



PLAN ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURAS
PARA LA GENERACIÓN, TRANSFORMACIÓN Y
TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE
ORIGEN SOLAR FOTOVOLTÁICO DESDE
VILLAMANRIQUE DE TAJO HASTA MORATA DE
TAJUÑA (MADRID).



PROYECTO: FV VILLAMANRIQUE & FV VILLAMANRIQUE II

**Cálculo de la Huella de
Carbono**

UNIDAD: NEGOCIO RENOVABLES ESPAÑA

REV: 0

FECHA: 13/01/2023

HOJA 1 DE 22

VERIFICACIÓN DE DISEÑO

Nivel 1

Nivel 2

No aplica

C O N T R O L D E R E V I S I O N E S

<u>REV.</u>	<u>FECHA</u>	<u>MOTIVO</u>	<u>HOJAS REVISADAS</u>
0	15/01/2023	Emisión inicial	NA

BLOQUE II. DOCUMENTACIÓN AMBIENTAL

ESTUDIO AMBIENTAL ESTRATÉGICO

ANEXO I – Cálculo de la Huella de Carbono



**PLAN ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURAS
PARA LA GENERACIÓN, TRANSFORMACIÓN Y
TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE
ORIGEN SOLAR FOTOVOLTÁICO DESDE
VILLAMANRIQUE DE TAJO HASTA MORATA DE
TAJUÑA (MADRID).**



PROYECTO: **FV VILLAMANRIQUE & FV VILLAMANRIQUE II**

**Cálculo de la Huella de
Carbono**

UNIDAD: **NEGOCIO RENOVABLES ESPAÑA**

REV: **0**

FECHA: **13/01/2023**

HOJA 2 DE 22

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	3
OBJETIVOS	3
2. METODOLOGÍA GENERAL	3
3. ÁMBITO DE ESTUDIO	4
4. DESCRIPCIÓN DEL PLAN ESPECIAL	6
5. ACCIONES DE PROYECTO (DETERMINACIONES DE PLANEAMIENTO) CON REPERCUSIÓN SOBRE LA HUELLA DE CARBONO	8
ACCIONES DIRECTAS	8
ACCIONES INDIRECTAS	9
6. LA HUELLA DE CARBONO	10
7. CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO	11
FASE DE OBRA	11
FASE DE EXPLOTACIÓN	12
FASE DE DESMANTELAMIENTO	16
PÉRDIDA DE SUMIDEROS DE CARBONO	17
RESUMEN DE RESULTADOS Y CÓMPUTO TOTAL DE LA HUELLA de carbono	20
8. CONCLUSIONES	22

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El presente documento constituye el primer Anexo del Estudio Ambiental Estratégico (EsAE) del nuevo *Plan Especial de Infraestructuras (PEI) para la generación, transformación y transmisión de energía eléctrica de origen solar fotovoltaico desde Villamanrique de Tajo hasta Morata de Tajuña (Madrid)* y en él se completan los trabajos ambientales de caracterización y evaluación ambiental estratégica del plan.

OBJETIVOS

Si el objetivo principal del EsAE es analizar los efectos indirectos producidos por la implantación del proyecto energético en el área de estudio, incorporando y resumiendo el contenido de los estudios de impacto ambiental de los proyectos que lo componen, el cálculo de la Huella de Carbono de la infraestructura al completo que se presenta en este anexo supone una **visión conjunta de la huella de estos procesos sumada a la derivada de la generación eléctrica de origen fotovoltaico vinculada a la propia infraestructura durante su vida útil**, incluyendo el saldo positivo de la energía de origen fósil sustituida, como contribución de tipo estratégico a la evaluación ambiental de la infraestructura.

Este cálculo se basa en las acciones del propio PEI, argumentadas en el Estudio Ambiental Estratégico y las acciones de los proyectos, cuyo análisis se encuentra en sus respectivos Estudios de Impacto Ambiental y se recoge a su vez en el EsAE.

2. METODOLOGÍA GENERAL

En el presente documento sobre el cálculo de la huella de carbono se sigue la siguiente metodología:

1. En primer lugar, se detalla el ámbito de estudio, descrito convenientemente en el PEI.
2. En segundo lugar, se realiza una descripción del PEI.
3. En tercer lugar, se exponen las acciones del PEI, las cuales se encuentran analizadas con detalle en el Estudio Ambiental Estratégico, que puedan tener repercusión sobre la huella de carbono.
4. En cuarto lugar, se recoge el cálculo de la huella de carbono de los estudios de impacto ambiental, diferenciando su cálculo entre fase de obra, fase de explotación y fase de desmantelamiento. Adicionalmente se realiza una revisión del cálculo de la fase de explotación acorde con la evolución del *mix* energético actual.

5. En quinto lugar, se realiza un cálculo sobre la pérdida de suelo como sumidero de carbono utilizando la herramienta¹ de cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero generadas por el planeamiento urbanístico en la Comunidad de Madrid.
6. En sexto lugar, se recopilan y resumen los cálculos de la huella de carbono de las fases de los Estudios de Impacto Ambiental de las adendas de los proyectos FV Villamanrique I y sus infraestructuras asociadas SET y LASAT y FV Villamanrique II.

3. ÁMBITO DE ESTUDIO

La Normativa Urbanística de este Plan Especial de Infraestructuras (PEI) establece **tres zonas urbanísticas de ordenación pormenorizada** dentro de su ámbito, delimitadas en el Plano O-3 del Volumen 4 del Bloque III del PEI. Estas zonas son las de **producción** (Figura 2), **reserva y protección** (Figura 2) y **transmisión** (Figura 1).

En estas zonas se procede a la calificación de usos del suelo necesaria para la implantación de los proyectos como una red pública de infraestructuras, estableciendo una **normativa de ordenación pormenorizada de usos** que añade una acepción a los usos establecidos por el planeamiento general para la clase y categorías de suelo afectados, manteniéndose el resto de regulaciones.

¹ “Herramienta de cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero generadas por el planeamiento urbanístico en la Comunidad de Madrid”, encargada por la Dirección General de Descarbonización y Transición Energética de la Comunidad de Madrid a la Universidad de Nebrija.

