

# **Diseño de un sistema solar fotovoltaico estándar para las escuelas públicas del sur de barranquilla**

**Ernesto Cantillo Guerrero**

Universidad Autonoma del Caribe, Barranquilla, Atlantico, Colombia, ecantillo@uac.edu.co

**Yan Palomino**

Universidad Autonoma del Caribe, Barranquilla, Atlantico, Colombia, carlyan.palomino0725@hotmail.com

**Julio Valdez**

Universidad Autonoma del Caribe, Barranquilla, Atlantico, Colombia, valdezpajaro@hotmail.com

## **ABSTRACT**

This paper deals with the design of a solar system or standard for state public schools located in the southwestern city of Barranquilla, given the equipment and required operating conditions. Research keeps a level of importance for the socio economic and environmental culture in the city of Barranquilla, due to the growing interest of governments to use alternative systems that reduce environmental impact and educate the public on the use of new technologies, especially the lower income that is the most accessible to the Colombian public education. It also emphasizes that research which comes this article seeks to establish technical guidelines contractual generating processes of public administration organizations proveedoras solar solutions, as establishing a fixed photovoltaic solar solution, which can explain different public schools in the city

**Keywords:** photovoltaic energy, Clean technology, Off-Grid

## **RESUMEN**

El presente articulo trata sobre el diseño de un sistema solar fotovoltaico estandar para escuelas publicas o estatales ubicadas en la localidad suroccidental de la ciudad de Barranquilla, teniendo en cuenta los equipos y condiciones de operación requeridas. La investigación guarda un nivel de importancia para el desarrollo socio economico y de cultura ambiental en la ciudad de Barranquilla, debido al interes creciente de los gobiernos por el uso de sistemas alternos que reduzcan el impacto ambiental y eduquen a la población en el uso de nuevas tecnologías, en especial la de menores ingresos que es la que en su mayoría accede a la educación publica colombiana. Se destaca tambien, que la investigación de la cual procede este artículo, persigue sentar lineamientos tecnicos para la generacion de procesos contractuales de la administración publica con organizaciones proveedoras de soluciones solares, en la medida que se establece una solución solar fotovoltaica fija, que pueda explicar en distintos escuelas publicas de la ciudad.

**Palabras claves:** energía solar fotovoltaica, tecnologías limpias, instalación aislada.

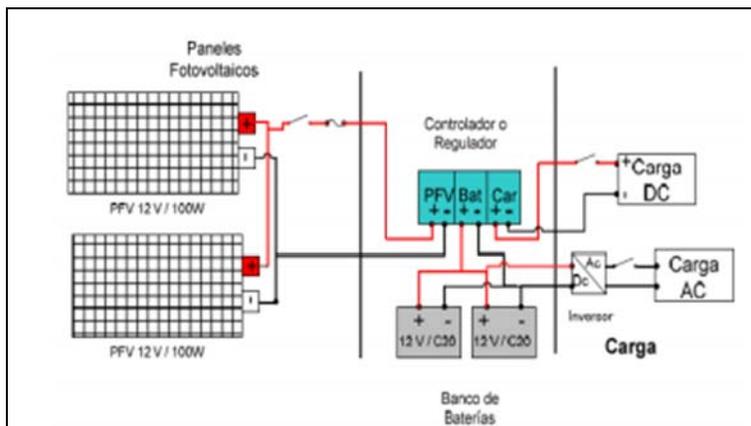
## **1. INTRODUCTION**

El control del consumo energetico cada vez cobre más interes para las personas y organizaciones. Las distintas soluciones enfocadas a la eficiencia energetica, o soluciones que sin ser necesariamente las más eficientes, muestren ayuden a la reducción de emisiones de carbono y muestren un interes por la responsabilidad con el medio ambiente, adquieren una relevancia y poco a poco ganan un espacio en el escenario energetico internacional.

