



ESCUELA POLITÉCNICA



UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA

Escuela Politécnica

Grado en Ingeniería Civil-Construcciones civiles

Trabajo Fin de Grado

Extrapolación de la radiación solar captada en  
paneles fotovoltaicos en diferentes puntos de la  
ciudad de Cáceres



ESCUELA POLITÉCNICA



UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA

Escuela Politécnica

Grado en Ingeniería Civil-Construcciones civiles

Trabajo Fin de Grado

Extrapolación de la radiación solar captada en  
paneles fotovoltaicos en diferentes puntos de la  
ciudad de Cáceres

Autor: José Luis Rodríguez Becerro

Tutor: Mar Pozo Ríos

## **ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS**

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>8</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>22</b>
<b>3. ANTECEDENTES / ESTADO DEL ARTE.....</b>	<b>23</b>
<b>4. MATERIAL Y MÉTODO.....</b>	<b>33</b>
<b>I. MATERIAL.....</b>	<b>33</b>
<b>II. METODOLOGÍA.....</b>	<b>35</b>
<b>5. RESULTADOS, DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES...42</b>	
<b>6. ANEXOS.....</b>	<b>54</b>

## **ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1: Características de los distintos estudios de potencial solar.....	30
Tabla 2: Hora de las mediciones en zona de estudio 18 de junio.....	60
Tabla 3: Hora de las mediciones en zona de estudio 21 de junio.....	60
Tabla 4: Hora de las mediciones en zona de estudio 25 de junio.....	61
Tabla 5: Hora de las mediciones en zona de estudio 26 de junio.....	61
Tabla 6: Hora de las mediciones en zona de estudio 27 de junio.....	61
Tabla 7: Hora de las mediciones en zona de estudio 28 de junio.....	62
Tabla 8: Hora de las mediciones en zona de estudio 30 de junio.....	63
Tabla 9: Hora de las mediciones en zona de estudio 1 de julio.....	63
Tabla 10: Hora de las mediciones en zona de estudio 2 de julio.....	63
Tabla 11: Hora de las mediciones en zona de estudio 3 de julio.....	64
Tabla 12: Hora de las mediciones en zona de estudio 5 de julio.....	64
Tabla 13: Hora de las mediciones en zona de estudio 6 de julio.....	65
Tabla 13: Hora de las mediciones en zona de estudio 7 de julio.....	65
Tabla 14: Hora de las mediciones en zona de estudio 11 de julio.....	65

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1: Evolución del consumo de energía procedente de combustibles fósiles.....	8
Figura 2: Evolución de la energía consumida procedente del petróleo, gas y carbón.....	9
Figura 3: Evolución del consumo de energía nuclear.....	10
Figura 4: Evolución de la energía renovable y no renovable.....	13
Figura 5: Porcentaje del consumo de energías renovables.....	14
Figura 6: carteras solares europeas operativas.....	15
Figura 7: Mapa irradiación horizontal de Europa.....	16
Figura 8: Panel monocristalino.....	17
Figura 9: Panel policristalino.....	18
Figura 10: Panel térmico.....	19
Figura 11: Panel híbrido.....	19
Figura 12: Aspecto del visor del Potencial Solar de Malmö.....	25
Figura 13: Aspecto del visor del Potencial Solar de Cáceres.....	26
Figura 14: Diferentes capas que se pueden cargar en el visor de Potencial Solar de Cáceres.....	27
Figura 15: Banco solar de Insopol S.L.....	32
Figura 16: Paneles solares de la EPCC.....	34
Figura 17: Regresión Serie 1. Fuente propia.....	37
Figura 18: Regresión Serie 2. Fuente propia.....	38
Figura 19: Regresión Serie 3. Fuente propia.....	38
Figura 20: Regresión Serie 4. Fuente propia.....	38
Figura 21: Regresión Media. Fuente propia.....	39
Figura 22: Zona de estudio. Fuente propia.....	40

*Extrapolación de la radiación solar captada en paneles fotovoltaicos en diferentes puntos de la ciudad de Cáceres*

Figura 23: Panel 60 Cell N type/340W-350W.....	44
Figura 24: Panel Solar Fotovoltaico Zenith ATP 380.....	45
Figura 25: Banco Solar con iluminación LED y enchufes.....	47
Figura 26: Kiosko solar.....	47
Figura 27: Aparca bicicletas solar.....	48
Figura 28: Parada de transporte público solar .....	48
Figura 29: Farola Solar.....	49

## **RESUMEN**

En la actualidad, más de la mitad de la energía que se consume procede de fuentes de energías no renovables. Debido a los graves problemas actuales en lo referente a cambio climático y el agotamiento de los combustibles fósiles, surge la necesidad de fomentar la producción de energía de fuentes renovables. En este trabajo, aprovechando las ventajas que ofrece el clima en Extremadura, concretamente en la Ciudad de Cáceres, se ha medido la radiación solar captada en el edificio de Telecomunicaciones de la Escuela Politécnica de Cáceres durante diversos días y se ha comparado con la energía solar captada en los paneles fotovoltaicos del mismo edificio. Paralelamente a esto se ha realizado la medición de la radiación solar in situ en una serie de puntos de coordenadas conocidas. Posteriormente se ha extrapolado la ecuación de la regresión lineal obtenida de las placas solares en las mediciones en la Escuela Politécnica a los puntos medidos en la zona de estudio de la ciudad de Cáceres. Con esto se pretende analizar que zonas serían más propicias para una futura instalación de distinto mobiliario solar urbano y de etse modo se fomente el uso de las energías renovables, más concretamente, la energía solar.

## 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, la mayor parte de la energía que consumimos mundialmente tiene su origen en combustibles fósiles. Tanto es así que, en el 2015, el 79.6% del consumo de energía mundial procedía de estos combustibles antes mencionados (Banco Mundial, 2015).

En la figura 1, en 1970 se produjo un importante bajón de cerca del 10% de su uso. Además, entre 1970 y 1990, éste fue decreciendo de manera paulatina. Sin embargo, este porcentaje de uso cercano al 80% se ha mantenido constante desde entonces.

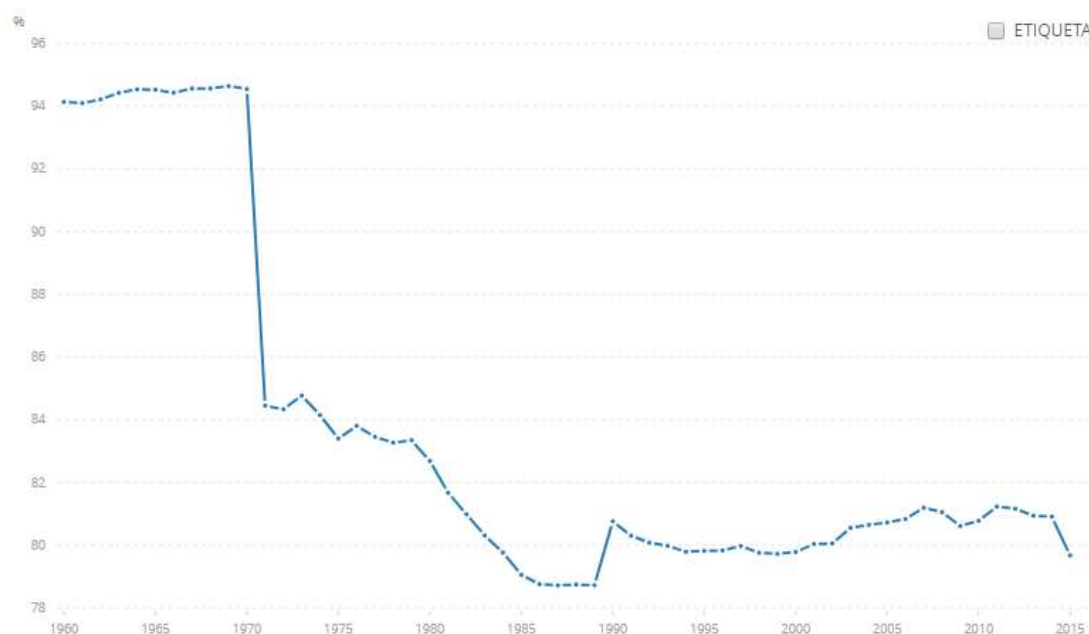


Figura1: Evolución del consumo de energía procedente de combustibles fósiles

(Fuente:

<https://datos.bancomundial.org/indicador/EG.USE.COMM.FO.ZS?end=2015&start=1960&view=chart&year=2014>)

Cabe mencionar que, como se puede apreciar en la Figura 2 (Banco Mundial, 2015), la mayor parte de esta energía procedente de combustibles fósiles lo hace a partir de petróleo, gas y carbón, ocupando estas tres fuentes el 65% de la energía total



*Extrapolación de la radiación solar captada en paneles fotovoltaicos en diferentes puntos de la ciudad de Cáceres*

consumida del mundo y un 80% aproximadamente de la que procede de combustibles fósiles.



Figura 2: Evolución del consumo de energía procedente del petróleo, gas y carbón

(Fuente:

<https://datos.bancomundial.org/indicador/EG.ELC.FOSL.ZS?end=2015&start=1960&view=chart&year=2014>)

La otra energía procedente de combustibles fósiles con un importante uso mundial es la energía nuclear, que actualmente representa cerca de un 8% de la energía total consumida en el mundo. Dicha energía llegó a ocupar casi un 18% del uso total (Banco Mundial, 2015) en el período entre 1990 y 2000, como se aprecia en la figura 3.

*Extrapolación de la radiación solar captada en paneles fotovoltaicos en diferentes puntos de la ciudad de Cáceres*

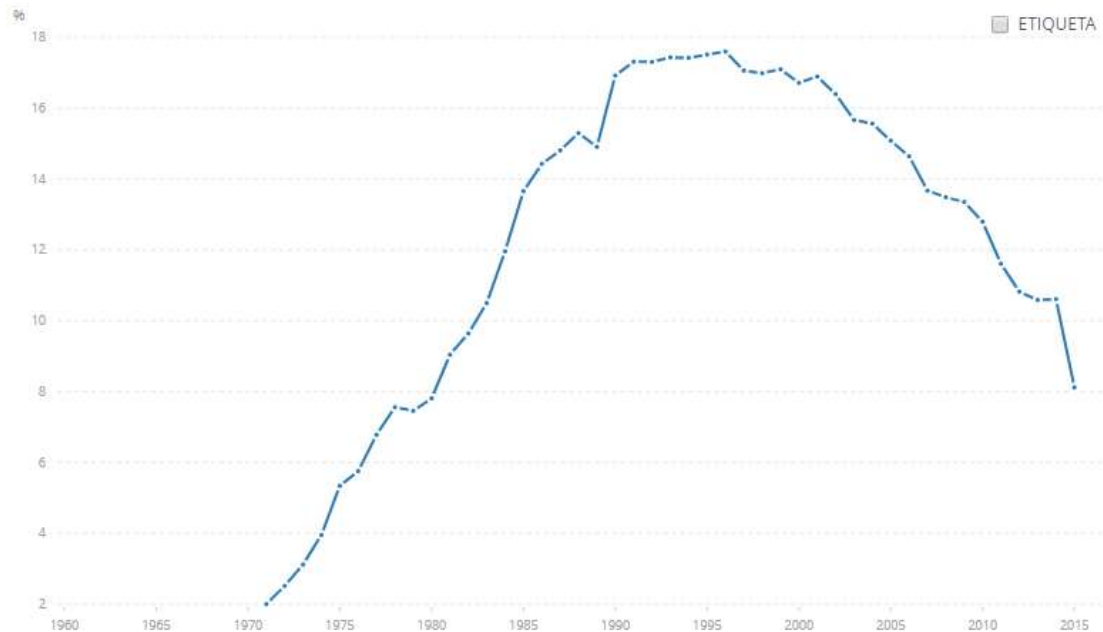


Figura 3: Evolución del consumo de energía nuclear

(Fuente:

<https://datos.bancomundial.org/indicador/EG.ELC.NUCL.ZS?end=2015&start=1960&view=chart&year=2014>)

El aumento de producción de energía mediante métodos y fuentes renovables y sostenibles, y paralelamente, la disminución del uso de energías procedentes de combustibles fósiles, tiene una enorme importancia por varios motivos:

- El agotamiento de los combustibles fósiles: las reservas de combustibles fósiles no son infinitas. En la actualidad, se consume a un ritmo superior al que se produce, y en el caso del petróleo, cuya producción ha tardado millones de años, su fin está próximo. Se calcula que en aproximadamente 50 años se habrán acabado las reservas de este combustible, y cercanamente después los del resto. Este problema no se plantea con las energías renovables.
- La producción de energía mediante combustibles fósiles afecta enormemente al efecto invernadero, debido a la alta producción de CO<sub>2</sub>

que generan en su quema y que pasan, en forma de emisiones, a la atmósfera. Además, esta combustión libera una enorme cantidad de óxidos de azufre y nitrógeno que, al reaccionar con los gases de la atmósfera, se precipitan en forma de lluvia ácida. También hay que mencionar el alto riesgo existente en las centrales nucleares y en el almacenamiento de los residuos radiactivos.

La Unión Europea pretende llevar a cabo una progresiva descarbonización de su economía, marcando un listado de objetivos que contribuyan a fomentar y promover el desarrollo sostenible y la eficiencia de la comunidad. Esto es mediante la reducción de la dependencia a fuentes de energía mucho más contaminantes como es el caso del gas, el carbón o la energía nuclear en lo que podíamos denominar como una transición energética.

La Estrategia Europa 2020 está estrechamente relacionado con esto. Es la agenda de crecimiento y empleo de la UE, que señala el crecimiento sostenible e integrador como método para superar las deficiencias estructurales de la economía europea, mejorar su competitividad y productividad y sustentar una economía social de mercado sostenible (Comisión Europea, 2010). Uno de sus objetivos principales era reducir al menos en un 20% las emisiones de gases que contribuían al denominado efecto invernadero respecto a las de 1990 (y un 30% si se dieran las condiciones adecuadas), aumentando el porcentaje de las fuentes de energía renovables en nuestro consumo final de energía hasta un 20 % y en un 20 % la eficacia energética.