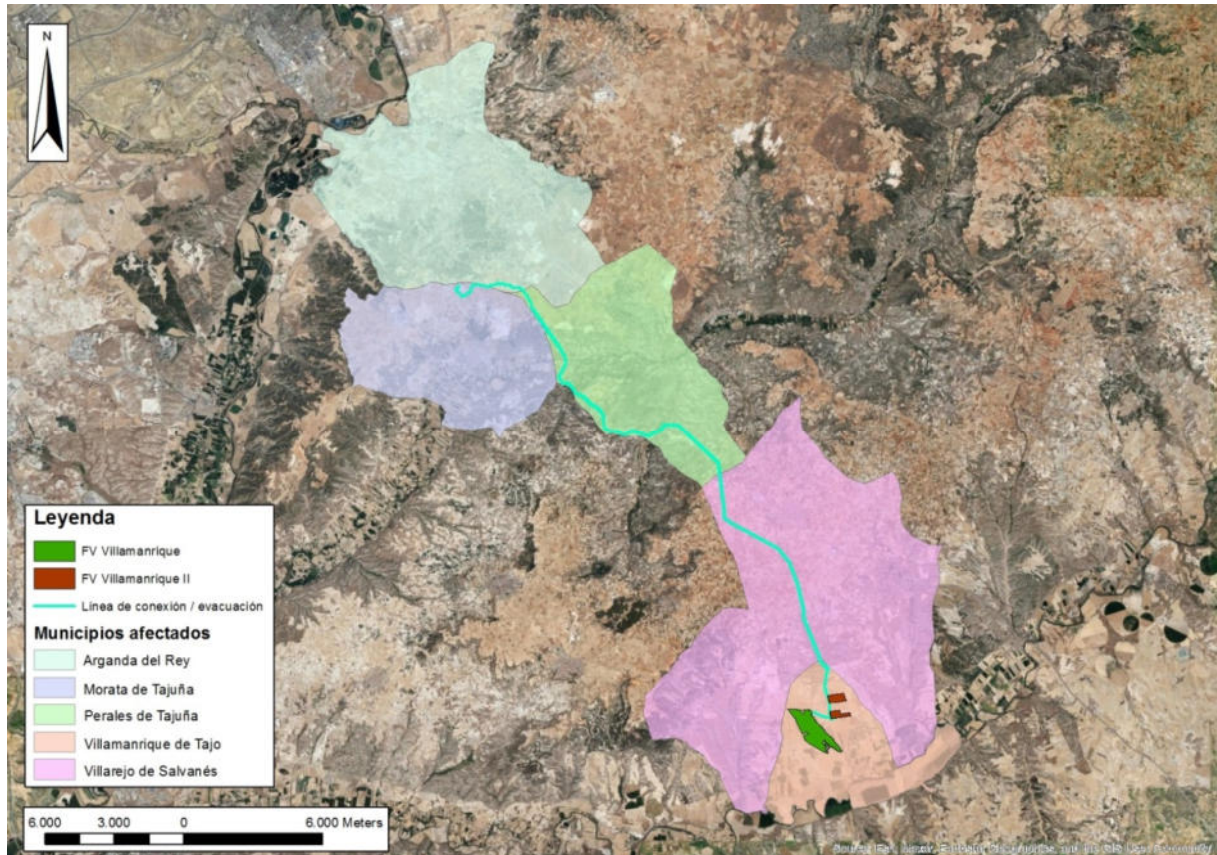


Figura 1. Delimitación del PEI sobre los cinco términos municipales afectados. Fuente: Elaboración propia con datos del Instituto Geográfico Nacional.

En relación con las plantas de producción fotovoltaica, subestación e instalaciones auxiliares, el ámbito queda delimitado por el perímetro de las fincas ocupadas parcialmente por las plantas adquiridas a tal efecto. Estas fincas se encuentran situadas íntegramente dentro del término municipal de Villamanrique de Tajo, provincia de Madrid, que incluye la delimitación de la propia instalación, más una superficie perimetral irregular de reserva y protección paisajística (Z2 – Zona de reserva y protección), cuya forma queda condicionada por los límites de las propias fincas (Figura 2).

