

**ANEXO II. ESTUDIO ENERGÉTICO Y VULNERABILIDAD CAMBIO  
CLIMÁTICO  
— ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL —  
PROYECTO SOLAR FOTOVOLTAICA  
CONECTADA A RED  
— ES RAFAL 5 —**

**PETICIONARIO:**

**GREEN ENERGY MURO SL**

**CIF: B44578870**

**Calle Pere Dezcallar I Net, 13 - Piso 4 1,  
Palma, 07003, Baleares**

**EMPLAZAMIENTO:**

**Polígono 58, Parcelas 73-72-71-70-  
69-68-67-66-65**

**Palma. Mallorca.**

**Illes Balears.**

**Autor del Estudio de Impacto Ambiental:**

**Juan Javier Llop Garau**

**Colegiado nº 1822**

**Geógrafo**



**INTI ENERGIA PROJECTES SL**

**C/ Parellades, 6 1er B  
07003 Palma de Mallorca. Illes Balears.  
Tlf.: 971 299 674 – Fax: 971 752 176**

[www.intienergia.com](http://www.intienergia.com)

---

**ÍNDICE**

<b>1</b>	<b>ESTUDIO ENERGÉTICO Y SOBRE LA VULNERABILIDAD ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>ACTUACIONES PREVISTAS EN EL TERRENO .....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>CÁLCULO DE HUELLA DE CARBONO DEL PROYECTO.....</b>	<b>6</b>
3.1	<i>ANÁLISIS DE LA HUELLA DE CARBONO.....</i>	<i>6</i>
3.2	<i>ANÁLISIS DE HUELLA DE CARBONO EN LA CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO .....</i>	<i>11</i>
3.3	<i>ANÁLISIS DE HUELLA DE CARBONO EN LA FASE DE EXPLOTACIÓN.....</i>	<i>13</i>
3.4	<i>ANÁLISIS DE HUELLA DE CARBONO EN LA FASE DE DESMANTELAMIENTO.....</i>	<i>14</i>
3.5	<i>ANÁLISIS DE HUELLA DE CARBONO ELEMENTOS ARBOREOS .....</i>	<i>15</i>
3.6	<i>ANÁLISIS DE HUELLA DE CARBONO CICLO DE VIDA DEL PARQUE SOLAR FOTOVOLTAICO.....</i>	<i>17</i>
<b>4</b>	<b>VULNERABILIDAD FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO .....</b>	<b>19</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>21</b>

— ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL —  
PARQUE SOLAR FOTOVOLTAICO ES RAFAL 5

## 1 ESTUDIO ENERGÉTICO Y SOBRE LA VULNERABILIDAD ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO

El artículo 21 del Decreto Legislativo 1/2020, de 28 de agosto, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley de evaluación ambiental de las Illes Balears, en su punto 2, refleja:

- Los estudios de impacto ambiental incluirán, además del contenido mínimo que establece la normativa básica estatal de evaluación ambiental:
  - a) Un anexo de incidencia paisajística que identifique el paisaje afectado por el proyecto, los efectos de su desarrollo, y, en su caso, las medidas protectoras, correctoras o compensatorias.
  - b) Un anexo consistente en un estudio sobre el impacto directo e inducido sobre el consumo energético, la punta de demanda y las emisiones de gases de efecto invernadero, así como la vulnerabilidad ante el cambio climático.

El cambio climático causado por actividades humanas está teniendo un impacto significativo y peligroso en la naturaleza y en la vida de miles de millones de personas en todo el mundo. A pesar de los esfuerzos para reducir estos riesgos, el último informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) destaca que los más afectados son aquellos ecosistemas y comunidades con menor capacidad de respuesta.

El cambio climático es un problema global que ha ganado una comprensión cada vez más precisa en términos de sus causas, efectos y consecuencias. Los planes de Evaluación Ambiental Estratégica (EAE) y los proyectos de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) están directamente relacionados con el cambio climático, ya sea porque contribuyen a él o porque se ven afectados por él. A lo largo de la década de 1990, se reconoció la importancia de considerar los impactos del cambio climático en los proyectos, y se desarrollaron métodos para incorporar estas consideraciones en la evaluación ambiental. Sin embargo, la experiencia en la incorporación del cambio climático en la evaluación ambiental aún es limitada en muchos países.

El cambio climático es una realidad que la comunidad científica ha conocido desde hace décadas. La actividad industrial ha llevado al aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera, lo que ha desequilibrado el sistema climático natural que ha existido durante miles de años. Estos gases son necesarios para mantener la vida en la Tierra, pero su exceso provoca cambios perjudiciales en el clima.

Las Islas Baleares son especialmente vulnerables al cambio climático debido a su ubicación insular. Además del aumento de las temperaturas, se espera una reducción en la precipitación promedio y un aumento en episodios de lluvias intensas. También se anticipa un aumento en el nivel del mar debido al deshielo de los polos y la expansión del agua al calentarse. Estos fenómenos aumentan los riesgos climáticos, como olas de calor, inundaciones y tormentas, lo que puede tener un impacto económico directo y afectar la industria turística, que es crucial para la economía de las islas, así como la calidad de vida de sus habitantes.

Para abordar estos desafíos, las Islas Baleares han promulgado una ley de cambio climático y transición energética en febrero de 2019. Esta ley establece medidas para mitigar las emisiones

---

**INTI ENERGIA PROJECTES, S.L.**

Carrer Parellades, 6; 07003 Palma de Mallorca. [www.intienergia.com](http://www.intienergia.com)  
[inti@intienergia.com](mailto:inti@intienergia.com) tel: 971 299674 Fax: 971 752176

de gases de efecto invernadero y paliar los efectos del cambio climático en la comunidad, en un esfuerzo por revertir la situación actual.

El presente anexo presenta el estudio sobre el impacto directo e inducido sobre el consumo energético y las emisiones de gases de efecto invernadero del proyecto de construcción del parque solar fotovoltaico Es Rafal 5 en el municipio de Palma (Mallorca).

La actuación prevista se encuentra detallada en el proyecto agrupación solar fotovoltaica conectada a red, redactado por Antoni Bisbal Palou (Ingeniero Industrial) y Jordi Quer Sopeña (Ingeniero Técnico Industrial).

Esta actuación estará formada por 5.928 paneles solares de 730 W<sub>p</sub> y 4,33 MWp y con una ocupación efectiva de 3,98 ha, instalados sobre una estructura hincada directamente al terreno mediante unos soportes de acero galvanizado.

## 2 ACTUACIONES PREVISTAS EN EL TERRENO

La zona de implantación de los paneles solares es Suelo Rústico General y Área de Interés Agrícola en el municipio de Palma (Mallorca).

