría el adecuado rendimiento del sistema fotovoltaico instalado.

Estas consideraciones, sumadas al hecho de la necesidad de control y monitoreo del sistema, fueron las razones que condujeron a la instalación del SFCR en el predio del Campus de la Reforma Universitaria de la UNNE, en el que se encuentra el departamento de Electricidad de la Facultad de Ingeniería.

En las Fig. 1 puede apreciarse el sitio de implementación del SFCR, cuyas coordenadas son Latitud 27°28'2.86"S, Longitud 58°58'57.15"O



Figura 1. Implantación del Campus Resistencia y Campus de la Reforma Universitaria de la Universidad Nacional del Nordeste en la trama urbana de la ciudad de Resistencia. Fuente: Imagen de Google Earth reelaboración propia.

Luego de la definición del lugar de implantación se inició la etapa de definición de pautas y toma de partido. Entre las principales pautas se destaca:

- Usar los paneles solares para generar un espacio útil (otras posibles aplicaciones sería en un techo de edificio existente o apoyado en el suelo, con las inclinaciones adecuadas). Por ello se delinea la propuesta de trabajarlo como una “cubierta solar”, como espacio semicubierto, que refuerce la idea de lugar.
- Ubicarlo en un sitio altamente visible para que tenga un efecto demostrativo en la comunidad. Por ello se eligió la esquina de la avenida Castellí en intersección con la calle Dr. Ramírez, que es la más visible del Campus de la Reforma y es el punto en el que se aproximan los vértices de ambos campus.
- Complementar la “cubierta solar” con un espacio verde exterior de esparcimiento, construido con técnicas y materiales respetuosos del ambiente, generando un “patio urbano” que sea parcialmente brindado al espacio público de la ciudad. De esta manera la universidad trasciende los límites de su “campus” y se vincula de forma tangible con su entorno.
- Fusionar las actividades de investigación científico – tecnológicas con acciones de educación ambiental, difusión y concientización de la comunidad universitaria y la ciudadanía en su conjunto.

A partir de estas pautas se desarrollaron las primeras ideas de partido que luego se ajustaron a nivel de anteproyecto.

En la figuras 2 se muestra una de las imágenes a nivel de anteproyecto, en los que se observa la propuesta integradora del campus con el entorno próximo.



Figura 2: Perspectiva del sector.

Se observa la interacción con el perímetro y la propuesta brindada al barrio.

Fuente: elaboración propia.

Render: Fernando Alberto.

4. Resultados obtenidos

Desde el punto de vista constructivo la propuesta se basa en criterios de racionalidad, modularidad y economía. La cubierta está conformada por un arreglo de doce paneles fotovoltaicos (figura 3), cuyas características técnicas son especificadas en la Tabla 1. La instalación está compuesta por un arreglo FV de 2,88 kW. El espacio ocupado por los módulos fotovoltaicos se limita a la cubierta de una estructura del tipo “pérgola”, con caída en una sola dirección, cubriendo una superficie total de 20 m²

El arreglo se encuentra apoyado sobre una estructura de perfiles de chapa en voladizo y las columnas se materializan reutilizando troncos acopiados en el terreno. La madera resulta un material orgánico, sustentable, cuya producción y transformación requiere de mucha menos energía e impactos ambientales que otros materiales usados habitualmente (hormigón armado o metal). A su vez, desde el punto de vista estético se trabaja con el contraste entre lo muy pulido (paneles fotovoltaicos) en contraposición a la rusticidad de las columnas de madera.



Figura 3: Fotografía de la cubierta solar en su proceso constructivo.

Fuente: elaboración propia.

Los 12 módulos se conectan eléctricamente en serie, con una inclinación de 20° sobre la horizontal, y un azimut de 0° (Norte Geográfico), resultando, pérdida por orientación estimada: 0% y pérdida por sombras circundantes: < 5 % (debido a sombras de edificios que se proyectan desde el Oeste).

Tabla 1: Características técnicas de los módulos que conforman el sistema.

Características	SolarWorld SW240 Poly
Potencia Nominal	240 W
Tensión Circuito Abierto (<u>V_{oc}</u>)	37.2 V
Corriente Cortocircuito (<u>I_{sc}</u>)	8.44 A
Tensión Pot. Máxima (<u>V_{max}</u>)	30,2 V
Corriente Máx. Pot. (<u>I_{max}</u>)	7.96 A
Eficiencia	14.3%
Dimensiones	1.675 × 1.001 × 31 mm
Peso	21,2Kg
Tensión Máx. Sistema	1000 V

Fuente: [Solarworld datasheet](#) (2014)

En la Figura 4 se presentan los tableros de comando junto con el inversor para conexión a la red (en el medio de la figura) que se encarga de recibir la corriente continua proveniente de los módulos y convertirla en corriente alterna para ser inyectada en la red; equipos que se encuentran ubicados dentro del departamento de electricidad y electrónica.

En los tableros se encuentran los elementos necesarios para el comando y protección del sistema. El tablero a la izquierda del inversor es el encargado de conectar el ingreso de energía en corriente continua; dicho tablero posee un seccionador bajo carga con fusibles, varistores para protección de descargas atmosféricas.