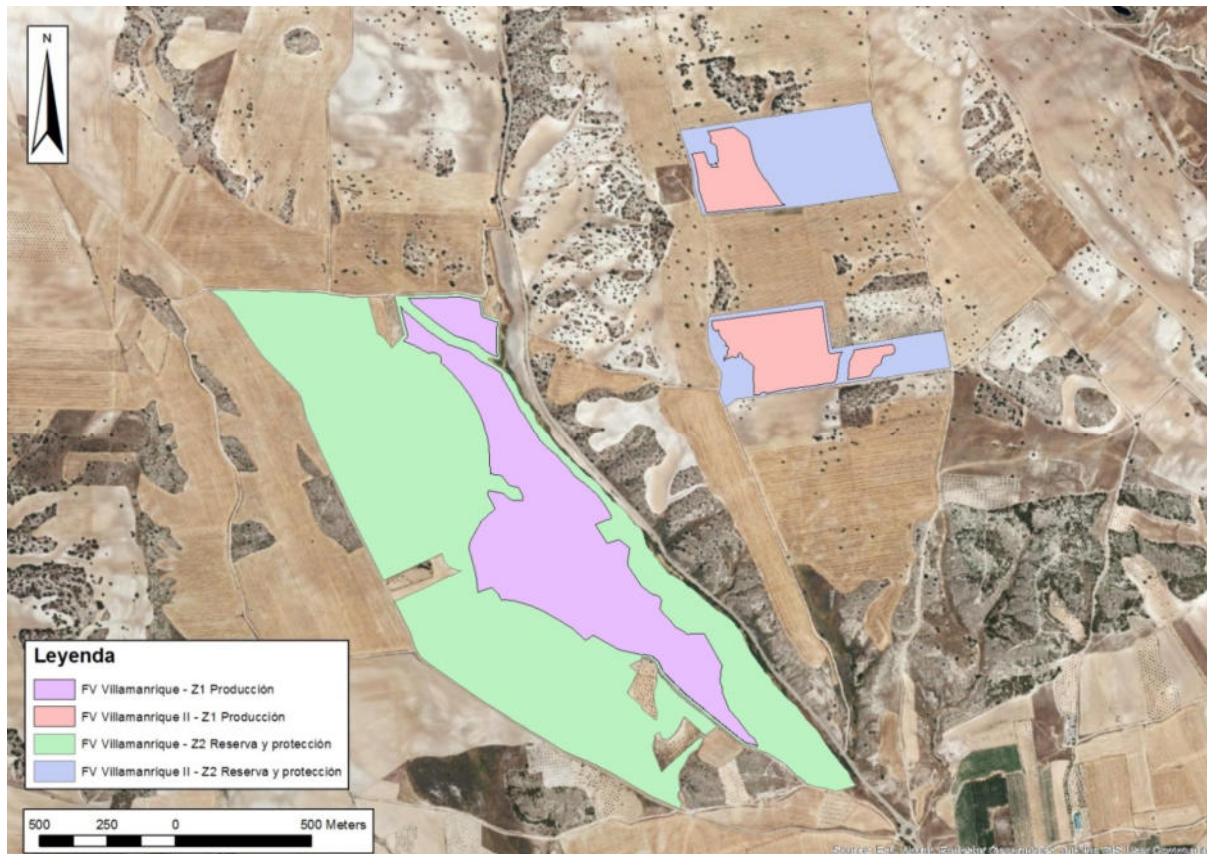


Figura 2. Planta Fotovoltaica Villamanrique (al suroeste) y Planta Fotovoltaica Villamanrique II (al noreste, dividida en dos áreas): zona de producción (Z1) y zona de reserva y protección (Z2) sobre ortofoto de máxima actualidad del PNOA (2019). Fuente: Elaboración propia con datos del Instituto Geográfico Nacional.

4. DESCRIPCIÓN DEL PLAN ESPECIAL

El *Plan Especial de Infraestructuras para la generación, transformación y transmisión de energía eléctrica de origen solar fotovoltaico desde Villamanrique de Tajo hasta Morata de Tajuña (Madrid)* es un instrumento urbanístico de tipo autónomo y sectorial denominado Plan Especial de Infraestructuras o PEI, cuyo objeto es:

- La **definición** de los elementos de una infraestructura energética.
- La descripción de las afecciones a la propiedad del suelo y al planeamiento urbanístico.
- El establecimiento de las condiciones de ordenación urbanística pormenorizada del suelo necesario para su construcción, operación y mantenimiento, incluyendo la fijación de los mecanismos de gestión y ejecución de la infraestructura y una normativa específica que regula los usos permitidos.

Todo ello con el fin de lograr su compatibilidad con el planeamiento urbanístico en vigor y los valores del medio ambiente, así como para legitimar su construcción, puesta en servicio y el establecimiento de las servidumbres correspondientes.

Esta **legitimación**, necesaria para la ejecución de esta futura red pública de infraestructuras atendiendo a la definición y protección de sus elementos y el establecimiento de las condiciones complementarias que resulten necesarias para la ordenación urbanística pormenorizada del suelo que le dará soporte, es **competencia y objetivo último del Plan Especial**.

La infraestructura a ordenar es la necesaria para la generación de 42,9+12,1MWp de energía eléctrica en dos futuras plantas de producción solar fotovoltaica situadas en Villamanrique de Tajo, Comunidad de Madrid, su transformación y transmisión mediante una línea aéreo-subterránea de alta tensión a través de otros cuatro términos municipales de la misma comunidad autónoma: Villarejo de Salvanés, Perales de Tajuña, Arganda y Morata de Tajuña, hasta la conexión con la red en la subestación de destino (ST Morata); todo ello según la definición de los respectivos proyectos técnicos, concretamente según las adendas de modificación redactadas en diciembre de 2022.

Esta infraestructura, tras la obtención de la correspondiente Declaración de Utilidad Pública², se constituirá en una **red pública supramunicipal**³ (funcionalmente red de infraestructuras energéticas), implantada sobre diferentes clases y categorías de suelo que el PEI no modifica⁴ en diferentes términos municipales; todo ello bajo las determinaciones de ordenación urbanística pormenorizada del presente PEI, que incluyen la ampliación de los usos permitidos en esas clases al amparo de la LSCM y categorías de suelo definidas originalmente por el planeamiento en caso de Suelo No Urbanizable de Protección (SNUP)⁵.

En resumen, el PEI persigue los siguientes fines:

1. Definir y describir los elementos previstos de las futuras infraestructuras eléctricas previstas, estableciendo las condiciones particulares para su implantación, completando en estos aspectos la normativa de los instrumentos de planeamiento general de los diferentes municipios que atraviesa.
2. Complementar las condiciones de ordenación del planeamiento general de cada uno de estos municipios, trasponiendo a su contenido normativo la admisibilidad genérica en cada clase de suelo y, en particular, la correspondiente al Suelo No Urbanizable

² Según establece el Artículo 5.4 de la Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico y la y la Ley 39/2015, de 1 de octubre, del Procedimiento Administrativo Común de las Administraciones Públicas.

³ Según definición del Artículo 36.1 de la LSCM.

⁴ Artículos 29.2 y 25 de la LSCM.

⁵ Art. 42.2 de la LSCM.

de Protección (SNUP) que para estas infraestructuras establece el artículo 29.2 de la Ley 9/2001, de 17 de julio, del Suelo de la Comunidad de Madrid (LSCM).

El PEI no exime a los proyectos de acreditar el cumplimiento de la normativa sectorial legal reglamentariamente establecida sobre sus diferentes elementos técnicos, los procedimientos administrativos propios del sector eléctrico, los trámites de autorización ambiental ni las necesarias licencias urbanísticas de edificación o de autorización de la propia actividad.

5. ACCIONES DE PROYECTO (DETERMINACIONES DE PLANEAMIENTO) CON REPERCUSIÓN SOBRE LA HUELLA DE CARBONO

Como se ha visto, el objetivo último del PEI es lograr la legitimación necesaria para la ejecución de las infraestructuras eléctrica constituida por los diferentes proyectos previstos y sus elementos, siendo esencial diferenciar las acciones y repercusiones ambientales asociadas al propio PEI (acciones y repercusiones directas) de las asociadas a la ejecución, funcionamiento y desmantelamiento de las infraestructuras diseñadas en dichos proyectos, pudiendo considerarse estas últimas como acciones y repercusiones indirectas del PEI.

ACCIONES DIRECTAS

Las acciones directas PEI son:

1. Las derivadas de su **formulación**:

- Aunar en un único documento la descripción de la infraestructura a implantar cuya descripción queda dispersa en diversos documentos (dos adendas de proyecto principales que contienen, a su vez, otros proyectos: subestación de planta y línea de transmisión).
- Iniciar un procedimiento urbanístico con la homogenización normativa consiguiente, sus correspondientes hitos de información y participación, así como de evaluación ambiental estratégica conjunta.

2. Las derivadas de su eventual **aprobación e implantación**:

- El establecimiento de una nueva calificación del suelo a ocupar permanentemente por las infraestructuras eléctricas como red pública.
- La aprobación de una normativa específica, incluyendo la de protección ambiental, para cada área del plan en función de la actividad específica a recoger.
- Implantación de una red pública de infraestructuras.

