

## **GENERACIÓN DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN GRANDES SUPERFICIES CUBIERTAS DE LA CIUDAD DE PARANÁ, ENTRE RÍOS**

**G. Gareis, J. Stivanello, C. Maché, A. Nakasone, F. Cuestas, M. Benito, G. Parody, S. Cuestas, M. Hammerly**

Laboratorio de Energías Alternativas (LEA) - Universidad Tecnológica Nacional  
Facultad Regional Paraná (UTN-FRP) – Av. Almafuerde 1033 – CP E3100XAI – Paraná, Entre Ríos  
Tel. 054-343-4243054/4243694 – Fax. 54-343-4243589 – e-mail: lea@frp.utn.edu.ar

*Recibido 24/07/17, aceptado 22/09/17*

**RESUMEN:** El objetivo de este trabajo fue determinar la generación de energía eléctrica a través de plantas solares fotovoltaicas diseñadas sobre superficies cubiertas del parque industrial de la ciudad de Paraná. A partir de un relevamiento y selección de industrias con superficie cubierta mayor a 500 m<sup>2</sup> se identifican diferentes escenarios según la forma, inclinación y orientación de las cubiertas. A través del modelado de los escenarios con el software PVSyst se obtuvieron resultados de la productividad final ( $Y_F$ ) e influencia de la radiación sobre cada situación. Sobre un total de 113.142 m<sup>2</sup> se obtiene una generación de 22.014 MWh al año, con pérdidas del 10,7% en comparación con un diseño óptimo. Se concluye que en el área de estudio se debe comenzar a diseñar edificios con orientación y geometría óptima para incorporar sistemas fotovoltaicos y maximizar la producción de energía limpia y reducir el impacto ambiental.

**Palabras clave:** energía solar fotovoltaica, conexión a red, superficies cubiertas.

### **INTRODUCCION**

El estado argentino promociona las energías alternativas a través de la Ley N° 26.190: “Régimen de Fomento Nacional para el uso de Fuentes Renovables de Energía Destinada a la Producción de Energía Eléctrica”, que tiene como objetivo lograr una contribución de las fuentes renovables hasta alcanzar el 8% del consumo de energía eléctrica nacional, en el plazo de diez años (Ley N° 26.190, 2006). Sin embargo, de acuerdo con el Informe Anual 2015 de la Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico (CAMMESA), al 31 de diciembre de 2015, la potencia eléctrica instalada en el sistema argentino de interconexión (SADI) ascendía a 31.257 MW, estando conformada por: energía térmica 61%, hidráulica 36%, nuclear 3 %, eólica 1% y energía solar menos del 1%, valores muy por debajo del 8% esperado (CAMMESA, 2016). En consecuencia, en el mes de septiembre de 2015 se promulgó la ley N° 27.191, la cual propone modificaciones a la antes nombrada ley N° 26.190, estableciendo nuevos objetivos y obligaciones para el desarrollo de fuentes renovables de generación de energía eléctrica que apuntan a lograr una contribución de las fuentes de energías renovables del 8% hacia el 31 de diciembre de 2017 y del 20% en forma escalonada hacia el 31 de diciembre de 2025. A su vez, esta ley crea el Fondo Fiduciario de Energías Renovables (FODER) que tiene por objeto otorgar préstamos, realizar aportes de capital y otros instrumentos financieros aplicados a la ejecución de proyectos. Además, los grandes usuarios con demandas superiores a 300 kW deberán cumplir obligatoriamente con los objetivos indicados, autogenerando o contratando la compra de energía de fuentes renovables a un precio máximo de 113 USD/MWh. (Ley N° 27.191, 2015). A partir de las leyes vigentes, durante el año 2017 se incorporarán al SADI generadores eléctricos que utilizan energías alternativas, contribuyendo a la diversificación de la matriz energética del país. Esta incorporación afectará el funcionamiento y dinámica de las redes, aumentando el grado de complejidad, operación y gestión de las mismas. Particularmente, los sistemas FV representan una alternativa con gran potencial para actuar como generadores en redes de distribución y transmisión eléctrica en Argentina (Eyras y Durán, 2013).

Regionalmente, la provincia de Entre Ríos, incentiva la incorporación de energías renovables, específicamente la micro-generación a través del decreto N° 4315/16 MPIyS aprobado por el poder

ejecutivo provincial en marzo del año 2017. En el mismo se aprueba a usuarios conectados al servicio público de distribución de energía eléctrica de la provincia de Entre Ríos con potencias contratadas menores a 50 kW, a inyectar energía eléctrica en paralelo a la red a través de generadores que utilicen fuentes renovables de energía (Decreto N° 4315/16, 2016). El presente trabajo está enfocado en determinar la generación de energía eléctrica, producida por plantas solares fotovoltaicas (PSFV), de las grandes cubiertas de naves industriales existentes en el parque industrial de la ciudad de Paraná. En un plazo cercano, el decreto provincial N°4315/16 deberá ser extendido a medianos y grandes usuarios, para que cumplan lo estipulado en la ley N° 27.191, generando un 8% del equivalente de su consumo a través de fuentes renovables. Es imprescindible realizar estudios concretos en la región, determinando la situación actual y potencialidad de generación del sector industrial.

## **OBJETIVOS Y METODOLOGÍA**

El objetivo principal del trabajo consiste en determinar la capacidad de generación de energía eléctrica a través de PSFV proyectadas sobre cubiertas de naves industriales ubicadas en el parque industrial de la ciudad de Paraná, teniendo en cuenta, por un lado, niveles medios de radiación solar en la provincia de Entre Ríos y por otro lado la topología y orientación de las cubiertas. Los objetivos particulares cumplidos en la investigación fueron:

- Estimación de la irradiación solar en la provincia de Entre Ríos.
- Clasificación de cubiertas de naves industriales del parque industrial de la ciudad de Paraná.
- Determinación de topologías de naves industriales e identificación de escenarios.
- Modelado de los diferentes escenarios con el software PVSyst.
- Determinación de la energía generada para cada escenario.

La metodología utilizada para lograr los objetivos, fue principalmente analítica, conjugando conocimientos teóricos, información primaria y relevamientos in-situ, para luego evaluar los diferentes escenarios a través del software PVSyst (Mermoud y Viloz, 1992), llegando así a la estimación de la energía eléctrica producida a través de la evaluación de la productividad y pérdidas propias de los sistemas referente a la topología y orientación.