Durante la ejecución del proyecto se considerarán los siguientes puntos:

- Se minimizará la impermeabilización del suelo, quedando delimitado a las zonas de las edificaciones y en zonas puntuales, y se minimizarán los elementos artificiales de drenaje y la afectación sobre la vegetación de estos, revegetando y restaurando aquellas áreas que hayan quedado afectadas.

- Se minimizarán los movimientos de tierras.

- Se llevará a cabo la restauración ambiental de las zonas que puedan haber quedado afectadas a lo largo de la fase de obras, mediante especies preexistentes y autóctonas de la zona.

- Zanjas y canalizaciones: Se realizarán todas las zanjas y arquetas necesarias para la canalización del cableado de potencia y de control de la instalación de energía solar y servicios auxiliares.

- Los CMM y los centros de transformación se ha diseñado siguiendo las siguientes indicaciones: Se realizará la base para el edificio. Se deberá diseñar la plataforma y las construcciones asociadas al parque de forma que se minimice el impacto sobre el entorno próximo. Los materiales y la composición de estas construcciones se adaptarán al entorno donde se localicen tal y como se indica en la norma 22 del Pla Territorial insular de Mallorca.

- Acabado de cubierta inclinada con teja tipo árabe.

- Acabado de fachada tipo piedra, marés u ocre tierra.

- Elementos como ventanas con tipología idéntica a la tradicional.

- Elementos como puertas con aspecto visual adaptado a la tradicional.

- Al final de la vida útil del parque solar, el promotor/explotador de la instalación será el responsable de realizar todas las acciones necesarias para devolver la zona a su estado original.

### 3 CÁLCULO DE HUELLA DE CARBONO DEL PROYECTO

#### 3.1 ANÁLISIS DE LA HUELLA DE CARBONO

Si bien la energía renovable se caracteriza por su capacidad para no emitir gases contaminantes durante su funcionamiento, es importante considerar que se producen emisiones de gases de efecto invernadero en otras etapas de su ciclo de vida. Estas etapas incluyen la fabricación, transporte, instalación, desmantelamiento y reciclaje de sus componentes y equipos. Para evaluar de manera más precisa el impacto de las emisiones de CO<sub>2</sub> a lo largo de todo el ciclo de vida de una Planta Solar Fotovoltaica, llevamos a cabo un análisis de su huella de carbono. Este análisis nos permite estimar cómo esta planta afecta las emisiones de CO<sub>2</sub>.

La evaluación del ciclo de vida es un enfoque estructurado que nos permite medir los flujos de energía, materiales y las emisiones asociadas a lo largo de toda la vida útil de un producto o servicio. Utilizamos esta metodología para recopilar datos no solo sobre las emisiones y la energía generada durante la fase de producción de la planta solar fotovoltaica, sino también para las etapas que abarcan la extracción de materias primas, la fabricación, el transporte, la construcción y, finalmente, el reciclaje o la eliminación.

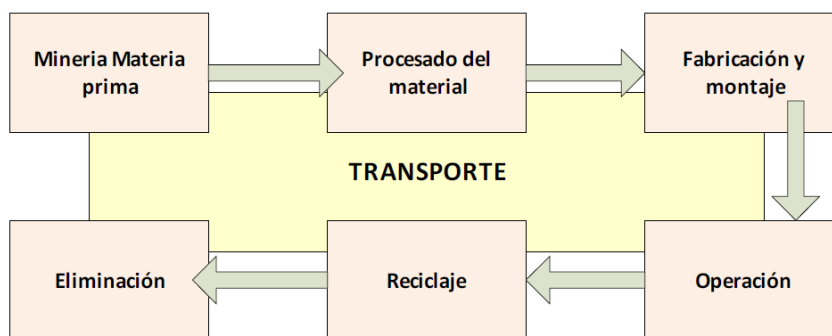
Como con cualquier producto, el análisis del ciclo de vida nos proporciona información desde las etapas más básicas, como la extracción de materiales, hasta la fase final de desmantelamiento de la instalación. Esto nos ayuda a comprender mejor el impacto ambiental completo de la planta solar fotovoltaica a lo largo de su vida útil.

##### 3.1.1 ANÁLISIS DE HUELLA DE CARBONO EN FABRICACIÓN Y TRANSPORTE DE EQUIPOS

En esta etapa, llevamos a cabo un análisis específico de la huella de carbono relacionada con la fabricación y el transporte de los componentes clave de la instalación.

Para la producción de los paneles fotovoltaicos de silicio, se inicia con la extracción de materia prima a través de procesos mineros. La materia prima debe alcanzar un nivel elevado de pureza, lo que implica que su procesamiento se divide en varios subprocesos, algunos de los cuales consumen grandes cantidades de energía. Además de la fabricación, es importante destacar la actividad de transporte, que está estrechamente relacionada con todas estas etapas.

El análisis de la huella de carbono en esta fase nos permite cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con la producción y el transporte de los componentes clave de la instalación fotovoltaica. Esto es esencial para comprender y gestionar el impacto ambiental de la planta solar a lo largo de su ciclo de vida completo. También nos permite identificar áreas donde se pueden tomar medidas para reducir las emisiones y promover una producción y transporte más sostenibles en el futuro.

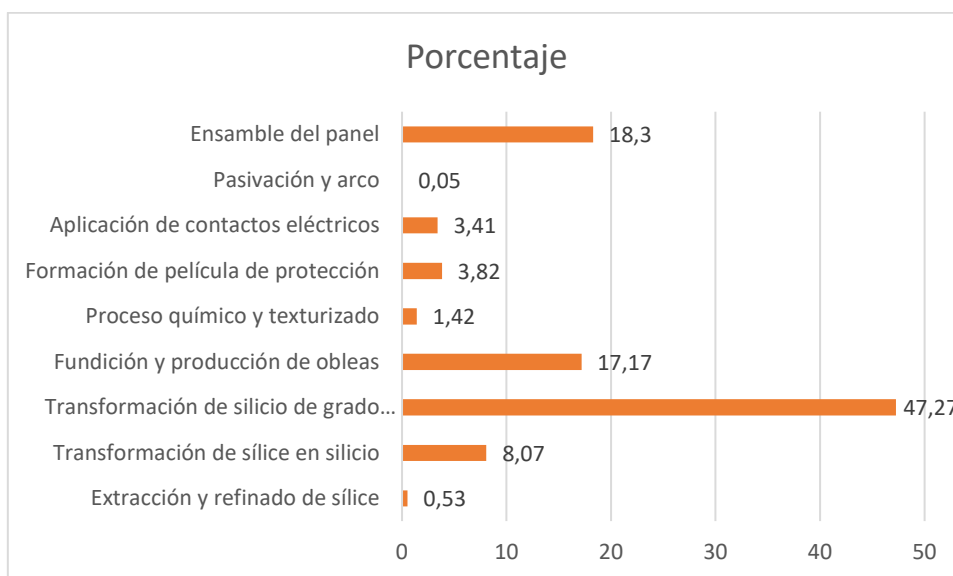


**Imagen 1:** Esquema acciones generadores de CO<sub>2</sub> en la realización de un parque solar fotovoltaico.

Para determinar la huella de carbono asociada a la tecnología fotovoltaica en términos de la energía necesaria para la fabricación de los paneles solares y las emisiones vinculadas al proceso, hemos empleado diversos estudios que incluyen información proporcionada por los fabricantes.