La nueva infraestructura quedará implantada sobre diferentes **clases y categorías de suelo en diferentes términos municipales que el PEI no modifica**, si bien sus determinaciones de ordenación urbanística pormenorizada incluyen la **ampliación de los usos permitidos** en esas clases al amparo de la Ley 9/2001, de 17 de julio, del Suelo de la Comunidad de

Madrid (LSCM) y categorías de suelo definidas originalmente por el planeamiento en el caso de Suelo No Urbanizable de Protección (SNUP).

Puesto que el uso infraestructural queda ya contemplado por la LSCM sobre cualquier clase de suelo, el PEI en sí no tendría efectos sobre el medio ambiente más allá de los genéricos de la propia LSCM o de aquellos de los proyectos de infraestructuras que se desarrollen a su amparo y que, como se ha dicho, han de evaluarse en procesos de EIA independientes.

Por tanto, no cabe tampoco establecer una huella de carbono asociada directamente al PEI y sus determinaciones.

ACCIONES INDIRECTAS

Las acciones de los proyectos amparados por el PEI y susceptibles de producir efectos ambientales, interpretables como acciones y efectos indirectos sobre el medio, se encuentran analizadas en los Estudios de Impacto Ambiental⁶ de dichos proyectos.

Dichas acciones son:

Fase de ejecución de la obra

- Movimientos de tierras, realización de excavaciones y rellenos de zanjas.
- Limpieza y desbroce de vegetación.
- Hormigonado e instalación de estructuras (paneles, vallado, casetas, etc.).
- Acopio de materiales y restos de construcción.
- Generación de residuos.
- Tránsito de maquinaria pesada y vehículos.

Como acción más destacada en cuanto a la huella de carbono los EsIA reconocen el consumo de combustibles fósiles vinculado a gran parte de las acciones generales anteriores, dejando fuera otras fuentes de emisión por considerarlas despreciables.

Fase de explotación

- Funcionamiento y presencia de las instalaciones del proyecto.
- Trabajos de mantenimiento.

En cuanto a la huella de carbono, en los EsIA se considera despreciable la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) derivada del movimiento de maquinaria durante las

⁶

- *Estudio de Impacto Ambiental. Adenda de modificación de la planta solar fotovoltaica Villamanrique e infraestructuras de evacuación asociadas (ST 30/66 kV y LASAT 66 kV hasta ST Morata). Applus. 23/12/2022.*
- *Estudio de Impacto Ambiental. Adenda de modificación de la planta solar fotovoltaica Villamanrique II. Applus. 23/12/2022.*

tareas de mantenimiento, tanto de las plantas de producción como de la subestación elevadora (ST) y la línea de alta tensión (LASAT).

En esta fase, sin embargo, lo que será relevante es el ahorro de emisiones de GEI, y en particular de CO₂, derivada de la producción de energía renovable en el conjunto de ambas plantas en relación a una situación sin su existencia (alternativa cero).

Con signo contrario al del ahorro, los EsIA incorporan para esta fase el cálculo de la huella de carbono correspondiente al ciclo de vida completo de ambas plantas fotovoltaicas.

Fase de desmantelamiento

- Retirada de infraestructuras principales, a excepción de la línea de alta tensión.
- Movimiento de tierras y descompactación.
- Tránsito de maquinaria pesada y vehículos.
- Generación de residuos.
- Revegetación.

Al igual que para la fase de ejecución, para la fase de desmantelamiento los EsIA consideran que la acción fundamental en relación con la huella de carbono sería el consumo de combustibles fósiles, asumiendo con ello el empleo de maquinaria y vehículos similares a los que se emplearía en la actualidad, lo que constituye una hipótesis conservadora al ser esperable que las tecnologías de motorización hayan disminuido o abandonado por completo la dependencia de combustibles fósiles en el horizonte temporal correspondiente al fin de la vida útil de los proyectos.

Los dos Estudios de Impacto Ambiental incluyen un cálculo de la huella de carbono asociada a cada una de estas fases de proyecto, cuyo cálculo se recoge y amplía con consideraciones adicionales en el capítulo siguiente.

6. LA HUELLA DE CARBONO

El cálculo de la huella de carbono de un producto, un servicio o una organización constituye una manera de objetivar su contribución al cambio climático a partir del inventario de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociados tanto directa como indirectamente a los mismos.

Tal inventario puede comprender todo el ciclo de vida, desde la obtención de las materias primas hasta su conversión en residuos (enfoque “de la cuna a la tumba”) o incluso hasta que éstos se reutilizan o reciclan (enfoque “de la cuna a la cuna”), o bien limitarse hasta el momento en que la siguiente organización utiliza el producto como su materia prima (enfoque de la cuna a la puerta).

Los gases de efecto invernadero que se incluyen habitualmente en el inventario de la huella de carbono son los recogidos en el protocolo de Kyoto: CO₂ (dióxido de carbono), CH₄ (metano), N₂O (óxido nitroso), SF₆ (hexafluoruro de azufre), HFCs (hidrofluorocarbonos) y

PFCs (perfluorocarbonos). Desde la COP 18, celebrada en Doha a finales de 2012, el NF₃ (trifluoruro de nitrógeno) se ha añadido a los anteriores.

La huella de carbono se mide en unidades de masa (kilogramos o toneladas) de CO₂ equivalente, mediante la cual es posible integrar la contribución de los distintos GEI, considerando la proporción entre el PCG (potencial de calentamiento global) de cada uno de ellos en relación al potencial del CO₂, que se toma como referencia.

En el caso de la huella de carbono de organizaciones, donde es habitual que la mayor parte de las emisiones estén vinculadas al consumo de combustibles fósiles en sus edificios y vehículos (aunque en ocasiones también a otros procesos industriales específicos) la cantidad de CO₂ emitida es muy superior a la de otros GEI resultantes de dicha combustión (CH₄ y N₂O), siendo la contribución de estos últimos casi despreciable, a pesar de su mayor PCG.

El inventario de emisiones de GEI que constituye la huella de carbono consiste en un sumatorio de las emisiones debidas a cada dato de actividad multiplicadas por su factor de emisión en unidades de CO₂eq. Si las emisiones de cada dato actividad se obtienen de forma diferenciada para cada uno de los distintos GEI, se debe proceder previamente a su conversión y suma en términos de CO₂eq, empleando el correspondiente PCG.

7. CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO

Se incluye a continuación la cuantificación de la huella de carbono vinculada indirectamente al desarrollo del PEI, de acuerdo con la metodología anterior.