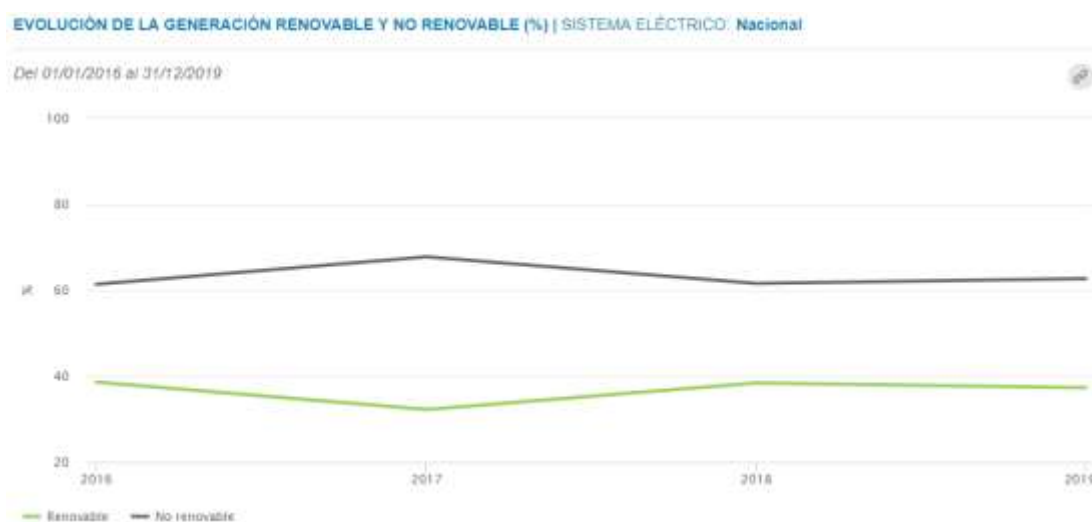
Dentro de este programa Europa 2020, cada país tiene unas recomendaciones específicas, que se recogen en documentos elaborados por la propia Comisión Europea para cada uno de los estados miembros y partícipes del programa, pudiéndose encontrar información oficial sobre las recomendaciones específicas para España en este ámbito en la Oficina Económica del Presidente del Gobierno (Fuente: Ministerio de ciencia, innovación y universidades, 2019).

Algunas de las medidas más importantes se recogen en el *Marco Estratégico de Energía y Clima*, aprobado por el consejo de ministros el 22 de febrero de 2019, cuyos ambiciosos compromisos recogidos en este conjunto de documentos pretende garantizar una mejora de la eficiencia energética, que España cuente con un marco estratégico estable para la des carbonización de su economía y una hoja de ruta eficiente de cara a la próxima década que sea coherente con las aspiraciones de neutralidad de emisiones previstas para 2050 (Programa Nacional de Reformas, 2019). Uno de los documentos que conforman este Marco Estratégico de Energía y Clima es el denominado *Anteproyecto de Ley de Cambio Climático y Transición Energética*, que en lo referente a energía y clima recoge los siguientes objetivos:

- Alcanzar una reducción del 20% de las emisiones de gases de efecto invernadero en 2030 y del 90% en 2050 respecto a 1990.
- Introducción de energías renovables en el consumo de energía final de por lo menos un 35% en 2030
- Un sistema eléctrico que cuente con al menos un 70% de generación a partir de energías renovables para 2030, y del 100% en 2050.
- Mejora de la eficiencia energética disminuyendo el consumo de energía primaria en al menos un 35% con respecto a la línea base.

Tales objetivos vienen recogidos en otro documento dentro del *Marco estratégico de Energía y clima*, el denominado *Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030*, que establece el marco para el cumplimiento de los objetivos de España para la lucha contra el cambio climático a 2030, conforme a lo previamente acordado con la unión Europea. Se prevé que las inversiones alcancen cifras cercanas a los 236.000 millones de euros entre 2021 y 2030, de los cuales el 80% serían de carácter privado y como resultado de esto se estipula que el Producto Interior Bruto (PIB) del país aumentaría entre 19.300 y 25.100 millones al año entre dicho intervalo de tiempo. Además se crearían entre 250.000 y 364.000 empleos netos (*Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030*).

En cuanto a transición energética se refiere, tenemos que mencionar el *Real Decreto-Ley 15/2018*, del 5 de Octubre, de medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores, que sentó las bases de un nuevo sistema energético, basado en la impulsión del desarrollo de las energías renovables mediante el reconocimiento del derecho a auto consumir energía sin cargos al eliminar el llamado ‘impuesto al sol’. Además reguló el autoconsumo compartido y simplificó los trámites administrativos y técnicos derivados del mismo (*Programa Nacional de Reformas*, 2019).



Actualmente en España las energías renovables suponen algo menos del 40% de la energía total consumida, porcentaje que apenas ha variado en los últimos 3 años, como se muestra en la siguiente imagen (Red eléctrica de España, 2019).

Figura 4: Evolución de la energía renovable y no renovable

(Fuente: <https://www.ree.es/es/datos/generacion/evolucion-renovable-no-renovable>)

Y aunque España se encuentra en la dirección correcta, en lo que a incremento del uso de energías renovables se refiere, todavía ocupa la posición número 13 dentro de los países europeos. (Web de Euronews, 2016).

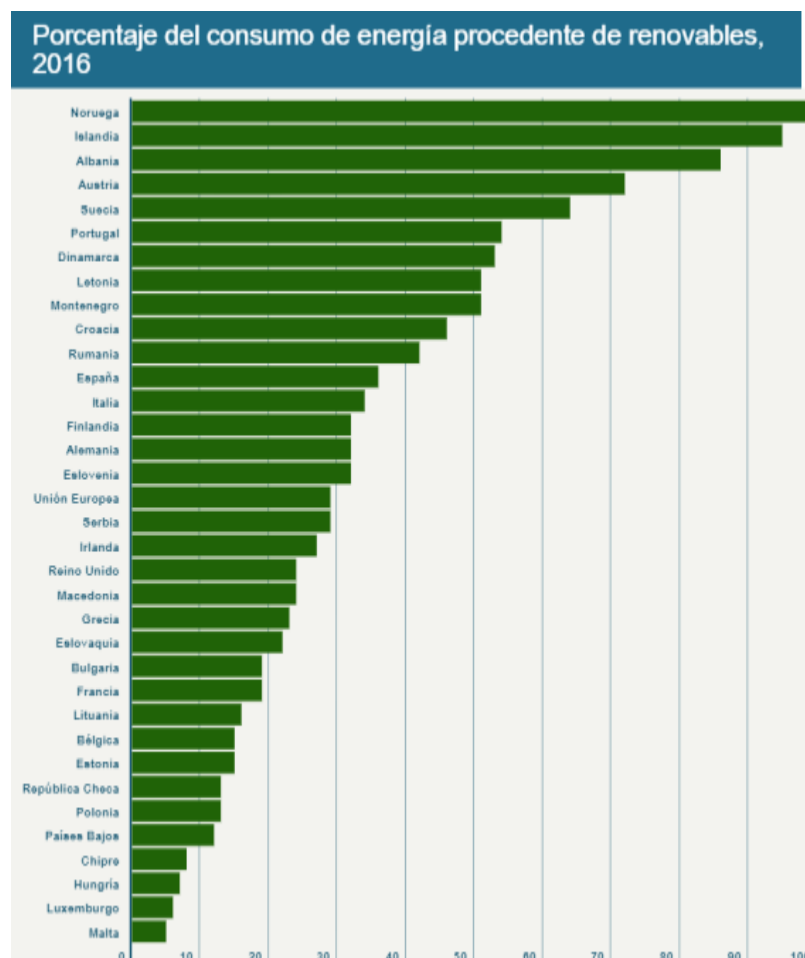


Figura 5: Porcentaje del consumo de energías renovables

(Fuente: <https://es.euronews.com/2018/09/28/que-paises-europeos-lideran-el-sector-de-la-energia-renovable>)

En lo que a energía solar se refiere, España ocupa la posición número 5 dentro de Europa siendo el quinto mercado más potente de la Unión europea, con una producción de 468.88 MW anuales, según se puede apreciar en la próxima figura ( El periódico de la energía, 2018).

*Extrapolación de la radiación solar captada en paneles fotovoltaicos en diferentes puntos de la ciudad de Cáceres*



Figura 6: carteras solares europeas operativas

(Fuente: <https://elperiodicodelaenergia.com/las-10-mayores-carteras-de-energia-solar-en-europa-en-2018/>)

En lo referente a instalaciones fotovoltaicas solares, España mantiene un plan con unas medidas que invitan a pensar que se está afrontando de manera exitosa la necesaria transición ecológica. No obstante, al ver el mapa de irradiación de Europa llama la atención que su posición no sea superior, ya que España es, junto a Turquía, de los que más radiación solar recibe. Esta es muy superior a la de las otras potencias solares europeas, como son el caso de Alemania e Inglaterra, llegando a recibir una irradiación global horizontal del doble de  $\text{Kwh}/\text{m}^2$  en algunos lugares, cómo se puede comprobar en la siguiente figura (SolarGIS, 2016)

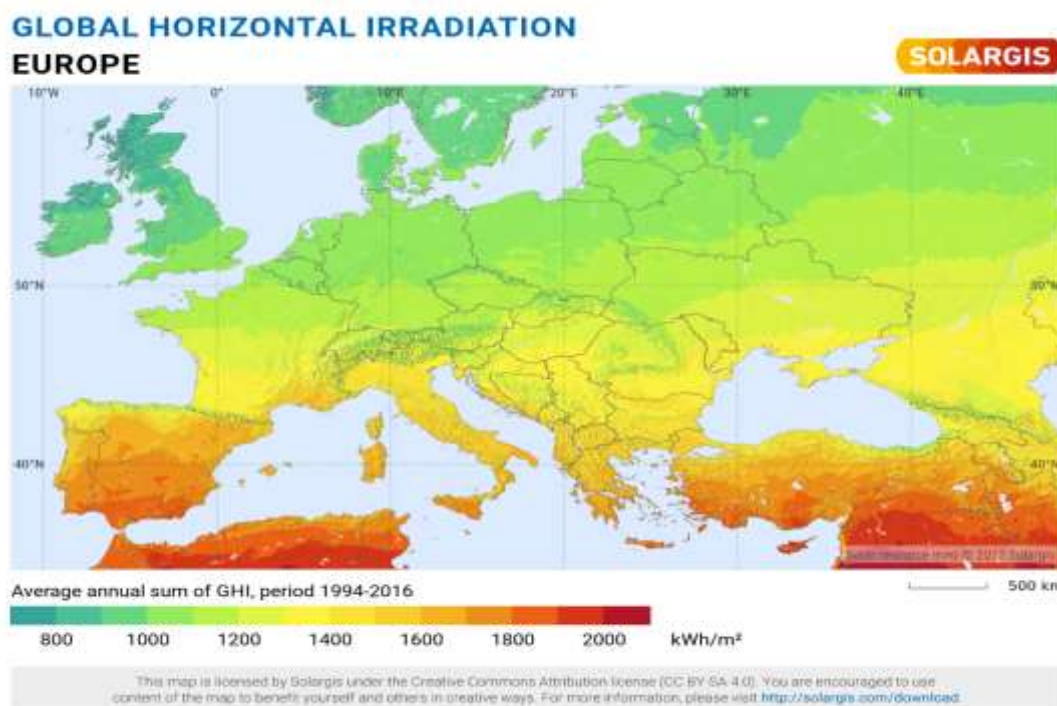


Figura 7: Mapa irradiación horizontal de Europa

(Fuente: <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/europe>)

No se entiende el concepto de instalación solar fotovoltaica sin la explicación previa de que es un panel solar fotovoltaico y sus distintas tipologías.

Los paneles solares o fotovoltaicos están formados por un conjunto de células fotovoltaicas que a partir de luz solar, producen electricidad mediante el efecto fotoeléctrico. La mayor parte de los que se utilizan en la actualidad están hechos de silicio (monocristalino, policristalino o amorfo) debido a su rendimiento alcanzado, aunque también los hay de Arseniuro de Galio, Teluro de cadmio o de película de Silicio. Se debe tener en cuenta que existen varios tipos de paneles solares para instalar en viviendas:

- Paneles solares fotovoltaicos: generalmente estos paneles están compuestos por unas células fotovoltaicas de silicio que permiten transformar la energía lumínica en energía eléctrica.(Endef, 2019). En función de cómo estén compuestas estas células fotovoltaicas se puede distinguir entre:
  1. Paneles monocristalinos: estos paneles están formados por secciones de un solo cristal de silicio y son fácilmente



reconocibles por su forma circular u octogonal. Este tipo de celda presenta una estructura cristalina ordenada y tiene un comportamiento predecible y uniforme. Las células suelen ser en forma de cuadrados sin esquinas para maximizar la densidad de células dentro de los módulos. Estos paneles son los más costosos.

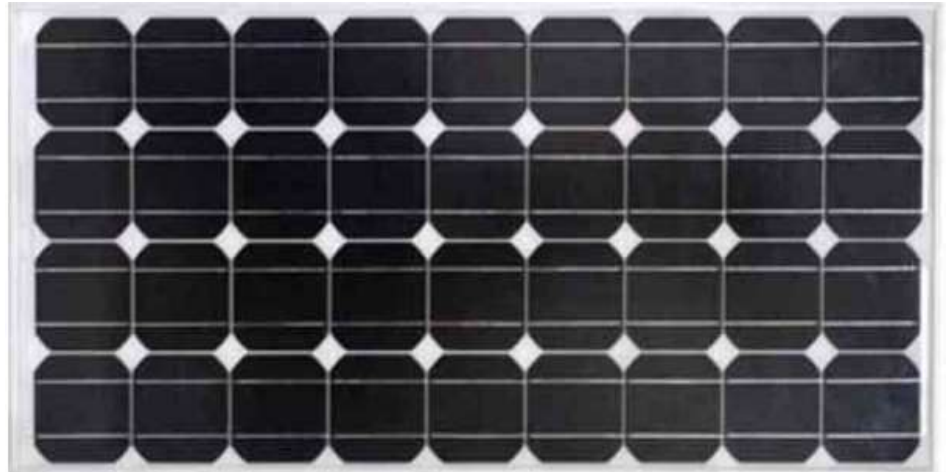


Figura 8: Panel monocristalino

(Fuente: <https://www.revista.ferrepat.com/ferreteria/paneles-solares-casas-tipo-cuantos-necesitas/>)

2. Paneles policristalinos: son denominados de esta manera por estar formados por pequeñas partículas cristalizadas cuyas celdas se contienen varias regiones de silicio cristalino que se mantienen juntas debido a un enlace covalente. En este tipo de paneles el silicio pasa a través de menos ciclos de filtración intensiva de energía que en el caso de los paneles monocristalinos y por tanto resultan menos costosos.

