

INFORME SOBRE IMPACTOS AMBIENTALES ASOCIADOS A LA CONSTRUCCIÓN DE PLANTAS SOLARES FOTOVOLTAICAS EN LA MANCHA



UNIVERSIDAD DE CASTILLA LA MANCHA
E.T.S.I. AGRÓNOMOS Y DE MONTES DE ALBACETE
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN EN ENERGÍAS RENOVABLES



IMPACTOS AMBIENTALES ASOCIADOS A LA CONSTRUCCIÓN DE PLANTAS SOLARES FOTOVOLTAICAS EN LA MANCHA

Albacete, Junio 2021

Autores del trabajo:

Manuela Andrés Abellán
Francisco Antonio García Morote
Francisco Ramón López Serrano
Eva María Rubio Caballero
Marta Isabel Picazo Córdoba
Francisco García Saucedo
Enrique Manjabacas Arroyo

*Departamento de Ciencia y Tecnología Agroforestal y Genética
Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes (ETSIAM)
Instituto de Investigación en Energías Renovables (IER)
Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM)*

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	2
2. OBJETIVOS	3
3. METODOLOGÍA Y RESULTADOS	3
3.1 IMPACTOS POSITIVOS EN SUELO	3
3.1.1 Introducción	3
3.1.2 Fuentes de datos	4
3.1.3 Indicadores ambientales de suelo	5
3.1.4 Análisis estadísticos	7
3.1.5 Evolución y mejora de la calidad del suelo	7
3.1.6 Conclusiones	12
3.2 IMPACTOS POSITIVOS EN LA CUBIERTA VEGETAL	13
3.2.1 Introducción	13
3.2.2 Fuentes de datos	13
3.2.3 Indicadores ambientales de biodiversidad vegetal	14
3.2.4 Análisis estadísticos	15
3.2.5 Evolución de la vegetación presente en las instalaciones	15
3.2.6 Conclusiones	21
3.3 IMPACTOS POSITIVOS EN FAUNA	22
3.3.1 Introducción	22
3.3.2 Fuentes de datos	23
3.3.3 Indicadores ambientales de biodiversidad de fauna	23
3.3.4 Resultados del análisis previo	28
3.3.5 Impactos positivos de las plantas solares sobre la fauna	31
3.3.6 Conclusiones	38
4. RECOMENDACIONES, BUENAS PRÁCTICAS Y PROPUESTAS PARA LA MEJORA DE LA BIODIVERSIDAD	39
4.1 SUELO	39
4.2 VEGETACIÓN	40
4.3 FAUNA	42
5. SÍNTESIS Y CONCLUSIONES	45
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
6. ANEJO	48

1. INTRODUCCIÓN

La energía solar fotovoltaica está experimentando en los últimos años un crecimiento exponencial tanto en el estado español como en Castilla-La Mancha. Según el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC, 2021-2030)¹, se prevé un incremento de la energía solar fotovoltaica de 9 Gigavatios actuales de potencia instalada a más de 39 GW en 2030. Para la integración de este tipo de proyectos, según un nuevo modelo de desarrollo sostenible y ambiental, se han realizado diversos estudios desde el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO)² y desde la Comunidad Autónoma de Castilla-La Mancha, donde se pone de manifiesto la necesidad de una buena planificación aprovechando los recursos del entorno, y de la propuesta de buenas prácticas en los procesos de evaluación ambiental para su coexistencia con los valores ambientales del territorio.

Se han descrito los efectos perjudiciales de las instalaciones fotovoltaicas sobre el medio, concretamente sobre el uso del suelo y en consecuencia sobre los hábitats. Sin embargo, en trabajos de campo, también se ha comprobado que algunos de estos efectos pueden minimizarse y reorientarse, en determinadas circunstancias, de manera que no solo se consigue mantener el equilibrio ecosistémico, sino que incluso el medio puede recuperarse de forma favorable.

Asimismo, y como consecuencia de la experiencia de varios años en seguimiento y vigilancias ambientales de plantas solares en su fase de funcionamiento, se aprecian además impactos positivos sobre el suelo, la flora y la fauna, en estas instalaciones. Estos impactos positivos no son todavía lo suficientemente conocidos, por lo que se hace necesario su divulgación, para una mejor y más objetiva descripción de los efectos que este tipo de proyectos tienen en los terrenos donde se emplazan.

En este contexto, se trabaja en la elaboración de un informe como punto de partida para crear un **manual informativo** donde se recojan las mejoras ambientales derivadas de la instalación de plantas solares fotovoltaicas, en distintos agrosistemas tipo de La Mancha (terrenos agrícolas de secano, de regadío, cultivos leñosos, pastizales).

El presente informe pretende ser una primera referencia para el análisis y conocimiento de dichas mejoras ambientales asociadas a la implantación de plantas solares fotovoltaicas en terrenos agrícolas de La Mancha.

¹ https://www.miteco.gob.es/images/es/pnieccompleto_tcm30-508410.pdf

² https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/evaluacion-ambiental/documento1memoria_tcm30-518028.pdf

2. OBJETIVOS

En este informe se plantea como **objetivo principal** elaborar un diagnóstico de los efectos ambientales positivos de las plantas solares fotovoltaicas en los ecosistemas agrarios de La Mancha. En el estudio se incluyen en concreto los efectos positivos de este tipo de proyectos en el suelo, y por ende en su biodiversidad, en su calidad y capacidad de regeneración, así como en la flora y en la fauna asociadas.

Para la consecución del objetivo principal del informe se plantean los siguientes **objetivos particulares**:

1. Identificar impactos positivos en suelo y biodiversidad ecosistémica. Análisis y descripción.
2. Identificar impactos positivos sobre la flora y vegetación asociados a la recuperación del suelo durante la fase de funcionamiento del proyecto.
3. Identificar impactos ambientales positivos en fauna. Descripción.
4. Proponer prácticas y recomendaciones para potenciar impactos positivos.

Para alcanzar los objetivos propuestos, el trabajo se ha desglosado en diferentes tareas, destacando la recopilación de información de fuentes bibliográficas, de escenarios comparados, y la medición-seguimiento de indicadores ambientales de suelo, diversidad específica vegetal y fauna, en infraestructuras fotovoltaicas implantadas en ecosistemas agrarios de La Mancha, y que se encuentran en fase de funcionamiento más de 5 años.

3. METODOLOGÍA Y RESULTADOS

3.1 IMPACTOS POSITIVOS EN SUELO

3.1.1 Introducción

El suelo es un espacio heterogéneo definido por propiedades físicas, químicas y biológicas, que bajo condiciones naturales tienden a desarrollar un equilibrio dinámico adecuado para una diversidad de organismos transformadores y descomponedores de sustratos. Está compuesto por diferentes fracciones: orgánica, mineral, agua, aire y organismos vivos, que interactúan entre sí. Todas ellas influyen en la calidad del suelo, en especial el microbiota, que juega un papel importante en la fertilidad, reciclaje de nutrientes, evolución, estructura y conservación de este. Los microorganismos edáficos (bacterias, hongos, protozoos, etc) intervienen en los procesos de degradación, mineralización y oxidación-reducción de la materia orgánica existente en el suelo, y lo hacen mediante la síntesis de enzimas (hidrolasas, oxido-reductasas, etc.) que catalizan estas reacciones.

De todas las propiedades del suelo que interactúan entre sí para mantener su equilibrio y funcionalidad, son especialmente importantes las microbiológicas, ya que son indicadoras de impactos y de calidad de suelo, por su alta sensibilidad a los cambios del medio y se activan para equilibrar la disponibilidad de nutrientes en el suelo (Dick and Tabatabai, 1993; Ros *et al.*, 2003; Andrés *et al.*, 2011). Además, la densidad y diversidad de microorganismos son susceptibles de variar dependiendo de la cubierta vegetal, de la especie, vegetal, de su manejo y de las condiciones ambientales (Adeboye *et al.*, 2006).

La instalación de una planta solar fotovoltaica puede modificar las condiciones iniciales de uso agrícola y forestal en una zona, pero el suelo como sistema vivo y dinámico que es, puede recuperarse adaptándose a las nuevas condiciones, manteniendo el equilibrio entre las diferentes fracciones que lo integran, especialmente entre los organismos vivos, la materia orgánica y la materia mineral (Wic *et al.*, 2013).

En esta parte del trabajo se pretende: (1) estudiar el efecto de la presencia de la instalación fotovoltaica (dentro y fuera de instalación), en dos periodos estacionales diferentes (2013 y 2021), a través del estudio de sus propiedades bioquímicas, microbiológicas y fisicoquímicas. (2) conocer la correlación existente entre los diferentes parámetros estudiados en suelos de sistemas agrarios y forestal de La Mancha, para poder establecer un modelo espacio-tiempo de calidad y manejo de suelo.

3.1.2 Fuentes de datos

Con el fin de estudiar la posible influencia positiva de la presencia de placas fotovoltaicas sobre la evolución de un suelo típico agrícola, se analizan diversos indicadores ambientales de suelo entre el interior y exterior de plantas fotovoltaicas en funcionamiento. Se aportan como evidencias resultados concretos del seguimiento temporal del suelo en instalaciones fotovoltaicas en La Mancha transcurridos más de 5 años desde su construcción.

Además, se han contemplado diferentes escenarios según el tipo de cubierta y uso de suelo, tanto dentro de la instalación como fuera de ella:

1. Dentro de la instalación se han diferenciado tres localizaciones:
 - a. bajo seguidor solar
 - b. entre paneles solares, con cubierta de herbáceas
 - c. entre paneles solares, con cubierta de herbáceas y arbustivas
2. Fuera de la instalación se han contemplado tres tipos de cubiertas diferenciadoras y dominantes en los entornos agrarios manchegos (imagen 1):
 - a. agrícola herbáceo
 - b. agrícola leñoso
 - c. forestal monte bajo

La medición de los parámetros se realiza en 6 unidades principales de muestreo de 250 x 250m por planta fotovoltaica, situadas 3 de ellas dentro de la planta, y las otras 3 de control, en el exterior de la planta. Dentro de cada una de las unidades principales de muestreo se han contemplado los distintos escenarios indicados anteriormente (estaciones de muestreo).

Dentro de cada estación de muestreo se toman 2 muestras de suelo de 500 gr de los 15 cm superiores (M1 y M2), que se componen cada una de ellas de 6 sub-muestras aleatorias mezcladas. El total de datos analizados es 96 = (18 muestras dentro de planta + 6 muestras fuera de planta) x 2 periodos x 2 réplicas en laboratorio.



Imagen 1. Sistemas agrarios y ecosistema forestal manchego.

3.1.3 Indicadores ambientales de suelo

En el presente estudio, se han analizado las propiedades fisicoquímicas densidad específica, humedad, pH, conductividad eléctrica, carbono, materia orgánica, fósforo y nitrógeno, por ser factores que influyen en el microbiota del suelo, en su actividad enzimática y bioquímica. Además, se ha determinado la enzima deshidrogenasa, oxidoreductasa intracelular que interviene en procesos respiratorios, degradación de proteínas, polisacáridos y grasas, y que junto a la respiración basal y al carbono de la biomasa dan idea del estado metabólico y de la actividad biológica en general del suelo.

La relación entre los parámetros microbiológicos se ha utilizado para evaluar la ecofisiología microbiana (Anderson, 2003). Tal es el caso de los cocientes metabólico y de mineralización. A través del estudio de la biomasa microbiana

y de ambos cocientes, no solo se puede tener una idea aproximada de la comunidad de los microorganismos presentes en el suelo, sino también de la dinámica de éstos ante factores externos, y del impacto ambiental causado por una actividad.

- **Indicadores físicos:**

- *Pedregosidad superficial y Suelo desnudo (%)* (Imagen 2).
- *Compactación de suelo* (medida mediante cilindros de densidad o densidad específica determinada a partir del peso fresco del suelo, peso seco del suelo y volumen de los cilindros).
- *Humedad gravimétrica* (H, %, UNE-EN 13040:2008, mediante secado a 105°C).

- **Indicadores químicos:**

- *pH* (UNE-EN 13037:2012 y *conductividad eléctrica* (CE, mS/m, UNE-EN 13038:2012) (pH-meter y conductivímetro).
- *Carbono orgánico total* ($C_{org.total}$) (oxidación de la materia orgánica con dicromato de potasio en medio ácido por el método Walkley-Black, 1934).
- *Materia orgánica* (MO) (multiplicando el carbono orgánico total por 1,728 por el Coeficiente de Waksman)
- *Fósforo* (P) (extracción del fósforo con bicarbonato sódico por el método Olsen *et al.*, 1954).
- *Nitrógeno total* (N, %, UNE-EN 13654-1:2002) (digestión, destilación y valoración por el método Kjeldahl, modificado por Bremner, 1965).

- **Indicadores microbiológicos:**

- *Actividad enzimática de la deshidrogenasa* (AEDh) (método espectrofotométrico de Trevor *et al.* 1982 modificado por García *et al.* 1993).
- *Respiración basal* (RB) (método de incubación estática de Anderson, 1982). con analizador de gases infrarrojo (PBI Dansensor Conforme CE).
- *Carbono de la biomasa microbiana* (CB) (fumigación con cloroformo por el método adaptado de Vance *et al.*, 1987). La medida se realiza a través del analizador de carbono orgánico total (modelo TOC- V CSH).