## **RECURSO SOLAR EN LA PROVINCIA DE ENTRE RÍOS**

Se evaluó la irradiación solar en los diecisiete departamentos que integran la provincia de Entre Ríos. En cada departamento se seleccionaron 5 puntos, ubicados en el norte, sur, este, oeste y centro del mismo, logrando un total de 85 puntos de evaluación en la provincia. Se tomaron los valores promedios de la irradiación solar global diaria sobre el plano horizontal,  $G_{dm(0)}$ , para cada mes, expresada en kilovatios hora por metro cuadrado ( $kWh/m^2$ ) de tres fuentes confiables, utilizadas a nivel nacional y mundial para la estimación de este parámetro, a saber:

- Atlas de Radiación Solar de la República Argentina (Grossi Gallegos y Righini, 2007) presentado por el Grupo de Estudios de la Radiación Solar (GERSolar). Facilita los valores de irradiación medios diarios para cada mes y discriminados por isolíneas zonales en todo el país.
- NASA-SSE (Surface meteorology and Solar Energy). Datos formulados a partir de satélites y post-análisis de la NASA teniendo un período de medición de 22 años (1983 - 2005). Los resultados se proporcionan para 1° de latitud por 1° grado de longitud ( $111 \times 111 \text{ km}^2$ ) de las celdas de la red de todo el mundo (NASA-SSE, 2017).
- Meteonorm 6.1. Datos obtenidos por interpolación de tres estaciones meteorológicas más cercanas al sitio a evaluar. Toma como período de medición 20 años (1981 - 2000) (Meteonorm 6.1, 2007).

Los principales resultados, luego del análisis de la información, se observan en la Figura 1. La provincia de Entre Ríos posee valores de irradiación que oscilan entre 2,34 y 6,80 kWh/m<sup>2</sup> para los meses de junio y diciembre respectivamente, con media anual de 4,64 kWh/m<sup>2</sup>, similares a los presentes en Barcelona, España (AEMET, 2012). Por otro lado, la provincia, tiene una extensión de norte a sur aproximada de 400 km por 200 km de este a oeste, comprendiendo una superficie de alrededor de 80.000 km<sup>2</sup>. En esta gran extensión territorial, se presentan diferencias de irradiación de hasta casi un 10% en relación a la media provincial. En la Figura 2 se observa la curva de irradiación media provincial, detallada en la Figura 1 conjuntamente con la curva correspondiente al Departamento Feliciano, ubicado al norte de la provincia; Departamento Paraná, zona de evaluación de la investigación, y para Victoria, ubicado al sur. En estos dos departamentos se observaron las mayores desviaciones con respecto a la media, presentando diferencia de hasta un 9% en el mes de julio, a su vez la diferencia entre los dos Departamentos, es de 17% para el mismo mes.

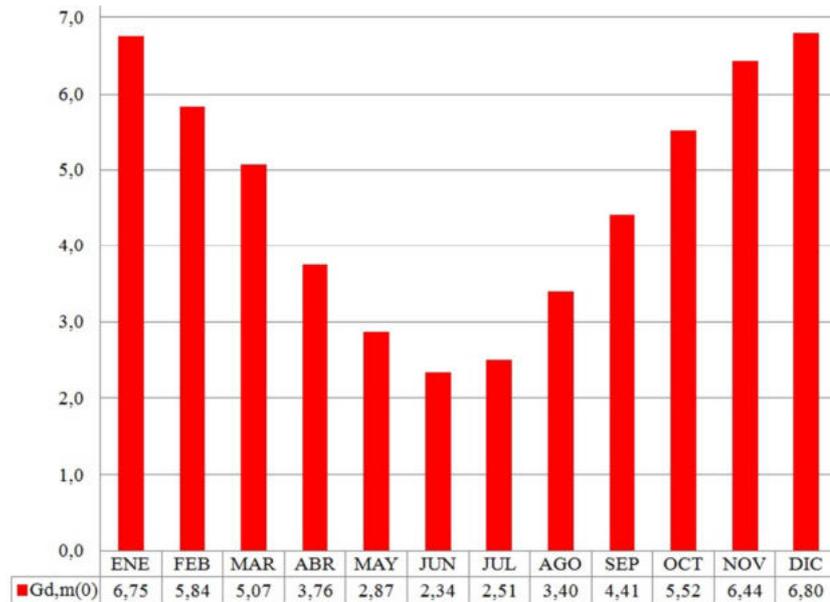


Figura 1: Irradiación solar global sobre el plano horizontal en Entre Ríos. Valores medios diarios para cada mes expresados en kWh/m<sup>2</sup>.

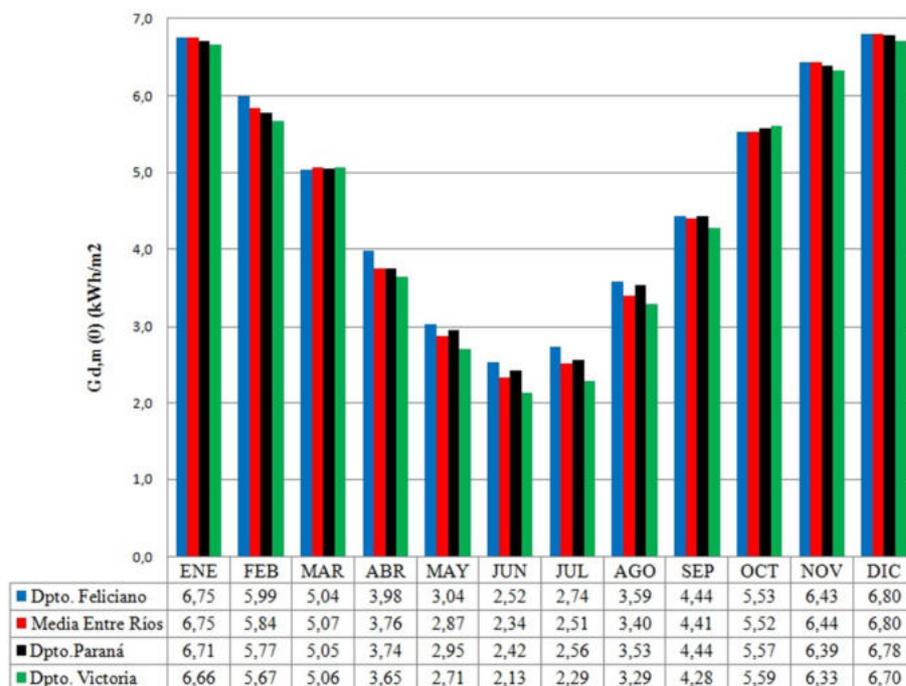


Figura 2: Comparación de la irradiación solar en diferentes Departamentos.