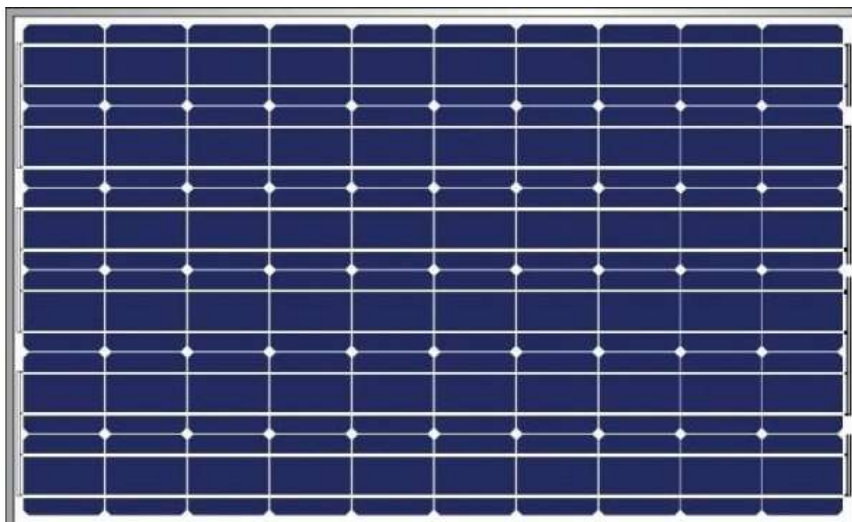


Figura 9: Panel policristalino (Fuente: <https://www.revista.ferrepat.com/ferreteria/paneles-solares-casas-tipo-cuantos-necesitas/>)

3. Paneles amorfos: estos paneles son denominados de esta manera cuando el silicio no se ha cristalizado. Pueden ser fabricados de cualquier forma y tamaño y producidos a precios muy bajos. Fueron el primer tipo de células de energía solar producidas para productos de consumo como relojes, calculadoras, etc.
- Paneles solares térmicos: estos paneles permiten transformar la energía solar en energía térmica. Esto hace que presenten diversos usos, como climatización de piscinas, generación de vapor, preparación de agua para fines sanitarios,... Los colectores solares también se pueden diferenciar en función de la temperatura admisible:
    1. Colector de baja temperatura: pueden alcanzar hasta 50°C
    2. Colector de media temperatura: pueden alcanzar hasta 90°C
    3. Colector de alta temperatura: pueden alcanzar hasta 150°C.



Figura 10: Panel térmico

(Fuente: <https://endef.com/tipos-de-paneles-solares/>)

- Paneles solares híbridos: este tipo de paneles son una mezcla entre los paneles solares térmicos y los paneles solares fotovoltaicos. Con las dos tecnologías juntas en un mismo panel, se permite producir energía eléctrica y energía térmica de manera simultánea. La principal ventaja que presenta es la reducción de espacio que presenta frente a los otros tipos debido a que junta las dos tecnologías en un mismo panel.



Figura 11: Panel híbrido

(Fuente: <https://endef.com/tipos-de-paneles-solares/>)

Existen ciertas normativas y subvenciones que han fomentado la construcción de distintas instalaciones solares en la zona de estudio durante los últimos años, algunas de las cuales son las siguientes:

- **Modificación del Plan General Municipal (PGM) de Cáceres del 30 de Noviembre de 2011** que tenía como propósito el de ‘permitir y regular la colocación de instalaciones solares en cualquier edificio del término municipal que por su ubicación y características no supusiera una alteración sustancial de la imagen general de la ciudad’, así como la protección del medio ambiente mediante una adecuada y responsable gestión de los recursos, con el desarrollo del sistema de producción de los mismos y de las comunicaciones y la urbanización. (PGM, 2011).
- **RD 900/2015** por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas de las modalidades de energía eléctrica con autoconsumo y de producción de autoconsumo.
- **Ordenanza fiscal reguladora del Impuesto sobre Construcciones, Instalaciones y Obras de Mayo de 2017** a favor de la instalación de sistemas para el autoconsumo eléctrico a través de paneles fotovoltaicos, siempre que dicha instalación no supere los 5 kw de potencia en viviendas ni 30 kw de potencia en edificios de empresas. (Ayuntamiento de Cáceres, 2019).
- **Subvenciones Extremadura Energías Renovables, convocadas en Agosto de 2018** para la implantación de energías renovables tanto a viviendas como a empresas con el fin de promover la competitividad de las empresas y reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>. La Junta de Extremadura destinó 2,35 millones de euros a la eficiencia energética y 6,58 millones a instalaciones de energías renovables. Las ayudas serían de un 40% para particulares y empresas y de un 80% para ayuntamientos. (Web de Cambio Energético, 2018)

- **Subvenciones para ahorro energético en viviendas en Extremadura, convocadas el 30 de Marzo de 2019** que correspondían al **Plan de Viviendas de Extremadura 2018-2020** que regulaba la concesión de ayudas para la autopromoción, la conversión de espacios cerrados en viviendas y dedicaba un amplio programa destinado al fomento de la rehabilitación energética de las viviendas (instalación de equipos generadores de electricidad mediante energía fotovoltaica, paneles solares térmicos para producción de agua caliente, calefacción, etc). Estas ayudas llegaban hasta los 15.000 € por unidad familiar. (Web de Cambio Energético, 2019)

Si además tenemos en cuenta los grandes problemas que atraviesa el mundo en lo que a cambio climático se refiere, en gran parte debido a las altas emisiones de CO<sub>2</sub>. derivado de la producción de energía mediante fuentes no renovables, hace que esta inversión sea casi una obligación moral.

## **2. OBJETIVOS**

El objetivo principal de este trabajo de fin de grado es la extrapolación en diversos puntos de la ciudad de Cáceres (seleccionados convenientemente de la Red de poligonación del Ayuntamiento de Cáceres) de potencial solar. Para ello se establecerá una regresión lineal que relacione la radiación solar captada en las mediciones en las placas solares fotovoltaicas instaladas en la Escuela Politécnica de Cáceres y la obtenida mediante un radiómetro manual en la misma ubicación, con el fin de comparar y analizar sobre qué puntos de la zona de estudio serían más propicios para unas futuras instalaciones de mobiliario solar urbano.

### **3. ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE**

En este apartado se analizan diversos Estudios de Potencial Solar Europeos realizados a nivel de ciudad, así como proyectos de instalaciones de mobiliario urbano alimentado por energía solar en diversas ciudades.

A continuación se muestran algunos de los proyectos y estudios de potencial solar:

- **Proyecto POLIS**

‘POLIS es un proyecto de cooperación europeo a nivel de ciudades cuyo objetivo es la puesta en marcha de estrategias de planeamiento urbano solar y políticas locales destinadas a aprovechar el potencial solar de ciudades europeas, bajo la premisa de que solo un enfoque urbano permitirá incrementar significativamente la integración de aplicaciones energéticas descentralizadas y de pequeña escala en nuestras ciudades.’ (POLIS oficial web, 2012).

Para hacer posible el aprovechamiento de la energía solar en distintas zonas de las ciudades (residenciales, industriales,...), resulta necesario e imprescindible incorporar diversos requisitos mínimos en el planeamiento y en la legislación aplicable a las escalas urbanas y de los edificios. En este sentido, existen actualmente diversos métodos y herramientas (y otras se encuentran en proceso de desarrollo) tales como acuerdos municipales o compromisos legales de carácter privado. A través de la cooperación entre diversas ciudades europeas incluidas en este proyecto (Lisboa, Vitoria, París, Lyon, Múnich y Malmö), comprometidas con el urbanismo solar, se pretende, como objetivo final, movilizar el potencial solar urbano a nivel local.

En este proyecto, cada ciudad se encuentra asistida por un técnico competente de su país, y su duración fue de 36 meses (Septiembre de 2009-Agosto de 2012).

Este proyecto dio lugar a que otras ciudades ajenas al mismo decidiesen suscribirse a una evaluación del potencial solar, tanto en obras en construcción

en fase de desarrollo como en el área global de las ciudades, como parte de la estrategia energética de estas ciudades, fijando sus propios objetivos para la adopción de tecnologías de energías renovables

- **Identificación del potencial solar de Malmö (Suecia)**

Toda la zona del distrito del Puerto Occidental de la ciudad perteneció durante muchos años al astillero de Kockums. Cuando las actividades del astillero empezaron a cesar se decidió iniciar el desarrollo de un barrio residencial junto al mar en su lugar, aplicando un enfoque ecológico en su planificación, construcción y edificación.

Este proyecto tenía como objetivo la de convertir el distrito en un ejemplo de adaptación medioambiental de un entorno urbano densamente construido, abastecido en su totalidad por energías renovables (eólica solar y geotérmica).

El inversor financiero de este proyecto fue la propia Ciudad de Malmö, junto al proyecto de la EU, si bien la Universidad de Lund y un grupo de más de 10 empresas están actualmente involucradas en los trabajos del proyecto, que comenzó en 2001.

El proyecto cuenta con un visor en el que se muestra el mapa solar de la ciudad, donde el ciudadano puede obtener respuestas sobre el potencial solar de su edificio en particular, de la superficie de techo que podría cubrir si se decidiese por una instalación de paneles solares, del ángulo del mismo, etc.

En la siguiente página se muestra una figura del aspecto del visor de la ciudad. (Web del Ayto. de Malmö)





Figura 12: Aspecto del visor del Potencial Solar de Malmö

(Fuente: [http://kartor.malmo.se/rest/leaf/1.0/?config=../configs-1.0/tema\\_solkarta.js](http://kartor.malmo.se/rest/leaf/1.0/?config=../configs-1.0/tema_solkarta.js))

- **Estudio del Potencial Solar fotovoltaico de las cubiertas de la ciudad de Cáceres**

En la ciudad de Cáceres se realizó un estudio de potencial solar fotovoltaico de todas las cubiertas de la ciudad, desarrollado gracias al convenio de investigación firmado en marzo de 2016 entre el Ayuntamiento de Cáceres (Servicio de SIG) y la Universidad de Extremadura (Escuela Politécnica). El estudio tenía como objetivos la estimación del potencial solar de las cubiertas de Cáceres en las edificaciones de la ciudad, ofreciendo una estimación mensual de la radiación captada y mostrando las medias

*Extrapolación de la radiación solar captada en paneles fotovoltaicos en diferentes puntos de la ciudad de Cáceres*

anuales y mensuales, así como fomentar la implantación y el aumento de uso de energías renovables en los ciudadanos, acercándolas a los mismos. De esta manera, los propios ciudadanos podrían conocer la rentabilidad y las ventajas que supone tener una instalación de energía solar en sus propias viviendas y, además, podrían decidir la mejor ubicación para la colocación de captadores de energía solar (paneles termosolares o fotovoltaicos) en sus cubiertas (SIG Cáceres, 2019). Las características climáticas de la ciudad la convertían en idónea para el estudio, con un clima mediterráneo suave y veranos muy cálidos (34°C de temperatura promedio). Según la comisión Europea, la zona tenía un valor medio de 5,1 Kwh/m<sup>2</sup> de radiación solar media.

El estudio ha sido presentado como artículo en el IV Congreso de Ciudades Inteligentes de Madrid y publicado además en Taylor & Francis Group.

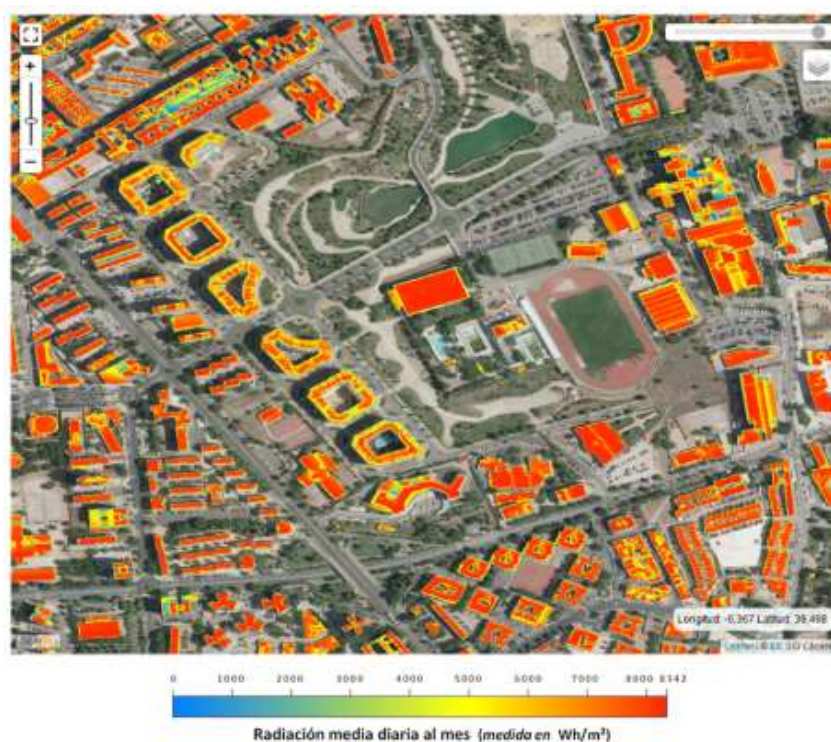


Figura 13: Aspecto del visor del Potencial Solar de Cáceres

(Fuente: <https://www.esmartcity.es/comunicaciones/comunicacion-visor-del-potencial-solar-fotovoltaico-cubiertas-ciudad-caceres>)

*Extrapolación de la radiación solar captada en paneles fotovoltaicos en diferentes puntos de la ciudad de Cáceres*

Debido a la gran importancia que tiene la predicción de la radiación solar existente para los estudios de viabilidad de captadores de energía solar, el Ayuntamiento de Cáceres tiene un visor que puede consultarse en la web, que cuenta con resolución de 1 metro, y que muestra la radiación solar incidente ( $\text{Wh}/\text{m}^2$ ) en cada cubierta atendiendo a su inclinación.