Acorde a lo descrito, el continente Europeo inicia desde los 70 una fuerte promoción por el uso de tecnologías que emitan menos carbono, tecnologías a las que apuntaron y promovieron para su avance tecnológico, al punto de que en el siglo XXI, ya son una realidad en el viejo continente, como alternativa de producción energética, pero aun no lo son para otros territorios, en especial, los países latinoamericanos. Las oportunidades de promover estas tecnologías enfocadas a la reducción de emisiones y la eficiencia energética, provienen entonces a través de la industria y el estado, tal como ocurre en Europa, pero con un modelo distinto al europeo, donde las entidades generalmente suelen trabajar por separado en proyectos de menor envergadura. En este artículo, se encontrará una propuesta que parte de diseñar una solución tecnológica basada en la energía solar fotovoltaica, diseño al cual se le realiza una evaluación técnica, ambiental y económica con el fin de sentar lineamientos que, propuestos a la administración pública, puedan ser utilizados para las redes de escuelas públicas de la ciudad de Barranquilla, de tal manera que a través del estado, se soliciten formulen proyectos de inversión que inviten a las empresas a ser los constructores de estos proyectos, generándose una dinámica interesante entre universidades, estado y empresas.

## 2. PRINCIPALES FUNDAMENTOS TEORICOS

La generación de energía solar fotovoltaica en Colombia siempre se ha enfocado en el campo, debido a los altos costos de generación de energía en estas zonas por el costo del combustible (Cantillo y Caballero, 2012); lo que indica que los proyectos de energía solar fotovoltaica en el país son del tipo de electrificación aislada o instalación aislada, que se define como las que la energía se almacena en baterías para disponer de ella cuando sea necesario (Espejo, 2004). Los sistemas de electrificación aislada requieren para su funcionamiento entonces, de componentes básicos como son: módulo solar fotovoltaico, batería, controlador solar y en algunos casos, el inversor de voltaje (Cantillo y Daza, 2012), componentes que se interconectan utilizando el cableado y demás dispositivos para la instalación, tal como la indica la figura 1:



**Figura 1: esquema de un sistema solar fotovoltaico**

En la figura se puede observar una conexión típica aislada, donde se detallan los distintos componentes mencionados en una conexión a 24 VDC.

Para llegar al diseño de la figura 1, se requiere realizar las memorias de cálculo correspondientes, aplicando las ecuaciones que plantean Cantillo y Daza (2012), las cuales se resumen en la siguiente tabla:

**Tabla 1: Resumen ecuaciones para memorias de cálculo del sistema solar**

Tipo de calculo	Ecuación	Explicación variables
Calculo de consumo	$ET = \sum WDC_i * TDDC_i + ($	$WDC_i$ y $WAC_i$ : potencias de los equipos que

eléctrico total – ET	$(\sum WAC_i * TDAC_i) / Fe$	requieren en DC y AC respectivamente. TDDC <sub>i</sub> y TDAC <sub>i</sub> : tiempos diarios de usos de los equipos en DC y Ac respectivamente. Fe: factor de eficiencia del inversor de voltaje, cuyo variable en la práctica se suele usar 80% (basado en una pérdida del 20% de la eficiencia)
Calculo del generador fotovoltaico – GF	$GF = ((ET/Vs) * Fs) / Rad$	Vs: voltaje requerido del sistema solar fotovoltaico Fs: factor de seguridad por perdida de vida útil de los equipos. Suele usarse el valor 1,2. Rad: horas de radiación solar en la zona de instalación.
Módulos requeridos	Módulos requeridos = $GF / Imp$	Imp: corriente generada por el modulo solar que se desea utilizar.
Banco de acumuladores o baterías requeridas – BB	$BB = (Imp * Rad * Da) / (1 - \%Descarga)$	Da: días de autonomía que se desean tener en caso de fallas en el módulo solar fotovoltaico. %Descarga: descarga máxima permitida diaria que debe realizarse en la batería.
Controlador solar requerido – CS	CS = Max (I <sub>g</sub> , I <sub>c</sub> ) donde: I <sub>g</sub> = IR * NR I <sub>c</sub> = $(\sum WDC_i / Vbat) + (\sum WAC_i / Vac)$	I <sub>g</sub> : corriente producida por el modulo solar fotovoltaico. IR: corriente producida por cada rama en paralelo de módulos solares fotovoltaicos. NR: Numero de ramas en paralelo de módulos solares fotovoltaicos. Vbat: voltaje de las acumuladores para la carga en DC Vac: voltaje en AC
Inversor de Voltaje – IV	$IV = \sum WAC_i / Winv$ voltaje del sistema sea igual al voltaje del inversor propuesto	Winv: potencia del inversor propuesto.