- **Índices combinados:**

- *Cociente metabólico* ($qCO_2 = RB/CB$), que relaciona la respiración basal con el carbono de la biomasa. Se ha utilizado como un indicador de la adversidad de las condiciones ambientales (Llorente and Turrión, 2010).

- *Cociente de mineralización* ($qmC = RB/C_{org.total}$). que relaciona la respiración basal con el carbono orgánico total. Se ha utilizado como indicador de la cantidad de carbono orgánico total que se ha mineralizado durante un periodo, quedando como reserva (Pinzari *et al.*, 1999).

3.1.4 Análisis estadísticos

Los resultados obtenidos del seguimiento de los indicadores ambientales estudiados han sido contrastados estadísticamente mediante la aplicación de modelos lineales generales (GLM) y análisis de componentes principales (ACP) con el fin de analizar el efecto espacial y temporal de las placas fotovoltaicas en el suelo. Se ha aplicado el método de las menores diferencias significativas de Fisher (LSD) (intervalo de confianza del 95%), y todos los análisis se han llevado a cabo con $P < 0,05$. El software utilizado para los análisis estadísticos ha sido Statgraphics Centurion XVI.

3.1.5 Evolución y mejora de la calidad del suelo

La recopilación y estudios de diversos escenarios comparados ponen de manifiesto que las plantas solares fotovoltaicas en las primeras fases tras su instalación modifican las condiciones iniciales de uso agrícola de las zonas, y el suelo se ha de adaptar a las nuevas condiciones, reorganizándose para mantener el equilibrio entre las diferentes fracciones que lo integran (los organismos vivos, la materia orgánica y la materia mineral).

En las fases iniciales tras la construcción de un parque solar fotovoltaico es frecuente encontrar aumento en la densidad del suelo, por efecto de los movimientos de tierra y por la compactación por el paso de maquinaria. También suelen activarse en estos primeros estadios, los procesos respiratorios y descomponedores de los microorganismos del suelo, registrándose un aumento de la actividad enzimática deshidrogenasa y de la respiración basal, con el fin de reponer nutrientes a un suelo que ha sido alterado inicialmente. La pérdida de cobertura, explanaciones, etc., y el cese de la actividad agrícola por modificación de uso del terreno, pueden ocasionar una disminución de materia orgánica y de nutrientes minerales del suelo. Esta disminución, a su vez, puede activar a los microorganismos y acelerar la actividad enzimática y microbiológica de descomposición orgánica, con el fin de reponerlos y restablecer un nuevo equilibrio edáfico, bajo las nuevas condiciones ambientales. Por ello, el cociente metabólico, que indica el nivel de estrés o de recuperación del suelo, también suele incrementarse por efecto inicial de la construcción de un parque solar (Andrés *et al.*, 2015).

Estos efectos a corto plazo, de activación microbiológica con alta tasa de respiración para reponer nutrientes en el suelo, permiten que poco a poco se vaya instalando una vegetación incipiente, que a su vez va equilibrando el

aporte de materia orgánica, y estabilizando el suelo y su microbiota, a más largo plazo.

El seguimiento de los indicadores ambientales de suelo (transcurridos más de 5 años desde la instalación de la infraestructura) pone de manifiesto su evolución espacio temporal, así como una clara tendencia de recuperación del equilibrio edáfico:

a.- Indicadores físicos:

1. La compactación del suelo disminuye (del orden de 0.2 ± 0.02 g/cm³). La densidad del suelo se recupera, manteniéndose similar entre el exterior y el interior de las instalaciones (no se muestran diferencias significativas, salvo en el caso de suelos removidos de cultivo herbáceo), alcanzando valores medios similares a la densidad de suelo natural forestal de monte bajo colindante. Por tanto, la permeabilidad del suelo aumenta y se favorece su funcionamiento hidráulico.

2. La pedregosidad disminuye en un 15%, dentro de las instalaciones.

b.- Indicadores químicos:

3. Con el tiempo se incrementa ligeramente el pH (del orden de $0,22 \pm 0,01$), a la vez que disminuye la conductividad eléctrica, CE (del orden de $0,05 \pm 0,002$ dS/m), aunque son cambios poco relevantes que no modifican las condiciones generales del territorio. No hay diferencias significativas dentro y fuera de las instalaciones, en ninguno de los dos parámetros, ya que el suelo está equilibrándose, si bien hay que destacar el pH más bajo de los suelos forestales colindantes debido a la influencia del tipo de restos orgánicos y hojarasca.

4. También con el paso de los años la cubierta vegetal incipiente evoluciona en abundancia y diversidad de especies. Aumentan las herbáceas, que aportan material vegetal fresco rico en nitrógeno (N), y también las arbustivas, que en el caso de leguminosas fijan N en el suelo. Por tanto el contenido de N se incrementa ligeramente en torno a $0,06 \pm 0,02$ %, siendo también más acusado en los suelos forestales.

5. Por el contrario, el fósforo (P) evoluciona en el tiempo disminuyendo su valor (disminución de $7 \pm 0,8$ ppm) por el cese de la actividad agrícola en las instalaciones y alrededores más inmediatos, alcanzando valores similares a los ecosistemas naturales forestales, excepto en los terrenos de cultivos agrícolas herbáceos.

c.- Indicadores microbiológicos:

6. Tras el primer año de construcción de las instalaciones la microbiota del suelo se altera (disminuye el carbono de la biomasa, CB) y su actividad descomponedora se incrementa de forma significativa (más actividad deshidrogenasa, AEDh; más respiración basal, RB). Los microorganismos se activan dentro del parque para descomponer la materia orgánica disponible e incorporar nutrientes al suelo removido. Transcurridos más de 5 años, lo que se incrementa en el suelo son las

colonias de microorganismos, aumentando el CB en un 78%, que a su vez duplica la tasa de RB y aumenta la AEDh en torno a $0,03\pm 0,001$ umoles/gh. No obstante, en estas fases posteriores, este aumento se produce de forma similar tanto dentro de las instalaciones como en los ecosistemas colindantes (Figura 1).

7. El cociente metabólico, qCO_2 , es mayor en la instalación que en los alrededores a consecuencia de la alteración del suelo en las primeras fases tras la construcción. Sin embargo con el tiempo se uniformiza el valor tanto dentro como fuera de las instalaciones (no hay diferencias estadísticas significativas) y además se reduce en torno a $0,11\pm 0,01$ unidades. Lo que pone de manifiesto el nivel de recuperación y estabilidad del suelo (Figura 2).

8. Por el contrario el cociente de mineralización, qmC , es similar dentro y fuera de la instalación en las primeras fases y transcurrido el tiempo se incrementa significativamente dentro de la instalación debido a la mineralización del C (incremento del orden de $7\pm 0,43$ unidades).

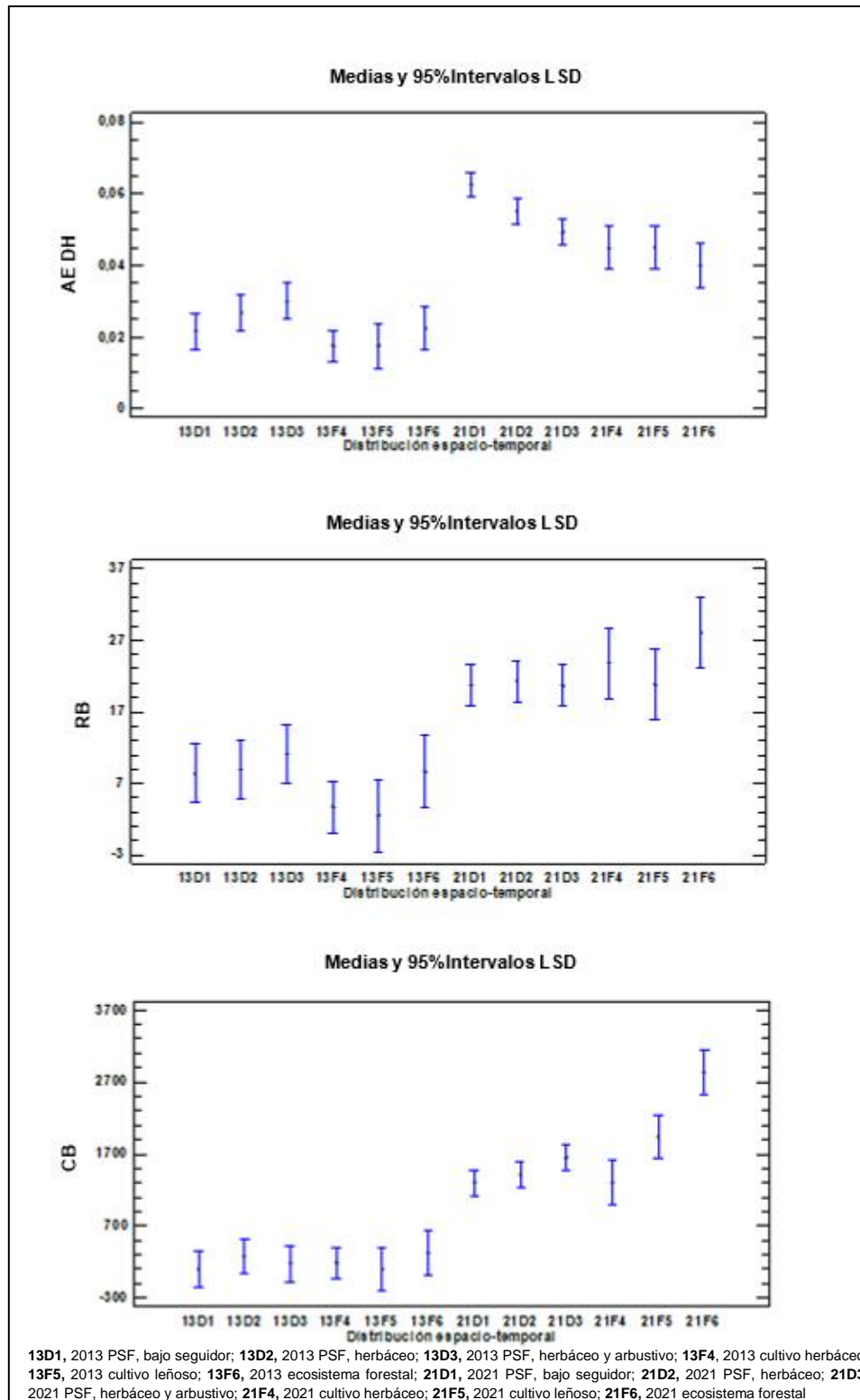


Figura 1. Valores medios de deshidrogenasa, AE DH ($\mu\text{moles (INTF)} \text{ g}^{-1} \text{ suelo h}^{-1}$); respiración basal, RB ($\text{mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ suelo}$) y carbono de biomasa, CB ($\mu\text{g C} \cdot \text{g}^{-1} \text{ suelo}$) dentro de la instalación, D: (1, bajo seguidor; 2, entre paneles cubierta herbácea; 3, entre paneles cubierta herbácea y arbustiva) y fuera, F: 4, agrícola herbáceo, 5, agrícola leñoso y 6, forestal; para los periodos 2013 y 2021.