Además, se puede consultar gráficas de estimación global media diaria de cada mes del año en cada faldón de cubierta (SIG Cáceres, 2019)



Figura 14: Diferentes capas que se pueden cargar en el visor de Potencial Solar de Cáceres (Fuente: <https://www.esmartcity.es/comunicaciones/comunicacion-visor-del-potencial-solar-fotovoltaico-cubiertas-ciudad-caceres>)

- **Estudio del Potencial Solar para la instalación de Energía Solar Fotovoltaica y Térmica en la ciudad de Vitoria-Gasteiz**

En Vitoria-Gasteiz la contribución de las tecnologías solares en relación con el consumo de energía total representaba el 0,1% (2006). El ayuntamiento de la ciudad desarrolló una evaluación de las posibilidades tecnológicas de la ciudad para instalar sistemas de energía solar térmica y fotovoltaica, estimadas para una capacidad de 30,000m<sup>2</sup> de paneles solares térmicos y 10 MW de sistemas solares fotovoltaicos, lo que llegaría a suponer hasta un 0,4% del consumo de energía local teniendo en cuenta el consumo de 2006.

El objeto de este proyecto era pues el de desarrollar la energía solar fotovoltaica y térmica en los edificios de Vitoria-Gasteiz mediante la integración de la energía solar en la planificación urbanística, estimando el potencial solar de diversas zonas (21) para la instalación de energía solar térmica y/o fotovoltaica, como en cubiertas de edificios y en terrenos urbanos y rurales. (Documento POLIS de Planificación Solar Urbana a Nivel Local, 2012).

Tanto el iniciador del proyecto como el inversor financiero fue el propio Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz. El proveedor de servicios fue IDOM, Ingeniería y Consultoría, S.A. El proyecto comenzó en julio de 2006 y sigue en activo.

Las acciones que se llevaron a cabo fueron:

1. Elaboración de un mapa solar de la ciudad, incidiendo especialmente en el barrio de Lakua y el Polígono Industrial de Jundiz, con el objetivo de conocer el potencial solar en las cubiertas de los edificios.
2. Elaboración de una guía para integrar la energía solar pasiva y la activa (térmica y fotovoltaica) en la planificación urbanística.
3. Elaboración de un estudio de viabilidad sobre el uso de los tejados industriales para el uso de paneles PV cofinanciados por terceros (concepto de ``huerta solar`` pero en tejados de empresas privadas).

En el caso de Vitoria-Gasteiz cabe destacar que fue elegida como Capital Verde Europea 2012, una iniciativa de la comisión Europea que premia a un municipio de

*Extrapolación de la radiación solar captada en paneles fotovoltaicos en diferentes puntos de la ciudad de Cáceres*

más de 100.000 habitantes que destaca por su historial consolidado de cumplimiento con las normas ambientales más exigentes y que está fuertemente comprometido con la protección medioambiental. Debido a esto surgió la iniciativa denominada Pacto Verde (un colectivo de empresas comprometidas con el medio ambiente con el objetivo de avanzar en lo que a sostenibilidad se refiere)

En la siguiente página se ofrece una tabla con las distintas fortalezas y debilidades de cada uno de los estudios de potencial solar a nivel de ciudad antes mencionados.

CIUDAD	FORTALEZAS	DEBILIDADES
<b>CÁCERES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta precisión y resolución del visor</li> <li>• Fácil acceso al visor para el ciudadano a través de internet</li> <li>• Gran número de parámetros (radiación mensual, anual, potencial solar, ...) para cada cubierta</li> <li>• Posibilidad de consultar fotografía actualizada del edificio en cuestión</li> </ul>	
<b>VITORIA-GASTEIZ</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exactitud de los datos (consumos eléctricos, características de las cubiertas, potencia a instalar,...)</li> <li>• Fácil aplicación a la ciudad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necesidad de actualización tecnológica y según las normas del Código Técnico de la Edificación</li> <li>• Sólo disponible en el Ayto. de Vitoria en papel</li> </ul>
<b>MALMÖ</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Enfoque innovador en el área</li> <li>• Alta precisión y resolución del visor</li> <li>• Todo el proyecto se llevó a cabo con el objetivo de integrar las energías renovables en la zona.</li> <li>• Fácil acceso al visor para el ciudadano a través de internet</li> <li>• El proyecto sirve de guía a otros de la propia ciudad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se priorizó el diseño del edificio antes que el rendimiento energético, con algunas inclinaciones y orientaciones de cubiertas no ideales</li> <li>• Aunque el objetivo era abastecer la zona con 100% de energías renovables no se llegó a lograr del todo.</li> </ul>

Tabla 1: Características de los distintos estudios de potencial solar

A continuación se nombra algunos de los proyectos e iniciativas que optan por la introducción de mobiliario urbano solar en las ciudades, combinando sostenibilidad y tecnología.

- **Pacto Verde**

Esta iniciativa medioambiental surgió en Vitoria-Gasteiz a raíz de que ésta ganase el premio Capital Verde Europea 2012. Formada por multitud de empresas comprometidas con el medio ambiente, cuyo número cada vez es mayor, siempre ha pretendido avanzar en lo que a sostenibilidad se refiere, afrontando nuevos y exigentes compromisos y retos. Una de estas empresas que cabe ser mencionada es Insopol S.L.. Esta empresa tiene como filosofía la de ofrecer alternativas a las fincas de paneles solares comunes, favoreciendo el autoconsumo de energía en el entorno urbano por medios renovables. Para esto Insopol intenta ofrecer un nuevo concepto en lo que a generar energía renovable se refiere, añadiendo placas solares a cualquier elemento del mobiliario urbano, independientemente de la forma que tenga, de manera que quede perfectamente integrado con su estructura.

La idea principal por la que se mueve la empresa es la de crear elementos modulares de mobiliario urbano (bancos, marquesinas, kioscos...), automoción y construcción que integren en su diseño la posibilidad de generar electricidad mediante una fuente renovable, de manera que esta no sólo sirva para satisfacer la demanda energética del mismo elemento, sino que, además, satisfagan las necesidades energéticas y/o de conectividad que demanden los usuarios (Insopol, 2012).

La creación de este mobiliario solar con estas características ha sido posible para esta empresa debido a una patente internacional que consistía en la integración total del panel fotovoltaico en poliéster reforzado con fibra de vidrio, convirtiendo el panel en una estructura prácticamente inviolable, y haciendo este mobiliario urbano solar más estético y funcional. A continuación, se muestra uno de los productos de la empresa, en este caso un banco solar con punto de carga.



Figura 15: Banco solar de Insopol S.L. (Fuente: <http://insopol.com/index.html>)

- **Enercity**

Este proyecto denominado Enercity es algo similar a lo que planteaba Insopol en Pacto verde. El proyecto, presentado en la Smart City Expo World Congress de Barcelona (2019), tiene como objetivo la introducción de elementos urbanos tales como marquesinas, farolas, paradas de autobús, bancos, carteles, toldos que generen energía, y que estén conectados a una red inteligente que gestione de manera eficiente dicha energía. De esta manera, cada unidad del mobiliario urbano produciría energía por y para toda la ciudad. Además, otra de las ideas de este proyecto era la de ofrecer servicios de venta de motocicletas eléctricas, alimentadas por una red de puntos de carga repartidos por la ciudad y alimentados por energía solar, como método de transición hacia el uso de métodos de transporte alimentados de energía renovable.



## **4. MATERIAL Y METODO**

### **4.1. MATERIAL**

#### **4.1.1. Radiómetro**

Para determinar la radiación recibida y poder compararla con la captada por los paneles fotovoltaicos se ha utilizado un radiómetro portátil, en este caso el PCE-SPM1.

##### **Descripción general/ Especificaciones:**

**Rango de medición:** 0...2.000 W/m<sup>2</sup>

**Resolución:** 0,1 W/m<sup>2</sup>, 0,1 Btu / (ft<sup>2</sup>x h)

**Precisión:** ±10 W/m<sup>2</sup> o ± 5%

**Rango espectral:** 400...1.000 nm

**Memorización de datos:** 32.000 valores de medición

**Transmisión de datos:** interfaz RS232 de serie

**Pantalla:** LCD

**Rango de temperatura ambiente:** 0...50 °C

**Humedad máxima:** <80% R.h.

**Alimentación:** 4 pilas AAA x 1,5 V

**Medidas:** 111 x 64 x 34 mm

**Peso:** 165 g

#### **4.1.2. Software**

Tras las mediciones realizadas con el radiómetro en la escuela politécnica de Cáceres (EPCC) se utilizó el programa Excel para establecer la función que relacionaba la energía solar captada por los paneles solares con la que recogía el radiómetro.

Además se utilizó el mismo programa para la realización de los gráficos que relacionaban la radiación solar captada en cada uno de los puntos de

la zona de estudio por el radiómetro con el potencial solar de dichos puntos.

#### **4.1.3. Paneles solares**

Los paneles solares fotovoltaicos instalados en la EPCC que recogían la energía solar que fue comparada con la que recogía el radiómetro eran paneles solares policristalinos, del modelo SUNTECH POWER 275-20/WFW. El número total de placas era de 48, de 230 W. Se pueden observar en la siguiente figura.



Figura 16: Paneles solares de la EPCC

Fuente: propia.

#### **Descripción general/ Especificaciones:**

**Potencia máxima:** 275 W

**Eficiencia:** 16,8%

**Superficie:** 992x1650x35 mm

**Peso:** 18,3 kg

**Dimensiones:** 1x2 m

## **4.2.METODOLOGÍA**

En esta parte del estudio se va a describir que métodos se han aplicado para la realización del mismo y la manera de proceder de dichos métodos, así como las distintas fases que ha ido atravesando el estudio hasta llegar a los resultados finales.

### **4.2.1. DETERMINAR LA FUNCIÓN DE REGRESIÓN LINEAL ENTRE EL RADIÓMETRO Y EL RECOLECTOR DE PLACAS SITUADO EN EL EDIFICIO DE TELECOMUNICACIONES DE LA ESCUELA POLITÉCNICA DE CÁCERES (EPCC)**

En esta fase de la metodología se pretende obtener una función que represente la relación existente entre la radiación captada por los paneles fotovoltaicos instalados en la EPCC y la captada por el radiómetro en esa misma ubicación para comprobar el potencial solar existente

#### **4.2.1.1. Toma simultánea de datos de los paneles solares fotovoltaicos como del radiómetro**

##### **4.2.1.1.1. Medidas con radiómetro**

Se realizaron un total de 4 mediciones de radiaciones solares con el radiómetro en la misma ubicación que la de los paneles fotovoltaicos (tejado del edificio de Telecomunicaciones de la EPCC) que duraban entre 2 y 4 días cada una. Dichas mediciones tuvieron lugar los días 30 de Abril, 21 de Mayo, 5 de Junio y 14 de Junio (todas las fechas corresponden al año 2019) y se realizamos siempre en días soleados.

#### **4.2.1.1.2. Descarga de datos captados en los paneles fotovoltaicos**

Los datos recogidos de las placas fotovoltaicas ubicadas en el tejado del edificio de Telecomunicaciones de la EPCC se encuentran en la plataforma de GRAFANA (esta web pertenece al proyecto SmartPolitech de la Escuela Politécnica de Cáceres de la Universidad de Extremadura). Se descargaron dichos datos de las radiaciones solares correspondientes a los mismos intervalos de tiempo en los cuales se realizaron las mediciones con el radiómetro (las fechas enumeradas en la sub-fase anterior). Cabe decir que los paneles de la EPCC presentan un límite de radiación captada en una unidad de tiempo de 10,0 KW, por lo que se descartó cada valor que superase esa cifra, ya que no podía compararse de manera fidedigna con los obtenidos del radiómetro en el mismo instante. Además se descartaron los valores nulos, que son aquellos valores sin datos recogidos por la plataforma GRAFANA. Los datos descargados de los paneles solares tenían un intervalo entre ellos de 10 minutos.

#### **4.2.1.2. Determinar la función de regresión de cada serie**

En esta fase se cuadraron los datos de los paneles solares (cada 10 minutos) con los obtenidos por el radiómetro (cada 1 minuto). Posteriormente, se escogió una función que representara la relación existente entre las radiaciones solares recogidas por el radiómetro y las captadas por los paneles solares fotovoltaicos (limitados a 10 KW) en cada una de las series realizadas. Se escogió una función determinada por una regresión lineal, por ser el modelo más adecuado para la predicción de energía, más concretamente la energía solar, con recopilación de datos de las variables, dónde se puede verificar la relación entre las mismas (Akinola A. Babatunde y Serkan

Abbasoglu, Girne American University, 2018). Además, en esta fase, ya que se buscaba una ecuación lineal que representara la relación entre la radiación captada por los paneles solares y la recogida por el radiómetro manual, se decidió optar por la regresión como método más idóneo: ‘La regresión lineal identifica la correlación entre varios parámetros ajustando la ecuación lineal a los datos’ (Sobrina Sobria, Sam Koochi-Kamalia, Nasrudin Abd. Rahima,b, 2018). Al confirmar que el método más óptimo para la obtención de una ecuación representativa de la relación radiación captada por el radiómetro-paneles solares y sus respectivos pronósticos era mediante una regresión, se procedió a la realización de la misma para cada serie, introduciendo como dos variables los datos del radiómetro y los obtenidos por los paneles solares, ambos situados en el tejado del edificio de telecomunicaciones de la EPCC (marcados como puntos de color azul y rojo respectivamente), y de las que se obtuvieron los siguientes gráficos:

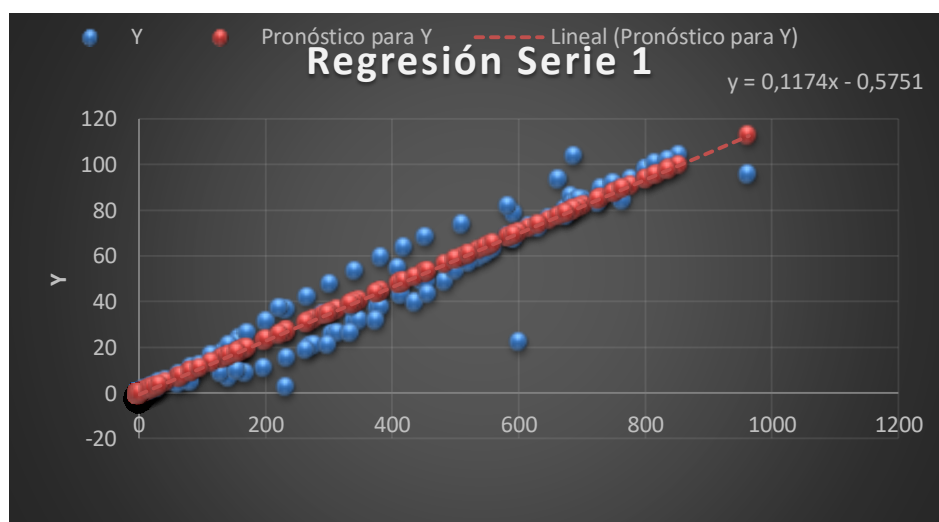


Figura 17: Regresión Serie 1(30/04-02/05). Fuente propia.