Los valores analizados en este estudio deben tomarse como estimaciones en cálculos iniciales de un dimensionamiento de una PSFV a causa de los errores, hasta un 10%, que poseen las fuentes de información utilizadas para el análisis de la irradiación (PVSyst, 2017). En una PSFV con conexión a red, es importante la irradiación solar global media anual, porque se optimiza el sistema para obtener la mayor producción durante todo el año, sin embargo, en una provincia como Entre Ríos, no se puede tomar los valores medios provinciales (Figura 1), ya que se observaron diferencias entre Departamentos de más de 15 % para los meses de invierno (ver Figura 2), que sumado a los errores de las fuentes de información, se podrían cometer errores de más del 25% en el dimensionamiento de una PSFV.

## **CARACTERIZACIÓN DE LAS CUBIERTAS DE NAVES INDUSTRIALES**

Con la ley nacional N° 27.191 y el decreto de la provincia de Entre Ríos N° 4315/16 MPIyS, en un corto plazo las empresas deberán comenzar a generar, con fuentes de energías renovables, el equivalente al 8% de su demanda de energía eléctrica. A partir de lo expuesto en el apartado anterior, donde se demostró valores de radiación similares a los de España, la energía FV tiene un gran potencial para desarrollarse como generadores alternativos en las industrias regionales. En la presente, se caracteriza y estudia la situación actual de las cubiertas de naves industriales existentes en el parque industrial de la ciudad de Paraná con el objetivo de determinar el potencial de generación FV del sector, teniendo en cuenta los sistemas constructivos, los cuales algunos tienen 40 años de antigüedad.

El parque industrial “General Belgrano” de la ciudad de Paraná, tiene como calles principales Antonio Salellas y Alejandro Izaguirre, con una superficie de aproximadamente 133 hectáreas con un total de 98 lotes y actualmente hay radicadas más de 50 empresas. En la Figura 3 se observa la delimitación realizada en el estudio (línea azul) y las cubiertas relevadas (en rojo) donde el área total es de 168,5 hectáreas, incluyendo superficie cubierta, calles y caminos, zonas anegadas por arroyo y lotes libres. En relación, el área cubierta estudiada es de quince hectáreas, comprendida por los techos de las empresas con una superficie mayor a 500 m<sup>2</sup>. A partir de la demarcación, se realizó una primera identificación de las superficies, su ubicación y orientación utilizando como herramienta el software Google Earth y Street View. Posteriormente se llevó a cabo un relevamiento in situ, para corroborar, corregir y completar la primera apreciación. Se clasificaron cuatro tipos de cubiertas de naves industriales predominantes y dos orientaciones, a saber:

- Cubierta inclinada: techo de chapa galvanizada trapezoidal con inclinación uniforme mínima menor a 15°.
- Cubierta a dos aguas: techo de chapa galvanizada trapezoidal a dos aguas con una inclinación entre 20° y 45°.
- Cubierta parabólica: techo de chapa galvanizada sinusoidal de forma parabólica.
- Cubierta diente de sierra: Techos de chapa galvanizada trapezoidal con forma de diente de sierra con inclinación entre 20° y 45°.
- Orientación este-oeste: las naves industriales se encuentran emplazadas longitudinalmente de este a oeste y transversalmente al norte geográfico.
- Orientación norte-sur: las naves industriales se encuentran emplazadas longitudinalmente de norte a sur y transversalmente al oeste geográfico.

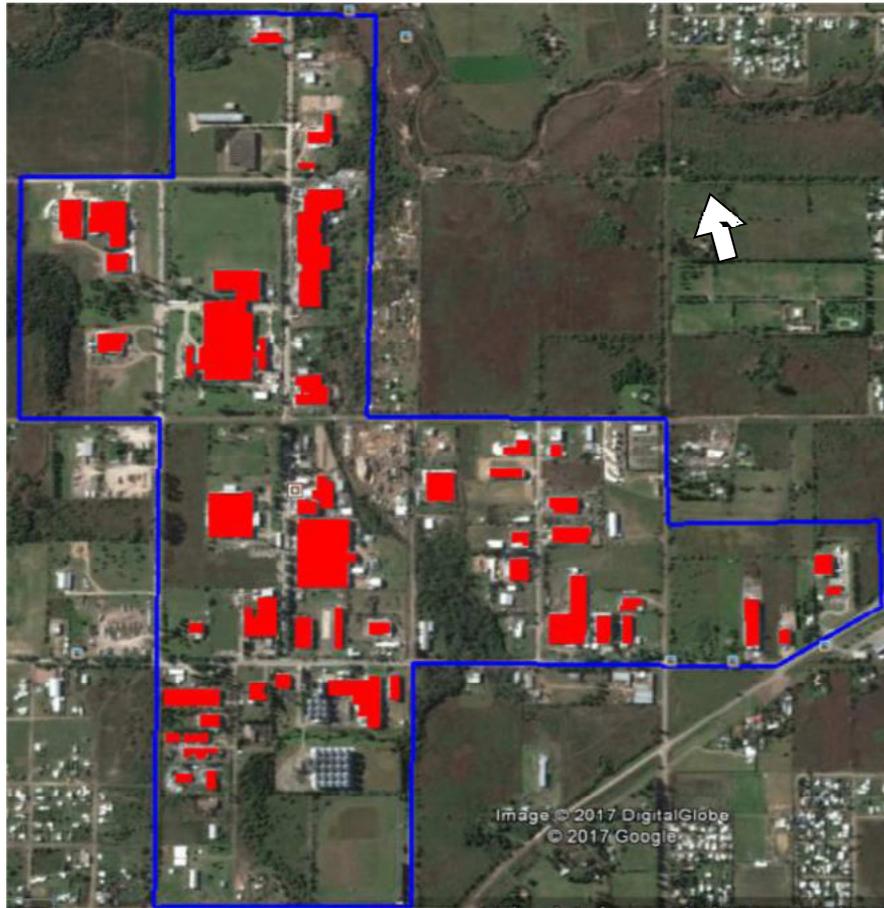


Figura 3: Parque industrial de Paraná, delimitación, área cubierta.

Se relevaron un total de 48 empresas, que poseen una superficie cubierta mayor a 500 m<sup>2</sup> y constituyen los 150.000 m<sup>2</sup> cubiertos. En la Figura 4 se observan la distribución por tipo de cubierta y orientación, donde según la primera clasificación, el techo parabólico es predominante con un 42%, seguido de cubiertas inclinadas y techos a dos aguas. Con respecto a la orientación es equitativa, con diferencia de un 12%. Se debe notar que una superficie de 36.964 m<sup>2</sup> aparece como no definido, el significado radica en el relevamiento de grandes empresas que poseen gran cantidad de naves industriales con diferentes tipos de techo y orientaciones, omitiéndose en el presente estudio por la complejidad.