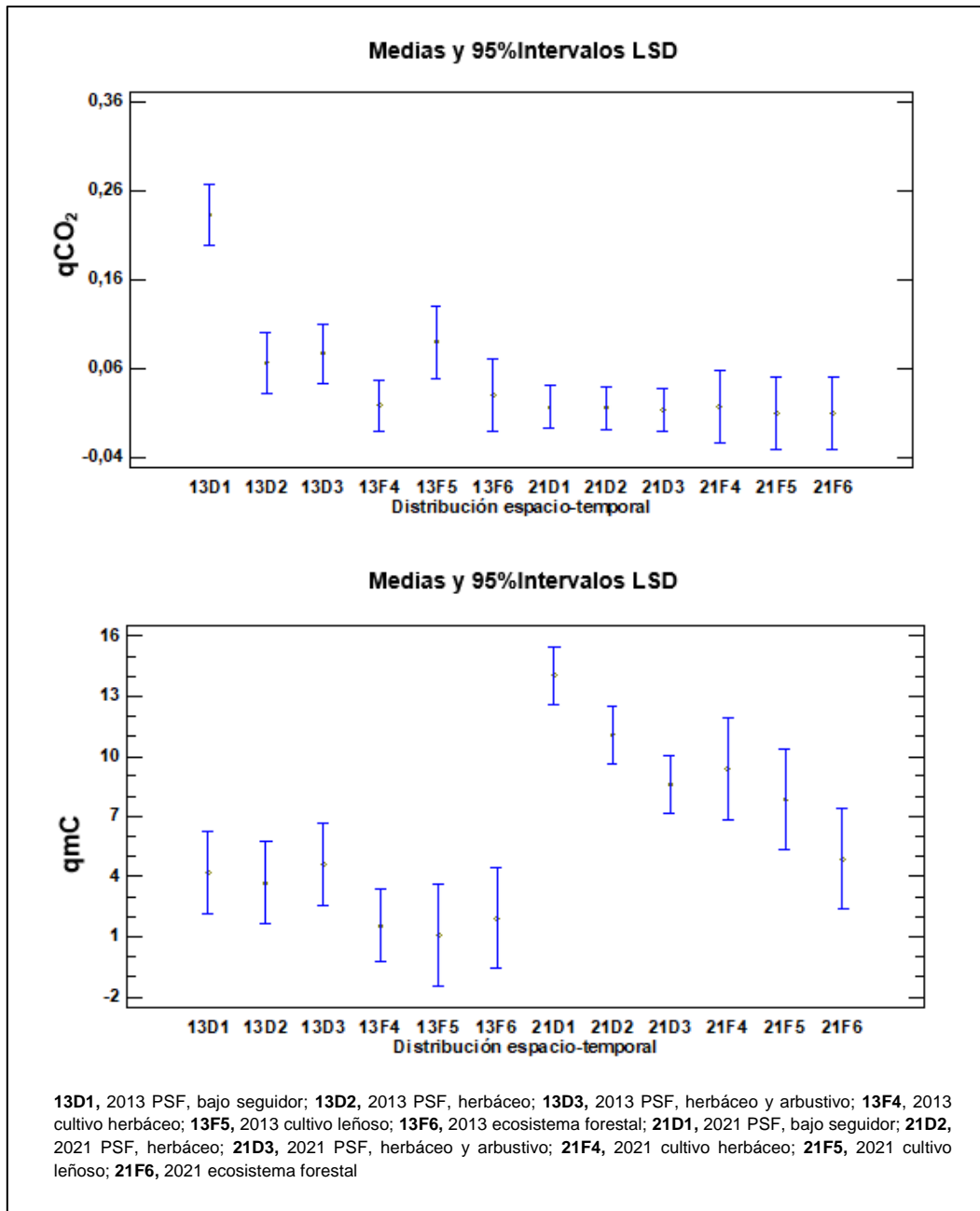


Figura 2. Valores medios de qCO_2 ($\mu\text{g C-CO}_2 \cdot \text{mg}^{-1} \text{ CB dia}^{-1}$); qmC ($\mu\text{g C-CO}_2 \cdot \text{mg}^{-1} \text{ COT dia}^{-1}$) dentro de la instalación, D: (1, bajo seguidor; 2, entre paneles cubierta herbácea; 3, entre paneles cubierta herbácea y arbustiva) y fuera, F: 4, agrícola herbáceo, 5, agrícola leñoso y 6, forestal; para los periodos 2013 y 2021.

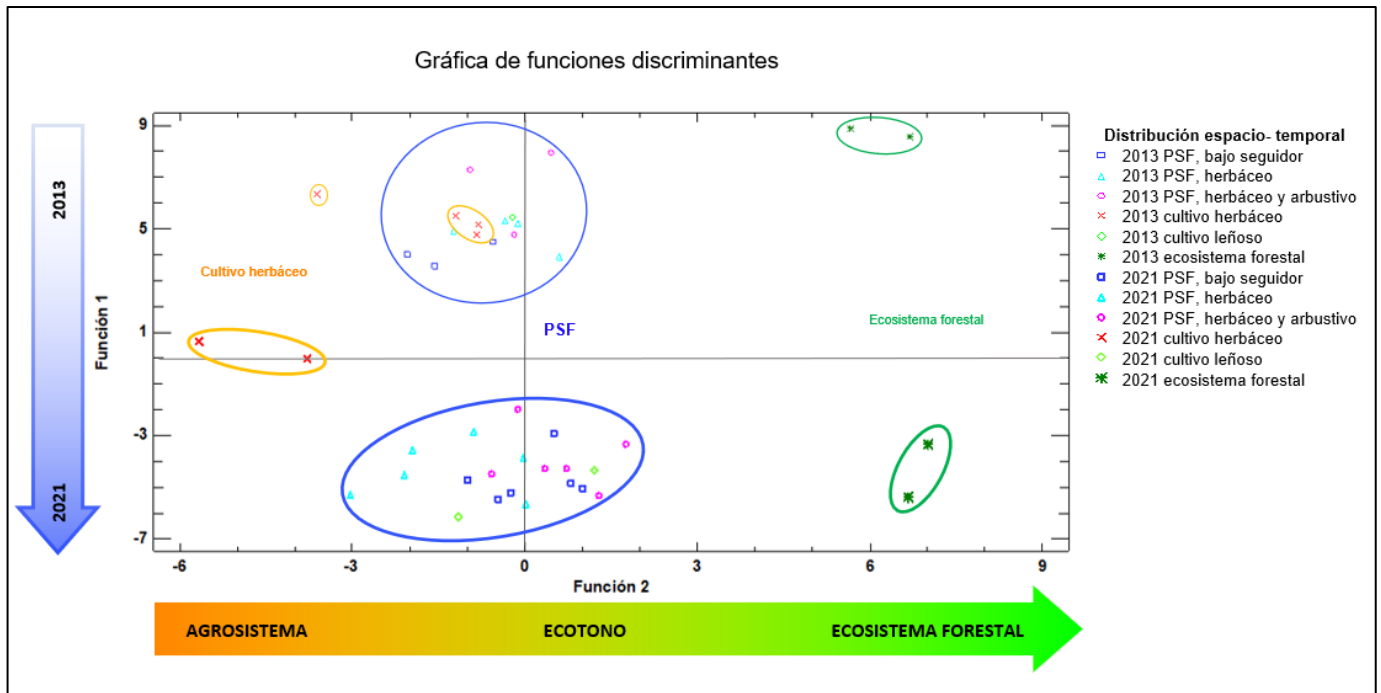


Figura 3. Distribución espacio temporal de las diferentes condiciones de cubiertas de suelo, D, dentro de PSF, planta solar fotovoltaica, (bajo seguidor, herbáceo, herbáceo y arbustivo) y F, fuera (cultivo herbáceo, cultivo leñoso y ecosistema forestal); y su evolución temporal desde el inicio de la instalación hasta transcurridos más de 5 años de su funcionamiento.

3.1.6 Conclusiones

- En los diversos sistemas estudiados, ecosistema natural (forestal) y ecosistemas modificados (agrosistema leñoso, agrosistema herbáceo y planta solar fotovoltaica, PSF), se observa una distribución espacio temporal bien definida según los indicadores ambientales de suelo analizados.
- En el primer año, tras la construcción, se diferencian claramente dos estados diferentes en el suelo: uno propio de suelos agrícolas y suelos removidos, y otro propio de suelos forestales. Transcurridos más de 5 años de funcionamiento, aparecen tres grupos diferentes y separados: los suelos agrícolas de cultivos herbáceos (como suelos más alterados); los suelos de la instalación y de cultivos leñosos de cubierta vegetal espontánea (como suelos intermedios) y en el extremo, los suelos forestales (como suelos más naturales, de mayor calidad) (Figura 3).
- Con el transcurso del tiempo el suelo de la instalación, y en mayor medida el suelo bajo seguidores solares evoluciona hacia un estado intermedio de transición, tendente hacia un ecotono entre sistemas agrarios y ecosistemas forestales, diferenciándose claramente de los cultivos herbáceos y aproximándose más a sistemas naturales más estables.

3.2 IMPACTOS POSITIVOS EN LA CUBIERTA VEGETAL

3.2.1 Introducción

Del mismo modo que en el apartado anterior se han analizado diferentes aspectos relacionados con las propiedades del suelo, en este se expondrá el estudio de la vegetación, centrándose en su relación con el medioambiente circundante y los efectos que en su composición, naturalidad y diversidad ejercen los parques solares.

Este análisis se centra en dos aspectos concretos:

- i) la forma en que la vegetación se ha instalado en el interior de una planta fotovoltaica, así como la relación que presenta respecto a la vegetación natural de los alrededores.
- ii) la evolución de la vegetación a lo largo de la fase de funcionamiento con objeto de observar los cambios positivos sufridos por la comunidad vegetal en su proceso de adaptación a este tipo de instalaciones.

Por tanto, se pondrán de manifiesto los impactos positivos sobre la diversidad vegetal, así como la presencia de determinados géneros y especies indicadoras de evolución, lo que permite concluir acerca de impactos positivos sobre este factor ambiental.

3.2.2 Fuentes de datos

Para alcanzar los objetivos propuestos en este informe, se ha seguido el siguiente procedimiento.

1. Realización de una comparativa espacio-temporal entre la vegetación presente en el interior de varias instalaciones fotovoltaicas, tanto bajo la cobertura del panel como en el espacio existente entre ellos.
2. Realización de una comparativa similar, pero en este caso respecto a la vegetación natural existente en los alrededores. Las áreas comparadas se correspondieron con:
 - Zonas agrícolas (tanto de especies leñosas como herbáceas)
 - Zonas de monte, típicas del ecosistema mediterráneo.

Se han tomado datos de campo para el cálculo de biodiversidad complementados con la revisión bibliográfica de trabajos similares para analizar la relación existente entre la vegetación actualmente presente dentro de las distintas instalaciones fotovoltaicas con respecto a los hábitats vegetales de los alrededores reflejados en el Atlas y Manual de los Hábitats Españoles, 2005³ y su relación con la vegetación potencial de cada zona definido según el mapa de series de Vegetación de Rivas Martínez.

³https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/atlas_manual_habitats_espanioles.aspx

3.2.3 Indicadores ambientales de biodiversidad vegetal

La biodiversidad de la comunidad vegetal presente en un área concreta se ha determinado cuantitativamente mediante el lanzamiento aleatorio de un marco de 58 cm de lado en las distintas áreas (24 en total), donde se han medido diversos parámetros como indicadores ambientales de biodiversidad.

Uno de los parámetros más útiles para caracterizar las comunidades vegetales es la diversidad de especies, que hace referencia tanto al número de especies identificadas (riqueza específica) como a la frecuencia con que aparecen estas especies (abundancia relativa) (Shannon and Weaver, 1949). También puede determinarse mediante el índice de Margalef. Otro de los parámetros que aporta información al caracterizar la diversidad de una comunidad es el índice de equitatividad (Hulbert, 1971), que indica la homogeneidad en la distribución de las especies vegetales presentes.

- **Indicadores ambientales de biodiversidad vegetal:**
 - *Cobertura vegetal (%)*, estimación a partir del marco de referencia y comparación con cálculo a partir de transectos.



Imagen 2. Marco de referencia usado para medición de indicadores ambientales.

- *Suelo descubierto de tapiz vegetal (%)*, estimación a partir del marco de referencia.
- *Inventario taxonómico.*
- *Diversidad de especies:*

- Índice de Shannon (Shannon and Weaver, 1949). Hace referencia tanto al número de especies identificadas (riqueza específica) como a la frecuencia con la que aparecen estas especies (abundancia relativa).

$$H = \sum_{i=1}^s p_i \log_2 p_i$$

H=diversidad de especies
S=nº de especies de la comunidad
P=abundancia relativa de la especie i en la comunidad

- Índice de Margalef. Caracteriza la diversidad teniendo en cuenta la distribución numérica de los individuos de las especies identificadas en función del número de individuos existentes que se han contabilizado en una determinada muestra.

$$I = \frac{(s - 1)}{\ln N}$$

S=nº de especies de la comunidad
N=nº de individuos de toda la comunidad

- *Índice de equitatividad (Hulbert, 1971) Este dato refleja la cercanía del valor de la diversidad de una comunidad a la máxima diversidad que tendría si todas las especies identificadas tuvieran el mismo número de individuos.*

$$J = \frac{H}{H_{m\acute{a}x}}$$

H=Diversidad observada
H=Diversidad máxima

3.2.4 Análisis estadísticos

Se han utilizado modelos lineales generales (GLM) y análisis de componentes principales (ACP) para analizar el efecto espacial de las placas fotovoltaicas en la cubierta vegetal y biodiversidad. Se ha aplicado el método de las menores diferencias significativas de Fisher (LSD) (intervalo de confianza del 95%), y todos los análisis se han llevado a cabo con $P < 0,05$. El software utilizado para los análisis estadísticos ha sido Statgraphics Centurion XVI.

3.2.5 Evolución de la vegetación presente en las instalaciones

Teniendo en cuenta que en la fase de inicio de la actividad de este tipo de instalaciones la mayor parte de la flora que se puede encontrar pertenece

sobre todo a comunidades y especies pioneras, herbáceas y heliófilas (ya que éstas son las primeras que aparecen en un ecosistema tras una transformación o impacto significativo), la vegetación presente dentro de una planta fotovoltaica está compuesta por herbáceas con presencia de matorrales dispersos.