Figura 18: Regresión Serie 2(21/05-24/05). Fuente propia.



Figura 19: Regresión Serie 3(05/06-06/06). Fuente propia.

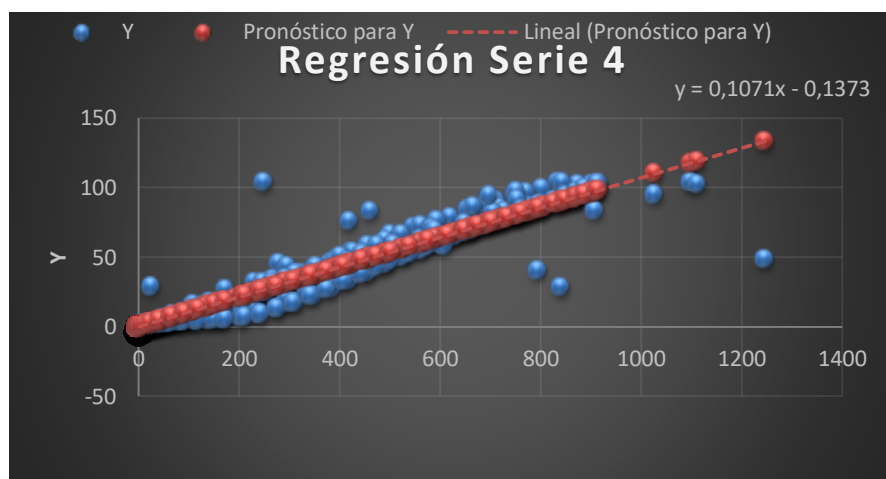


Figura 20: Regresión Serie 4. Fuente propia.

#### 4.2.1.3. Determinación de la función de regresión conjunta para las series observadas

Con las funciones de regresión de cada una de las series de datos previamente mencionadas se hizo una regresión conjunta de las mismas, por ser esta representativa de las 4 observaciones recogidas en un período de 45 días, teniendo todas un valor del coeficiente de determinación similar, de manera que se obtuviese la ecuación definitiva que relacionase las radiaciones solares captadas con el radiómetro y las que cogían los paneles solares. La regresión conjunta de las 4 series se muestra en la siguiente figura.

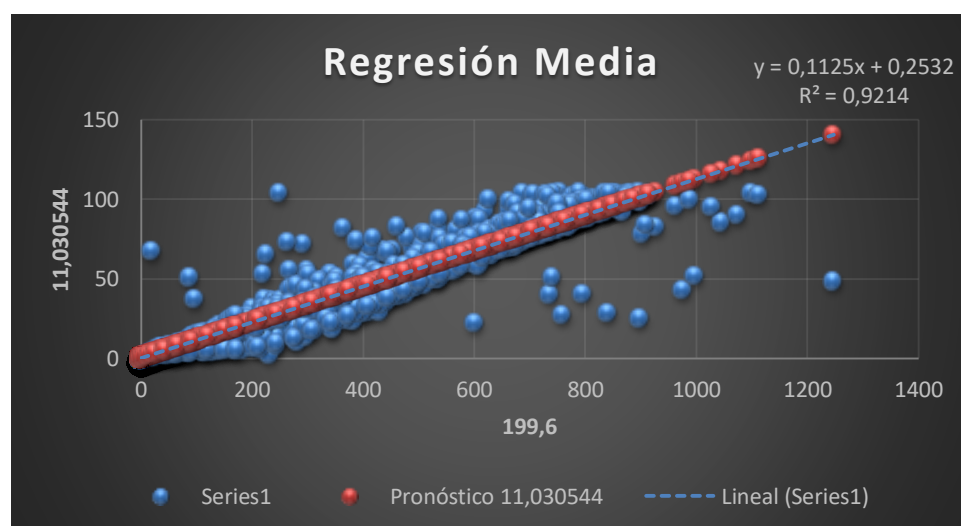


Figura 21: Regresión Media. Fuente propia.

De esta manera se obtuvo la ecuación del ajuste lineal para el conjunto de las cuatro series observadas, para poder aplicarla a las mediciones de los puntos de la zona de estudio (Centro de Cáceres), con un coeficiente de determinación  $R^2=0,9214$ , lo que mostraba que la regresión era válida. La ecuación obtenida fue la siguiente:

$$y=0,1124x + 0,2532$$

Esta sería la ecuación que se extrapolase a los puntos de la zona de estudio con el objetivo de obtener que radiación captarían unos paneles solares fotovoltaicos en dichos puntos, como se explicará en la tercera fase de la metodología.

## **4.2.2. SELECCIÓN DE PUNTOS EN LA CIUDAD DE CÁCERES**

### **4.2.2.1. Revisión de los puntos de la Red de Poligonación del Excmo. Ayuntamiento de Cáceres**

Para poder seleccionar los puntos de estudio del centro de Cáceres en los que se realizarían mediciones de radiaciones solares previamente se revisó la situación de parte de la Red de Poligonación de Cáceres, anotando cuáles estaban en perfecto estado, cuales se encontraban en estado deteriorado (chapas desgastadas o semi-arrancadas) y cuáles habían desaparecido.

### **4.2.2.2. Selección de puntos para la zona centro**

Aleatoriamente se seleccionaron 10 puntos de la zona de estudio, ubicada en la zona centro de Cáceres, para posteriormente realizar las mediciones correspondientes en ellos. La zona de estudio tiene una superficie de  $4,7 \text{ km}^2$ , y está formada por multitud de calles empedradas estrechas, lo que en algunos puntos se traduce en más horas de sombra que en otros ubicados en zonas más abiertas. La ubicación de la zona de estudio se muestra en la siguiente figura.



Figura 22: Zona de estudio. Fuente propia



La situación de dichos puntos puede observarse en el plano 1, adjunto al final de este estudio. La reseña de los mismos puede encontrarse en el ANEXO 1.

### **4.2.3. EXTRAPOLACIÓN DE LA RADIACIÓN EN CÁCERES**

En esta fase se va a tratar de cómo se realizaron las mediciones y en que horario en los puntos de la zona de estudio, así como de la extrapolación de la ecuación de regresión lineal obtenida en la fase 4.2.1.3 a dichos puntos

#### **4.2.3.1. Toma de datos de radiación solar**

La toma de datos se realizó con un radiómetro manual calibrado mencionado anteriormente. Se realizaron mediciones de intervalos de tiempo de 20 minutos en cada hora desde las 09:00h hasta las 21:00h en cada uno de los diez puntos que se seleccionaron de la zona de estudio, con lo que en cada punto se obtuvieron un total de 12 mediciones, siempre durante días soleados y sin nubes. Esta fase se realizó entre el 18 de Junio y el 11 de Julio y llevó un tiempo de realización de aproximadamente 80 horas. El día y la hora exacta de cada una de las mediciones puede encontrarse en el ANEXO 2.

#### **4.2.3.2. Extrapolación de la ecuación a los puntos de la zona de estudio**

Tras la medición con radiómetro en los distintos puntos de la zona de estudio y en cada uno de los 12 intervalos, se procedió a aplicar la ecuación de regresión lineal obtenida en la subfase 4.2.1.3. a los datos obtenidos de la medición de los mismos, para así obtener la posible energía solar que captaría una instalación solar fotovoltaica en dichos puntos.

Los gráficos obtenidos que representan esta correlación entre radiómetro y paneles solares se pueden consultar en el plano 2 de este documento.

## **5. RESULTADOS, DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES**

En este apartado se muestran los resultados obtenidos, así como una discusión y análisis sobre los mismos.

Aplicando la ecuación que relaciona el potencial solar (observado con el radiómetro en cada punto) y la radiación solar o energía solar que se puede recoger en estos puntos, se han realizado una serie de gráficos. Dichos gráficos pueden consultarse en el plano 2 al final de este estudio.

Analizando dichos gráficos se puede comprobar que dentro de la zona de estudio existen diversas zonas en las que el potencial solar y por tanto la predicción de radiación solar captada, presenta diferencias. Se pueden distinguir 3 grupos:

### **1) GRUPO 1**

En este primer grupo se incluyen los puntos 1074/175, 224, 1203 y 2180, siendo estos los que más horas de incidencia directa de sol reciben (entre 6 y 7 horas diarias), durante las cuales el potencial solar captado es muy superior al de las horas de sombra, y por tanto la radiación solar que pudiesen recoger una serie de paneles solares también, pudiendo llegar esta a los  $125 \text{ Wh/m}^2$ .

Si aparte se le añade el resto de horas de luz en la que ésta no incide directamente sobre los puntos (horas de sombra), en las que la radiación solar tiene un valor de aproximadamente  $10 \text{ Wh/m}^2$ , esto hace que en cada una de las zonas aledañas a este listado de puntos de la zona de estudio se alcance un máximo de aproximadamente  $925 \text{ W/m}^2$  de media al día.

### **2) GRUPO 2**

En este segundo grupo se incluyen los puntos 2024, 2055 y 1115, recibiendo estos un número importante de horas de incidencia directa de sol (entre 4 y 5 horas aproximadamente), pero sin alcanzar las del grupo 1. Durante estas horas la radiación solar que captaría una instalación fotovoltaica cobra valores cercanos a los  $125 \text{ Wh/m}^2$ .

Si aparte se le añade el resto de horas de luz en las que esta no incide de manera directa, en las que la radiación solar tiene un valor de aproximadamente  $10\text{Wh}/\text{m}^2$ , esto hace que en cada una de las zonas aledañas a este listado de puntos de la zona de estudio se alcance un máximo de  $695\text{ W}/\text{m}^2$  de media al día.

### **3) GRUPO 3**

En este grupo se incluyen los puntos 2034, 2106 y 2163, recibiendo esos entre 2 y 3 horas diarias de incidencia directa de sol. Durante estas horas la radiación solar que captaría una instalación fotovoltaica cobra valores cercanos a los  $125\text{ Wh}/\text{m}^2$ .

Si además se tiene en cuenta el resto de horas de luz en las que esta no incide de manera directa (horas de sombra), con valores cercanos a los  $10\text{Wh}/\text{m}^2$ , esto supone que en las zonas dónde se encuentran dichos puntos se alcance un máximo de  $465\text{ W}/\text{m}^2$  de media al día.

Observando estos tres grupos dentro de la zona de estudio se puede deducir que, salvo el grupo 3, en el cual las radiaciones solares captadas presentan un nivel bajo, los otros dos grupos presentan un potencial solar elevado, especialmente el grupo 1. Con los niveles de radiación solar que se recogen en las zonas donde se encuentran los puntos de los dos primeros grupos, es fácil deducir que dichos puntos se encuentran en zonas altamente idóneas para una posible instalación de paneles solares fotovoltaicos.

Además, se debe tener en cuenta que dichos niveles son los que alcanzaría una instalación de paneles fotovoltaicos si estos fueran del modelo SUNTECH POWER 275-20/WFW, con una eficiencia del 16,8%. Sin embargo, estos paneles fueron instalados hace ya varios años, y aunque no están desfasados, actualmente en el mercado podemos encontrar una diversidad de paneles con características superiores. Algunos de éstos se muestran a continuación.

- **Panel Solar Fotovoltaico 60 Cell N type/340W-350W(Rooftop)**



Figura 23: Panel 60 Cell N type/340W-350W(Rooftop)

Este panel es del tipo Monocrystalino, con una potencia máxima de 350 Wp (si bien hay modelos con potencias máximas inferiores).

Su precio de mercado de 0,217€/ Wp. (Web de ENFSOLAR, 2019).

En el caso de este panel la eficiencia es del 20,7% (casi un 4% más que la de los paneles solares con los que se ha realizado el estudio).

Esto, traducido a la energía solar que podría captar un panel del Grupo 1 sería de aproximadamente 1140 W/m<sup>2</sup> de media al día, es decir, aproximadamente 215 W/m<sup>2</sup> más al día (respecto a los 925 W/m<sup>2</sup>).

- **Panel Solar Fotovoltaico Bifacial RCM 340-370 6MB DG**

Este panel de origen francés presenta la particularidad de ser de tipo bifacial, es decir, que presentan células fotovoltaicas por sus dos caras, de manera que captan la radiación solar directa y también la reflejada. (Web de ENFSOLAR, 2019).

Con un precio de salida de mercado de 0,253€/W y una potencia máxima de 370 Wp, este panel tiene una eficiencia del 20,57%, lo cual nos llevaría a que dichos paneles recogerían 1132 W/m<sup>2</sup> de media al día si se ubicaran en las zonas de puntos del Grupo 1.

- **Panel Solar Fotovoltaico Zenith ATP 380**

Este panel monocristalino, de origen italiano, llega a alcanzar una potencia máxima de 380 Wp y se puede encontrar en el mercado a partir de 0,244€/ Wp.

Con una eficiencia del 22,2% (5,5% más que los paneles usados en el estudio), esto supondría que dichos paneles captarían aproximadamente 1222 W/m<sup>2</sup> de media al día, si fuesen ubicados en los puntos del Grupo 1.

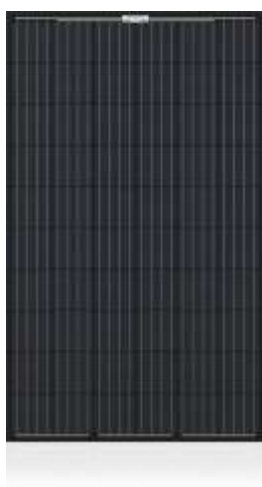


Figura 24: Panel Solar Fotovoltaico Zenith ATP 380

Dicho esto, se deduce que, aunque el potencial solar de la zona es altísimo, se podría conseguir un rendimiento superior al del estudio con la ayuda de las nuevas tecnologías, ya que los paneles solares que existen en el mercado presentan unas prestaciones cada vez mejores.