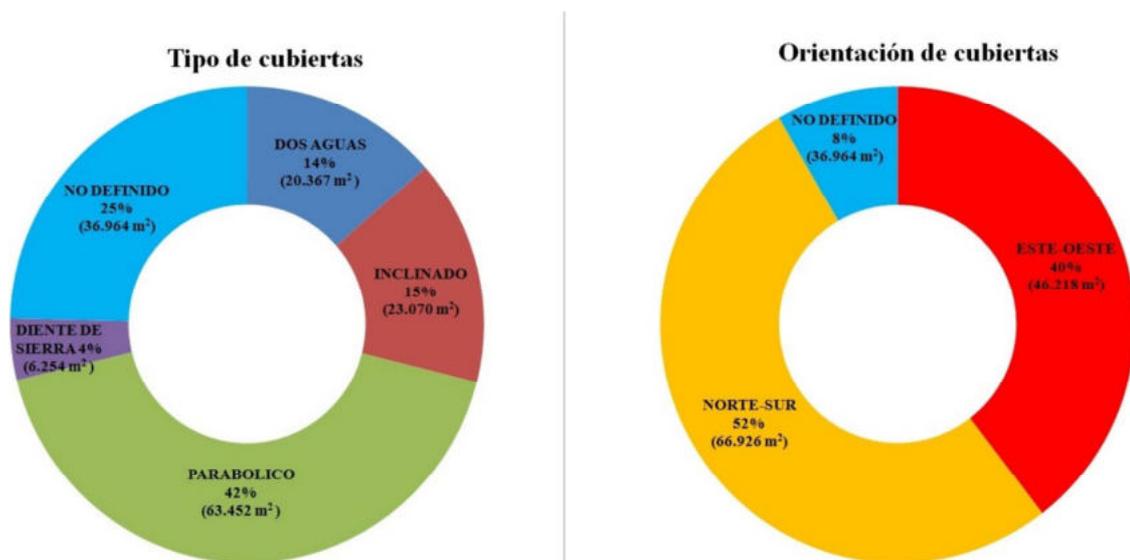


Figura 4: Clasificación de las cubiertas de naves industriales del parque industrial de Paraná.

Obviando la superficie no definida, se trabajó sobre un total de 113.142 m<sup>2</sup> (44 empresas), identificando ocho escenarios posibles, teniendo en cuenta el tipo de cubierta y la orientación. En la Figura 5 se observa la distribución del área cubierta de los ocho escenarios, concluyendo que, de las once hectáreas analizadas, el 53% corresponde a cubiertas parabólicas, el 20% a superficies inclinadas, el 23% a techos a dos aguas y solamente un 5% con forma de dientes de sierra.

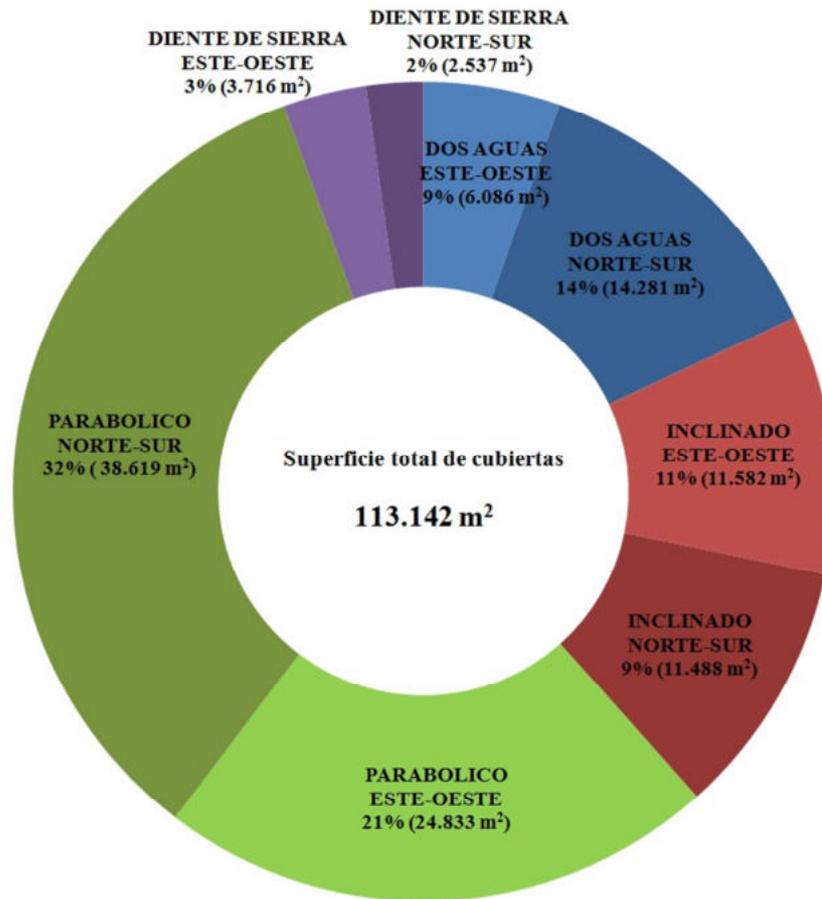


Figura 5: Escenarios de cubiertas.

## MODELIZADO DE LOS TIPOS DE CUBIERTAS

En la Figura 6 se observan los diferentes escenarios estudiados. Con la identificación de los mismos, se realizaron los correspondientes modelos de PSFV con conexión a red. En principio se diseñó con el sistema de inecuaciones que propone Lamigueiro (2013a) utilizando los siguientes equipos:

- Módulos FV utilizados: módulos de silicio policristalino de 250 Wp, MOD LVE60PS-250 (LV Energy, 2017).
- Inversores FV utilizados: inversor *string* trifásico de 20 kW para conexión a red, MOD TRIO-20.0-TL (ABB, 2017a).

Se determinó la configuración del campo FV con un número de veinte módulos FV en serie y cuatro ramas en paralelo, logrando un campo FV de 80 módulos en total (20 kWp) para un funcionamiento óptimo del inversor. Los paneles seleccionados poseen una superficie de 1,63 m<sup>2</sup>, y por cada kWp de potencia, se necesita una superficie de 6,52 m<sup>2</sup>/kWp. Por otro lado, cada PSFV de 20 kWp ocupará una superficie mínima de 130,4 m<sup>2</sup>. Los resultados fueron corroborados con el software ABB Stringsizer™ (ABB, 2017b).