Ello viene determinado por el tipo de cubierta presente en la situación preoperacional, ya sea una vegetación natural o un cultivo agrícola. La comparativa entre la estructura vegetal al inicio de la fase de funcionamiento y durante su vida útil nos muestra un aumento tanto en número de individuos como en especies.

a) Inventario taxonómico

El estudio también ha reflejado la presencia de una amplia variedad de taxones vegetales dentro de las instalaciones fotovoltaicas, superándose las 50 especies. Dominan los terófitos, (clasificados según el sistema de Raunkiaer, 1903), lo que nos indica la presencia de una vegetación de tipo xerófilo, típica de suelos con escasez en nutrientes, y que suelen formar parte de pastizales herbáceos de ciclo corto. También son importantes tanto caméfitos como hemicriptófitos, aunque hay que tener en cuenta que la dominancia de un tipo biológico u otro se puede ver alterada dependiendo de la presencia de hábitats cercanos a la localización de las instalaciones.

En cuanto a familias y géneros representados dentro de las instalaciones fotovoltaicas, existe una presencia muy significativa de labiadas y asteráceas (compuestas). Se trata de familias generalistas, de amplia representación en ecosistemas mediterráneos, y que tienen como característica principal una floración vistosa y abundante, especializada para atraer polinizadores como abejas, mariposas, moscas o escarabajos (Figura 4).

También están presentes las escrofulariáceas, géneros con interesantes propiedades medicinales, así como las boragináceas o las cistáceas, que también se caracterizan por tener una floración vistosa.

Resulta además destacable la presencia de gramíneas y leguminosas, estas últimas conocidas por su capacidad de fijación de nitrógeno atmosférico al suelo, gracias a la simbiosis con bacterias en nódulos presentes en sus raíces. Estas dos familias caracterizan los pastizales naturales de la comarca de La Mancha.

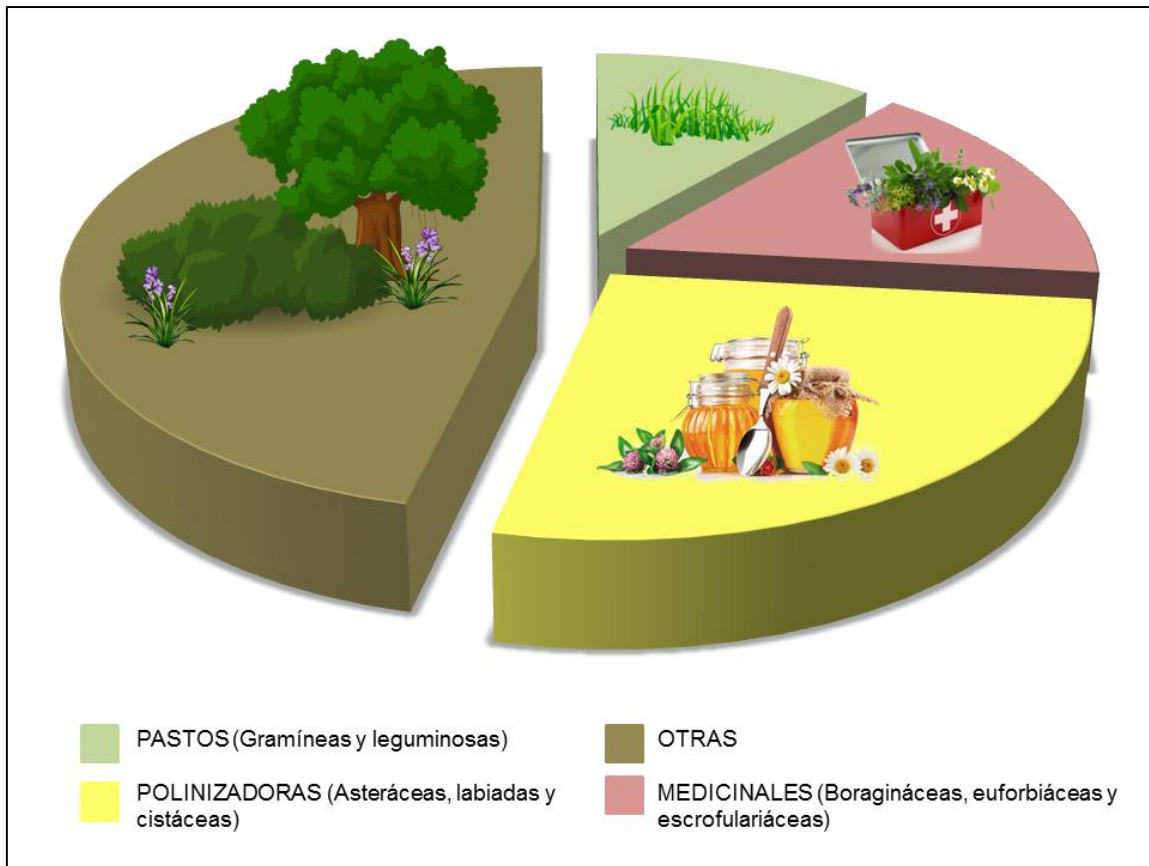


Figura 4. Distribución porcentual de familias vegetales presentes en instalaciones fotovoltaicas y clasificación según posibles aprovechamientos.

b) Cobertura vegetal

La cobertura vegetal, se mantiene alrededor del 40-70%, sin mostrar diferencias significativas teniendo en cuenta el lugar de la toma de datos (bajo panel o entre paneles).

Puede observarse cómo las especies pioneras, más heliófilas, tienden a aparecer entre los paneles, mientras que las especies que buscan condiciones más favorables de humedad y menos insolación, se sitúan bajo los paneles. También se aprecia que la cobertura vegetal y la pedregosidad están relacionadas, ya que, a mayor pedregosidad, la cobertura suele ser menor.



Imagen 3. Visión general de la situación en una planta fotovoltaica. Distribución de la vegetación.

c) Indicadores de biodiversidad

En cuanto a la diversidad, según el índice de Shannon-Wiener, podemos observar que los valores obtenidos dentro de la planta son similares a los de un ecosistema mediterráneo típico y a los encontrados en cultivos leñosos no alterados, en los que surge vegetación espontánea por falta de laboreo. Por el contrario, en el caso de los cultivos herbáceos, la diferencia es significativa, con valores inferiores a los obtenidos dentro de las instalaciones fotovoltaicas (Figura 5).

El valor del índice de equitatividad, que expresa cómo se reparten los individuos entre las especies encontradas, refleja que las especies se reparten homogéneamente entre paneles o debajo de ellos, con valores entre 0,5 y 0,7, sobre un máximo de 1. No obstante, el resultado más significativo aparece al comparar el interior de las instalaciones fotovoltaicas con los cultivos herbáceos, cuya equitatividad presenta valores inferiores a 0,3, debido a que en el cultivo, la especie cultivada es la dominante.

Tras realizar el análisis estadístico de los resultados, tal y como puede verse en los gráficos de la Figura 5, se constata que no existe diferencia significativa entre los indicadores de diversidad de la vegetación existente bajo panel y entre paneles. No obstante, hay especies que parecen mostrar en el parque solar un temperamento de sombra, y aparecen en mayor medida bajo paneles, por ejemplo *Linum suffruticosum* (lino blanco) tal y como se aprecia en la Imagen 3. Esto es debido a que la fórmula de cálculo de los índices de biodiversidad no tiene en cuenta el tipo de especie (de luz o sombra), por lo que la biodiversidad se mantiene en ambas exposiciones.

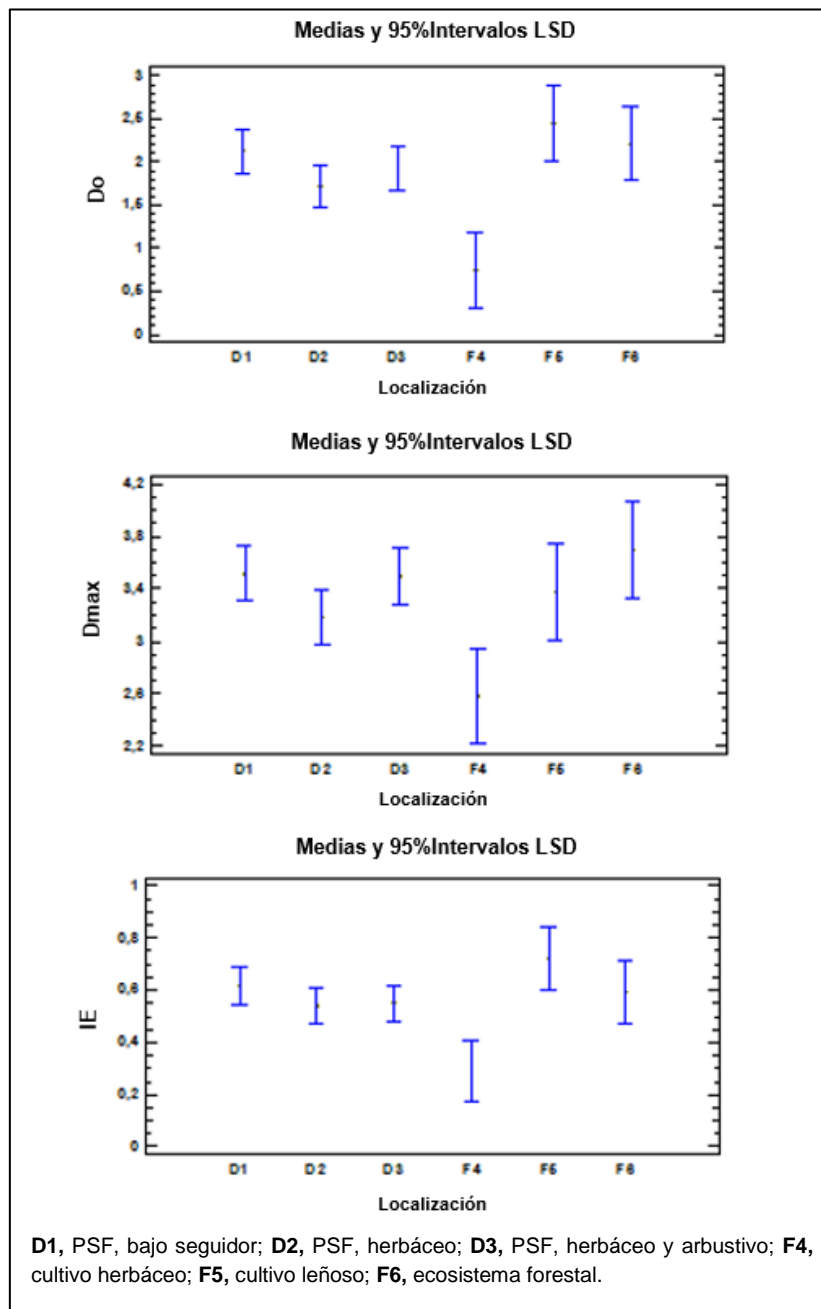


Figura 5. Valores medios de diversidad observada, Do; diversidad máxima, Dmax e índice de equitatividad, IE dentro de la instalación, D: (1, bajo seguidor; 2, entre paneles cubierta herbácea; 3, entre paneles cubierta herbácea y arbustiva) y fuera, F: 4, agrícola herbáceo, 5, agrícola leñoso y 6, forestal; para el periodo 2021.

d) Análisis de hábitats presentes dentro y fuera de una planta fotovoltaica

Por otro lado, existe similitud cuantitativa con los ecosistemas naturales y las áreas agrícolas leñosas que no tienen intervención humana frecuente (laboreos, fitosanitarios, etc...).

Otro aspecto relevante se obtiene al comparar los taxones identificados en los parques solares con aquellos incluidos en los diferentes hábitats del Atlas y Manual de los Hábitats Españoles. Con esto se observa una progresiva aparición de especies indicadoras de este tipo de comunidades que se integran junto a otras que tienden a desarrollarse en áreas donde el suelo ha sufrido impactos o alteraciones mecánicas y que está compuesto mayoritariamente por plantas ruderales y arvenses, por lo que se termina creando una comunidad mixta formada por especies de varios hábitats (Tabla 1).

Tabla 1. Nivel de concurrencia taxonómica entre especies y géneros encontrados en el interior de plantas solares con respecto a las que conforman los hábitats de La Mancha que se localizan en los alrededores.

NIVEL DE CONCURRENCIA TAXONÓMICA EN HABITATS (rangos %)		
TIPO HÁBITAT	ESPECIES	GÉNERO
Pastizales	30-40	10-20
Matorrales termófilos	0-5	20-30
Matorrales meridionales	10-20	30-40
Formaciones arboladas	0-5	5-10

(Fuente: elaboración propia)

Este hecho permitiría definir a las instalaciones fotovoltaicas como “ecotonos”, o áreas de transición que incluyen especies indicadoras de ecosistemas naturales y de zonas que no han sufrido grandes alteraciones. Este “ecotono” aumenta la biodiversidad vegetal respecto a la que alberga un cultivo de secano típico de La Mancha.

En este sentido, dicha biodiversidad dentro de las instalaciones queda potenciada por la presencia ocasional de endemismos ibero-norteafricanos y especies indicadoras de distintos tipos de ecosistemas mediterráneos.



Imagen 4. Algunas especies endémicas que pueden encontrarse en este tipo de instalaciones. De izquierda a derecha; *Linaria aeruginea*, *Teucrium gnaphalodes*, *Helianthemum asperum*.