Como se ha visto, estrictamente no puede atribuirse una huella de carbono asociada a las acciones directas del propio plan, cabiendo únicamente considerar la asociada a las acciones de los proyectos a los que da cobertura urbanística, interpretadas como acciones indirectas del PEI, y que son identificadas en los Estudios de Impacto Ambiental (ver apartado anterior).

Se recoge el cálculo de ambos estudios y su resultado conjunto, revisando posteriormente los resultados para la fase de explotación con un cálculo más detallado.

FASE DE OBRA

De acuerdo a los EslA, el cálculo del consumo de combustible y la consiguiente huella de carbono para esta fase de ambos proyectos serían los siguientes:

	Uso de maquinaria (horas/día)	Consumo de combustible (litros/hora)	Días de ejecución de la obra			Consumo total de combustible (litros)
			FV	SET	LASAT	
Zanjadora	8	20	176	88	220	77.440
Camión	6	20	176	88	220	58.080
Hormigonera	0,1	20	176	88	220	968
Tractor cuba	2	20	176	88	220	8.800

	Uso de maquinaria (horas/día)	Consumo de combustible (litros/hora)	Días de ejecución de la obra			Consumo total de combustible (litros)
			FV	SET	LASAT	
Dumper	6	15	176	88	220	43.560
Vehículo turismo	2	20	176	88	220	9.860
TOTAL						198.528

Tabla 1. Consumo de combustible durante la fase de obra. Villamanrique, SET y LASAT
Fuente: EsIA.

Aplicando un factor de emisión de 2,708 kg de CO₂ por litro de gasóleo B⁷ resulta que por la ejecución de las obras de instalación de la planta fotovoltaica Villamanrique e infraestructuras asociadas SET y LASAT se producirían **537.614 kg de CO₂**.

	Uso de maquinaria (horas/día)	Consumo de combustible (litros/hora)	Días de ejecución de obra	Consumo total de combustible (litros)
Zanjadora	8	20	176	28.160
Camión	6	20	176	21.120
Hormigonera	0,1	20	176	352
Tractor cuba	2	20	176	7.040
Dumper	6	15	176	15.840
Vehículo turismo	2	20	176	3.520
TOTAL				76.032

Tabla 2. Consumo de combustible durante la fase de obra. Villamanrique II. Fuente: EsIA.

Aplicando un factor de emisión de 2,708 kg de CO₂ por litro de gasóleo B resulta que por la ejecución de las obras de instalación de la planta fotovoltaica Villamanrique II, se producirían **205.895 kg de CO₂**.

La huella de carbono conjunta de ambos proyectos para esta fase sería de **743.509 kg de CO₂**.

FASE DE EXPLOTACIÓN

Huella de carbono según los EsIA

Los EsIA realizan el cálculo de ahorro de emisiones esperable por la operación de ambas plantas fotovoltaicas considerando la producción anual esperable de acuerdo a las

⁷ Factores de emisión registro de huella de carbono, compensación y proyectos de absorción de dióxido de carbono. Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico -MITECO. Junio 2020

simulaciones realizadas, la vida útil prevista para las plantas y el factor de emisiones correspondiente al mix eléctrico de producción del sistema energético español para el periodo 2015-2019:

Producción anual: 73.054 MWh para Villamanrique y 20.389 MWh para Villamanrique II.

Vida útil de la instalación: 30 años.

Factor de emisión⁸: 0,26 kg de CO₂/kWh.

Con signo contrario, los EsIA tienen en cuenta las posibles **emisiones vinculadas** al ciclo de vida de la tecnología fotovoltaica basándose en datos de fuentes especializadas⁹, aplicando un factor de emisión anual de 0,04 kg de CO₂ eq/kWh.

De este modo, la huella de carbono asociada a la fase de explotación de cada planta de producción y su conjunto sería la siguiente (el signo negativo expresa ahorro de emisiones respecto al uso de otras tecnologías):

Planta	Producción anual (MWh)	Vida útil (30 años)			Balance emisiones evitadas (ton CO ₂)
		Producción vida útil (MWh)	Emisiones evitadas (ton CO ₂)	Emisiones producidas (ton CO ₂)	
Villamanrique	73.054	2.191.620	-569.821	87.665	-482.156
Villamanrique II	20.389	611.670	-159.034	24.467	-134.567
Total	93.443	2.803.290	-728.855	112.132	-616.724

Tabla 3. *Huella de carbono de ambas plantas fotovoltaicas para la fase de explotación Fuente: EsIA.*

Por tanto, y según el cálculo de los EsIA, el ahorro de emisiones logrado durante la fase de explotación superaría las 600.000 toneladas de CO₂ eq.

Revisión del cálculo por parte del EsAE

Como parte del presente estudio se ha querido mejorar el cálculo anterior referente a las emisiones evitadas a lo largo de toda la vida útil teniendo en cuenta que el factor de emisión vinculado al *mix* energético irá disminuyendo a medida que aumenta la penetración de fuentes renovables en dicho mix hasta alcanzar el objetivo del 100% de energía renovable en el año 2050. Esta evolución tendencial del *mix* energético durante el periodo de vida útil de las infraestructuras que el PEI ordena no fue considerada en los EsIA de los proyectos y, para una misma producción renovable, supone una reducción de las emisiones específicamente evitadas y un cálculo conjunto y más preciso.

⁸ Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (CNMC). Promedio para el periodo 2015-2019 del factor de emisiones del mix eléctrico de producción del sistema energético español.

⁹ National Renewable Energy Laboratory. Laboratorio Nacional del Departamento de Energía de los Estados Unidos de América, Oficina de Eficiencia Energética y Energía Renovable.

Este cálculo ya fue realizado durante la fase de borrador del PEI, incorporándolo al Documento Ambiental Estratégico, y se revisa ahora con los datos actualizados de producción eléctrica anual para ambas plantas.

Se parte de los datos de Red Eléctrica de España (REE), que arrojan un factor de emisión en 2019 para el mix de energía generada en España de 0,19 toneladas de CO₂ equivalente por cada MWh generado (t CO₂eq/MWh). Este factor de emisión varía en función del aporte de cada tecnología en el mix total.

En la tabla siguiente se ofrecen las emisiones de CO₂ equivalente en toneladas por cada MWh en función de la tecnología utilizada⁴:

Tecnología	Emisiones CO₂eq (tCO₂eq/MWh)
Central Térmica de Carbón	0,95
Central Térmica Ciclo Combinado (Gas Natural)	0,37
Central Térmica Fuel-Gas	0,77
Cogeneración	0,38
Residuos	0,24
Energías Limpias (renovables, nuclear,...)	0

Tabla 4. Factores de emisión de cada tecnología en la generación de electricidad. Fuente: Red Eléctrica de España.