En el tablero de corriente alterna, a la izquierda del inversor, posee las protecciones domiciliarias convencionales, y un medidor de energía instalado por la empresa SECHEEP.

Por ser un sistema experimental es de suma importancia monitorear las variables que influyen en su comportamiento. Por esta razón se realiza la medición de irradiancia y temperatura a partir de una Celda de Silicio encapsulada, con características similares a las de los módulos, que envían las señales de tensión a un Datalogger de 16 bits con 8 entradas analógicas. El cual interpreta la señal de los sensores, los comunica y guarda en una PC.

En la PC, se realiza la interpretación de las señales para traducirlas a irradiancia o temperatura, según corresponda. Esta tarea, la realiza un software desarrollado en Visual Basic específicamente para ese fin. Los datos son medidos minuto a minuto, integrados y guardados en promedios horarios.

De esta forma se tiene una caracterización completa del comportamiento del sistema en diferentes condiciones de operación.



Figura 4: Tableros eléctricos del SFCR donde se observan la caja con protecciones de AC, inversor, caja con protecciones CC, datalogger y PC para almacenamiento de datos.

El solado se diseñó en “bandejas” para preservar la “permeabilidad del suelo” y cuya propuesta formal remite a la modularidad y proporciones de los paneles fotovoltaicos. Se materializaron mediante Residuos de Construcción y Demolición (RCD), básicamente losetas de descarte de los patios del Campus Resistencia de la Universidad Nacional del Nordeste, como puede observarse en la figura 9. Con el objeto de disminuir recortes (que significan un desperdicio de material, mayor insumo de mano de obra, mayor generación de volumen de residuos y mayor gasto energético) se tomó las dimensiones de la loseta (40 x 60) como la base de la modularidad adoptada para el diseño de las “bandejas” que utilizan solo piezas completas.

El sistema constructivo es un cordón perimetral que contiene una “cama de arena” sobre la cual se asientan las losetas y las juntas se sellan con una lechada de cemento. Este sistema constructivo permitiría el desmantelamiento de la construcción con un gasto energético mínimo, sin transformarse en un “pasivo ambiental”, con la posibilidad de reutilización de los materiales para nuevas instalaciones y sin generar un volumen de residuos y escombros. Por su parte los bancos y un tótem a modo de hito se realizarán reutilizando bloques de hormigón provenientes de la demolición de

un pequeño edificio que estaba ubicado dentro del predio.



Figura 5: fotografía aérea en la que se observa el diseño del espacio exterior de la cubierta solar. Fuente: elaboración propia.

Como se observa en la figura 5 la propuesta paisajística es sencilla, se basa en reforzar la ortogonalidad y la modularidad de todo el diseño. Se utilizaron especies resistentes al clima regional y de bajo mantenimiento.

La Municipalidad de la Ciudad de Resistencia, que apoyó esta iniciativa, a través de su Dirección de Paseos y Jardines, proveyó las especies y la mano de obra para la concreción de la propuesta paisajística (figura 6).



Figura 6: fotografía de la cubierta solar con la propuesta paisajística con especies altamente resistentes al clima muy cálido de la región. Fuente: elaboración propia.

El proyecto se inscribe en una exención de pago de tasa municipales a la ciudad de Resistencia gestionado por el Campus Resistencia de la UNNE como contraprestación de los “Servicios Ambientales” que brinda a la ciudad y en otra serie de acciones del Programa EcoCampus.

4.1. Monitoreo

Desde su instalación se ha realizado el monitoreo de las principales variables que lo caracterizan, con la intención de evaluar su comportamiento e interacción en condiciones de operación con la red de distribución de energía eléctrica.

La dinámica del sistema de monitoreo se basa en adquirir en forma paralela los valores de las variables eléctricas en diferentes nodos del sistema, y por otro las valores de variables climáticas. De esta forma se caracteriza los niveles de irradiancia en los cuales el sistema inyecta energía en la red, la cantidad y calidad de energía que se entrega, así como los eventos que provocan la desconexión del sistema (como ser fallas de tensión o frecuencia fuera de rango).

Con los parámetros que se midieron se determinó el factor de desempeño o rendimiento del SFCR, conocido en inglés como Performance Ratio (PR).

Resultados de 2 (dos) años de monitoreo muestran que tuvo un funcionamiento continuo sin

inconvenientes, hecho que destaca la confiabilidad que otorga el sistema. Se han comprobado algunas desconexiones asociados a cortes de energía y salida de frecuencia de la red, en los meses de octubre a diciembre, esta es la razón por la cual en estos meses se observa una reducción del PR, además de pérdidas localizadas debidas a sombras de edificios en el entorno.

Sobre la tasa de desempeño medida, se puede afirmar que se está frente a un sistema bien dimensionado que permite una generación eléctrica fotovoltaica de aproximadamente de 4320 kWh/año.