También es notable la presencia de especies asociadas a pastizales y pastos, como las gramíneas y las leguminosas, por presencia y abundancia. No

obstante, este hecho no quiere decir que todas estas instalaciones puedan utilizarse como pastizales o pastos, puesto que la presencia de este tipo de especies pioneras responde a la primera etapa de recuperación de la comunidad vegetal dentro de un ecosistema.

3.2.6 Conclusiones

- La diversidad vegetal existente en una instalación fotovoltaica es significativamente mayor que la que albergan los agrosistemas de secano tradicionales, y similar a la de cultivos agrícolas sin tratamientos al suelo donde se permite el desarrollo de la vegetación espontánea.
- No existen diferencias significativas en la diversidad vegetal bajo la cobertura de un panel solar o en el espacio entre paneles. Por tanto, las especies vegetales se distribuyen según su temperamento en el lugar más conveniente para su desarrollo.
- Después de la construcción de una planta fotovoltaica, la vegetación se recupera adoptando la composición florística de los alrededores de la instalación, por lo que en los límites interiores de un parque solar se forma un ecosistema de transición más rico y diverso, de características similares a los ecotonos naturales.
- La presencia de determinadas familias botánicas en este tipo de instalaciones puede llegar a permitir un aprovechamiento secundario según la abundancia, las condiciones y la calidad de sus individuos. Estas actividades pueden abarcar desde la agricultura, el aprovechamiento de pastos u otros aprovechamientos como aromáticas, apicultura, plantas medicinales, etc...
- No obstante, cada localización no tiene las mismas condiciones, por lo que la particularidad de la cada planta podrá determinar si es posible o no un aprovechamiento secundario y cuál es el más adecuado.

3.3 IMPACTOS POSITIVOS EN FAUNA

3.3.1 Introducción

El concepto de indicadores ha sido utilizado en ecología desde hace tiempo, desde el concepto de bioindicador aplicado a aquellos organismos que por su presencia o abundancia informan sobre características del medio en que viven (Margalef, 1980), a otro más amplio que hace referencia a componentes del paisaje geológicos, biológicos o antrópicos que ponen en manifiesto las relaciones entre elementos y el funcionamiento del sistema de interacciones subyacentes (González Bernáldez, 1981), y para este caso, el concepto de indicador se amplía para incluir los efectos de la actividad de un proyecto de una planta solar sobre la fauna del entorno.

Por tanto, un indicador puede definirse como: “*Variable o relación entre variables (índices) de cuya medición se pueden obtener referencias ciertas sobre la evolución del sistema en que está inmersa. Las variables indicadoras son aquellas sensibles a cambios y tendencias de origen natural o humano, incluyendo el manejo*” (Castell, 1999).

Para la selección de un conjunto de indicadores representativos, se debe permitir en primer lugar, detectar las escalas temporales y espaciales a las que estos deben registrarse (Montes *et al.* 1998); y en segundo lugar, dado que no es viable utilizar todo los indicadores posibles, es necesario proceder a una selección de los mismos, de modo que se obtenga un número reducido que maximice la información y minimice el coste.

Para este caso, se han seleccionado unos indicadores que nos permiten comparar el estado preliminar a la construcción de la planta solar y durante el funcionamiento de la misma. Para ello, se seleccionan dos zonas para las tomas de datos, una será en la misma planta solar y la otra, una zona próxima no afectada por la instalación fotovoltaica, que sirva como referencia o de control, para comparar ambos escenarios, y ver la evolución de los indicadores en los progresivos años, lo que nos permitirá conocer la influencia de la planta solar fotovoltaica en el comportamiento de la fauna del entorno y valorar la respuesta de la comunidad faunística a la nueva situación.

Por tanto, las variables seleccionadas como indicadores son, por un lado, la densidad de especies de avifauna común del entorno, como el pardillo común o cogujada común, o de otras especies representativas como el cernícalo vulgar; por otro lado, la abundancia de mesomamíferos, de lechuzas (representando las aves nocturnas) o de ortópteros; así como indicadores como diversidad, riqueza y abundancia total.

El objetivo del presente apartado es describir los efectos positivos de las instalaciones fotovoltaicas sobre la fauna en los sistemas agrarios manchegos. Para ello, se analizan los grupos taxonómicos de vertebrados presentes en función de variables como la riqueza de especies, área de distribución, estado de conservación, situación de protección, etc.

Este análisis se centra en dos aspectos concretos:

- i) obtener una idea global de los valores de biodiversidad faunística que componen el ámbito de estudio.

- ii) establecer las áreas de importancia y de distribución de las especies y los hábitats naturales en las que estas aparecen.

Así se establecen los impactos positivos sobre la diversidad faunística.

3.3.2 Fuentes de datos

Para lograr analizar los impactos positivos que las instalaciones fotovoltaicas tienen sobre la fauna se sigue el método siguiente.

1. Inventariar la presencia de especies y su importancia en base a la información y cartografía existente, para obtener una idea global de los taxones de vertebrados potencialmente presentes y la relevancia del área para el conjunto de la fauna (áreas de importancia) (Inventario Español de Especies Terrestres, IEET).
2. Evaluar la existencia de hábitats naturales especialmente relevantes mediante las Áreas de Alto Valor Natural (HNV), que definen la calidad del paisaje en función de una combinación de variables faunísticas, florísticas, climatológicas y topográficas.
3. Establecer las áreas de importancia para vertebrados, mediante el cálculo de un Índice Combinado (IC).
4. Establecer áreas de importancia para Aves Esteparias. Utilizando los valores obtenidos por Traba *et al.*, (2007).

3.3.3 Indicadores ambientales de biodiversidad de fauna

- **Inventario Español de Especies Terrestres, IEET:**

En el IEET se encuentra disponible la información recopilada en diferentes Atlas, así como información relativa a anillamientos científicos, censos de especies, etc...

La información extraída hace referencia únicamente a las especies de vertebrados terrestres y a las cuadrículas UTM 10x10 de referencia del ámbito de estudio. El objetivo es disponer de una aproximación de los taxones potencialmente presentes en el entorno de estudio, ya que ha de considerarse que la UTM 10x10 implica una superficie de 10.000 hectáreas en la que pueden entrar una gran variedad de hábitats diferentes y por tanto de sus especies asociadas, lo que no significa que los datos expuestos deben considerarse como aproximados.

- *Inventario taxonómico.*

- **Áreas de importancia para vertebrados:**

Se obtienen mediante el cálculo de un Índice Combinado (IC) que permite definir la importancia. Para la obtención del IC se parte de la información contenida en el IEET referente a aves, mamíferos, reptiles, anfibios y peces continentales para las cuadrículas UTM 10x10 de referencia. Los cálculos del IC se realizaron siguiendo las expresiones propuestas (Rey Benayas & de la Montaña, 2003), en la que se combinan tres variables para la valoración de la cuadrícula: riqueza de especies, rareza a nivel regional y vulnerabilidad según criterios UICN para España.

- *Riqueza*: número de especies presentes en la cuadrícula.
- *Singularidad o Rareza*: aparición de una especie en relación a un ámbito de referencia.

$$\sum_{i=1}^S (1/n_{ri}) / s_r$$

- *Vulnerabilidad*: estado de conservación de dichas especies. La valoración se ha realizado en función de las categorías de amenaza UICN. A cada una de ellas, se le ha asignado un valor numérico que permitiera su integración en una expresión matemática. Las categorías consideradas y su valoración numérica son: en peligro crítico (CR) = 5, en peligro (EN) = 5, vulnerable (VU) = 4, casi en peligro (NT) = 3, datos insuficientes (DD) = 2, preocupación menor (LC) = 1 y no evaluado (NE) = 1. Se ha añadido la categoría de ausente (AU) = 1 ya que es importante asignar valores a todas las especies al quedar la riqueza implícita en esta fórmula:

$$\sum_{i=1}^S V_{ri} / s_r$$

- *Índice Combinado (IC)*: para cada cuadrícula y grupo taxonómico se define como un índice que combina riqueza, rareza y vulnerabilidad, siendo por lo tanto una función de los tres índices anteriores.

$$\sum_{i=1}^S (1/n_r) V_{ri}$$

- *Índice Combinado Estandarizado (ICE)* de biodiversidad, dividiendo los índices combinados por la media de éstos y se suman.

$$\sum_{j=1}^5 1/m_j \sum_{i=1}^{jS} (1/n_{ji}) V_{ji}$$

- **Áreas de importancia para aves esteparias:**

Para analizar la importancia de las cuadrículas UTM 10x10 para las aves esteparias en su conjunto se utilizan los valores obtenidos por Traba *et al.*, (2007), que se han definido mediante la combinación de variables de riqueza de especies, riqueza de especies raras, índices de rareza, categoría de amenaza a nivel nacional, europeo y global, y el uso de índices combinados para agrupar todos los factores (para más detalles véase Traba *et al.*, 2007). Al igual que con los índices combinados anteriores, los valores obtenidos para cada cuadrícula se dividen en cuatro categorías: muy alto, alto, medio y bajo.

Las 26 especies que Traba *et al.*, 2007 considera en el análisis fueron seleccionados sobre la base de cuatro criterios asociados:

- Las especies típicas o muy frecuentes en la región del Mediterráneo.
- Especies nidificantes de suelo.
- Especies exclusivas de zonas desarboladas y llanas.
- Especies cuya principal población europea se encuentra en España.

- **Áreas de Alto Valor Natural**

Para la determinación de la sensibilidad en función de variables ecológicas que aporten una visión más amplia y ecosistémica de la importancia de la zona, se han evaluado aquellos hábitats naturales especialmente relevantes por sus componentes en biodiversidad. Para ello se han utilizado los criterios obtenidos en el estudio de (Olivero *et al.*, 2011), donde se definen las áreas agrícolas de alto valor natural (HNVA) y las áreas forestales de alto valor natural (HNVF), y cuya combinación aporta finalmente la relevancia de las Áreas de Alto Valor Natural (HNV).

Olivero *et al.*, 2011 determinan las HNV mediante la aplicación de índices de biodiversidad similares a los utilizados para calcular la riqueza, rareza y vulnerabilidad de los vertebrados, pero considerando todos los grupos taxonómicos para los que existe información a escala de 10x10 kilómetros -flora vascular amenazada, invertebrados, peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos- así como otros indicadores referidos a la calidad y composición del paisaje, climatología y topografía. Posteriormente, los resultados se extrapolan mediante modelización a cuadrículas 1x1 (para más detalles sobre la metodología ver Olivero *et al.* 2011). El valor final de la celda se ha determinado en función del valor más alto ofrecido por las HNV, y dividiendo el rango numérico obtenido en 4 categorías (1 bajo - 4 muy alto).

- **Transectos lineales a pie:**

La realización de transectos lineales tiene como función definir las poblaciones de aves de pequeño tamaño en el entorno de las infraestructuras, incluyendo los periodos fenológicos más importantes, la invernada y la reproducción.

Sobre estos datos se calcularon los valores de densidad (aves / 10ha.) siguiendo el método de cálculo de transecto finlandés o de Järvinen y Väisänen (Tellería, 1986), por el cual la densidad (D) se obtiene como:

$$D = \frac{n \cdot k}{L} \quad k = \frac{1 - \sqrt{(1 - p)}}{W}$$

En donde:

n = número total de aves detectadas.

L = longitud del itinerario de censo (metros).

p = proporción de individuos dentro de banda con respecto al total.

W = anchura de la banda de recuento a cada lado de la línea de progresión (metros).

Además, se calcula el Índice Kilométrico de Abundancia (IKA), expresado como número de aves por kilómetro recorrido. Por último, también se citan valores como el de riqueza (nº total de especies contactadas) y diversidad, calculada según la fórmula $H' = -\sum (p_i) \times \log_2(p_i)$, donde p_i ($p_i = n_i/N$) es la proporción en tanto por 1 de cada una de las especies presentes, siendo n_i el número de individuos de cada especie en el muestreo y N el número total de individuos de todas las especies en el muestreo (Shannon & Weaver, 1963).

Con el diseño establecido mediante transectos en el interior de la planta solar y en zonas alejadas de esta (zona de control), se comparan las variables señaladas en ambas zonas.

• Censo de letrinas de conejo:

El objetivo principal de este tipo de censo es obtener la densidad de conejos por hectárea a partir del conteo de letrinas. Para ello, se ha seguido la metodología propuesta por el programa Iberlince (Protocolo de Seguimiento de las Poblaciones de Conejo Silvestre). Se realizarán recorridos a pie de 750 metros de longitud donde se anotan todas las letrinas de conejo detectadas en una banda de muestreo de 2 metros a cada lado del observador. Se marca la posición GPS para cada letrina. Los recorridos están separados entre sí un mínimo de 750 metros.

Con los resultados recogidos se calcula el IKA de las letrinas (índice kilométrico de abundancia de letrinas, calculado como el número de letrinas por kilómetro). Dichos IKA se han relacionado con densidades de conejos/ha, a partir de una relación propuesta por Simón y colaboradores, (Simón *et al.*, 2010) siendo la densidad de conejos por hectárea el producto del IKA por un factor de corrección:

- Valor de IKA (letrina/km) x 0,1062 (cuando < 50 letrinas/km).
- Valor de IKA (letrina/km) x 0,1807 (cuando > 50 letrinas/km).