A partir de estos datos y los objetivos planteados en el PNIEC, se ha hecho una estimación de las toneladas de CO₂ equivalente evitados en la vida útil de la infraestructura.

La puesta en servicio de las instalaciones se plantea en 2024 (para el DIE se consideró 2023) y la vida útil de este tipo de instalaciones se contempla de 30 años, por lo que la infraestructura se encontraría operativa en los años 2030 y 2050, años clave en los objetivos del PNIEC, sustituyendo en ese periodo la generación equivalente mediante combustibles fósiles.

Años	% energía de origen renovables	% energía de origen no renovable	Emisiones estimadas del mix energético nacional (t CO₂eq/MWh)	Emisiones potencialmente evitadas por la infraestructura (t CO₂eq)	Emisiones evitadas acumuladas (t CO₂eq)
2019	36,80%	63,20%	0,190	0,0	0,0
2020	40,18%	59,82%	0,179	0,0	0,0
2021	43,56%	56,44%	0,168	0,0	0,0
2022	46,95%	53,05%	0,157	0,0	0,0
2023	50,33%	49,67%	0,146	0,0	0,0
2024	53,71%	46,29%	0,135	12.657,3	12.657,3
2025	57,09%	42,91%	0,125	11.637,9	24.295,2
2026	60,47%	39,53%	0,114	10.618,5	34.913,7
2027	63,85%	36,15%	0,103	9.599,1	44.512,8
2028	67,24%	32,76%	0,092	8.579,8	53.092,6
2029	70,62%	29,38%	0,081	7.560,4	60.653,0
2030	74,00%	26,00%	0,070	6.541,0	67.194,0
2031	75,30%	24,70%	0,067	6.214,0	73.408,0
2032	76,60%	23,40%	0,063	5.886,9	79.294,9

Años	% energía de origen renovables	% energía de origen no renovable	Emisiones estimadas del mix energético nacional (t CO₂eq/MWh)	Emisiones potencialmente evitadas por la infraestructura (t CO₂eq)	Emisiones evitadas acumuladas (t CO₂eq)
2033	77,90%	22,10%	0,060	5.559,9	84.854,7
2034	79,20%	20,80%	0,056	5.232,8	90.087,5
2035	80,50%	19,50%	0,053	4.905,8	94.993,3
2036	81,80%	18,20%	0,049	4.578,7	99.572,0
2037	83,10%	16,90%	0,046	4.251,7	103.823,7
2038	84,40%	15,60%	0,042	3.924,6	107.748,3
2039	85,70%	14,30%	0,039	3.597,6	111.345,8
2040	87,00%	13,00%	0,035	3.270,5	114.616,3
2041	88,30%	11,70%	0,032	2.943,5	117.559,8
2042	89,60%	10,40%	0,028	2.616,4	120.176,2
2043	90,90%	9,10%	0,025	2.289,4	122.465,5
2044	92,20%	7,80%	0,021	1.962,3	124.427,8
2045	93,50%	6,50%	0,018	1.635,3	126.063,1
2046	94,80%	5,20%	0,014	1.308,2	127.371,3
2047	96,10%	3,90%	0,011	981,2	128.352,5
2048	97,40%	2,60%	0,007	654,1	129.006,6
2049	98,70%	1,30%	0,003	327,1	129.333,6
2050	100,00%	0,00%	0,000	0,0	129.333,6

Tabla 5. Estimación de las emisiones evitadas por la infraestructura Fuente: elaboración propia.

Como puede verse, al considerarse la evolución del mix, partiendo además de un valor inicial más bajo para el factor de emisión (0,19 kg de CO₂/kWh) publicado por REE para el año 2019, frente al factor de 0,26 kg de CO₂/kWh que señala la CNMC para el periodo 2015-2019 según los EsIA) se obtendría una previsión inferior de emisiones evitadas de 129.333 toneladas de CO₂ para toda la vida útil de la infraestructura, muy inferior a las 728.855 toneladas estimadas en los EsIA.

Haciendo el balance con las emisiones producidas que contemplan los EsIA (112.132 ton CO₂ para todo el ciclo de vida de las plantas), la reducción de emisiones respecto a una situación sin la existencia de esta nueva infraestructura sería de 17.201 toneladas.

FASE DE DESMANTELAMIENTO

Al igual que para la fase de ejecución, los EsIA estiman la huella de carbono vinculadas a las actuaciones de desmantelamiento de ambos proyectos, centrándolas en la emisión de GEI por consumo de combustible de la principal maquinaria que participaría en las mismas.

	Uso de maquinaria (horas/día)	Consumo de combustible (litros/día)	Día de ejecución			Consumo total (litros)
			FV	SET	LASAT	
Camión	6	20	88	44	110	29.040
Tractor cuba	2	20	88	44	110	9.680
Dumper	6	15	88	44	110	21.780
Vehículo turismo	2	10	88	44	110	4.840
Total						65.340

Tabla 6. Consumo de combustible en la fase de desmantelamiento de Villamanrique, SET y LASAT
Fuente: elaboración propia a partir de los datos del EsIA.

Aplicando un factor de emisión de 2,708 kg de CO₂ por litro de gasóleo B, las emisiones asociadas a la fase de desmantelamiento de la planta fotovoltaica Villamanrique e infraestructuras asociadas SET y LASAT serán **176.941 kg de CO₂**.

	Uso de maquinaria (horas/día)	Consumo de combustible (litros/día)	Día de ejecución	Consumo total (litros)
Camión	6	20	88	10.560
Tractor cuba	2	20	88	3.520
Dumper	6	15	88	7.920
Vehículo turismo	2	10	88	1.760
Total				23.760

Tabla 7. Consumo de combustible durante la fase de desmantelamiento de Villamanrique II.
Fuente: elaboración propia a partir de los datos del EsIA.

Por otro lado, aplicando el factor de emisión de 2,708 kg de CO₂ por litro de gasóleo B, al igual que en el punto anterior, las emisiones asociadas a la fase de desmantelamiento de la planta fotovoltaica Villamanrique II, serán **64.342 kg de CO₂**.

La huella de carbono conjunta de ambos proyectos para esta fase sería de **241.283 kg de CO₂**.