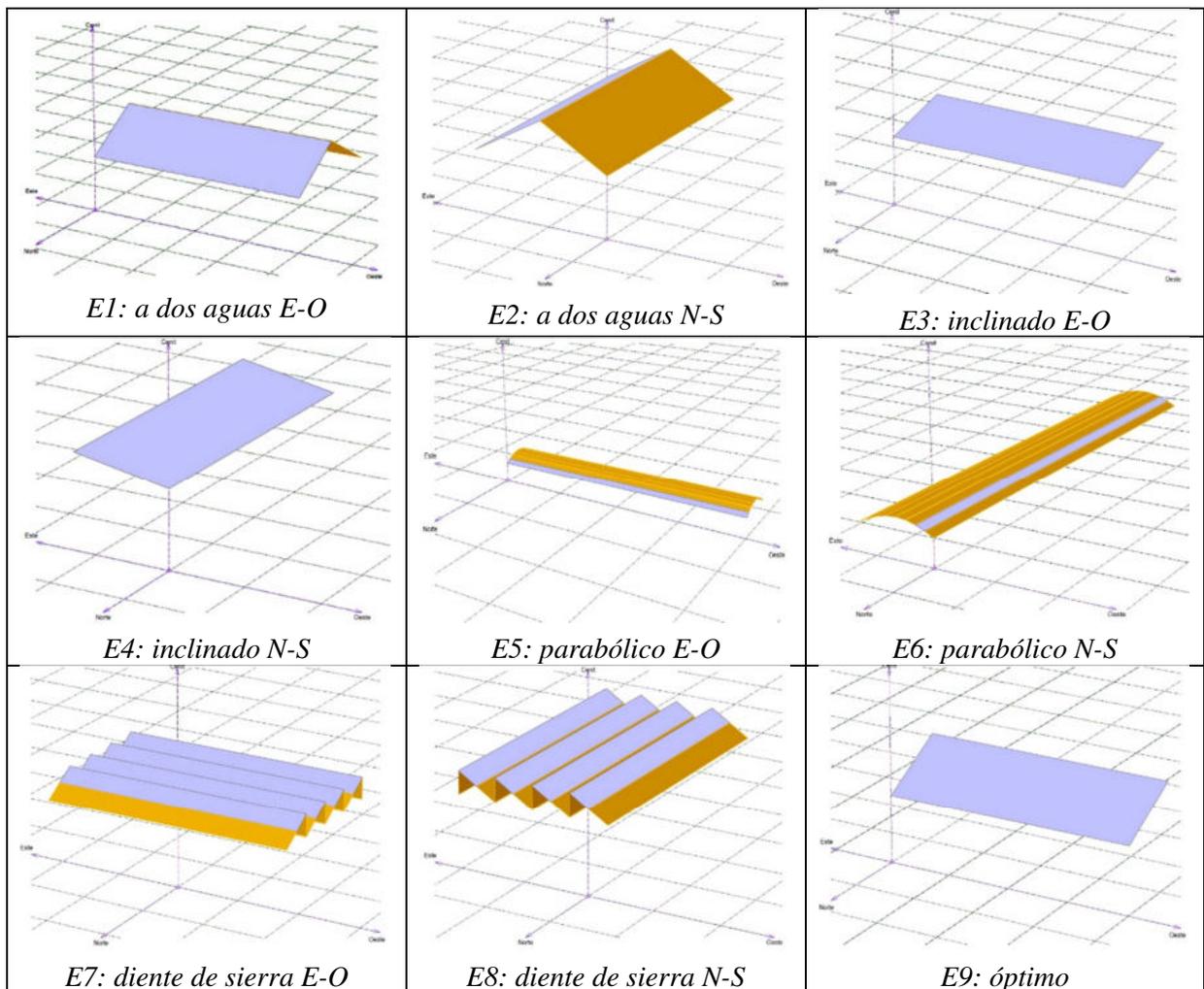


Figura 6: Escenarios de cubiertas de naves industriales modelados.

- E1: a dos aguas orientación este-oeste. Acimut<sup>1</sup> techo 1: 0° (norte), acimut techo 2: 180° (sur). Inclinación de 30° con respecto a la horizontal en los dos techos.
- E2: a dos aguas orientación norte-sur. Acimut techo 1: 90° (este), acimut techo 2: 270° (oeste). Inclinación de 30° con respecto a la horizontal en los dos techos.
- E3: inclinado orientación este-oeste. Acimut: 0° (norte). Inclinación de 10° con respecto a la horizontal.
- E4: inclinado orientación norte-sur. Acimut: 270° (oeste). Inclinación de 10° con respecto a la horizontal.
- E5: parabólico orientación este-oeste. Acimut: 0° (norte). Inclinación: división en ocho tramos con pendientes de 29°, 23°, 15°, 5°, -5°, -15°, -23° y -29° con respecto a la horizontal.
- E6: parabólico orientación norte-sur. Acimut: 270° (oeste). Inclinación: división en ocho tramos con pendientes de 29°, 23°, 15°, 5°, -5°, -15°, -23° y -29° con respecto a la horizontal.

<sup>1</sup>Acimut: longitud de arco medido sobre el horizonte celeste que forman el punto cardinal norte y la proyección vertical del astro sobre el horizonte del observador situado en alguna latitud. Se mide en grados desde el punto cardinal norte en el sentido de las agujas del reloj, es decir: norte (0°), este (90°), sur (180°) y oeste (270°).

- E7: diente de sierra orientación este-oeste. Acimut: 0° (norte). Inclinación de 30° con respecto a la horizontal. Separación entre filas de tres metros.
- E8: diente de sierra orientación norte-sur. Acimut: 270° (oeste). Inclinación de 30° con respecto a la horizontal. Separación entre filas de tres metros.
- E9: óptimo: inclinado con orientación de 0° (norte) e inclinación de 25° (Lamigueiro, 2013b).

El diseño contempla que los campos FV sean montados directamente sobre cada cubierta, utilizando toda la superficie del techo y no solamente la más propicia con acimut 0° (norte), respetando la inclinación de los techos determinada en cada escenario, la cual corresponde a valores medios relevados. A su vez, la investigación se centró solamente en el estudio de dos parámetros determinantes:

- Productividad final (Final Yield) ( $Y_F$ ): energía de corriente alterna (CA) final producida por el sistema FV por unidad de potencia pico instalada en un período de tiempo. Se expresa en  $kWh/kWp-tiempo$ , donde la unidad de tiempo puede ser día, mes o año.
- Pérdidas o ganancia de radiación solar en plano del generador FV: se define como el porcentaje en que varía la radiación solar en el plano del generador, con una orientación e inclinación determinada, con respecto a la irradiación solar sobre plano horizontal. Es positivo si el plano del generador aumenta la captación de energía solar y es negativo si disminuye la captación de energía.

Una PSFV posee muchos parámetros que determinan las pérdidas del sistema, y la variación de cada uno de ellos determina una variación en la  $Y_F$ . Si bien en el análisis del proyecto solo se evalúa las pérdidas por inclinación, en la Tabla 1 se observan las pérdidas detalladas de cada escenario.