La fabricación de paneles fotovoltaicos es notablemente la etapa más intensiva en términos de requerimientos de energía en el ciclo de vida de los módulos solares instalados. Si evaluamos los requerimientos energéticos de las diferentes etapas de producción en la fabricación de paneles fotovoltaicos como porcentajes del requisito total de energía bruta (GER, por sus siglas en inglés), podemos notar que se utilizan cantidades considerables de energía para transformar la arena de sílice en silicio de alta pureza necesario para la fabricación de estos paneles solares.

En resumen, la fabricación de paneles fotovoltaicos es una fase crítica en términos de uso de energía y emisiones de carbono, lo que hace que sea importante comprender y gestionar estos aspectos para evaluar adecuadamente el impacto ambiental completo de la tecnología fotovoltaica. La información recopilada de varios estudios y fabricantes nos proporciona una visión más completa de esta huella de carbono en la industria de la energía solar.



**Figura 1.** Requisitos energéticos de las etapas de producción en la fabricación de paneles fotovoltaicos como porcentajes del requisito de energía bruta (GER).

Los aportes de energía necesaria para la fabricación de 1m<sup>2</sup> de panel fotovoltaico, en los procesos anteriores son:

PROCESO FABRICACIÓN PANELES DE SILICIO	EMISIONES GENERADAS (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> panel)
Producción de MG-silicón	4,509
Purificación de MG-silicón	44,38
Producción moldeada de multi-Si	3,84
Producción de obleas	1,9878
Producción celular	6,602
<b>TOTAL</b>	<b>61,3188</b>

**Tabla 1:** Emisiones totales generadas en cada uno de los procesos de fabricación de los paneles de Silicio.

Fuente: VELLINI, Michela; GAMBINI, Marco y PRATTELLA, Valentina. *Environmental impacts of pv technology throughout the life cycle: Importance of the end-of-life management for si-panels and cdte-panels.*

Los módulos que se prevé colocar en la Planta Solar Fotovoltaica Es Rafal 5 son GOLD N-Type de MySolar cuyas dimensiones, según su Ficha Técnica son 2.384×1.303, lo que asimilamos a 3,11 m<sup>2</sup>, de los que se prevé colocar 5.928 paneles.

Estos datos, aplicados al número de paneles proyectados concluyen que se generan las siguientes emisiones en toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente:

PLANTA	MÓDULOS	m <sup>2</sup>	EMISIONES GENERADAS (t CO <sub>2</sub> eq)
PSFV Es Rafal 5	5.928	3,11	1.130,48

**Tabla 2:** Emisiones totales generadas en el proceso de fabricación de los paneles de Silicio de la Planta Solar Fotovoltaica "PSFV Es Rafal 5". Fuente: Elaboración propia a partir de datos de: VELLINI, Michela; GAMBINI, Marco y PRATTELLA, Valentina. *Environmental impacts of pv technology throughout the life cycle: Importance of the end-of-life management for si-panels and cdte-panels.*

### FABRICACIÓN DE PANELES FOTOVOLTAICOS

Para poder extraer conclusiones sobre el impacto ambiental en la fabricación de paneles, se han investigado los principales fabricantes de paneles fotovoltaicos en el mundo.

Ranking	Fabricante
1	Jinko Solar
2	Trina Solar
3	Canadian Solar
4	JA Solar
5	Hamwha Q-CELLS
6	GCL-SI
7	LONGI Solar
8	Risen Energie
9	Shunfeng (Incl. Suntech)
10	Yingli Green

**Tabla 3:** Principales fabricantes de paneles solares a nivel mundial. Fuente: pannellisolarifv.com.

— ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL —  
PARQUE SOLAR FOTOVOLTAICO ES RAFAL 5

En concreto, los mayores proveedores en 2020 son Jinko Solar y Trina Solar. Los paneles a instalar en la planta que nos ocupa son de MySolar, de la que no se ha podido conseguir información acerca de la huella de carbono de su fabricación por lo que se usa la de Trina Solar que es equivalente.

Trina Solar impulsa iniciativas de Responsabilidad social orientadas a brindar a sus clientes energía y servicios seguros, baratos y confiables, para aumentar continuamente la tasa de aplicación de energía verde. Reportan que siguen estrictamente los métodos y estándares de emisión de residuos locales dondequiera que se encuentre la planta, LONGI utiliza procesos y tecnologías de vanguardia y respetuosos con el medio ambiente, para lograr cero contaminación y emisión, así como un desarrollo armonioso de la empresa y el medio ambiente. En la Ficha Técnica de los paneles afirma que los somete a rigurosos controles de calidad en base a los estándares ISO 9001:2008, ISO 14001: 2004, ISO 14064: 2018, ISO 45001:2018. Además, IEC61215, IEC61730, IEC61701, IEC62716.

Por su parte, el fabricante TRINA SOLAR, que utilizaremos como referencia, afirma supervisar cuidadosamente sus emisiones anuales de fabricación y la huella de carbono de sus productos y reducir el uso de sus recursos de producción. Las auditorías anuales del British Standards Institute (BSI) les ayuda a monitorizar y realizar informes fiables sobre su progreso.

Las acciones de reducción de impacto ambiental que acometen generan reducción en el consumo de recursos naturales, agua y electricidad.

En lo que a consumo de agua se refiere, las iniciativas de reducción implantadas incluyen las siguientes medidas:

- Construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales para tratar y reciclar el agua de la instalación.
- Medición cuidadosa del uso del agua.
- Maximización del uso de agua reciclada y del agua utilizada.

Lo que ofrece los siguientes resultados sobre la evolución de los m<sup>3</sup> de agua consumidos en relación a 1 MW fotovoltaico fabricado en los últimos 6 años:

TRINA SOLAR	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Consumo de agua por MW fabricado (litro)	1884	1744	1592	1360	1358	932

**Tabla 4:** Consumo de agua (litros/MW) en la fabricación de paneles solares. Fuente: Trina Solar. 2020.

Para la reducción del uso de energía eléctrica empleada en la fabricación de paneles solares, Trina Solar ha puesto en marcha las siguientes iniciativas:

- Recuperación y reutilización del calor residual de nuestra planta de silicio con agua de refrigeración.
- Uso selectivo de las unidades de refrigeración y de las bombas de calor enfriadas por aire.
- Recogida y reutilización del agua concentrada por osmosis inversa.