- **Aves rapaces nocturnas:**

El objetivo principal de este censo es realizar una serie de muestreos para obtener un inventario de la población de las distintas especies de aves nocturnas. Especies nocturnas como algunas rapaces (mochuelo, lechuza campestre y lechuza común), chotacabras, alcaraván, estrigiformes, titónidos y caprimúlguidos, son especies muy sensibles a la presencia de micromamíferos como fuente de alimento y también a la presencia de zonas de anidamiento, por lo que, un aumento de estas poblaciones de aves, nos indica que hay una proliferación de micromamíferos tanto en la planta solar como en la proximidad.

Para la detección de rapaces nocturnas se pueden realizar muestreos de detección directa de las especies o bien mediante la observación de rastros que sirven para corroborar su presencia en el interior de la planta. Algunos puntos dentro de la zona de la planta pueden ser clave, como grandes árboles conservados que les sirven como posadero.

- **Estudio de las comunidades de ortópteros:**

El objetivo principal de este estudio es conocer la evaluación de la comunidad de ortópteros en el entorno de la planta solar a lo largo del tiempo. Para ello se realizan muestreos en zonas seleccionadas el interior y en el exterior de la planta. Los puntos del exterior sirven como zonas de control, por tanto, deben tener unas condiciones similares a las de la planta, además los muestreos se realizarán en los meses más convenientes para la detección de este grupo (meses de abril y septiembre, preferentemente antes del mediodía solar).

Para ello, se establecen estaciones de muestreos divididos en distintos ambientes categorizados de menor a mayor cobertura vegetal y de mayor a menor tránsito: zona de camino, zona entre paneles fotovoltaicos, zona abierta dentro de la planta o cerca del vallado y zona del exterior de la planta.

Los transectos son lineales de 100 metros en los cuales se realiza un conteo de todos los ortópteros que salten a nuestro paso en una anchura de 1 metro a cada lado del observador. El horario de muestreo será preferentemente antes del mediodía solar sin superar los 25°C.

Para un estudio de su abundancia se reflejan los resultados calculando la densidad de insectos por metro cuadrado según la fórmula de Kelker (Tellería, 1986), lo que permitirá comparar estas densidades entre zonas y grupos. La abundancia y diversidad de ortópteros es de gran importancia dentro de los sistemas ya que son un grupo de las cuales se alimentan gran cantidad de especies de aves. Además, la identificación de ciertas especies de ortópteros permite caracterizar los ecosistemas y la fluctuación de sus especies puede servir de bioindicador del estado del sistema. Muchas de las especies de este grupo están fuertemente ligadas a comunidades vegetales particulares, por lo que variaciones en las mismas generan cambios en las densidades y especies que aparecen en el mismo.

3.3.4 Resultados del análisis previo

El resultado que se ha obtenido de las cuadrículas consideradas en el ámbito de estudio, suma un total de 187 taxones de vertebrados registrados según los datos extraídos de la referencia en el IEET, de las cuales el 80% son aves, 10% mamíferos, 6% reptiles, 3% anfibios y 1% peces (Figura 6).

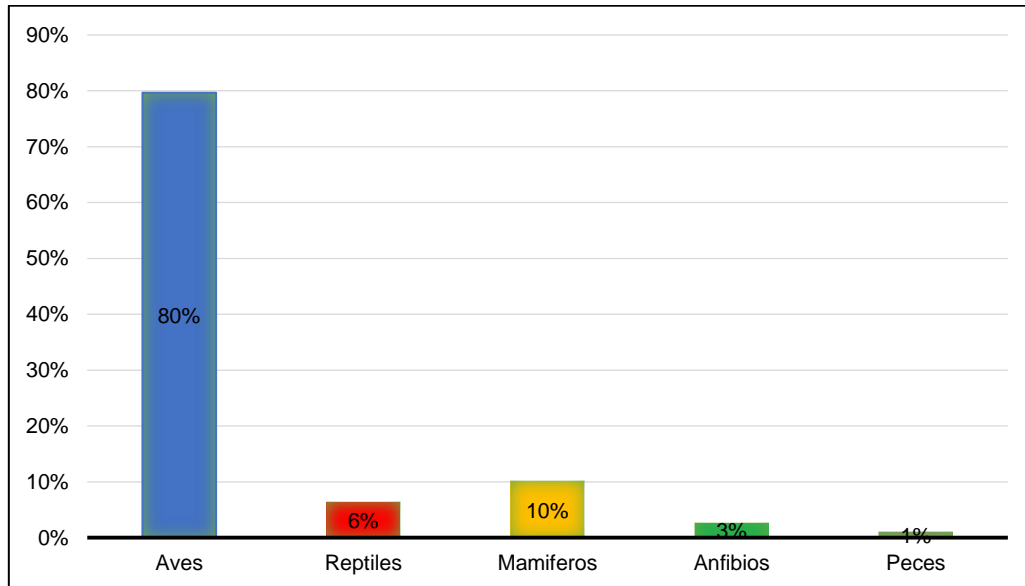


Figura 6. Porcentaje de especies por grupo de vertebrados inventariados en las cuadrículas de referencia. Elaboración propia a partir de los datos del IEET.

Según los criterios de la UICN se clasifican como taxones en peligro solo el 1,1%. En el Catálogo Regional de Especies Amenazadas de Castilla-La Mancha (CREACLM, Decreto 33/1998), de las 186 especies registradas en la cuadrícula considerada no hay especies en la categoría en peligro y 31 especies (16,7%) son vulnerables. Adicionalmente solo 1 especie está en peligro de extinción y 7 son vulnerables según el Catálogo Español de Especies Amenazadas y su Listado (CEEA y LEEA, Real Decreto 139/2011).

El IC obtenido para los vertebrados en su conjunto -aves, mamíferos, anfibios, reptiles y peces- muestra que para las cuadrículas UTM 10x10 de referencia las áreas de calidad máxima aparecen principalmente al norte de los términos municipales Alcázar de San Juan, Pedro Muñoz y al sur del T.M Argamasilla de Alba (Figura 7).

Por grupos individualizados, se indica a continuación las áreas más destacables:

- El IC para anfibios, no presenta ningún valor máximo en el ámbito de estudio, destacando con valores altos la zona oeste, que comprenden los términos municipales de Daimiel, Villarrubia de los Ojos, Las Labores; al norte de Alcázar de San Juan; y el T.M de Ossa de Montiel.
- El IC para aves, destaca la zona norte de los términos municipales de Alcázar de San Juan, Campo de Criptana, y Pedro Muñoz que presentan valores máximos.

- El IC para mamíferos, aparecen valores máximos al sur de los términos municipales de Ossa de Montiel, Argamasilla de Alba, y Daimiel.
- El IC para reptiles, destaca términos municipales de Villarrubia de los Ojos y Daimiel con valores máximos.
- El IC para peces continentales, en los términos municipales Villarrubia de los Ojos, Argamasilla de Alba y Ossa de Montiel, se aprecian valores máximos.

Por otro lado, en cuanto al IC de Biodiversidad presentan valores máximos al norte del T.M de Alcázar de San Juan, al sur del T.M de Daimiel y parte de los TT.MM de Ossa de Montiel, Argamasilla de Alba y Alhambra.

A continuación (Figura 7), se muestra gráficamente estos resultados obtenidos:

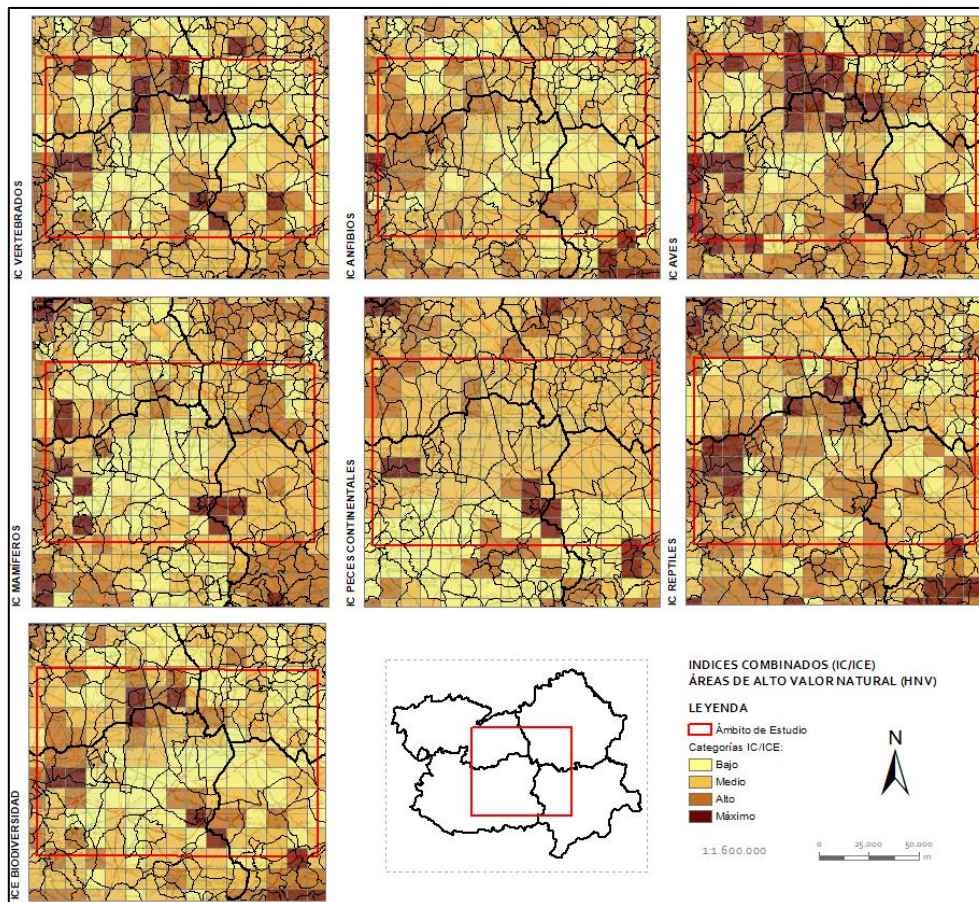


Figura 7. Resultado de índices combinados de las cuadrículas de referencia.

El listado de especies de aves esteparias inventariadas en la cuadrícula UTM 10x10 de referencia se expone en la Tabla 2.

Tabla 2. Especies de aves ligadas a medios esteparios inventariadas como reproductoras en las cuadrículas de referencia.

NOMBRE		CATEG. PROTECCIÓN	
CIENTÍFICO	COMÚN	UICN	CEE A Y LEEA
<i>Circus cyaneus</i>	Aguilucho pálido	NE	Listado
<i>Circus pygargus</i>	Aguilucho cenizo	VU	Vulnerable
<i>Falco naumanni</i>	Cernícalo primilla	VU	Listado
<i>Alectoris rufa</i>	Perdiz roja	DD	Ausente
<i>Coturnix coturnix</i>	Codorniz común	DD	Ausente
<i>Tetrax tetrax</i>	Sisón común	VU	Vulnerable
<i>Otis tarda</i>	Avutarda común	VU	Listado
<i>Burhinus oedicephalus</i>	Alcaraván común	NT	Listado
<i>Glareola pratensis</i>	Canastera común	VU	Listado
<i>Pterocles orientalis</i>	Ganga ortega	VU	Vulnerable
<i>Pterocles alchata</i>	Ganga ibérica	VU	Vulnerable
<i>Melanocorypha calandra</i>	Calandria común	NE	Listado
<i>Calandrella brachydactyla</i>	Terrera común	VU	Listado
<i>Calandrella rufescens</i>	Terrera marismeña	NT	Listado
<i>Galerida cristata</i>	Cogujada común	NE	Listado
<i>Galerida theklae</i>	Cogujada montesina	NE	Listado
<i>Alauda arvensis</i>	Alondra común	NE	Ausente
<i>Anthus campestris</i>	Bisbita campestre	NE	Listado
<i>Oenanthe oenanthe</i>	Collalba gris	NE	Listado
<i>Oenanthe hispanica</i>	Collalba rubia	NT	Listado
<i>Cisticola juncidis</i>	Cisticola buitrón	NE	Listado
<i>Sylvia conspicillata</i>	Curruca tomillera	LC	Listado
<i>Emberiza calandra</i>	Escribano triguero	NE	Ausente

Los índices combinados obtenidos para la valoración de las especies de aves asociadas a ecosistemas esteparios en la Península Ibérica muestran valores máximos y altos en la mayor parte de las cuadrículas de referencia, tal como se muestra gráficamente en la Figura 8:

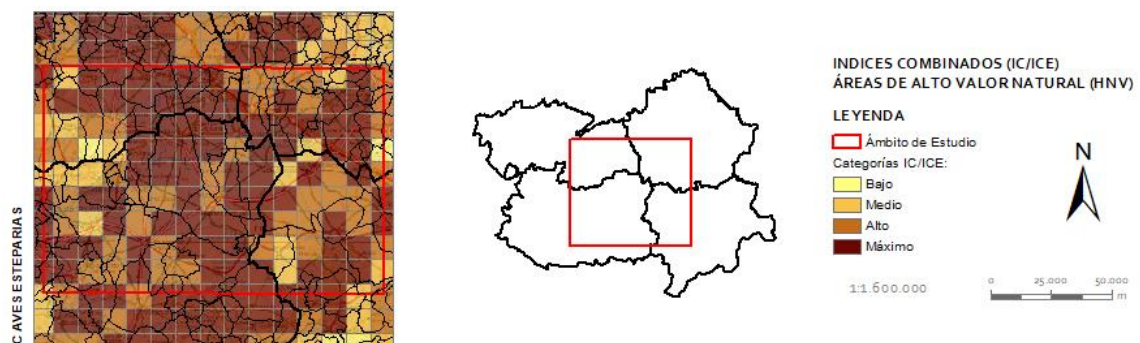


Figura 8. Resultado de las especies de aves ligadas a medios esteparios inventariadas como reproductoras en las cuadrículas de referencia.