Escenario	Pérdidas en porcentaje (%) – Negativo (-) pérdida / Positivo (+) ganancia						
	Irrad. plano inclinado	Sombras cercanas <sup>2</sup>	Irradiancia	Temp. módulos	Mismatch <sup>3</sup>	Óhmicas cableado <sup>3</sup>	Inversor <sup>3</sup>
E1: a dos aguas E-O	- 9,8	0,0	- 4,6	- 5,8	2,0	2,0	2,0
E2: a dos aguas N-S	- 7,8	0,0	- 4,1	- 6,2	2,0	2,0	2,0
E3: inclinado E-O	+ 4,6	0,0	- 3,6	- 6,5	2,0	2,0	2,0
E4: inclinado N-S	- 1,2	0,0	- 4,0	- 6,3	2,0	2,0	2,0
E5: parabólico E-O	- 4,5	0,0	- 4,2	- 6,0	2,0	2,0	2,0
E6: parabólico N-S	- 3,7	0,0	- 3,9	- 6,2	2,0	2,0	2,0
E7: diente sierra E-O	+ 6,6	0,0	- 3,6	- 6,4	2,0	2,0	2,0
E8: diente sierra N-S	- 8,2	0,0	- 4,3	- 6,3	2,0	2,0	2,0
E9: óptimo	+ 7,1	0,0	- 3,4	- 6,6	2,0	2,0	2,0

Tabla 1: Pérdidas involucradas en los sistemas FV de cada escenario.

## RESULTADOS

### Productividad final y pérdidas.

En la Figura 7 se observa la productividad final ( $Y_F$ ) para cada escenario. Sobre el eje de ordenadas izquierdo se encuentra la productividad y sobre el eje derecho la diferencia, en porcentaje, con respecto al escenario 9 (E9) que corresponde a la topología óptima. Se aprecia que la topología con mayor productividad, con diferencias de menos del 10% con respecto al caso óptimo, son los techos

<sup>2</sup>No se tiene en cuenta los sombreados cercanos (obstáculos, arboles, etc.) para ningún tipo de escenario.

<sup>3</sup>Pérdidas cuantificadas y establecidas como constantes en cada escenario, logrando un análisis real de los parámetros centrales del estudio (Lamigueiro, 2013c).

inclinados con acimut de 0° (norte) y 270° (oeste) y pendiente de 10°, así como también la topología diente de sierra con acimut 0°. Se destaca la productividad de los techos parabólicos, 1267 kWh/kWp.año para E6 y 1253 kWh/kWp.año para el escenario E5. Los escenarios E2 y E1, cubiertas a dos aguas, poseen los más bajos desempeños, con diferencias de alrededor del 15% con respecto a un techo óptimo.

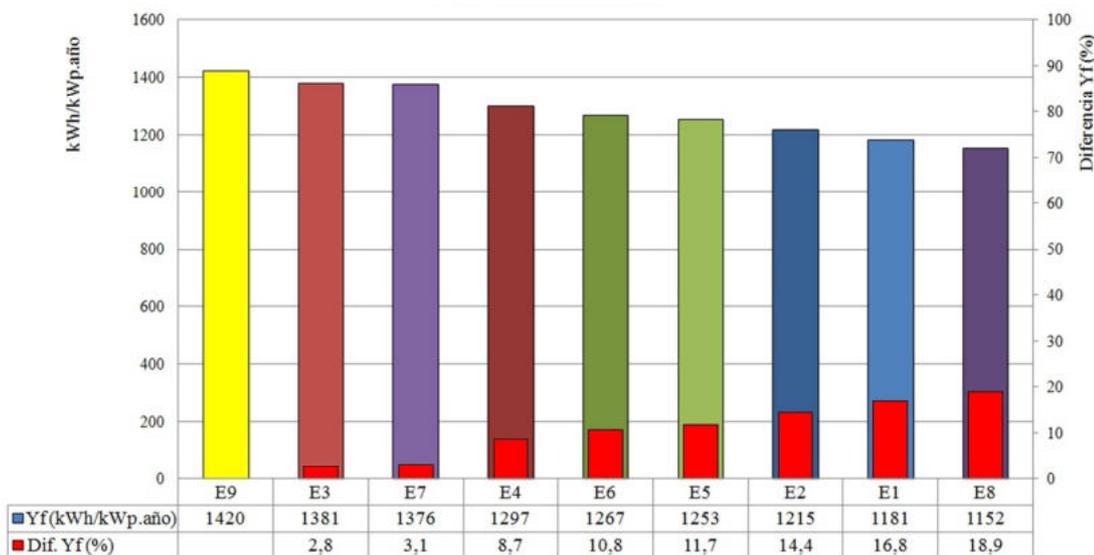


Figura 7: Productividad final de las PSFV de cada escenario.

La orientación de la nave industrial, la topología de la cubierta y la inclinación de sus cubiertas donde se proyectan los generadores FV, determinarán la irradiación recibida justamente en el plano generador, diferenciándose de la irradiación solar global sobre el plano horizontal,  $G_{dm(0)}$ , del sitio geográfico. En el caso de estudio se tomó en cuenta la  $G_{dm(0)}$  representada en la Figura 2: Dpto. Paraná. El valor medio anual de irradiación global sobre el plano horizontal,  $G_{m(0)}$ , es igual a 1641 kWh/m<sup>2</sup>. En la Figura 8 se identifica la diferencia existente entre la irradiación solar sobre el plano generador y el plano horizontal. Los valores se representan en porcentaje, en referencia a  $G_{m(0)}$ , con signo positivo si la radiación percibida es mayor y con signo negativo si es menor que la horizontal. En el escenario óptimo la “ganancia” de irradiación es de un 7,1%, y solo para los escenarios E7 (diente de sierra E-O con acimut 0°) y E3 (inclinado E-O con acimut 0°) la irradiación recibida sobre el plano del generador es mayor. En los restantes modelos analizados, las características de las cubiertas generan pérdidas en la irradiación solar recibida por los campos FV. Se observa que los techos a dos aguas, poseen pérdidas cercanas a un 10%.