- Reducción del tiempo de regeneración del sistema de aire seco comprimido Trina Solar aporta la siguiente estadística en cuanto a la evolución del consumo eléctrico en la fabricación, en MWh, con respecto a 1 MW de paneles producidos.

TRINA SOLAR	2023
Emissiones de t CO <sub>2</sub> eq por cada panel de 1MW producido	9,3

**In 2023**

Trinasolar's GHG emissions intensity of cell was reduced to **27.66** tCO<sub>2</sub>e/MW decreased by 42.74% from the 2020 baseline

GHG emissions intensity of module **9.30** tCO<sub>2</sub>e/MW decreased by 61.47% from the 2020 baseline

The GHG emissions intensity of module (tCO<sub>2</sub>e/MW) has reached or even exceeded the established target ahead of schedule.

**Tabla 5:** Emisiones de t CO<sub>2</sub> eq por cada panel de 1 MW producido en la fabricación de paneles solares. Fuente: Trina Solar. 2023.

Los paneles que se prevé instalar en la Planta Solar Fotovoltaica producen 710 Wp, lo que implica que, para la fabricación de los 9.016 paneles proyectados para su instalación, se emitirán un total de **39,14 toneladas de CO<sub>2</sub> eq.**

En el año 2020, TRINA SOLAR necesitó emplear 9,27 MWh de energía consolidada por cada MW de potencia fotovoltaica fabricada en paneles fotovoltaicos. Lo que quiere decir que se necesitan 9,27 MWh para fabricar un 1 MW de paneles fotovoltaicos.

En el caso aplicado a Planta Solar Fotovoltaica Es Rafal 5, de 4,959 MW, se puede inferir que la energía implicada en la fabricación de los 4,959 MW es de 45,97 MWh:

Suponemos un factor de emisión de 0,19 tCO<sub>2</sub>-eq/MWh en 2019. Fuente REE

POTENCIA (MW)	ENERGÍA USADA EN LA FABRICACIÓN (MWh)	Emisiones de t CO <sub>2</sub> eq
1	9,27	1,76
4,33	40,14	7,63

**Tabla 6.** Emisiones por el consumo para fabricación de las placas de Planta Solar Fotovoltaica. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Trina Solar/ REE

### 3.1.2 TRANSPORTE DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS

Aproximadamente el 75% de los paneles de las instalaciones fotovoltaicas se fabrican en China.

Para el cálculo de las emisiones asociadas al transporte de los 9.016 paneles solares, el primer tramo se realiza por carretera hasta Shangai, luego vía marítima, con embarque en Shangai (China) y destino en el Puerto de Palma y combinada con transporte por carretera, desde Palma a Es Rafal 5 para su colocación.

Los datos de las emisiones han sido extrapolados de datos aportados por Hapag-Lloyd, naviera de transporte por contenedores, en base a datos reales del proyecto.

- Lugar de despacho: Suzhou, Industrial Park, Jiangsu Province, CHINA
- Puerto de Carga: SHANGHAI, CHINA

— ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL —  
PARQUE SOLAR FOTOVOLTAICO ES RAFAL 5

- Puerto de Descarga: PALMA, SPAIN
- Lugar de entrega: Es Rafal 5, Palma (Mallorca), SPAIN
- Volumen: 56,8 Mercancía en piezas (Toneladas) (5.928 paneles con un peso cada uno de 38,3 Kg, lo que hace un total de 227,04 toneladas).

Los datos calculados de las emisiones son valores aritméticos promedio para un contenedor estándar basado en una variedad de factores teóricos. El fabricante propone contenedores de 594 paneles, lo que requerirá 10 contenedores convencionales.

Para transporte marítimo, las emisiones de dióxido de carbono son calculadas de acuerdo al método desarrollado por el Clean Cargo Working Group. Hapag-Lloyd provee la información para los cálculos básicos de todos los buques propios y los buques charter de largo plazo. Para el pre y post acarreo, todas las emisiones de CO<sub>2</sub>, son igualmente calculadas de acuerdo al método EcoTransIT World.

SALIDA	LLEGADA	TRANSPORTE	DISTANCIA (KM)	Kg CO <sub>2</sub> eq
Fabrica	Puerto Shanghai	Camión	85,0	186,6
Shanghai, China	Palma, España	Barco	12.000,0	2.640,0
Palma, España	Es Rafal 5, Palma	Camión	15	32,9
<b>TOTAL</b>			<b>12.099</b>	<b>2.860</b>

**Tabla 7.** Emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente derivadas del transporte de las placas de la Planta Solar Fotovoltaica. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Hapag-Lloyd.

Por lo que las **emisiones debidas al transporte de los paneles solares ascienden a 2,86 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente.**

### 3.2 ANÁLISIS DE HUELLA DE CARBONO EN LA CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO

Se procede a calcular las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente de los procesos que conlleva la obra de construcción de la Planta Solar Fotovoltaica, en concreto asociadas al transporte de vehículos y maquinaria de la que la organización tiene el control y, por lo tanto, puede incidir directamente en la reducción de sus emisiones. Los cálculos se han realizado bajo las siguientes premisas:

#### 3.2.1 DEFINICIÓN DE LOS LÍMITES DE LA ACTIVIDAD Y LOS LÍMITES OPERATIVOS

Con el propósito de simplificar los cálculos, hemos decidido no considerar la contabilización de otros gases de efecto invernadero (GEI) distintos al dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en las emisiones relacionadas con el transporte. Esto se debe a que, en general, las emisiones de otros GEI son significativamente menores en comparación con las emisiones de CO<sub>2</sub> relacionadas con el transporte.

En este análisis, nos hemos centrado exclusivamente en las emisiones de alcance 1, que son aquellas emisiones que dependen directamente de la actividad y que se generan en el sitio de construcción, principalmente a partir del uso de combustibles diésel. No anticipamos la presencia de emisiones de alcance 2, que se refieren a la energía eléctrica suministrada por una compañía eléctrica externa, ya que no es relevante en este contexto.

El ciclo de vida utilizado para este cálculo estimativo se ha establecido en 6 meses, que es la duración prevista para la fase de construcción del proyecto. Para llevar a cabo este cálculo, hemos considerado todos los vehículos y maquinaria que se utilizarán durante la fase de construcción, así como la generación eléctrica necesaria para las instalaciones proporcionadas para la obra.

Hemos utilizado factores de emisión provenientes de fuentes verificadas y confiables, específicamente de la Direcció General Energía i Canvi Climatic. En este caso, los valores utilizados corresponden al diésel, que es el combustible principal para la maquinaria de construcción.