Sin embargo, se es consciente que la zona estudiada puede presentar alguna restricción en cuanto a una posible instalación de paneles solares (normativa existente referida al casco antiguo, espacio disponible, etc.). Por eso en este estudio se ha pretendido dar un paso adelante en lo que a innovación y practicidad se refiere, respetando las características de la zona de estudio. Esto sería posible mediante la instalación de mobiliario urbano alimentado por energía solar.

Como se mencionó en el apartado antecedentes, son varias las empresas que ya apuestan por estas alternativas a los huertos solares tradicionales. Este mobiliario urbano se hace posible mediante la integración total del panel fotovoltaico en el poliéster reforzado con fibra de vidrio, convirtiéndolo inviolable ante actos vandálicos, y aplicándoles la forma que se desee (ya que la fibra de vidrio se realiza con un molde, pudiéndose dar esta la forma que se desee y qué existen paneles solares flexibles) y haciéndolo más estético y respetuoso con el entorno. Además, cada uno de estos módulos podría ser autónomo, energéticamente hablando.

La idea final que presenta este estudio es la incorporación de dicho mobiliario en las zonas más aptas para ello (zona de puntos del Grupo 1 y Grupo 2), que estén conectados entre sí mediante una red de energía inteligente que no sólo almacene y gestione la energía captada, de manera que no se desperdicie esta, sino que además ofrezca un listado de servicios a los ciudadanos de la zona, como podrían ser los siguientes:

- Iluminación (la energía captada podría servir para la iluminación de farolas, que están dentro de este mobiliario urbano solar, así como pistas deportivas, asientos de gradas, pasos de peatones, señales, etc.)
- Puntos de recarga (tanto telefónica como para vehículos eléctricos, en que sirva para solucionar necesidades de conexión de los habitantes)
- Información y publicidad (Surge la idea de la creación de una aplicación web de información turística de la ciudad que pueda instalarse en distintas pantallas en los módulos de mobiliario urbano, tales como kioscos o marquesinas.

Además de estos beneficios para el ciudadano, también existirían beneficios para la ciudad, como la generación de energía en cada uno de dichos módulos con la posibilidad del almacenamiento de la misma o su venta.

A continuación se exponen algunas de las posibilidades de mobiliario solar urbano con algunas posibles características y servicios de los mismos:

❖ **Banco Solar**



Figura 25: Banco Solar con iluminación led y enchufes

(Fuente: <http://insopol.com/index.html>)

**Características:**

1 módulo solar de silicio amorfo flexible.

Iluminación

Enchufes

❖ **Kiosko Solar**



Figura 26: Kiosko solar (Fuente: <http://insopol.com/index.html>)

**Características:**

12 módulos solares flexibles.

Iluminación

Enchufes e interruptor.

❖ **Aparca bicis solar**



Figura 27: Aparca bicicletas solar (Fuente: <http://insopol.com/index.html>)

**Características:**

4 láminas solares flexibles

Enchufes interiores para recarga

Sistema electrónico de control de puertas

WIFI

Iluminación

Paneles informativos digitales

❖ **Parada de transporte público solar**



Figura 28: Parada de transporte público solar (Fuente: <http://insopol.com/index.html>)



**Características:**

12 módulos solares de silicio amorfo flexible.

Enchufes estancos.

WIFI

Iluminación

Paneles informativos digitales

❖ **Farolas solares**



Figura 29: Farola Solar (Fuente: <http://insopol.com/index.html>)

**Características:**

2/4 módulos solares

Estas son sólo algunas de las opciones que se presentan como mobiliario solar urbano, pero sería posible la integración de receptores fotovoltaicos en gran diversidad de mobiliario urbano, y cada vez son más los proyectos, iniciativas y empresas que deciden invertir en el sector.

Para finalizar, se puede afirmar que la zona de estudio (concretamente donde se encuentran los grupos de puntos 1 y 2) se encuentra en un entorno idóneo para el fomento de la energía solar fotovoltaica, que no traería más que beneficios, y cuyo único impedimento considerando la situación actual sería que este fomento sólo puede

hacerse realidad si viene acompañada del necesario desembolso económico. No obstante este desembolso sólo sería una inversión de futuro, ya que el contexto en el que se encuentra España en cuanto a climatología y radiación solar recibida se refiere, y más concretamente Extremadura, lo convierte en un lugar idóneo para la instalación urbana de diversos módulos solares fotovoltaico. Además esto supondría un acercamiento de las energías renovables al ciudadano y una aportación que de ejemplo a frenar el deterioro que sufre el planeta, combinando la tecnología con las oportunidades que brinda el medio ambiente.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS** (Según norma ISO690)

- Banco Mundial. Estadísticas, Consumo de energía procedente de combustibles fósiles, 2015. Disponible en:  
<http://datos.bancomundial.org/indicador/EG.USE.COMM.FO.ZS?end=2015&start=1960&view=chart>
- Banco Mundial. Estadísticas, Producción de electricidad a partir de fuentes de petróleo, gas y carbón (% del total), 2015. Puede consultarse en:  
<https://datos.bancomundial.org/indicador/EG.ELC.FOSL.ZS?end=2015&start=1960&view=chart&year=2014>
- Banco Mundial. Estadísticas, Producción de electricidad a partir de fuentes nucleares (% del total), 2015. Puede consultarse en:  
<https://datos.bancomundial.org/indicador/EG.ELC.NUCL.ZS?end=2015&start=1960&view=chart&year=2014>
- Unión Europea. EUROPA 2020, Una estrategia para un crecimiento inteligente sostenible e integrador, 2010. Puede consultarse en:  
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex:52010DC2020>
- De España, Gobierno. Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030, 2019. Puede consultarse en:  
[https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/participacion-publica/documentoparticipacionpublicaborradordelplannacionalintegradoeennergiayclima2021-2030\\_tcm30-487344.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/participacion-publica/documentoparticipacionpublicaborradordelplannacionalintegradoeennergiayclima2021-2030_tcm30-487344.pdf)
- De España, Gobierno. Programa Nacional de reformas. Reino de España, 2019. Puede consultarse en: [https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/2019-european-semester-national-reform-programme-spain\\_es.pdf](https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/2019-european-semester-national-reform-programme-spain_es.pdf)

- De España, Red Eléctrica. Estadísticas, Evolución de la Generación Renovable y No Renovable, 2019. Puede consultarse en:  
<https://www.ree.es/es/datos/generacion/evolucion-renovable-no-renovable>
- Rodríguez Martínez, Marta. ¿Qué Países Europeos lideran el sector de la Energía Renovable?. 2018. Puede consultarse en:  
<https://es.euronews.com/2018/09/28/que-paises-europeos-lideran-el-sector-de-la-energia-renovable>
- SOLARGIS. Mapas de Recursos Solares de Europa, 2019. Puede consultarse en:  
<https://solargis.com/es/maps-and-gis-data/download/europe>
- Barrera, Manuel Fernández. Energía solar: Electricidad fotovoltaica. Editorial Liber Factory, 2010. Puede consultarse en:  
<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=EVHJb11i-eMC&oi=fnd&pg=PA13&dq=tipos+de+paneles+solares&ots=fC3syrCVZb&sig=4TdFGBg4BaHy7zNX3pb9c4iSzvo#v=onepage&q=tipos%20de%20paneles%20solares&f=false>
- Peromarta, Julia. Tipos de paneles solares. Energía solar para principiantes, 2017. Puede consultarse en:  
<https://endef.com/tipos-de-paneles-solares/>
- Esquivel, Ricardo. Revista FERREPAT. Paneles Solares para Casas: Qué Tipo y Cuantos Necesitas, 2016. Puede consultarse en:  
<https://www.revista.ferrepat.com/ferreteria/paneles-solares-casas-tipo-cuantos-necesitas/>
- Ayuntamiento de Cáceres, Modificación del Plan General Municipal (PGM), 2011. Puede consultarse en:  
[https://www.ayto-caceres.es/wp-content/uploads/2016/09/Modificacion\\_PGM\\_ENERO\\_2012.pdf](https://www.ayto-caceres.es/wp-content/uploads/2016/09/Modificacion_PGM_ENERO_2012.pdf)
- Ayuntamiento de Cáceres, Ordenanza Fiscal Reguladora Del Impuesto sobre Construcciones, Instalaciones y Obras, 2017. Puede consultarse en:

<https://www.ayto-caceres.es/wp-content/uploads/2013/01/IMPUESTO-SOBRE-CONSTRUCCIONES-INSTALACIONESL-Y-OBRAS.pdf>

- Web de Cambio energético, Subvención Extremadura en Energías Renovables, 2018. Puede consultarse en:

<https://www.cambioenergetico.com/blog/subvencion-extremadura-energias-renovables-2018/>

- Sobrina Sobria, Sam Koochi-Kamalia, Nasrudin Abd. Rahima,b, Solar photovoltaic generation forecasting methods: A review, 2018.

Puede consultarse en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890417310622>

- BABATUNDE, Akinola A.; ABBASOGLU, Serkan. Predictive analysis of photovoltaic plants specific yield with the implementation of multiple linear regression tool. Environmental Progress & Sustainable Energy, 2019, vol. 38, no 4.

Puede consultarse en: <https://doi.org/10.1002/ep.13098>

- Web de ENFSOLAR, 2019. Puede consultarse en: <https://es.ensolar.com>

## **ANEXOS**

### **ANEXO 1. LISTADO DE VÉRTICES SELECCIONADOS**

#### **Vértices de la Red de Poligonación de 2009**

##### **VÉRTICE 2106**

**Estado:** Operativo      **Anamorfofis:** 1,00022883      **Señal:** Clavo de bronce

##### **Coordenadas:**

○ **WGS84/ETRS89**

-6° 22' 25,485'' Longitud OESTE

39° 28' 29,446'' Latitud NORTE

##### **Localización:**

**Via:** C/ CASTILLO

**Situación:** Situado en las escaleras de la C/ Castillo, que acceden a la C/ Parras. El clavo está ubicado en un escalón frente a la ventana de la casa N° 1 de dicha calle.

**VÉRTICE 2024**

**Estado:** Operativo      **Anamorfosis:** 1,0002286      **Señal:** Clavo de bronce

**Coordenadas:**

○ **WGS84/ETRS89**

-6° 22' 26,993'' Longitud OESTE

39° 28' 34,555'' Latitud NORTE

**Localización:**

**Via:** C/ SAN JOSÉ

**Situación:** Situado en el bordillo de la C/ San José, en el rebaje del paso de peatones de la C/ San José con la C/ San Felipe

**VÉRTICE 1203**

**Estado:** Operativo      **Anamorfosis:** 1,000227954      **Señal:** Clavo de bronce

**Coordenadas:**

○ **WGS84/ETRS89**

-6° 22' 31,5'' Longitud OESTE

39° 28' 44,36'' Latitud NORTE

**Localización:**

**Via:** C/ PADRE BAYLE

**Situación:** En la acera derecha de la calle Padre Bayle, dirección calle Barrio Nuevo, cerca del portal N° 7

**VÉRTICE 1074/175**

**Estado:** Operativo      **Anamorfofis:** 1,000229132      **Señal:** Clavo de bronce

**Coordenadas:**

○ **WGS84/ETRS89**

-6° 22' 26,861'' Longitud OESTE

39° 28' 43,406'' Latitud NORTE

**Localización:**

**Via:** C/ GENERAL MARGALLO

**Situación:** En la acera derecha de la calle General Margallo, dirección Plaza de Toros, a la altura del portal N° 90 A.

**VÉRTICE 2034**

**Estado:** Operativo      **Anamorfofis:** 1,00023021      **Señal:** Clavo de bronce (sin arandela)

**Coordenadas:**

○ **WGS84/ETRS89**

-6° 22' 14,819'' Longitud OESTE

39° 28' 36,295'' Latitud NORTE

**Localización:**

**Via:** C/ NIDOS



**Situación:** Situado en la acera derecha (Números pares) de la C/ Nido, a la altura de la casa Nº 12 A.

**VÉRTICE 2180**

**Estado:** Operativo      **Anamorfofis:** 1,00022921      **Señal:** Clavo de bronce

**Coordenadas:**

○ **WGS84/ETRS89**

-6° 22' 22,857'' Longitud OESTE

39° 28' 23,337'' Latitud NORTE

**Localización:**

**Via:** C/ HORNOS

**Situación:** En la acera izquierda de la C/ Hornos, junto a la esquina de la casa nº 1 de dicha calle, en la esquina con la C/ Postigo

**VÉRTICE 2055**

**Estado:** Operativo      **Anamorfofis:** 1,00023151      **Señal:** Clavo de bronce

**Coordenadas:**

○ **WGS84/ETRS89**

-6° 22' 5,1347'' Longitud OESTE

39° 28' 35,234'' Latitud NORTE

**Localización:**

**Via:** C/ VILLALOBOS

**Situación:** En la intersección de la C/ Villalobos con la C/ Beato Jose Oriol, en la acera derecha de la C/ Villalobos