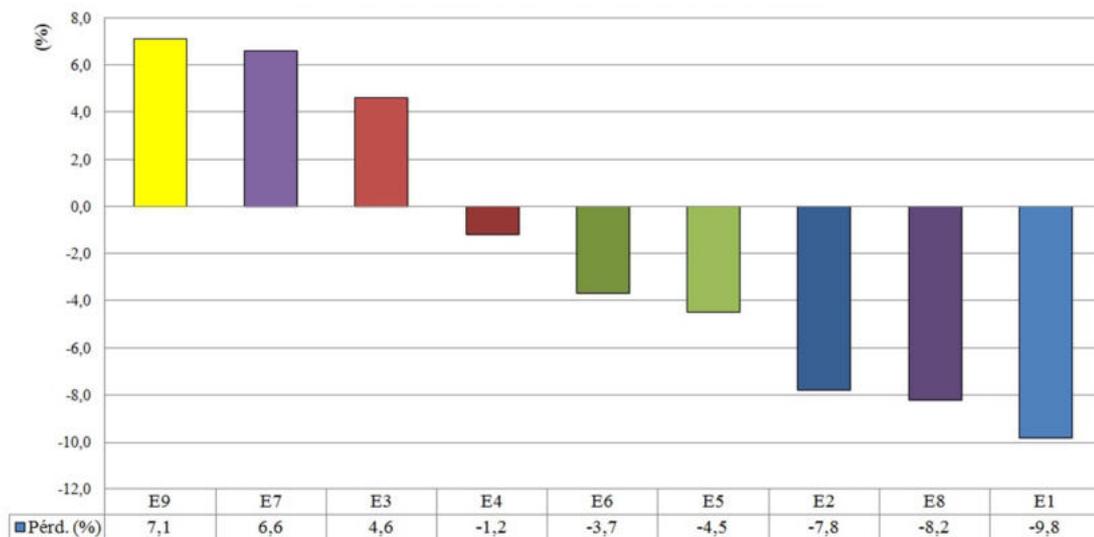


Figura 8: Pérdidas/ganancia de irradiación solar en el plano del generador.

### Capacidad de generación de energía eléctrica.

En la Tabla 2 se expone la potencia FV máxima<sup>4</sup> posible a instalar en cada escenario; considerando que un kWp de PSFV ocupa una superficie de 6,52 m<sup>2</sup>. A su vez se determina la capacidad de energía anual producible según la potencia FV y la productividad  $Y_F$ , de manera real y en caso de tener productividad óptima (toda la superficie sea inclinada con 25° y acimut 0°).

Escenario	Sup. (m <sup>2</sup> )	Potencia FV posible a instalar (kWp)	Productividad final $Y_F$ (kWh/kWp.año)		Energía anual producida (MWh/año)		
			Real	Óptima	Real	Óptima	Dif.
E1: a dos aguas E-O	6.086	933	1.181	1.420	1.103	1.325	223
E2: a dos aguas N-S	14.281	2.190	1.215	1.420	2.662	3.110	449
E3: inclinado E-O	11.582	1.776	1.381	1.420	2.453	2.522	69
E4: inclinado N-S	11.488	1.762	1.297	1.420	2.285	2.502	217
E5: parabólico E-O	24.833	3.809	1.253	1.420	4.774	5.408	635
E6: parabólico N-S	38.619	5.923	1.267	1.420	7.505	8.411	906
E7: diente sierra E-O	3.716	570	1.376	1.420	784	809	25
E8: diente sierra N-S	2.537	389	1.152	1.420	448	553	104
Totales	113.142	17.353			22.014	24.641	2.628

Tabla 2: Potencia FV máxima posible a instalar en cada tipo de cubierta y generación de energía.

Sobre una superficie total estudiada de 113.142 m<sup>2</sup>, correspondiente a ocho diferentes modelos de naves industriales del parque industrial, se estima una máxima potencia de generación FV posible a instalar de 17.353 kWp, que produciría 22.014 MWh en el año. En el caso hipotético que todas las cubiertas de naves industriales serían techos a un agua (inclinadas) con pendiente óptima de 25° y acimut 0° (norte), se generarían 24.641 MWh anuales, significando un 10,7% con respecto al caso de estudio. En la Figura 9 se observa la capacidad de energía eléctrica posible a producir por la PSFV diseñada sobre cada escenario, en colores, y en rojo la diferencia si toda la superficie de cada escenario se reemplazara por el E9 (óptimo). La diferencia de energía producida se evidencia en mayor medida en las cubiertas parabólicas; esto es debido a la superficie techada involucrada. Se debe notar que para los escenarios E1 y E2 (techos a dos aguas) la diferencia es muy notable, correspondiéndose con los resultados parciales del trabajo donde este tipo de cubiertas tienen grandes pérdidas por irradiación en el plano del generador FV.

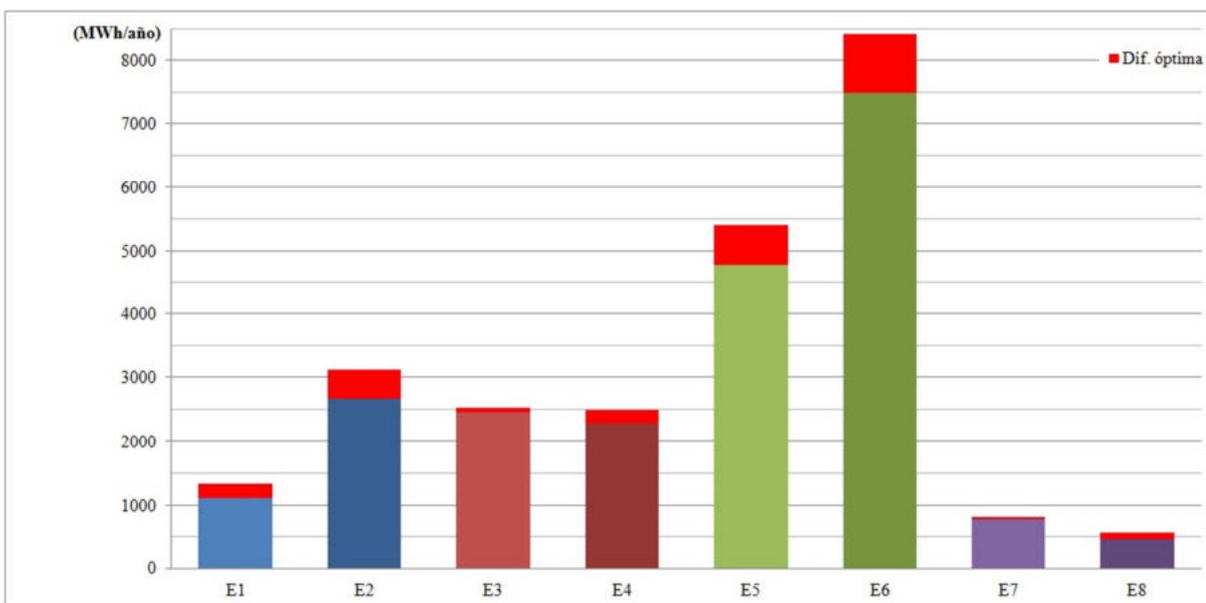


Figura 9: Generación de energía eléctrica a producir por PSFV en cada tipo de cubierta.