Factor de Emisión 2,467 kg CO<sub>2</sub> eq/l

El proceso de estimación de las horas totales de funcionamiento de vehículos, maquinaria y generadores eléctricos se ha basado en la secuencia estimada de actividades del proyecto de ejecución. Una vez que se ha calculado el número de horas de funcionamiento para cada vehículo y maquinaria, se procede a determinar las emisiones tomando en cuenta las horas de operación multiplicadas por la cantidad de litros de combustible consumidos por hora. Esto proporciona el número total de litros de combustible utilizados por cada tipo de máquina.

A continuación, se aplica el factor de emisión correspondiente (Diésel: 2,467 kg CO<sub>2</sub> eq/litro) para calcular las emisiones totales de cada máquina. Sumando todas estas emisiones parciales, se obtiene la emisión total de la maquinaria utilizada en el proyecto de construcción.

Este proceso permite estimar con precisión las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al funcionamiento de la maquinaria y los vehículos utilizados en la obra, lo que es fundamental para evaluar el impacto ambiental total de la fase de construcción del proyecto.

VEHÍCULOS	h/Totales	Consumo (l/h)	Consumo total (litros)	F. emisión (Kg CO <sub>2</sub> eq/l)	Emisión parcial (t CO <sub>2</sub> eq)
Bulldozer	20	29,5	590	2,467	1,456
Hincadoras	35	15,3	535,5	2,467	1,321
Retroexcavadoras	55	21,3	1171,5	2,467	2,890
Dumper	48	24,5	1176	2,467	2,901
Compactadoras	10	21,8	218	2,467	0,538
Todoterrenos	60	14,9	894	2,467	2,205
Gruas de apoyo	46	12,4	570,4	2,467	1,407
Generador eléctrico de 100 kVA	100	18,25	1825	2,467	4,502

**Tabla 8.** Estimación de horas de uso de los vehículos en base al cronograma de actividades del proyecto

Lo que arroja un resultado de la **emisión total de la maquinaria de 17,22 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente.**

— ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL —  
PARQUE SOLAR FOTOVOLTAICO ES RAFAL 5

### 3.3 ANÁLISIS DE HUELLA DE CARBONO EN LA FASE DE EXPLOTACIÓN

Se procede a calcular las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes de los procesos que conlleva la fase de explotación de la Planta Solar.

Para ello se han tenido en cuenta únicamente las emisiones de alcance 1 (emisiones que dependen y han sido consumidas directamente en la propia planta y que principalmente son combustibles diésel).

El ciclo de vida utilizado se estima en una duración de un año y la vida útil de la planta considerada es de 25 años.

Para realizar este cálculo estimativo, se han tenido en cuenta todos los vehículos y maquinaria a utilizar en la fase de mantenimiento de la planta.

VEHÍCULOS	h/Totales	Consumo (l/h)	Consumo total (litros)	F. emisión (Kg CO <sub>2</sub> eq/l)	Emisión parcial (t CO <sub>2</sub> eq)
Vehículos eléctricos	12	0	0	2,467	0

**Tabla 9.** Estimación de horas de uso de los vehículos durante el mantenimiento de la planta fotovoltaica

Lo que arroja un resultado de la **emisión total de los vehículos durante el mantenimiento de la planta de 0 toneladas de CO<sub>2</sub> eq.**

Por otra parte, hay una serie de servicios auxiliares que sí necesitarán una alimentación energética. Parte de las horas en las que funcionarán estos servicios auxiliares serán alimentados por la energía producida en el parque, pero durante las horas en las que no haya producción necesitarán energía de la red.

El cálculo se ha realizado a máximos, es decir, como si todo el consumo procediera de la red.

Los servicios auxiliares del parque fotovoltaico son los que se contemplan a continuación:

- Iluminación interior edificios: 3 kW
- Servicio de vigilancia: 2 kW
- Servicio de control de la planta: 3 kW
- Consumos derivados de los inversores: 4 kW
- Instalaciones de fuerza: 4 kW

Todos ellos se alimentarán de forma directa por los CT a un cuadro de BT y se medirán a través del contador general.

Los consumos anuales derivados de los servicios anuales se estiman en torno a los 34.804 kWh. Dicho valor es una estimación de consumos.

SERVICIOS AUXILIARES	Consumo (kwh/año)	Emisiones por electricidad (Kg CO <sub>2</sub> eq/kWh)	Emisión parcial (t CO <sub>2</sub> eq)	Emisión total 25 años (t CO <sub>2</sub> eq)
Servicios auxiliares	34.804	0,4569	15,90	397,55

**INTI ENERGIA PROYECTES, S.L.**

Carrer Parellades, 6; 07003 Palma de Mallorca. [www.intienergia.com](http://www.intienergia.com)  
[inti@intienergia.com](mailto:inti@intienergia.com) tel: 971 299674 Fax: 971 752176

Lo que arroja un resultado de la **emisión total de los servicios auxiliares descritos durante toda la vida de la planta de 397,55 toneladas de CO<sub>2</sub> eq.**

### 3.4 ANÁLISIS DE HUELLA DE CARBONO EN LA FASE DE DESMANTELAMIENTO

Para calcular la huella de carbono en el desmantelamiento, suponemos que la evolución de tecnología en los procesos y maquinaria de obra concluyan en unos consumos del 20% de la maquinaria necesaria para la implantación de la instalación, y consecuentemente de emisiones. En términos de emisiones de CO<sub>2</sub>, hemos calculado unas emisiones de 17,22 t CO<sub>2</sub> equivalente durante la construcción del proyecto, por lo que estimamos unas emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente por el **uso de maquinaria en el desmantelamiento del parque de 3,44 t CO<sub>2</sub> equivalente.**

Hoy en día, los paneles solares, ya se pueden reciclar en gran medida. Estudiando la composición de un panel fotovoltaico, se puede ver que el marco de aluminio y el vidrio de la parte delantera representan el 80% de su peso. Por otro lado, el 80% de su valor está compuesto por los materiales utilizados en la fabricación de células solares, incluyendo el silicio, el cobre y la plata.

Los paneles solares pueden reciclarse en gran medida. Al analizar la composición de un panel fotovoltaico, se observa que el marco de aluminio y el vidrio de la parte frontal representan aproximadamente el 80% de su peso. Además, el 80% de su valor está compuesto por los materiales utilizados en la fabricación de las células solares, incluyendo el silicio, el cobre y la plata.