## 2.1 ESTADO DEL CONOCIMIENTO

En la revision de literatura relacionada, las investigaciones sobre casos colombianos no son muy altas. Rodriguez (2008) elabora un articulo de sobre el desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas, se presenta un análisis de la evolución de la industria en Colombia desde los 80, y se plantea una demanda promedio anual que ronda en los 300 KW por año; Baño y Paulina (2011) proponen el diseño de un sistema solar fotovoltaico en el edificio administrativo del servicio ecuatoriano profesional para reducir el consumo de energía eléctrica, el cual se enfoca a reemplaza la energía de la red pública, en un grupo de luminarias generando un sistema de capacidad de 5480 W; por otra parte, Prado (2008) en su proyecto sobre el diseño de un sistema eléctrico fotovoltaico para una comunidad aislada que funcione híbrido – con un motogenerador – para abastecer el consumo de 130 casas ubicadas en la isla de Carti, en el golfo de San Blas, Panamá. Ladino (2011) en su proyecto sobre la energía solar fotovoltaica como factor de desarrollo en zonas rurales de Colombia, caso vereda Carupana municipio de Tauramena, concluye que solo los programas sociales se puede promover el uso de tecnologías como la energía solar fotovoltaica en Colombia

## 3. MATERIALES Y METODOS

Utilizando la metodología descriptiva y analítica, se procedió con una serie de actividades programadas así: 1) selección de las escuelas piloto, 2) descripción de los consumidores energéticos para definir los que se utilizaran

para las memorias de calculo y 3) Memorias de calculo para establecer el diseño del sistema solar fotovoltaico estandar a las escuelas piloto

#### 4. RESULTADOS

##### 4.1 SELECCION ESCUELAS PILOTO

Para escoger las escuelas piloto, se tuvo en cuenta la tendencia de la administración publica de la ciudad de Barranquilla en cuanto a la creación de nuevas escuelas publicas, cuyo interes gira en torno a la construcción de escuelas de gran tamaño en cuanto a extensión, estudiantado y recursos. Esas escuelas son conocidas en el plano local como Megacolegios. Las siguientes figuras, muestran cuales fueron los megacolegios seleccionados, acorde a la facilidad para el acceso a las visitas de campo que permitieran despues describir los consumidores energeticos:



**Figura 2: ubicación megacolegio German Vargas**



**Figura 3: ubicación megacolegio IED Meira del Mar.**



**Figura 4: ubicación megacolegio IED Costa caribe.**

#### 4.2 DESCRIPCIÓN DE CONSUMIDORES ENERGETICOS

Se decidió realizar los calculos tomando los consumidores energeticos luminicos, y enfocados en el tiempo de encendido y apagado de los mismos, los cuales se expresan en la siguiente tabla

**Tabla 2: Resumen horarios de luces encendidas y apagadas en los megacolegios objetos de estudio**

Megacolegio	German Vargas	IED Meira del Mar	IED Costa caribe
-------------	---------------	-------------------	------------------

Bloque o Edificio	1		2		3		4		5		6		1		2		3		1		2		
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
7:00 a 8:00																							
8:00 a 9:00																							
9:00 a 9:30																							
9:30 a 10:30	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
10:30 a 11:30																							
11:30 a 12:30																							
12:30 a 13:00	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
13:00 a 14:00																							
14:00 a 15:00																							
15:00 a 15:30																							
15:30 a 16:30	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
16:30 a 17:30																							
17:30 a 18:30																							
X = horas de luces apagadas																							

Esos consumidores luminicos, son en promedio lamparas de consumo de 48 W, voltaje en AC, donde tiene los siguientes tiempos de encendido y cantidades de lamparas por institución: 1) Megacolegio German Vargas dispone de 864 lamparas encendidas con un promedio de 10 horas de trabajo diarias; 2) Megacolegio IED Meira del Mar con 432 lamparas y 10 horas de trabajo; por ultimo 3) Megacolegio IED Costa Caribe con 240 lamparas y 13 horas de trabajo, debido a ser el unico con jornada nocturna.