<sup>4</sup>Se entiende como potencia máxima al utilizar toda la superficie cubierta, sin tener en cuenta espacios inutilizables, sombras cercanas en los techos y problemas estructurales de la nave industrial entre otros.

## CONCLUSIONES

La provincia de Entre Ríos posee niveles de radiación muy buenos para aplicaciones fotovoltaicas, similares a los de Barcelona, España. Como valor de irradiación solar global diaria sobre el plano horizontal, se puede tomar para la provincia de Entre Ríos  $4,64 \text{ kWh/m}^2$  (valor medio diario anual). Sin embargo, por la extensión del territorio, para dimensionar una PSFV con conexión a red es necesario obtener los valores medios del lugar del emplazamiento, de lo contrario se puede incurrir en errores de más del 25% en el cálculo.

Más del 50% de las cubiertas de las naves industriales del parque industrial de la ciudad de Paraná, corresponden a una topología parabólica y en segundo lugar se encuentran los techos a dos aguas, seguidos de cubiertas inclinadas con pendientes suaves de  $10^\circ$  y con menor superficie existente se encuentran las naves industriales con techos en forma de diente de sierra.

Con la presente investigación se demostró que es perfectamente factible la instalación de sistemas FV en cubiertas del tipo parabólica, independientemente si la orientación de la nave industrial es este-oeste o norte-sur, la productividad final,  $Y_F$ , disminuirá entre un 10,8% y 11,7% y las pérdidas de radiación sobre el plano del generador serán menores al 5 % con respecto a la situación óptima (plano inclinado de  $25^\circ$  y acimut  $0^\circ$ ). Sin embargo, si en un techo a dos aguas se utiliza toda la superficie, la productividad es baja, con valores inferiores (respecto a situación óptima) a  $1200 \text{ kWh/kWp.año}$  (disminución mayor a un 14,4%) y pérdidas por radiación mayores a un 7,8%. El peor escenario o topología es la cubierta en forma de diente de sierra con orientación N-S, y acimut  $90^\circ$ , por la gran cantidad de sombra que recibe el campo FV durante el día.

La máxima generación de energía eléctrica a través de la implementación de PSFV en toda la superficie involucrada en el estudio, ocho escenarios, asciende a más de 22000 MWh al año. En el caso de que todas las superficies presentaran una inclinación de  $25^\circ$  con acimut de  $0^\circ$  (norte), la generación máxima rondaría los 25.000 MWh al año.

Como conclusión final es importante resaltar que los buenos niveles de radiación solar presentes en Entre Ríos, siendo los sistemas generadores FV excelente opción en la región para implementar en el sector industrial, aún en las naves industriales existentes, con lo cual pueden cumplir con la normativa nacional y provincial vigente. Sin embargo, los nuevos emplazamientos industriales, deben comenzar a incorporar en los proyectos la generación FV, logrando construir naves industriales con cubiertas óptimas para este tipo de tecnología, maximizando la producción de energía, reduciendo costos y ayudando al cambio climático.

Como trabajo a futuro se pretende modelar la red eléctrica del parque industrial, teniendo en cuenta los perfiles de carga de las empresas, modelando no solo el sistema de captación de energía a través de sistemas FV, sino que, sumando los dispositivos eléctricos como transformadores y líneas de baja tensión, resolviendo el verdadero impacto en el sector al implementar energía FV en un área industrial. Además, se incorporará para trabajos futuros el análisis de la colocación de generadores FV sobre suelo, existiendo mucho terreno descubierto en las empresas del parque industrial de Paraná.

## REFERENCIAS

- ABB (2017a). <http://new.abb.com/power-converters-inverters/es/inversores-solares/inversores-string/trifasicos/trio-20-0kw-27-6kw>
- ABB (2017b). <http://new.abb.com/power-converters-inverters/solar/software-tools/stringSizer>
- AEMET (2012). Atlas de Radiación Solar en España utilizando datos del SAF de Clima de EUMETSAT. Agencia Estatal de Meteorología española. Pp. 117. <http://aemet.es>
- CAMMESA (2016). Informe Anual 2015, p. 30. <http://portalweb.cammesa.com/default.aspx>
- Decreto N° 4315/16 MPIyS (2016). Poder Ejecutivo de la provincia de Entre Ríos.
- Eyras R. y Durán J. (2013). Proyecto IRESUD: Interconexión de sistemas fotovoltaicos a la red eléctrica en ambientes urbanos. En Encuentro Latinoamericano de Uso Racional y Eficiente de la Energía - ELUREE2013.

- Grossi Gallegos H. y Righini R. (2007). Atlas de Radiación Solar de la República Argentina. Grupo de Estudios de la Radiación Solar (GERSolar). <http://www.gersol.unlu.edu.ar>
- Lamigueiro O. P. (2013a). Energía Solar Fotovoltaica, pp. 77-80. Creative Commons, España.
- Lamigueiro O. P. (2013b). Energía Solar Fotovoltaica, p. 76. Creative Commons, España.
- Lamigueiro O. P. (2013c). Energía Solar Fotovoltaica, p. 92. Creative Commons, España.
- Ley N° 26.190 (2006). Honorable Congreso de la Nación Argentina. Publicada el 02-ene-2007 en Boletín Oficial 31064. <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/verNorma.do?id=123565>
- Ley N° 27.191 (2015). Honorable Congreso de la Nación Argentina. Publicada el 21-oct-2015 en Boletín Oficial 33239. <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/verNorma.do?id=253626>
- LV-Energy (2017). <http://lv-energy.com>
- Meteonorm 6.1 (2009). Global Meteorological Database for Engineers, Planners and Education. <http://meteotest.com>
- NASA-SSE (2017). NASA Surface meteorology and Solar Energy. <https://eosweb.larc.nasa.gov/>
- PVSyst (2017). Meteo data comparisons. <http://www.pvsyst.com/en/publications/meteo-data-comparisons>

## ABSTRACT

The objective of this work was focused to determine the generation of electric energy through photovoltaic solar plants, which were assumed to be installed on covered surfaces of the industrial park of Paraná city. From a survey and selection of industries with a surface area of more than 500 m<sup>2</sup>, different scenarios were identified according to the shape, inclination and orientation of the decks. Through modeling of these scenarios with the PVSyst software the results of the final yield ( $Y_F$ ) and the influence of the radiation on each situation were obtained. Of a total of 113,142 m<sup>2</sup>, a generation of 22,014 MWh per year was obtained, with losses of 10.7% compared to an optimum design. It is concluded that in the study area, the design of buildings with optimum orientation and geometry to incorporate photovoltaic systems should be started in order to maximize the production of clean energy and reduce the environmental impact.

**Keywords:** solar energy, photovoltaic, grid connection, covered surfaces.