4.2. El aporte interdisciplinario

El proyecto permite articular el aporte de diferentes nutrientes disciplinares, partiendo desde la dimensión más técnicas y científicas, pasando por cuestiones paisajísticas y arquitectónicas, e impulsando acciones didácticas y sociales con la posibilidad de realizar actividades de capacitación y extensión en el nodo experimental.

La visión integral que permite el trabajo con profesionales provenientes de diferentes disciplinas resulta fundamental para la resolución de problemáticas reales, desde una perspectiva holística e interdisciplinaria.

La energía aparece como un tópico en el cual el abordaje interdisciplinario resulta indispensable, para lograr propuestas superadoras, que tiendan a la integración real de soluciones técnicas a las necesidades sociales y productivas considerando además la cuestión estética.

5. Conclusiones

La cubierta construida en diciembre de 2013 genera en promedio, durante los meses de verano, 13,2 kWh/día; valor de energía que equivale al consumo eléctrico diario del Departamento de Electricidad y Electrónica y de 2 salas de aula del edificio de Ingeniería.

A través del monitoreo de su funcionamiento se corroboró que la generación eléctrica fotovoltaica de la cubierta coincide con la hipótesis inicialmente planteada de 4.320 kWh/año.

Los puntos más sobresalientes del proyecto son los siguientes:

- Es la primera y única experiencia de la ciudad de Resistencia y del Chaco de implementación de un SFCR.
- Genera energía que disminuye el gasto del Campus de la UNNE sobre la red existente, en especial frente a la crisis energética que atraviesa el país y la región.
- Tiene un efecto demostrativo, acercando la energía fotovoltaica a la sociedad.
- Permite la experimentación y el avance en el estudio de la energía solar fotovoltaica.
- Es un espacio de interfase entre el campus y la ciudad, brindado al entorno.
- Colabora a mejorar un sector de la ciudad en consolidación.
- Está materializado mediante principios de sustentabilidad ambiental como ser la reutilización de materiales, la preservación de la permeabilidad del suelo y la incorporación de vegetación de distintas magnitudes y características perceptuales (colores, olores, texturas, etc) de bajo mantenimiento.
- Es un nuevo Servicio Ambiental que la Universidad Nacional del Nordeste brinda a la ciudad de Resistencia.

La “cubierta solar” tiene un importante “efecto demostrativo” tendiente a la difusión de la energía fotovoltaica (limpia, renovable y sustentable), mediante la incorporación del concepto de coexistencia de los sistemas tradicionales de generación y distribución de energía eléctrica, en un espacio útil para el esparcimiento y actividades académicas a cielo abierto.

De esta manera, se plantea una experiencia aplicada e innovadora que contribuye al conocimiento

tecnológico necesario para impulsar un cambio de escala en el uso de la energía solar, mediante un trabajo interdisciplinario de distintas áreas de la Universidad de las Facultades de Ingeniería, Arquitectura y Urbanismo y Ciencias Exactas, Naturales y Agrimensura de la Universidad Nacional del Nordeste.

6. Referencias Bibliográficas

BRAUNGART, Michael – MCDONOUGH, William. *Cradle to cradle. Rediseñando la forma en que hacemos las cosas*. McGraw Hill. España. 2005

HAWKEN, PAUL – LOVINS, AMORY Y LOVINS, HUNTER. *Capitalismo Natural. Creando la próxima Revolución Industrial*. Cultrix – Amana Key, San Pablo, Brasil, 1999.

EYRAS, R., DURAN, J.C. *Proyecto IRESUD: Interconexión de Sistemas Fotovoltaicos a la Red Eléctrica en Ambientes Urbanos*. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. 2013.

IEA-PVPS. *Trends in Photovoltaic Applications: Survey Report of Select IEA Countrys between 1992 and 2011*. 2012.

IEA-PVPS, International Energy Agency Photovoltaic Power System Programme. *A Snapshot Of Global Pv 1992 / 2012*. IEA PVPS Programme. 2013

IRENA International Renewable Energy Agency. *Estadísticas de energía renovable 2015*. 2016. Recuperado de www.irena.org

IRESUD *Convenio Asociativo Público Privado para desarrollar el proyecto: Interconexión de Sistemas Fotovoltaicos a la Red Eléctrica en Ambientes Urbanos*. 2011.

PHOTON Internacional *The Solar Power Magazine*. PV Políticas bear Fruit. Edición 06/2012.

REN21- Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. *Informe del Estado Global 2015 Energías Renovables*. 2016. Recuperado de www.ren21.net

ROIBON, Maria J.; PILAR, Claudia A.; VERA, Luis H. *Diseño de un patio urbano para la instalación experimental fotovoltaica en el campus de la reforma universitaria - UNNE*. En ADNea. *Arquitectura y Diseño del Nordeste argentino*. Vol. 3 N° 3, septiembre 2015. Facultad De Arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional del Nordeste. ISSN 2347-064X. 2015. pp. 161-169. Resistencia, Argentina.

SCORNIK, Carlos Osvaldo. *Diagnóstico Urbano Expositivo del Área Metropolitana del Gran Resistencia*. SUPCE-SUCCE. 1998