Esto indica que existe un gran potencial para el reciclaje de los paneles solares al aprovechar estos materiales valiosos. El reciclaje contribuye a reducir la necesidad de extraer y procesar nuevos recursos, lo que a su vez disminuye las emisiones de carbono asociadas con la producción de estos materiales. Además, el enfoque en la economía circular puede ayudar a minimizar el impacto ambiental del desmantelamiento de la planta solar al reutilizar o reciclar la mayor cantidad posible de componentes y materiales.

Componentes del panel	Peso/kg	% del peso	€/kg	€	%Valor
Vidrio	27,81	72,6	0,05	1,39	3,78
Aluminio	4,71	12,3	1	4,71	12,82
Silicio	1,15	3	10	11,49	31,27
Plata	0,04	0	500	19,15	52,12
Otros	4,60	12			
Total	38,3	100		36,74	100

**Tabla 10:** Composición de un módulo fotovoltaico (proyecto CABRISS) Fuente: Proyecto CABRISS – financiación del Programa Marco de Investigación e Innovación de la Comunidad Europea Horizonte 2020.

La etapa más desafiante en el reciclaje de paneles solares es la "deslaminación" del sándwich de materiales que constituye el cuerpo principal del panel, para recuperar los materiales más valiosos y nobles. Esta dificultad se debe a la degradación del polímero encapsulante, que generalmente es EVA (Etil Vinil Acetato).

En la actualidad, coexisten dos tecnologías principales para el reciclaje de paneles solares: térmico y mecánico. Sin embargo, las técnicas más comunes de reciclaje se basan en

— ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL —  
PARQUE SOLAR FOTOVOLTAICO ES RAFAL 5

tratamientos mecánicos que incluyen el corte, la trituración y el tamizado. Estas técnicas están siendo implementadas a escala industrial.

A pesar de que las técnicas de reciclaje de paneles solares son relativamente nuevas, y aunque existe una abundancia de literatura sobre el tema, son limitadas las fuentes disponibles para determinar con precisión la huella de carbono del proceso de reciclaje en su conjunto. En este contexto, es importante destacar la publicación titulada "Eco-Design of Energy Production Systems: The Problem of Renewable Energy Capacity Recycling". En este trabajo, se recopilan datos de diversas fuentes relacionados con los costos de reciclaje y las emisiones de contaminantes. Aunque aún es un campo en desarrollo, se espera que con el tiempo haya más información disponible para evaluar de manera más precisa el impacto ambiental completo del reciclaje de paneles solares.

FUENTE	CONDICIONES	EMISIONES Kg CO2
Stolz & Frischknecht	kg de módulo enmarcado de 3kw c-Si	27,4
Latunussa et al., 2016	1000 kg de paneles de residuos fotovoltaicos de c-Si, incluidos los cables internos	370

**Tabla 11:** Valores de emisiones de CO<sub>2</sub> eq derivadas del proceso de reciclado de placas fotovoltaicas, según diversos autores. Fuente: *Eco-Design of Energy Production Systems: The Problem of Renewable Energy Capacity Recycling*.

El estudio de Latunussa et al. (2016) aplicó la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (LCA, por sus siglas en inglés) a un proceso piloto de reciclaje de paneles fotovoltaicos de silicio cristalino (c-Si) en la empresa italiana "SASIL S.p.A". La unidad funcional utilizada en el estudio fue de 1.000 kg de paneles de residuos fotovoltaicos, incluyendo los cables internos. Los límites del sistema de LCA abarcaron todo el proceso de reciclaje, desde la entrega de los residuos a la planta de reciclaje hasta la clasificación de las diferentes fracciones de material reciclable y la eliminación de residuos.

El estudio consideró el transporte de los residuos fotovoltaicos a la planta de reciclaje, así como el desmantelamiento de la planta fotovoltaica. Se asumió que la distancia desde la planta fotovoltaica hasta el punto de recogida de residuos electrónicos más cercano no era superior a 100 km y que la distancia entre el punto de recogida y el lugar de reciclaje era de 400 km, suposiciones que pueden ser válidas en el caso del desmantelamiento de la Planta Solar.

Como resultado del estudio, se determinó que la huella de carbono del reciclaje de 1,000 kg de paneles solares, incluyendo sus cables, era de 370 kg de CO<sub>2</sub> equivalente. Extrapolando estos valores a los 60.284 paneles de la Planta Solar, con un peso promedio por panel de 33,5 kg, resultaría en un total de:

$5.928 \times 38,3 = 227.042,4$  kg de paneles => 227,04 toneladas de paneles => **84,01 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente.**

### 3.5 ANÁLISIS DE HUELLA DE CARBONO ELEMENTOS ARBOREOS

Se procede a calcular las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes de la eliminación de los árboles existentes en la parcela y de la captura de los nuevos que se plantarán.

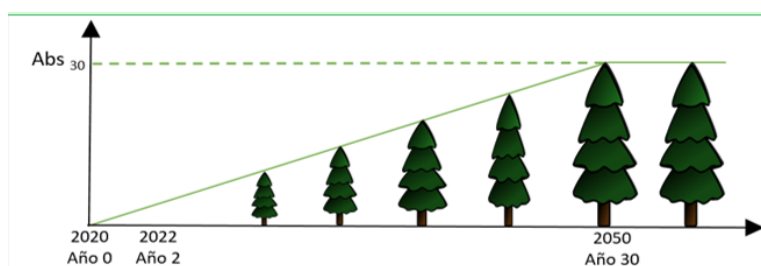
**INTI ENERGIA PROJECTES, S.L.**

Carrer Parellades, 6; 07003 Palma de Mallorca. [www.intienergia.com](http://www.intienergia.com)  
[inti@intienergia.com](mailto:inti@intienergia.com) tel: 971 299674 Fax: 971 752176

Para ello se ha recurrido a la documentación facilitada por el ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico del gobierno de España en la que encontramos una serie de factores de absorción por especie de árboles y por la cantidad de años en la que estos permanecen en el medio.

En el caso que nos ocupa, el proyecto del parque solar fotovoltaico Es Rafal 5, se deben eliminar una serie de árboles que, gracias al análisis realizado en el EIA, sabemos que la mayoría de ellos ya estaban en la parcela hace más de 40 años que es el máximo que nos aportan los datos del ministerio. La eliminación de estos árboles supondrá la emisión a la atmósfera del carbono que han capturado en su crecimiento durante estos años.

Por otra parte, la realización de la barrera vegetal supondrá la plantación de una serie de árboles con la función de ocultación paisajística de la planta solar, que supondrán la absorción de CO<sub>2</sub> atmosférico. En este caso el cálculo se realiza con los datos de absorción de 25 años que es el mínimo en el que se mantendrá esta plantación arbórea.