PÉRDIDA DE SUMIDEROS DE CARBONO

Para el cálculo de la pérdida de suelo como sumidero de carbono se ha utilizado la “Herramienta de cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero generadas por el planeamiento urbanístico en la Comunidad de Madrid”, encargada por la Dirección General de Descarbonización y Transición Energética de la Comunidad de Madrid a la Universidad de Nebrija.

Esta-herramienta se desarrolla con el objetivo de calcular las emisiones GEI generadas por el planeamiento urbanístico de carácter urbano, aunque para este caso se aplicará para un carácter infraestructural como el presente, único caso en que resulta de aplicación.

De este modo, la herramienta se ha aplicado únicamente para la estimación de variación en la capacidad de absorción de CO₂ de la cubierta vegetal y el suelo, como consecuencia de la implantación de la nueva infraestructura energética.

Tal y como se explica en el capítulo 7 del *Bloque I Documentación normativa*, la Normativa Urbanística del PEI establece **tres zonas urbanísticas de ordenación pormenorizada** dentro de su ámbito, delimitadas en los planos O-3.1 y O-3.2 del Volumen 4 del Bloque III.

Estas zonas son las de producción, reserva y protección y transmisión:

1. En primer lugar, en **la zona de producción**, se llevará a cabo un despeje y desbroce del terreno de 20 cm de profundidad que consiste en extraer y retirar todos los árboles, tocones, plantas, maleza, broza, escombros, basura o cualquier otro material. Por su parte, el desbroce sólo se realizará donde no se pueda realizar la implantación por la existencia de dichos elementos.

Las infraestructuras que se implantarán en esta zona suponen una estructura metálica hincada directamente al suelo, dejando libre unos 50 cm entre la infraestructura y el suelo. De esta forma se permite el crecimiento de especies de bajo porte o herbáceas, por lo que en la **zona de producción** no se producirá una pérdida de suelo y por lo tanto, tampoco se producirá una pérdida de sumidero de carbono asociada.

2. En segundo lugar, la **zona de reserva y protección**, no acogerá ningún tipo de actuación, por lo que en ella no se producirá una pérdida de suelo ni de sumidero de carbono. En el futuro, esta zona podría acoger una ampliación de la planta en un 50% de su suelo, por lo que, en ese caso se realizarían las mismas actuaciones que en la zona de producción.
3. Por último, la **zona de transmisión**, acogerá la implantación de la LASAT, y en ella se diferencian dos actuaciones, la primera en los tramos soterrados de la línea y la segunda en los tramos aéreos.
 - En lo referente a la parte soterrada de la LASAT, no se producirá una pérdida de suelo ni de sumidero de carbono, puesto que en las zonas afectadas se recuperará la vegetación eliminada, como consecuencia de los movimientos de tierra y otros trabajos de explanación mediante la plantación de especies

autóctonas con el fin de mitigar los riesgos de desencadenamiento de procesos erosivos.

- En cuanto a la parte aérea de la LASAT, la pérdida de sumidero de carbono está asociada a la implantación de los apoyos, puesto que llevan asociados una pérdida permanente de suelo.

La superficie de ocupación fija de la infraestructura, correspondiente a los apoyos de la LASAT, se ha obtenido del punto 3 *Estructura de la propiedad* del Volumen I *Memoria de Información* del Bloque I del Plan Especial de Infraestructuras, la superficie total de ocupación fija es de **10.620 m²**.

En lo referente a la herramienta de cálculo, es necesario especificar el uso del suelo y la cobertura vegetal inicial y prevista para un futuro, por lo que, teniendo en cuenta el punto 7.3., *Medio Natural*, del Estudio Ambiental Estratégico, el uso actual del suelo en el espacio que ocupará la línea de transmisión es, en general, “cultivos secos”. El uso previsto será “Urbanizado” debido a que la herramienta supone una nula permeabilidad seleccionando este uso de suelo (Figura 3).

PROYECTO: FV VILLAMANRIQUE & FV VILLAMANRIQUE II
 UNIDAD: NEGOCIO RENOVABLES ESPAÑA

BLOQUE II

REV: 0

FECHA:

15/01/2023

HOJA 19 DE 22

7.1 Condiciones iniciales de uso del suelo (cobertura vegetal)

Suelo no urbanizado

Tipo del suelo 1	Cultivos secos	Superficie	10.620,00	m ²	Captura potencial de CO ₂	2,38	tCO ₂ eq/ha
Tipo del suelo 2		Superficie		m ²	Captura potencial de CO ₂	0,00	tCO ₂ eq/ha
Tipo del suelo 3		Superficie		m ²	Captura potencial de CO ₂	0,00	tCO ₂ eq/ha
Tipo del suelo 4		Superficie		m ²	Captura potencial de CO ₂	0,00	tCO ₂ eq/ha
Otros		Superficie		m ²	Captura potencial de CO ₂	0,00	tCO ₂ eq/ha

Suelo urbanizado

Uso del suelo	Urbanizado	Superficie		m ²
---------------	------------	------------	--	----------------

Figura 3. Condiciones de uso de suelo iniciales y superficie especificada en la herramienta de cálculo de emisiones.

PROYECTO: FV VILLAMANRIQUE & FV VILLAMANRIQUE II

BLOQUE II

UNIDAD: NEGOCIO RENOVABLES ESPAÑA

REV: 0

FECHA: 15/01/2023

HOJA 20 DE 22

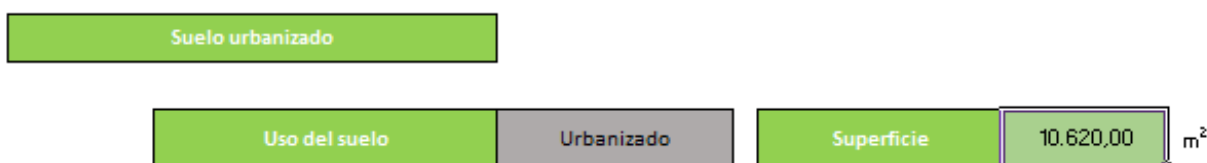


Figura 4. Condiciones de uso de suelo finales y superficie especificada en la herramienta de cálculo de emisiones desarrollada por la Universidad de Nebrija

En la Figura 5 se muestran los resultados finales de pérdida de sumidero de CO₂ por el cambio de uso de suelo. Según estos resultados, dejarían de capturarse 2.527,56 kgCO₂ eq al año. Teniendo en cuenta los 30 años de vida útil de las plantas, supondría un valor de **81.817,8 kg CO₂ eq.**