Analizando experiencias de proyectos anteriores realizados en la región, se observa que los proyectos ejecutados siempre van dirigidos a consumos pequeños debido a los altos costos en que se incurren. Como la propuesta va enfocada a prototipos, que permitan que los sistemas estandar puedan estar en los distintos colegios de la ciudad, el diseño se elaborará teniendo en cuenta solo el 5% de las luminarias, con 2 horas diarias de trabajo, de tal manera que exista una mayor viabilidad de la instalación de los mismos hacia futuro.

#### 4.3 MEMORIAS DE CALCULO Y DISEÑO DEL SISTEMA.

Para la elaboración de las memorias de calculo, en primera instancia se procedió a obtener información de proveedores locales de los productos disponibles en el momento, oferta que se expresa en la siguiente tabla:

**Tabla 3: Oferta de componentes en energía solar fotovoltaica ubicados en Barranquilla**

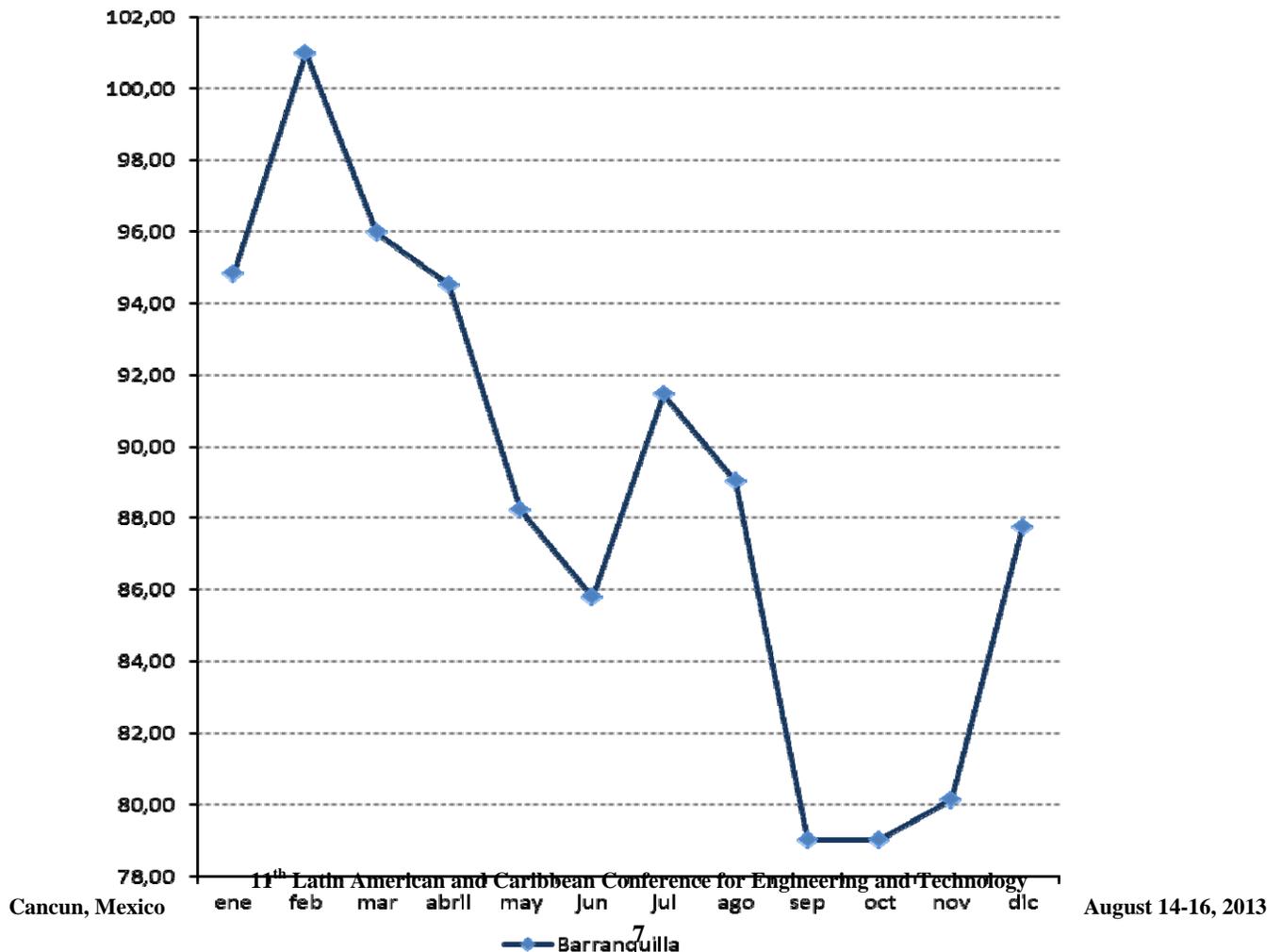
Módulos fotovoltaicos	Baterías estacionarias	Controlador solar	Inversor
WP: 315W, Imp:7.92 A, V:39.8V	Ah: 250Ah V: 12VDC	A: 140 A V: 12/24 VDC	WP: 1800W V: 24VDC/120VAC
WP: 180W, Imp:4.92 A, V:36.6 V	Ah: 258Ah V: 2 V	A: 45 A V: 12/24 VDC	WP: 3000W V: 24VDC/120VAC
WP: 85W, Imp:5,02 A, V: 12 V			