Con respecto a las áreas de alto valor natural, la información extraída muestra que los términos municipales de Ossa de Montiel, Alhambra, Argamasilla de Alba, Villarrubia de los Ojos, presentan gran concentración de Áreas Alto Valor Agrícola y Forestal y Áreas Alto Valor Agrícola, tal como se muestra gráficamente en la Figura 9:

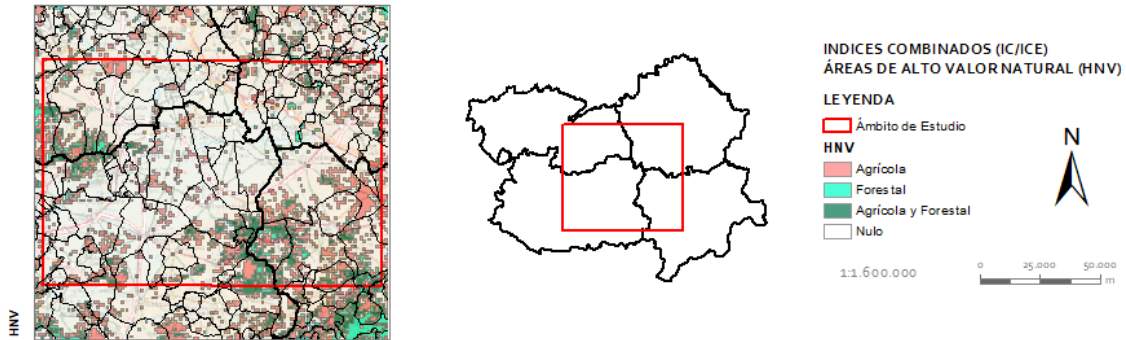


Figura 9. Áreas de Alto Valor Natural en el ámbito de estudio.

Las poblaciones de aves de pequeño tamaño son afectadas al comienzo de la instalación de la planta solar. Sin embargo, con el paso del tiempo las diferencias entre los indicadores seleccionados de los transectos muestreados cerca de la planta y los transectos de las zonas de control, son cada vez más similares, lo que supone que la planta solar se está naturalizando.

En el caso de la abundancia de conejos, se concluye que este hecho es un factor muy importante para el establecimiento en la zona de otras especies, como grandes rapaces que tienen como una de sus especies presa al conejo. Por tanto, la densidad de conejos en un sistema va a determinar en gran medida cambios en la cobertura vegetal de la zona y en la presencia de unas u otras especies en el sistema ya que son la base de la alimentación de las grandes rapaces y carnívoros.

Con respecto a los posaderos, son zonas que permiten la alimentación y generan un flujo de individuos dentro-fuera desde zonas cercanas a la planta. El mochuelo, por ejemplo, necesita de zonas provistas de majanos, que esta especie selecciona y utiliza como puntos de cría.

3.3.5 Impactos positivos de las plantas solares sobre la fauna

En la actualidad la tecnología de las nuevas instalaciones fotovoltaicas permite mantener una cubierta vegetal suficiente (concretamente la implantación de módulos mediante hincas), aunque en algunos casos, ésta debe ser sometida a un control en volumen para permitir las operaciones con seguridad. Estimándose que más del 90% del suelo quedará libre de instalaciones propiamente dichas (módulos fotovoltaicos, centros de transformación y conexión, evacuación), el suelo bajo seguidores podrá cumplir similares

funciones al existente antes de las obras, a excepción del uso agrícola, siendo capaz de sustentar vegetación herbácea (Imagen 5) y ser hábitat de la fauna.



Imagen 5. Vegetación adventicia surgida de forma espontánea.

Por tanto y como se ha comprobado en el apartado de impactos positivos en la cubierta vegetal de este documento, dentro de las instalaciones (superficie bajo seguidores y áreas no ocupadas permanentemente por infraestructuras) existe vegetación adventicia surgida de forma espontánea, que se mantendrá en su estado natural. No obstante, si fuera necesario, por motivos de rendimiento y seguridad de la planta, la vegetación puede someterse a un control en altura, ya sea por medios naturales (pastoreo mediante ganado ovino) o por medios mecánicos (desbroce con desbrozadora mecánica).

Con la utilización del pastoreo mediante ganado ovino (Imagen 6), no solo se beneficia al mantenimiento de las propias instalaciones, sino al ganado y a los pastores locales de la zona contribuyendo al sector primario y al comercio local.



Imagen 6. A la izquierda, control de la vegetación adventicia mediante pastoreo con ganado ovino durante la fase de funcionamiento; a la derecha, durante la fase de obras.

El abandono del uso agrícola en el suelo de las instalaciones y el mantenimiento de la cubierta vegetal espontánea natural ofrece amplias extensiones de refugio para la entomofauna (Figura 10). La reducción en el uso de fitosanitarios favorece la creación de cadenas tróficas completas y la aparición de depredadores naturales, potenciando el control biológico. De ahí la importancia que pueden jugar estas instalaciones como “ecosistemas fotovoltaicos”.

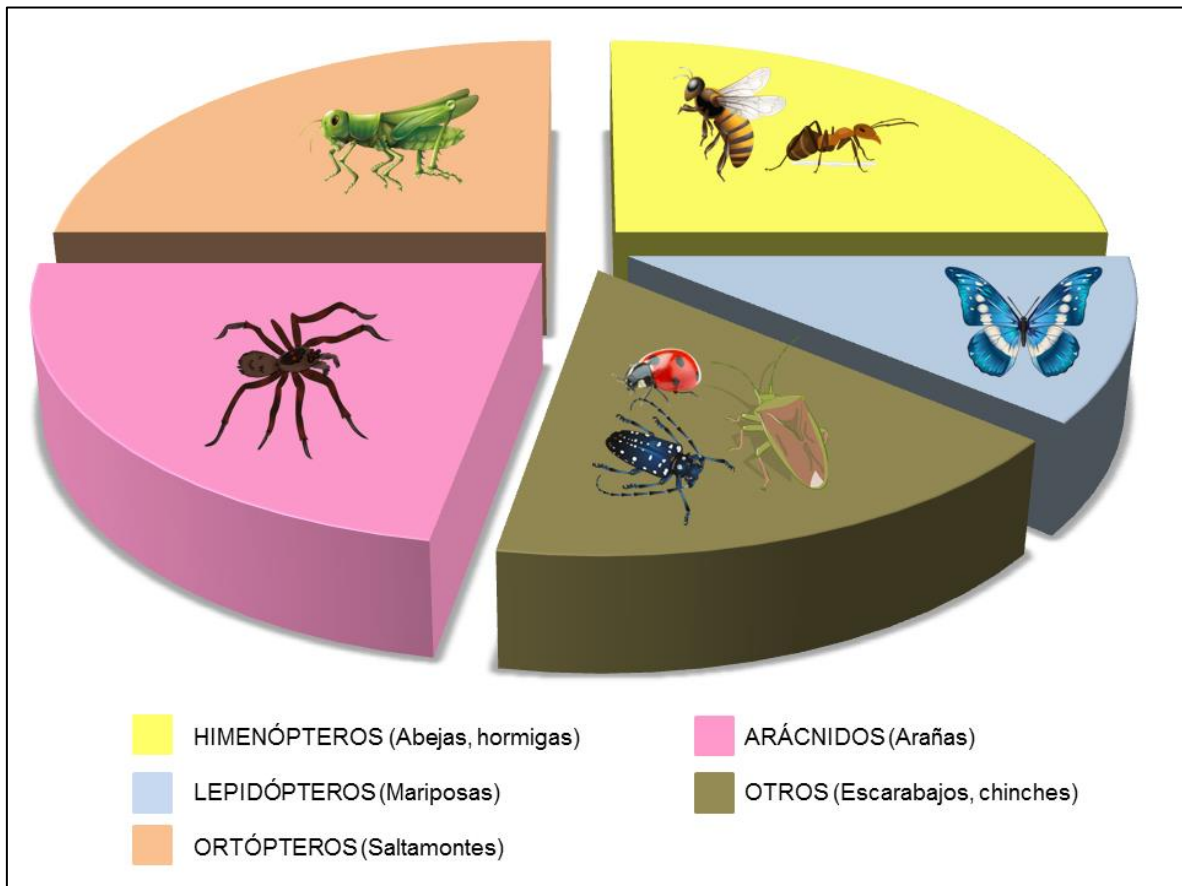


Figura 10. Porcentaje general de entomofauna presente en una planta fotovoltaica.

La entomofauna que reside bajo los seguidores y en su entorno inmediato, genera importantes beneficios no sólo para estas poblaciones sino para los grupos faunísticos insectívoros como quirópteros, reptiles, anfibios, aves (cuya alimentación básica es a base de coleópteros, ortópteros o lepidópteros) y otros (Imagen 7).



Imagen 7. Foto tomada de una culebrilla ciega (*Blanus cinereus*) (izquierda) y de una Vanesa de los cardos (*Vanessa cardui*) (derecha) en un campo solar. Autor imagen derecha: García Saucedo, F.

Un ejemplo de biodiversidad que se ha observado en las zonas más térmicas de la provincia de Albacete y Ciudad Real es la aparición de un superpredador en el entorno de los parques solares, en concreto de la araña del género *Argyope* (Imagen 8). Este animal construye grandes telarañas alrededor del vallado perimetral y el matorral que componen la pantalla vegetal, que sirven como trampas formidables para todo tipo de insectos voladores, desde los más pequeños a los más grandes.



Imagen 8. Un arácnido (*Argyope lobata*) depredando una polilla en el vallado de un parque solar.

De la misma manera, en el caso de los mamíferos, el conejo, especie presa que utiliza como refugio las instalaciones solares, es otro ejemplo más del control poblacional de las comunidades por interacciones naturales depredador-presa, que se da en estos enclaves fotovoltaicos, donde el depredador (aves rapaces, cánidos, félidos,...) evita la proliferación de lagomorfos dentro de la instalación y en los cultivos del entorno. No obstante, la abundancia de lagomorfos dentro de las instalaciones permite la repoblación natural de los cotos de caza limítrofes, pudiéndose considerar a la planta como una zona de reserva (Imagen 9).

La actividad del personal en el mantenimiento de las instalaciones es mínima, lo que permite la presencia de mesomamíferos.



Imagen 9. A la izquierda, un ejemplar de zorro (*Vulpes vulpes*) debajo de los seguidores; a la derecha, dos ejemplares de conejo (*Oryctolagus cuniculus*) en la entrada de su madriguera en una planta solar.

En el caso de las aves, la carraca (Imagen 10) es una especie migradora estival y de hábitos insectívoros, cuya población se está viendo seriamente afectada por la intensificación agrícola y el uso de plaguicidas, reflejado este hecho en el CREA como “Vulnerable”. Por tanto, en la vegetación adventicia de los parques solares, donde no hay tratamientos de herbicidas, tiene una buena fuente de alimento.

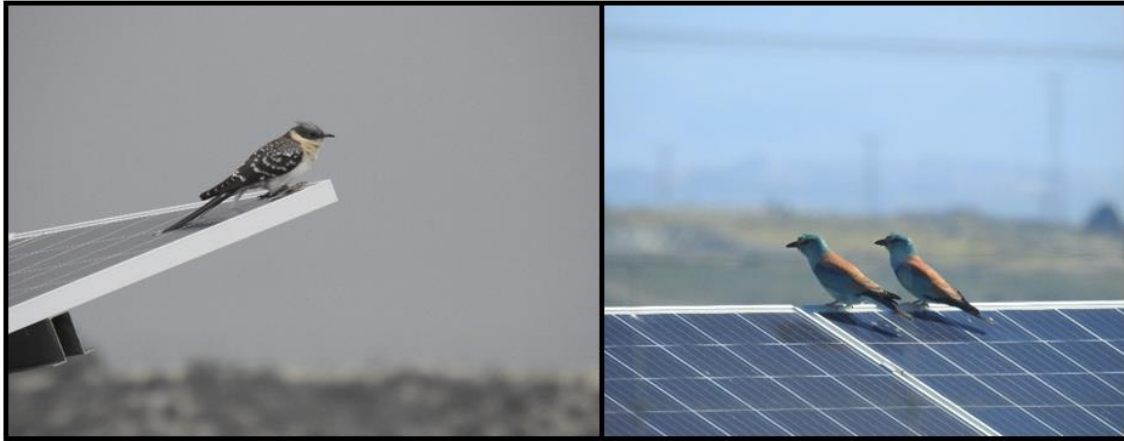


Imagen 10. Ejemplos de aves insectívoras que utilizan la implantación de una planta solar como zona de caza. A la izquierda; críalo (*Clamator glandarius*); a la derecha, carraca europea (*Coracias garrulus*)

Por otro lado, la creación de pantallas vegetales (Imagen 11) en el exterior del vallado de las plantas fotovoltaicas, una práctica generalizada, puede contribuir a una mayor heterogeneidad del hábitat y favorecer la presencia de otras especies de aves, mamíferos, artrópodos, además de que ayude a preservar la biodiversidad y la heterogeneidad del paisaje agrícola.