**Imagen 2:** absorción de CO<sub>2</sub> eq en una plantación arbórea.

Especie	Absorciones acumuladas estimadas (t CO <sub>2</sub> /pie)					Fuente
	20 años	25 años	30 años	35 años	40 años	
<i>Ficus carica</i>	0,15	0,19	0,22	0,26	0,30	Asimilación

**Tabla 12:** Absorciones acumuladas de CO<sub>2</sub> por pie arbóreo. Fuente: MITECO

Al no tener datos de la especie *Ficus carica*, se han utilizado los datos de almendro al ser los más desfavorables.

	Especies	Nº pies	Absorciones acumuladas (t CO <sub>2</sub> /pie)	t CO <sub>2</sub>
Eliminación pies arbóreos	<i>Ficus carica</i>	12	0,30	3,6
Siembra barrera vegetal	<i>Olea europaea</i>	750	0,05	16,75
<b>TOTAL</b>				<b>-13.15</b>

**Tabla 13:** Balance t CO<sub>2</sub> equivalente árboles del proyecto.

Tal y como se ha visto en el inventario vegetal que se ha presentado en el Estudio de Impacto Ambiental, se eliminan son 12 higueras (*Ficus carica*).

Al no tener en la tabla publicada por el ministerio el dato para las higueras usaremos el mismo dato que para los almendros.

— ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL —  
PARQUE SOLAR FOTOVOLTAICO ES RAFAL 5

Se calcula que, para la barrera vegetal, rellenando los huecos que deja la vegetación actual, se necesitará la plantación de unos 335 ejemplares de olivo (*Olea europaea*)

### 3.6 ANÁLISIS DE HUELLA DE CARBONO CICLO DE VIDA DEL PARQUE SOLAR FOTOVOLTAICO

Calculada la huella de carbono en las distintas fases de vida de la planta, concluimos que la huella de carbono del ciclo de vida completo de la instalación proyectada se estima en torno a **11.573,35 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente**:

PROCESO	EMISIONES CO <sub>2</sub> EQ (t)
Extracción y procesamiento del silicio	1.130,48
Fabricación de paneles fotovoltaicos	39,14
Emisión de la energía usada en la fabricación	7,63
Transporte módulos fotovoltaicos	2,86
Maquinaria obra civil del parque	17,22
Maquinaria mantenimiento del parque	397,55
Desmantelamiento del parque	3,44
Reciclado de componentes	84,01
Balance eliminación/plantado árboles	-13,15
<b>TOTAL</b>	<b>1.669,18</b>

**Tabla 14:** Emisiones de CO<sub>2</sub> a lo largo del Ciclo de Vida de la Planta Solar

Por otro lado, teniendo en cuenta que el proyecto de Planta Solar se enfocará en la generación de electricidad a partir de la energía Solar, la cual reduce el consumo de combustibles fósiles, se considera importante determinar la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> que se van a producir con la operación de estas plantas.

A continuación, se muestran las emisiones de CO<sub>2</sub>eq, considerando una producción neta de la planta solar fotovoltaica anual de 6.109 MWh/año y una producción neta de 152.725 MWh para un tiempo previsto de 25 años de operación. Para calcular las emisiones totales de CO<sub>2</sub>eq, se consideró un factor de emisiones por electricidad de 0,457 kgCO<sub>2</sub>/kWh dado por la Dirección General Energía i Canvi Climatic.

	Producción neta (kWh/año)	Emisiones por electricidad (Kg CO <sub>2</sub> eq/kWh)	Emisiones totales ahorradas (t CO <sub>2</sub> eq)
1 año de operación	6.109.000	0,4569	2.791,2021
25 años de operación	152.725.000	0,4569	69.780,0525

**Tabla 15:** Reducción de emisiones totales de CO<sub>2</sub> equivalente por la operación de la Planta Solar "PSFV Es Rafal 5"

El balance de carbono, por tanto, expresado como la cantidad de CO<sub>2</sub>eq emitido en su implantación menos la cantidad de CO<sub>2</sub>eq evitado, se establece, para la vida completa de la instalación, calculada en 25 años, en:

---

**Huella de Carbono Ciclo de vida = Emisiones de CO<sub>2</sub> eq - Ahorro de emisiones CO<sub>2</sub> eq = +  
1.669,18 – 69.780,0525 = - 68.110,88 toneladas de CO<sub>2</sub> eq EVITADAS en 25 años.**

En virtud de lo establecido en los artículos 17 y siguientes del Real Decreto Legislativo 1/1996 de 12 de abril, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Propiedad Intelectual, el presente proyecto se caracteriza por ser una creación original, correspondiendo exclusivamente al autor del mismo los derechos de explotación en cualquier forma, reproducción, distribución, comunicación pública y transformación, que no podrán ser realizadas sin su autorización. Del uso indebido, plagio o copia no autorizada del presente proyecto derivarán las correspondientes responsabilidades a tenor de lo dispuesto en el Código Penal y la Ley de Propiedad Intelectual

---

**INTI ENERGIA PROJECTES, S.L.**

Carrer Parellades, 6; 07003 Palma de Mallorca. [www.intienergia.com](http://www.intienergia.com)  
[inti@intienergia.com](mailto:inti@intienergia.com) tel: 971 299 674 Fax: 971 752176

— ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL —  
PARQUE SOLAR FOTOVOLTAICO ES RAFAL 5

## 4 VULNERABILIDAD FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO

Este proyecto lleva aparejada una reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) debido a las características de este. La producción anual estimada de la ampliación será de **6.109.000 kWh**, equivalentes al 0,37 % del consumo total del término municipal de Palma durante 2019 (1.670.590.066,9 kWh, según datos del IBESTAT).

Esta producción de energía renovable supondrá evitar la emisión a la atmósfera de **2.791,2 t CO<sub>2</sub>eq al año** tal y como se ha desarrollado en este documento.

En la fase de construcción se ve afectado el aire por la demolición y movimiento de tierras, el tráfico de maquinaria y su funcionamiento, el levantamiento de polvo y contaminantes y un aumento del nivel sonoro de la zona. Todo este uso de vehículos y maquinaria conlleva un incremento de los gases de efecto invernadero en la atmósfera.

Durante la fase de funcionamiento se reducirá la emisión de gases de efecto invernadero por producción de energía eléctrica al generarse esta de forma totalmente limpia.

El sector eléctrico es aquel que producirá más efectos sobre el cambio climático en la fase de explotación del proyecto debido al aumento del consumo energético de las nuevas instalaciones. Este sector presenta una vulnerabilidad ante el cambio climático tal como:

- Cambio en el régimen hídrico (riesgo de disposición del recurso), debido a cambios en precipitaciones.
- Posible afectación de infraestructura eléctrica por presencia o aumento de deslizamientos, huaicos por cambio en el régimen de precipitaciones.
- Posible afectación por el incremento de sedimentos en la infraestructura hidroeléctrica.