**VÉRTICE 2163**

**Estado:** Operativo      **Anamorfosis:** 1,00023103      **Señal:** Clavo de bronce

**Coordenadas:**

○ **WGS84/ETRS89**

-6° 22' 8,9346'' Longitud OESTE

39° 28' 30,621'' Latitud NORTE

**Localización:**

**Via:** C/ HORNILLOS

**Situación:** En el centro de la C/ Hornillos, en la esquina de la casa nº 7 de dicha calle

**VÉRTICE 1115**

**Estado:** Operativo      **Anamorfosis:** 1,000230109      **Señal:** Clavo de bronce

**Coordenadas:**

○ **WGS84/ETRS89**

-6° 22' 15,99'' Longitud OESTE

39° 28' 25,91'' Latitud NORTE

**Localización:**

**Via:** CUESTA DE ALDANA

**Situación:** A la altura del cruce con la C/ de la Monja

**VÉRTICE 1115**

**Estado:** Operativo      **Anamorfofis:** 1,000230109      **Señal:** Clavo de bronce

**Coordenadas:**

○ **WGS84/ETRS89**

-6° 22' 15,99'' Longitud OESTE

39° 28' 25,91'' Latitud NORTE

**Localización:**

**Via:** CUESTA DE ALDANA

**Situación:** A la altura del cruce con la C/ de la Monja

**VÉRTICE 224**

**Estado:** Operativo      **Anamorfofis:** 1,000230909      **Señal:** Clavo de bronce

**Coordenadas:**

○ **WGS84/ETRS89**

-6° 22' 14,446'' Longitud OESTE

39° 28' 18,677'' Latitud NORTE

**Localización:**

**Via:** C/ TORREMOCHADA

**Situación:** Al lado de la Torre del mismo nombre de la calle, en la esquina

## ANEXO 2. HORAS DE LAS MEDICIONES EN LA ZONA DE ESTUDIO

### • 18 DE JUNIO

SERIE	Nº PTO	FECHA	HORA SOLAR		HORA LEGAL		SITUACIÓN PTO	
			HSOLAR INICIO	HSOLAR FIN	HLEGAL INICIO	HLEGAL FIN	SOL	SOMBRA
	2106	18-jun	7:06:39	7:26:41	9:33:10	9:53:12		SI
	2034		7:46:31	8:06:40	10:13:05	10:33:11		SI
	1074		8:28:51	8:48:58	10:55:23	11:15:27		SI
	1074		9:24:40	9:44:43	11:51:13	12:11:16		SI

Tabla 2: Hora de las mediciones en zona de estudio 18 de junio

### • 21 DE JUNIO

SERIE	Nº PTO	FECHA	HORA SOLAR		HORA LEGAL		SITUACIÓN PTO	
			HSOLAR INICIO	HSOLAR FIN	HLEGAL INICIO	HLEGAL FIN	SOL	SOMBRA
1	2034	21-jun	6:53:13	7:13:34	9:20:23	9:40:44		SI
2	1074		7:22:18	7:42:38	9:49:28	10:09:49		SI
3	1203		7:48:29	8:08:52	10:15:40	10:36:03	SI	
4	2024		8:17:23	8:37:43	10:44:34	11:04:54		SI
5	2106		8:47:15	9:08:09	11:14:26	11:35:21	2º	1º
6	2034		9:21:22	9:41:32	11:48:34	12:08:44		SI
7	2055		9:50:53	10:11:06	12:18:05	12:38:17	2º	1º
8	2106		14:23:33	14:43:37	16:50:47	17:10:52		SI
9	2024		14:50:00	15:10:20	17:17:15	17:37:35		SI
10	1203		15:21:54	15:42:12	17:49:09	18:09:27		SI
11	1074		15:46:39	16:07:32	18:13:55	18:34:47	1º	º2
12	2034		16:15:59	16:37:20	18:43:14	19:04:35		SI
13	2055		16:46:23	17:07:01	19:13:37	19:34:16		SI
14	2163		17:14:35	17:34:57	19:41:50	20:02:12		SI

Tabla 3: Hora de las mediciones en zona de estudio 21 de junio

• **25 DE JUNIO**

			HORA SOLAR		HORA LEGAL	SITUACIÓN PTO		
SERIE	Nº PTO	FECHA	HSOLAR INICIO	HSOLAR FIN	HLEGAL INICIO	HLEGAL FIN	SOL	SOMBRA
1	2106	25-jun	7:46:29	8:06:40	10:14:32	10:34:43		si
2	2055	25-jun	8:27:34	8:47:54	10:55:36	11:15:56		si
3	2163	25-jun	8:53:27	9:13:43	11:21:29	11:41:45		si

Tabla 4: Hora de las mediciones en zona de estudio 25 de junio

• **26 DE JUNIO**

			HORA SOLAR		HORA LEGAL	SITUACIÓN PTO		
SERIE	Nº PTO	FECHA	HSOLAR INICIO	HSOLAR FIN	HLEGAL INICIO	HLEGAL FIN	SOL	SOMBRA
1	2024	26-jun	6:55:02	7:15:16	9:23:17	9:43:31		SI
2	1203	26-jun	7:21:22	7:41:37	9:49:38	10:09:53	SI	
3	2163	26-jun	7:52:51	8:13:25	10:21:05	10:41:40		SI
4	1115	26-jun	8:18:49	8:39	10:47:04	11:07:23		SI
5	1115	26-jun	8:40:54	9:01:13	11:09:09	11:29:28		SI
6	2024	26-jun	14:24:10	14:44:22	16:52:29	17:12:41		SI
7	1074	26-jun	14:52:41	15:13:22	17:21:00	17:41:41	SI	
8	2034	26-jun	15:21:20	15:41:22	17:49:39	18:09:41		SI
9	2055	26-jun	15:48:49	16:09:04	18:17:08	18:37:23		SI
10	2163	26-jun	16:13:53	16:34:11	18:42:12	19:02:30		SI
11	1115	26-jun	16:40:52	17:01:17	19:09:11	19:29:37		SI
12	224	26-jun	17:09:22	17:29:47	19:37:42	19:58:07	1º	2º
13	224	26-jun	17:31:46	17:52:04	20:00:06	20:20:24		SI
14	2180	26-jun	17:58:33	18:18:52	20:26:53	20:47:13		SI

Tabla 5: Hora de las mediciones en zona de estudio 26 de junio

• **27 DE JUNIO**

			HORA SOLAR		HORA LEGAL	SITUACIÓN PTO		
SERIE	Nº PTO	FECHA	HSOLAR INICIO	HSOLAR FIN	HLEGAL INICIO	HLEGAL FIN	SOL	SOMBRA
1	2106	27-jun	13:17:37	13:38:00	15:46:08	16:06:31		SI
2	1203	27-jun	14:01:14	14:21:51	16:29:46	15:50:23		SI
3	1074	27-jun	14:25:52	14:46:07	16:54:24	17:14:39	SI	

*Extrapolación de la radiación solar captada en paneles fotovoltaicos en diferentes puntos de la ciudad de Cáceres*

4	2055	27-jun	14:56:57	15:17:21	17:25:27	17:45:52	SI	
5	2106	27-jun	15:26:08	15:46:24	17:54:40	18:14:56		SI
6	2106	27-jun	15:47:33	16:08:02	18:16:05	18:36:34		SI
7	2024	27-jun	16:13:41	16:34:10	18:42:13	19:02:43		SI
8	2024	27-jun	16:35:45	16:56:12	19:04:18	19:24:45		SI
9	1203	27-jun	17:02:53	17:23:08	19:31:26	19:51:41		SI
10	1074	27-jun	17:26:59	17:47:19	19:55:32	20:15:52		SI
11	1074	27-jun	17:47:51	18:08:06	20:16:24	20:36:39		SI
12	2034	27-jun	18:18:43	18:39:09	20:47:17	21:07:42		SI

Tabla 6: Hora de las mediciones en zona de estudio 27 de junio

• **28 DE JUNIO**

SERIE	Nº PTO	FECHA	HORA SOLAR		HORA LEGAL		SITUACIÓN PTO	
			HSOLAR INICIO	HSOLAR FIN	HLEGAL INICIO	HLEGAL FIN	SOL	SOMBRA
1	2055	28-jun	6:36:35	6:56:49	9:05:14	9:25:28		SI
2	2163	28-jun	7:00:33	7:20:31	9:29:12	9:49:30		SI
3	1115	28-jun	7:24:59	7:45:18	9:53:38	10:13:58		SI
4	224	28-jun	7:54:40	8:14:59	10:23:20	10:43:39		SI
5	2180	28-jun	8:20:49	8:41:15	10:49:29	11:09:56	2º	1º
6	2180	28-jun	8:42:57	9:03:12	11:11:38	11:31:53	SI	
7	224	28-jun	9:08:32	9:28:53	11:37:13	11:57:34	2º	1º
8	224	28-jun	9:31:44	9:52:15	12:00:25	12:20:50	SI	
9	1115	28-jun	10:01:31	10:21:34	12:30:12	12:50:15		SI
10	2163	28-jun	10:26:23	10:46:47	12:55:04	13:15:28	SI	
11	2163	28-jun	10:47:36	11:08:05	13:16:17	13:36:46	SI	
12	2055	28-jun	11:13:34	11:33:44	13:42:15	14:02:25	SI	
13	2034	28-jun	14:30:47	14:51:15	16:59:30	17:19:58		SI
14	2163	28-jun	14:58:10	15:18:24	17:26:53	17:47:07		SI
15	1115	28-jun	15:24:22	15:45:20	17:53:06	18:14:04		SI
16	1115	28-jun	15:46:26	16:06:46	18:15:10	18:35:30		SI
17	224	28-jun	16:13:26	16:34:24	18:42:10	19:03:08	SI	
18	2180	28-jun	16:43:50	17:04:23	19:12:35	19:33:08		SI
19	2106	28-jun	17:11:24	17:31:41	19:40:09	20:00:26		SI
20	2106	28-jun	17:32:25	17:52:38	20:01:10	20:21:24		SI

Tabla 7: Hora de las mediciones en zona de estudio 28 de junio

• **30 DE JUNIO**

SERIE	Nº PTO	FECHA	HORA SOLAR		HORA LEGAL		SITUACIÓN PTO	
			HSOLAR INICIO	HSOLAR FIN	HLEGAL INICIO	HLEGAL FIN	SOL	SOMBRA
1	2163	30-jun	14:00:14	14:20:28	16:29:21	16:49:35		SI
2	2055	30-jun	14:24:37	14:45:16	16:53:44	17:14:16	SI	
3	224	30-jun	14:56:36	15:16:59	17:25:44	17:46:07	SI	
4	2180	30-jun	15:22:31	15:42:40	17:51:39	18:11:49		SI
5	2180	30-jun	15:43:16	16:03:23	18:12:25	18:32:32		SI

Tabla 8: Hora de las mediciones en zona de estudio 30 de junio

• **1 DE JULIO**

SERIE	Nº PTO	FECHA	HORA SOLAR		HORA LEGAL		SITUACIÓN PTO	
			HSOLAR INICIO	HSOLAR FIN	HLEGAL INICIO	HLEGAL FIN	SOL	SOMBRA
1	2055	01-jul	8:34:26	8:54:36	11:03:42	11:23:52		SI
2	2163	01-jul	8:58:32	9:19:13	11:27:48	11:48:29	2º	1º
3	1115	01-jul	9:24:30	9:44:39	11:53:47	12:13:56		SI
4	2106	01-jul	9:53:25	10:13:36	12:22:43	12:42:54	SI	
5	2024	01-jul	10:17:51	10:38:04	12:47:09	13:07:22	SI	
6	2024	01-jul	10:38:45	10:59:25	13:08:03	13:28:43	SI	
7	1203	01-jul	11:05:32	11:25:49	13:34:51	13:55:08	SI	
8	1203	01-jul	11:30:56	11:51:02	14:00:15	14:20:21	SI	
9	1074	01-jul	11:54:48	12:15:14	14:24:07	14:44:33	SI	
10	2034	01-jul	12:22:07	12:42:23	14:51:26	15:11:41	2º	1º
11	2180	01-jul	12:50:11	13:10:22	15:19:29	15:39:40	SI	

Tabla 9: Hora de las mediciones en zona de estudio 1 de julio

• **2 DE JULIO**

SERIE	Nº PTO	FECHA	HORA SOLAR		HORA LEGAL		SITUACIÓN PTO	
			HSOLAR INICIO	HSOLAR FIN	HLEGAL INICIO	HLEGAL FIN	SOL	SOMBRA
1	224	02-jul	9:10:22	9:31:11	11:39:50	12:00:39	2º	1º
2	2180	02-jul	9:37:35	9:59:13	12:07:05	12:28:41	1º	2º
3	2034	02-jul	10:08:07	10:28:14	12:37:35	12:57:43		SI
4	2034	02-jul	10:31:34	10:52:47	13:01:03	13:22:16		SI

*Extrapolación de la radiación solar captada en paneles fotovoltaicos en diferentes puntos de la ciudad de Cáceres*

5	1074	02-jul	11:00:02	11:20:23	13:29:32	13:49:53	SI	
6	2055	02-jul	11:31:45	11:52:21	14:01:15	14:21:50	SI	
7	2163	02-jul	11:57:20	12:17:40	14:26:49	14:47:09		SI
8	2163	02-jul	12:30:48	12:51:03	15:00:17	15:20:32		SI
9	1115	02-jul	12:55:04	13:15:23	15:24:34	15:44:53	2º	1º
10	224	02-jul	13:20:48	13:41:00	15:50:18	16:10:30	SI	

Tabla 10: Hora de las mediciones en zona de estudio 2 de julio

• **3 DE JULIO**

SERIE	Nº PTO	FECHA	HORA SOLAR		HORA LEGAL		SITUACIÓN PTO	
			HSOLAR INICIO	HSOLAR FIN	HLEGAL INICIO	HLEGAL FIN	SOL	SOMBRA
1	2106	03-jul	11:31:34	11:52:24	14:01:15	14:22:05		si
2	2024	03-jul	11:56:42	12:17:09	14:26:23	14:46:51	SI	

Tabla 11: Hora de las mediciones en zona de estudio 3 de julio

• **5 DE JULIO**

SERIE	Nº PTO	FECHA	HORA SOLAR		HORA LEGAL		SITUACIÓN PTO	
			HSOLAR INICIO	HSOLAR FIN	HLEGAL INICIO	HLEGAL FIN	SOL	SOMBRA
1	2180	05-jul	6:47:03	7:07:50	9:17:03	9:37:51		SI
2	224	05-jul	7:14:27	7:34:52	9:44:27	10:04:52		SI
3	2024	05-jul	8:33:18	8:53:30	11:03:19	11:23:32		SI
4	1203	05-jul	8:59:58	9:20:22	11:30:00	11:50:24	SI	
5	1074	05-jul	9:30:50	9:51:12	12:00:52	12:21:14		SI
6	1203	05-jul	9:55:25	10:15:50	12:25:27	12:45:53	SI	
7	1115	05-jul	10:30:14	10:50:41	13:00:16	13:20:43		SI
8	224	05-jul	10:55:55	11:16:07	13:25:57	13:46:09	SI	
9	2180	05-jul	11:20:56	11:47:17	13:56:58	14:17:20		SI
10	2180	05-jul	11:47:47	12:08:24	14:17:50	14:38:27	2º	1º
11	224	05-jul	12:15:13	12:35:48	14:45:16	15:05:51	SI	
12	2055	05-jul	12:53:25	13:13:52	15:23:28	15:43:54	2º	1º
13	2034	05-jul	13:25:01	13:45:39	15:55:04	16:15:42	SI	
14	2034	05-jul	17:00:26	17:20:31	19:36:30	19:56:36		SI
15	2055	05-jul	17:31:39	17:51:42	20:01:44	20:21:46		SI
16	2163	05-jul	17:55:23	18:15:32	20:25:27	20:45:37		SI
17	1115	05-jul	18:20:18	18:40:32	20:50:23	21:10:37		SI