SUMIDERO Y MITIGACION

Cambios del uso del suelo. Captura potencial de CO₂ Sumidero

Suelo no urbanizado		
Captura potencial TOTAL inicial de CO ₂	-2.527,56	kgCO ₂ eq
Captura potencial TOTAL final de CO ₂	0,00	kgCO ₂ eq
		-2.527,56

Figura 5. Resultados de pérdida del suelo como sumidero de CO₂ en kgCO₂eq/año. Fuente: Herramienta de cálculo de emisiones desarrollada por la Universidad de Nebrija

RESUMEN DE RESULTADOS Y CÓMPUTO TOTAL DE LA HUELLA DE CARBONO

Teniendo en cuenta las emisiones de las fases de obra y desmantelamiento, la pérdida de sumideros de carbono que conlleva la construcción y operación de las infraestructuras y las emisiones evitadas en la fase de explotación de éstas, **el desarrollo del PEI supondrá un ahorro de emisiones de 16.134,39 toneladas de CO₂ eq**, tal y como se muestra en la siguiente figura.

PROYECTO: FV VILLAMANRIQUE & FV VILLAMANRIQUE II

BLOQUE II

UNIDAD: NEGOCIO RENOVABLES ESPAÑA

REV: 0

FECHA: 15/01/2023

HOJA 21 DE 22

Fase	Huella de carbono (ton CO ₂ eq)
Fase de ejecución	743,51
Fase de explotación	-17.201,00
Fase de desmantelamiento	241,28
Pérdida de sumidero	81,82
TOTAL	-16.134,39

Tabla 8. Cómputo total de la huella de carbono. Fuente: elaboración propia.

Tal y como se aprecia en el siguiente diagrama, la gran mayoría de las emisiones van asociadas a la fase de explotación, pero en este caso con un resultado positivo, puesto que se trata de emisiones evitadas por la producción prevista en los proyectos del PEI.

En comparación con todas las emisiones evitadas con la implantación de las plantas solares fotovoltaicas FV Villamanrique y FV Villamanrique II, las emisiones generadas para su establecimiento (fase de obra) son de un orden magnitud inferior.

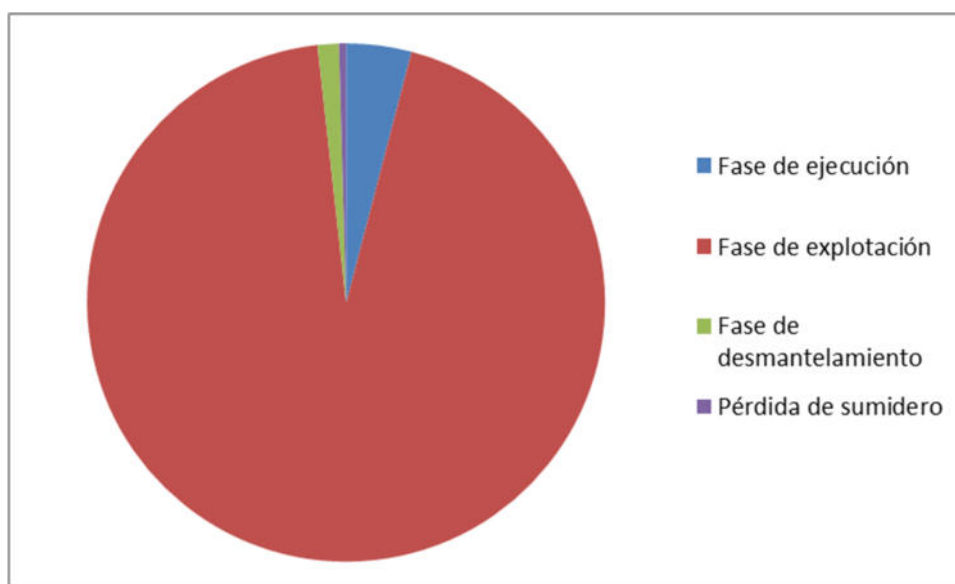


Figura 6. Diagrama de la huella de carbono. Elaboración propia.



**PLAN ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURAS
PARA LA GENERACIÓN, TRANSFORMACIÓN Y
TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE
ORIGEN SOLAR FOTOVOLTAICO DESDE
VILLAMANRIQUE DE TAJO HASTA MORATA DE
TAJUÑA (MADRID).**



PROYECTO: FV VILLAMANRIQUE & FV VILLAMANRIQUE II

BLOQUE II

UNIDAD: NEGOCIO RENOVABLES ESPAÑA

REV: 0

FECHA: 15/01/2023

HOJA 22 DE 22

8. CONCLUSIONES

El presente documento sobre el cálculo de la huella de carbono asociada al *Plan Especial de Infraestructuras para la generación, transformación y transmisión de energía eléctrica de origen solar fotovoltaico desde Villamanrique de Tajo hasta Morata de Tajuña (Madrid)* (PEI) constituye el Anexo I del Estudio Ambiental Estratégico (EsAE) de dicho Plan y en él se han realizado los cálculos pertinentes para la obtención de los datos de emisiones entendidas como huella de carbono.

Se ha incluido una breve descripción del ámbito de estudio y una descripción del Plan Especial de Infraestructuras

En segundo lugar, se han analizado las acciones del proyecto con repercusión sobre la huella de carbono, dividiéndolas en acciones directas e indirectas, siendo las directas aquellas que se asocian al establecimiento de unas determinaciones urbanísticas pormenorizadas y que por tanto no generan emisiones no por tanto tienen asociada una huella de carbono.

Por otro lado, se han analizado las acciones indirectas, asociadas al desarrollo de los proyectos que se implantarán en el ámbito de estudio, las cuales cuentan con unas emisiones asociadas calculadas inicialmente en los estudios de impacto ambiental de los proyectos, cálculo que aquí se mejora mediante su proyección durante la vida útil de las plantas en contraste con la evolución esperable del *mix* energético nacional.

En tercer lugar, se ha realizado ese cálculo mejorado de la huella de carbono. Se ha dividido en fase de obra, fase de explotación, fase de desmantelamiento y pérdida de sumideros de carbono, en los cuales se han tenido en cuenta todas las emisiones generadas y evitadas por cada actividad.

El conjunto del cómputo de emisiones ha resultado negativo, lo que indica que globalmente, la huella de carbono de la implantación del PEI supondrá un ahorro de 16.134,39 toneladas de CO₂ equivalente.

Finalmente, se ha determinado que, en lo referente a la Huella de Carbono, la implantación del PEI y los proyectos asociados al mismo generarán un efecto positivo.