Con los datos de los productos, mas los datos de conteo de equipos, permite establecer las memorias de calculo, elaboradas en hoja de calculo en Ms Excel 2010. Las memorias de calculo se haran con el modulo de 315 W por poseer el mayor rendimiento, las baterías de Ah 12 VDC, los controladores solares de 45 A y 12/24 VDC, y los inversores de 3000 W 24 VDC/120 VAC. Los datos arrojados aparecen en la siguiente tabla

**Tabla 4: Equipos requeridos por Megacolegio según los datos seleccionados para las memorias de calculo**

Ecuaciones	Colegio German Vargas	Colegio IED Meira del Mar	Colegio IED Costa Caribe
ET en Wattios	4.856	2.485	1.355
GF en Amperios	48,6	24,8	13,6
Módulos de 315 W requeridos	7	4	2
BB	6, 3 grupos en paralelo, compuesto cada grupo por 2 baterías en serie	4, 2 grupos en paralelo, compuesto cada grupo por 2 baterías en serie	2 baterías conectadas en serie
CS	2	1	1
IV	1	1	1

Analizando la situación de la tabla anterior, el escenario más neutral es el del IED Meira del Mar, razón por la cual se decide proponer esa solución, como la solución estandar de energía solar fotovoltaica para las escuelas publicas de la ciudad de Barranquilla. La siguiente gráfica muestra cuanto es la generación del sistema solar fotovoltaico estandar en KWh por mes.



	ene	feb	mar	abril	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Barranquilla	94,84	100,98	95,97	94,52	88,22	85,79	91,45	89,02	79,01	79,01	80,14	87,73

**Figura 4: Rendimiento mensual en KWh del sistema solar fotovoltaico estándar propuesto para las escuelas publicas**

## 5. CONCLUSIONES

La ciudad de barranquilla posee excelentes condiciones naturales para el desarrollo del sector solar fotovoltaico; con este proyecto se trata de estimular la inversión a este tipo de tecnologías para aportar una ayuda a la preservación del medio ambiente.

Desarrollando este proyecto en las instituciones públicas del sur se genera una gran visión por parte del distrito de barranquilla mostrando la viabilidad de la instalación y usos de estos tipos de tecnologías.

Al desarrollar este proyecto en las instituciones públicas del sur Se alcanzaría un gran avance con el conocimiento y el funcionamiento de este tipo de tecnologías por parte de los estudiantes que allí se encuentran, este proyecto se utilizaría como motivación a otros distritos que obtienen una capacidad de radiación solar semejantes o a las empresas privadas y públicas que se encuentra en el departamento del atlántico y la región caribe.