Tabla 12: Hora de las mediciones en zona de estudio 5 de julio



• **6 DE JULIO**

SERIE	Nº PTO	FECHA	HORA SOLAR		HORA LEGAL		SITUACIÓN PTO	
			HSOLAR INICIO	HSOLAR FIN	HLEGAL INICIO	HLEGAL FIN	SOL	SOMBRA
1	2106	06-jul	11:13:25	11:33:37	13:43:38	14:03:50	1º	2º
2	1115	06-jul	11:42:21	12:03:32	14:12:34	14:33:45	SI	
3	2024	06-jul	12:32:21	12:52:32	15:02:34	15:22:46	SI	

Tabla 13: Hora de las mediciones en zona de estudio 6 de julio

• **7 DE JULIO**

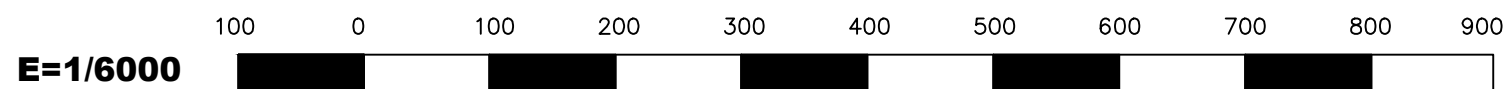
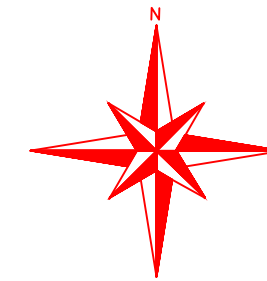
SERIE	Nº PTO	FECHA	HORA SOLAR		HORA LEGAL		SITUACIÓN PTO	
			HSOLAR INICIO	HSOLAR FIN	HLEGAL INICIO	HLEGAL FIN	SOL	SOMBRA
1	1203	07-jul	12:31:40	12:52:49	15:02:04	15:23:13	1	2
2	1074	07-jul	12:56:24	13:16:56	15:26:48	15:47:20	SI	
3	1115	07-jul	13:29:58	13:50:28	16:00:22	16:20:43	SI	
4	224	07-jul	13:56:14	14:16:31	16:26:37	16:46:54	SI	
5	2180	07-jul	14:23:22	14:43:34	16:53:46	17:13:58		SI
6	2024	07-jul	17:29:49	17:51:35	20:00:14	20:22:01		SI
7	1203	07-jul	17:57:43	18:18:36	20:28:09	20:49:02		SI

Tabla 13: Hora de las mediciones en zona de estudio 7 de julio

• **11 DE JULIO**

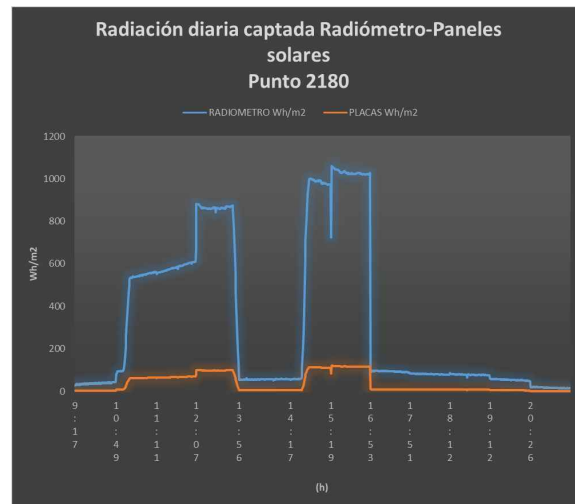
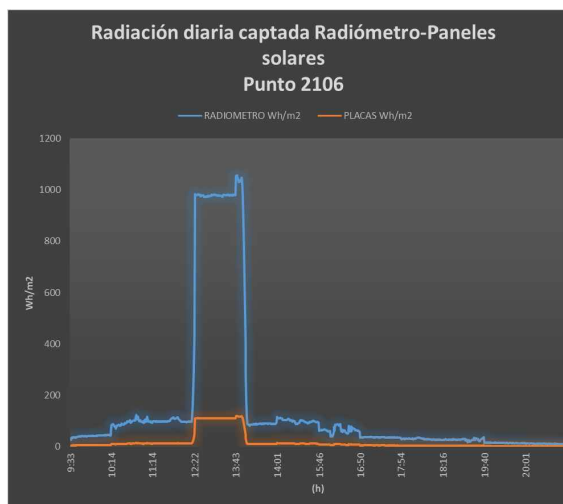
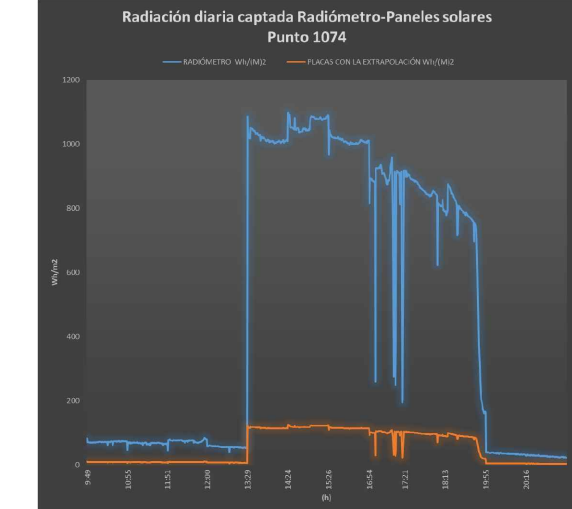
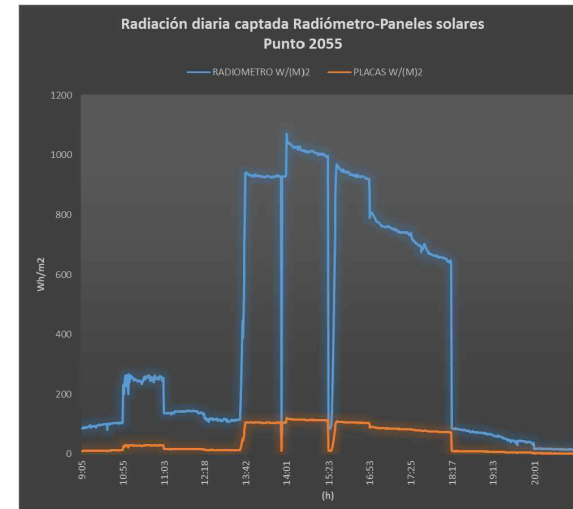
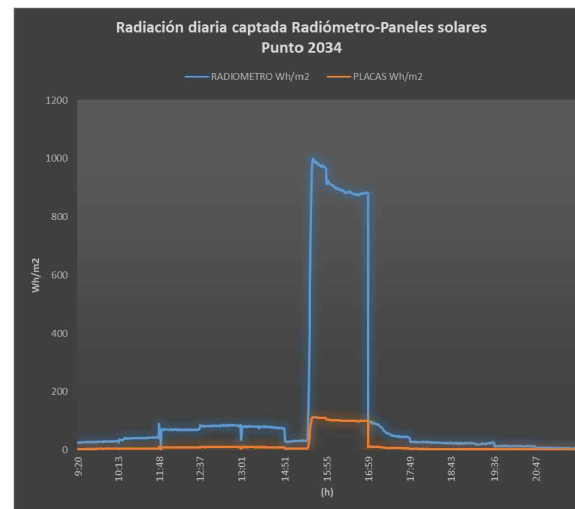
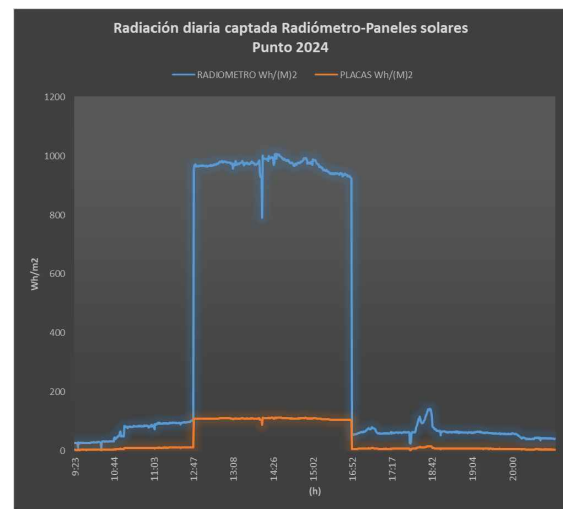
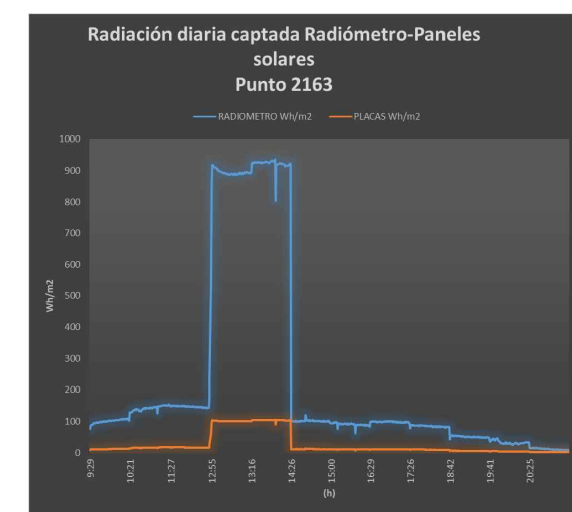
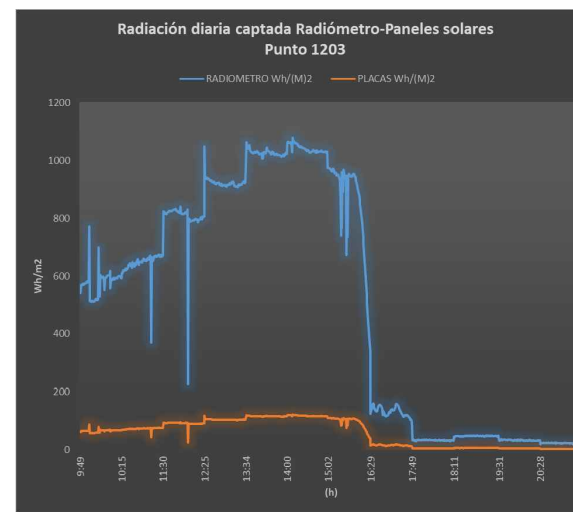
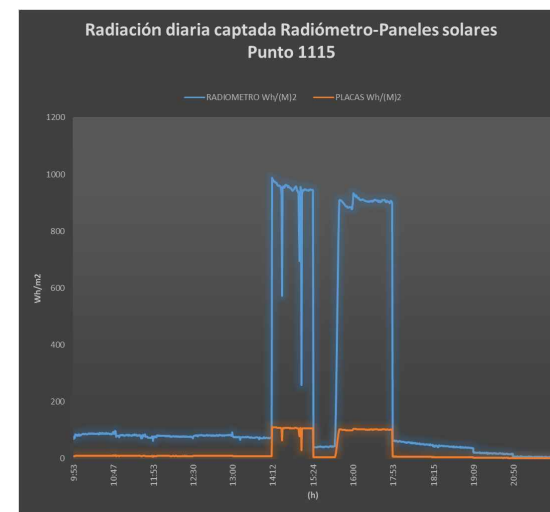
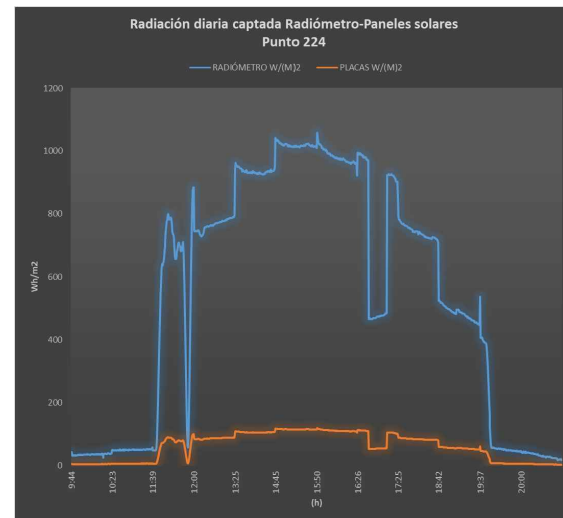
SERIE	Nº PTO	FECHA	HORA SOLAR		HORA LEGAL		SITUACIÓN PTO	
			HSOLAR INICIO	HSOLAR FIN	HLEGAL INICIO	HLEGAL FIN	SOL	SOMBRA
1	1203	11/07/2019	15:47:10	16:09:39	18:11:11	18:40:39		SI

Tabla 14: Hora de las mediciones en zona de estudio 11 de julio



Cotas en m

<b>Grado en Ingeniería Civil</b> <b>Escuela Politécnica de Cáceres. UEX</b>
<b>TÍTULO TFG: EXTRAPOLACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR CAPTADA EN PANELES FOTOVOLTAICOS EN DIFERENTES PUNTOS DE LA CIUDAD DE CÁCERES.</b>
<b>PLANO 1: SITUACIÓN DE LOS PUNTOS Y ZONA DE ESTUDIO</b> Autor: José Luis Rodríguez Becerro Tutor: Mar Pozo Ríos
E = 1 / 6000



**Grado en Ingeniería Civil**  
**Escuela Politécnica de Cáceres. UEX**

---

**TÍTULO TFG: EXTRAPOLACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR CAPTADA EN PANELES FOTOVOLTAICOS EN DIFERENTES PUNTOS DE LA CIUDAD DE CÁCERES.**

---

PLANO 2: EXTRAPOLACIÓN DEL POTENCIAL SOLAR A LOS PUNTOS DE LA ZONA DE ESTUDIO

---

Autor: José Luis Rodríguez Becerro  
Tutor: Mar Pozo Ríos