El sector de transportes también produce una afectación sobre el cambio climático por los vehículos y la maquinaria de construcción, que funcionan mediante la quema de combustibles fósiles, y también es un sector que presenta una vulnerabilidad ante el cambio climático tal como:

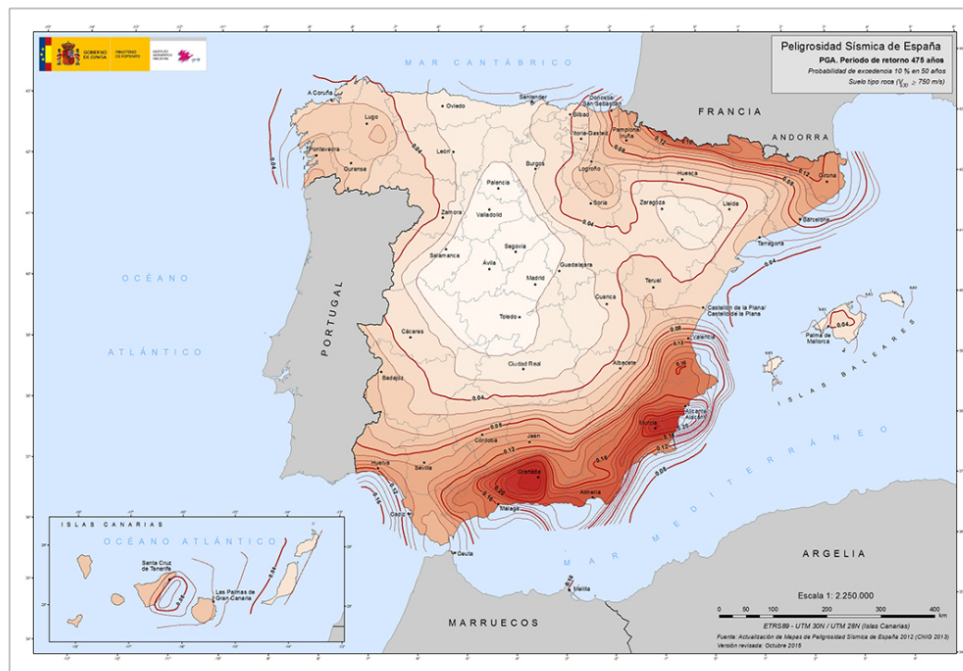
- Infraestructuras que pueden afectarse por elevación del nivel del mar, oleajes, etc.
- Carreteras y vías expuestas a lluvias más intensas, huaicos y deslizamientos más frecuentes y/o más intensos.
- Posible afectación de infraestructura por lluvias intensas que pueden generar daños a ecosistemas vulnerables durante la operación.

Es importante tener en cuenta que, debido al cambio climático, además de las vulnerabilidades comentadas, también se pueden producir otros cambios que pueden afectar el proyecto:

- Aumento de la temperatura media de la tierra. Este aumento puede influir en la demanda de energía en una latitud como la nuestra, a la hora de refrigerar los espacios interiores en los que pasamos muchas horas tanto para trabajar, como para el ocio.
- Aumento de frecuencia y virulencia de fenómenos meteorológicos extremos:
  - Olas de calor
  - Sequías

- Inundaciones
- Degradación de hábitats
- Extinción de especies
- Vientos más fuertes
- Subida del nivel del mar

Para el caso del proyecto, no se encuentra en zona inundable y no es alcanzable por un aumento del nivel del mar (entre 56 m y 63 m de altitud), está en una zona de sismicidad muy baja y presenta ausencia de vulcanismo. Podemos hablar de una vulnerabilidad muy baja de catástrofe (Peligrosidad inferior al 0,04%) como se comprueba en el siguiente mapa.



Como cualquier territorio insular moderno, en las Islas Baleares la dependencia tanto económica como energética es exterior. La economía depende del turismo, es decir, de las visitas que habitantes de otros territorios hagan a las islas. Para el suministro energético pasa lo mismo. La conexión energética con la península ha sido fundamental para el sistema Balear ya que ha permitido reducir la generación de energía muy contaminante en las islas y centrar los esfuerzos en la implantación de plantas de energía renovable para poder asumir los futuros incrementos de demanda sin más dependencia exterior.

En virtud de lo establecido en los artículos 17 y siguientes del Real Decreto Legislativo 1/1996, de 12 de abril, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Propiedad Intelectual, el presente proyecto se caracteriza por ser una creación original, correspondiendo exclusivamente al autor del mismo los derechos de explotación en cualquier forma, reproducción, distribución, comunicación pública y transformación, que no podrán ser realizadas sin su autorización. Del uso indebido, plagio o copia no autorizada del presente proyecto derivarán las correspondientes responsabilidades a tenor de lo dispuesto en el Código Penal y la Ley de Propiedad Intelectual.

## 5 CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta lo expresado en este anexo podemos concluir:

La extracción y procesamiento del silicio, la fabricación de los módulos, la energía usada en esta fabricación, su transporte, la obra civil de la implantación del parque, el desmantelamiento al acabar su vida útil, el reciclado y el balance de eliminación de los árboles de la parcela, equivalen a la emisión de 1.669,18 t CO<sub>2</sub> equivalentes.

Teniendo en cuenta la potencia que generará el Parque Solar Fotovoltaico Es Rafal 5, 6.190.000 kWh/año, que asumiendo el último factor de conversión publicado por la Direcció General de Canvi Climatic (0,4569 Kg CO<sub>2</sub>eq/kWh), equivalen a 2.791,20 t CO<sub>2</sub> equivalentes/año. **El Parque Solar Fotovoltaico Es Rafal 5 generará la energía suficiente para recuperar estas emisiones en 0,60 años (7,2 meses).**

El proyecto, por sus características, tiene un balance neto positivo en su afección a la atmósfera al generar energía limpia llegando a evitar una emisión neta a la atmósfera de **68.110,88 t CO<sub>2</sub>eq al acabar su vida útil (mínimo de 25 años).**

La combinación de parques fotovoltaicos con baterías solares en las Islas Baleares no solo representa un paso fundamental hacia la sostenibilidad, sino que también aborda de manera efectiva los desafíos específicos relacionados con la sobretensión en la infraestructura eléctrica. Esta estrategia no solo garantiza un suministro estable y confiable de energía, sino que también fortalece la resiliencia del sistema y contribuye al desarrollo sostenible y la autonomía energética de las Islas Baleares.

La vulnerabilidad ante el cambio climático es mínima debido a su diseño y localización. No se encuentra cerca de ninguna zona inundable y está a más de 1,5 km de la línea de costa. Los cálculos para su anclaje han tenido en cuenta rachas de viento superiores a las máximas de la zona y se encuentra en una zona con ausencia de vulcanismo y bajísima sismicidad.