La inversión en este tipo de tecnologías es de alto costos al iniciar pero se ve un ahorro anual en consumo de energía convencional y estas tecnologías tienen una garantía de 25 años en el cual se ve beneficiado el medio ambiente y de tal forma estaría siendo impulsado esta preservación por el distrito o las empresas que se interesarían en este proyecto.

El diseño propuesto para las escuela, se compone de 4 módulos de 315 W, 4 baterías estacionarias de 250 Ah 12 V, un (1) controlador solar de 45 A 24 VDC, y un inversor de 3000 W 24 VDC / 120 VAC, todos estos cálculos según el sondeo realizado a las ofertantes de productos de este mercado, en la ciudad de Barranquilla.

## REFERENCIAS

Cantillo E, C. F. (2010). Plan de marketing de sistemas solares fotovoltaicos para electrificación urbana. Barranquilla.

- cantillo guerrero, E., & Conde Danie, F. (2011). Diagnostico técnico y comercial del sector solar fotovoltaico en la región caribe colombiana. prospectiva , 81-88.
- chile, p. s. (s.f.). [www.unglobalcompact.org](http://www.unglobalcompact.org). Recuperado el 15 de marzo de 2012, de [www.unglobalcompact.org: http://www.unglobalcompact.org/system/attachments/8146/original/Proyecto\\_Simec\\_Chile.pdf?1287789602](http://www.unglobalcompact.org/system/attachments/8146/original/Proyecto_Simec_Chile.pdf?1287789602)
- Escobar E., O. J. (2008). Diseño e Implementación de un seguidor solar para la optimización de un Sistema Fotovoltaico. Pereira.
- EPIA. (05 de 2010). Una mirada al 2014 del mercado mundial de la industria fotovoltaica. Recuperado el 09 de 2010, de [www.epia.org](http://www.epia.org)
- Escobar. (2009 ). Energías renovables en la electrificación rural descentralizada. Medellín, Colombia: Minas Universidad Nacional de Colombia.
- H., R. H. (1994). Manual de radiación solar en Colombia. Bogotá, Colombia: Rodríguez y editores.
- ICEX. (mayo de 2008). El sector de la energía solar fotovoltaica en Alemania. Recuperado el 02 de 2010, de [www.icex.es](http://www.icex.es)
- Méndez, J. (2007). Energía solar fotovoltaica 2da edición. Madrid, España: Fundación confemetal.
- Oyola J.S., Gordillo G. (2007). Estado del arte de los materiales fotovoltaicos y de la tecnología solar fotovoltaica. Prospectiva, 6(2), 11-15.
- Fundacion penseca, g. e. (1996). Censo y evaluación de sistemas solares fotovoltaicos instalados en Colombia. Bogota.
- H., R. (2009). Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas. [lawea.org](http://www.lawea.org). (s.f.). Recuperado el 27 de 05 de 2012, de [http://www.lawea.org/documentos/Colombia\\_Ley\\_697.pdf](http://www.lawea.org/documentos/Colombia_Ley_697.pdf)
- Rodriguez humberto, G. f. (2007). Portafolio Colombiano de proyectos Para el MDL Sector energía.
- sepulveda, v. a. (15 de agosto de 2010). [kosmos.upb.edu.co](http://kosmos.upb.edu.co). Recuperado el 01 de junio de 2012, de [kosmos.upb.edu.co](http://kosmos.upb.edu.co): [http://kosmos.upb.edu.co/web/uploads/articulos/\(A\)\\_MANUAL\\_DE\\_LABORATORIO\\_PARA\\_LA\\_CAPACITACION\\_EL\\_DISENO\\_Y\\_EVALUACION\\_DE\\_SISTEMAS\\_FOTOVOLTAICOS\\_ClytAZ.pdf](http://kosmos.upb.edu.co/web/uploads/articulos/(A)_MANUAL_DE_LABORATORIO_PARA_LA_CAPACITACION_EL_DISENO_Y_EVALUACION_DE_SISTEMAS_FOTOVOLTAICOS_ClytAZ.pdf).

### ***Authorization and Disclaimer***

*Authors authorize LACCEI to publish the paper in the conference proceedings. Neither LACCEI nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.*