Imagen 11. Vallado perimetral y pantalla vegetal.

Otro impacto ambiental positivo de una planta solar son los nuevos puntos de agua para la fauna (Imagen 12), ya que además de los bebederos y comederos que se construyen como medidas compensatorias, las obras de drenaje de muchas de las plantas solares fotovoltaicas generan nuevas estructuras que, bien ejecutadas, pueden convertirse en interesantes puntos de agua, más o menos permanente para mamíferos y sobre todo para anfibios.



Imagen 12. A la izquierda, balsa de decantación que puede servir como punto de agua; a la derecha, un ejemplar de anfibio situada en la misma balsa.

Por último y tal como se ha comentado en el apartado de impactos positivos en la cubierta vegetal, una actividad positiva que se está aplicando y aprovecha las grandes extensiones de las instalaciones solares, es compartir ese uso del suelo con otro aprovechamiento, en este caso la apicultura (Imagen 13). Las abejas utilizan para la polinización las plantas aromáticas situadas en la pantalla vegetal (como el romero que se emplea muy a menudo), o en las zonas libres de infraestructuras de la propia planta solar, lo que permite compatibilizar ambas actividades. Al aumentar el grado de polinización, se consigue mejorar la productividad de los cultivos y plantas silvestres próximas y en el entorno de la propia planta solar y, en definitiva, destacar la importancia de la actividad de estas mismas abejas para la conservación de la biodiversidad del entorno.



Imagen 13. Colmenas y apicultor en las instalaciones de un parque solar

3.3.6 Conclusiones

- Una reducción drástica en el uso de productos fitosanitarios genera importantes beneficios a las poblaciones animales, recuperando la normal estructura de las cadenas tróficas por medio del desarrollo de los productores (vegetación adventicia), consumidores de distinto orden (entomofauna) y depredadores (aves y mamíferos).
- Las instalaciones fotovoltaicas pueden ser utilizadas por la fauna como refugio en diversas situaciones, tanto de forma natural en todos los taxones por medio de la vegetación, de forma artificial por medio de la instalación de cajas nido; o usando las mismas infraestructuras de la planta.
- Dentro de las funcionalidades secundarias que pueden desarrollarse en una planta fotovoltaica se encuentra tanto el aprovechamiento o control de la vegetación por medio del pastoreo, como la apicultura entre otros.

4. RECOMENDACIONES, BUENAS PRÁCTICAS Y PROPUESTAS PARA LA MEJORA DE LA BIODIVERSIDAD

4.1 SUELO

Teniendo en cuenta las conclusiones de este documento, queda constatado que se produce una recuperación y adaptación de las condiciones y características del suelo en un periodo de tiempo relativamente corto tras el impacto producido por la construcción de una planta fotovoltaica.

Por ello, y obviando las recomendaciones que siguen a continuación, no hay duda de que la mejor práctica para mejorar la biodiversidad en el suelo consiste en alterar lo mínimo posible las condiciones de éste una vez causado el impacto, dejando que se recupere por sus propios medios, en el tiempo que fuese necesario. Hay que tener en cuenta para cada tipo de suelo, la capacidad de resiliencia y la reversibilidad de los mismos en función de sus propias características intrínsecas, tanto físico-químicas como microbiológicas, según las cuales, el suelo responderá de diferente manera ante presiones externas, erosionándose, degradándose o recuperándose según el caso.

Algunas de las recomendaciones a seguir para fomentar la biodiversidad en el suelo pasan por poner en práctica los siguientes puntos:

- **Medida de la actividad microbiológica de los suelos:** En la caracterización edafológica es recomendable utilizar como indicadores de evolución de la calidad y recuperación del suelo parámetros microbiológicos e índices combinados (metabólicos, de mineralización, de calidad de suelo) que dan idea de la ecofisiología microbiana del suelo.
- **Reducción de fitosanitarios:** Se recomienda no usar herbicidas, pesticidas o cualquier tipo de tratamiento fitosanitario que pueda contaminar o alterar las propiedades químicas de los suelos.
- **Reducción, prevención y mitigación de derrames:** En las zonas de tránsito y estacionamiento de maquinaria es imprescindible desarrollar y poner en práctica medidas de prevención para evitar derrames de aceites, combustibles y líquidos similares. En el caso de producirse, se recomienda llevar a cabo el tratamiento necesario para su mitigación (uso de sepiolita o similares) e incluso la retirada y descontaminación del suelo contaminado.
- **Control y gestión de los residuos:** Tanto en el caso de los peligrosos como no peligrosos. Este punto es una parte muy importante de estas recomendaciones, puesto que el abandono de productos no biodegradables como plásticos, metales y similares no solo pueden llegar a integrarse con el suelo, sino que también pueden afectar a la flora y la fauna.

4.2 VEGETACIÓN

Basándonos en el hecho de que un buen estado del suelo conduce a un mejor desarrollo de la vegetación, si se quiere alcanzar un valor alto de diversidad vegetal, las medidas a aplicar y que deben ponerse en práctica deben promover la restauración ecológica por medio de la mejora de la conectividad vegetal y la evolución de hábitats degradados.

Para ello, algunas de las medidas que pueden llevarse a cabo son las siguientes:

- **Creación de pantallas vegetales:** Se recomienda reforzar poblaciones vegetales por medio de la creación de pantallas, sobre todo en el vallado, asegurando su correcto desarrollo y reponiendo ejemplares si se detectaran problemas en su establecimiento (marras). Para la correcta elección de especies en las pantallas vegetales deberán tenerse en cuenta tanto la vegetación potencial del entorno como la vegetación existente, identificando la etapa de degradación correspondiente e intentando favorecer su evolución a etapas climácicas por medio de estas acciones. Es recomendable que para favorecer la estabilidad de estas plantaciones se utilice una cantidad adecuada de especies, al menos 2-3 de tipo arbóreo y 5-10 arbustivas
- **Creación de “minibosques”:** Otra medida para la mejora de la biodiversidad, si no es posible o pertinente realizar un aprovechamiento secundario, es mantener la vegetación existente respetando los ejemplares aislados (encinas, pinos, etc...), y favoreciendo además la creación de “minibosques” alrededor de estos ejemplares donde se utilicen especies autóctonas (fundamentalmente arbustos). Estos minibosques cumplen la función de las conocidas como “stepping stones” (ver Figura 11); pequeñas islas de vegetación, situadas dentro de la planta solar, que funcionan como corredores biológicos indirectos con respecto a la vegetación del entorno, evitando que la planta solar fotovoltaica ejerza un efecto barrera en la dispersión de especies y biodiversidad del medio. De esta manera, se cumpliría con lo indicado en la “Estrategia Española de Conservación Vegetal 2014-2020”, donde se recogen “los corredores ecológicos” de acuerdo a la Ley 42/2007, de Patrimonio Natural y de la Biodiversidad

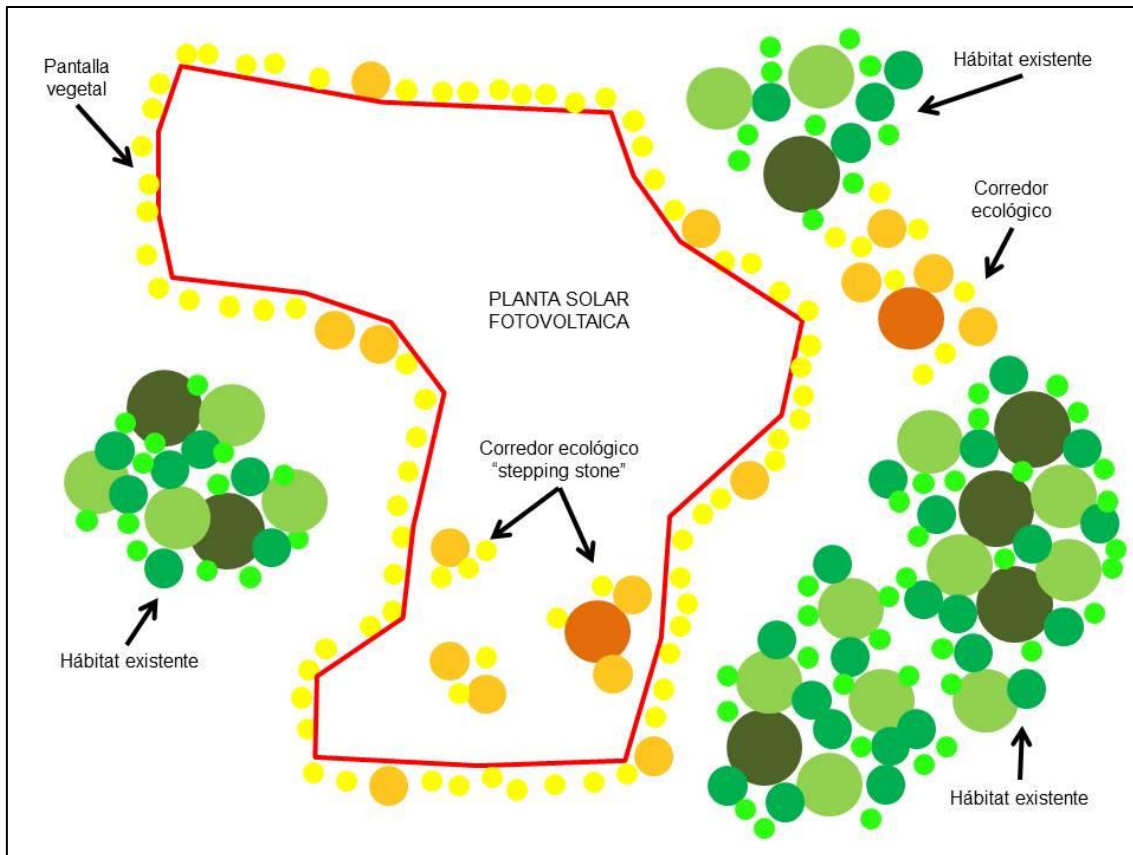


Figura 11. Descripción gráfica de tipos de corredores ecológicos en el caso concreto de plantas fotovoltaicas.

- **Uso del ganado para el control de la vegetación:** Deberá realizarse por medios mecánicos o mediante pastoreo, y no mediante el uso de fitosanitarios. En el caso del uso del ganado en áreas donde domine la vegetación herbácea, se propone el ganado ovino, mientras que para áreas donde predominen especies leñosas es más recomendable el uso de caprino.
- **Identificación y utilización de taxones de interés:** Aquellas especies vegetales indicadoras, endemismos, o con algún grado de protección o interés especial pueden utilizarse en las pantallas vegetales y en los corredores biológicos indirectos (“stepping stones”), convirtiéndose así las plantas fotovoltaicas en áreas de conservación de especies amenazadas “in situ”.
- **Otros usos:** En el caso que se quiera un aprovechamiento complementario al energético (aromáticas, miel, pastoreo, agrícola) deberá identificarse el más adecuado según las condiciones de la vegetación existente. Es recomendable, si no se puede realizar este aprovechamiento, dejar que la planta solar por sí misma forme un ecosistema de transición similar a un ecotono, tal y como se ha comprobado que ocurre en las conclusiones de este informe.

4.3 FAUNA

- **Instalación de cajas-nido para aves:** Con objeto de fomentar el aumento de poblaciones de aves con hábitos trogloditas (que son aquellas que anidan en viejos árboles, construcciones humanas, orificios en taludes arenosos, nidos viejos de pájaro carpintero, etc...) a la hora de instalar el nido en los alrededores de una planta solar, la medida más eficaz consiste en la instalación de cajas-nido, que favorecen la nidificación de algunas especies de aves como el mochuelo o la carraca, entre otros (Imagen 14).



Imagen 14. Fotografías de caja-nido y mochuelo en el vallado de la planta solar.

- **Refugios para quirópteros:** Los murciélagos, durante su fase de reposo dependen de refugios; lugares tranquilos idóneos para la hibernación, apareamiento y desarrollo de las crías. Además, les facilitan las relaciones sociales y les ofrecen la protección necesaria frente a condiciones climáticas adversas y posibles competidores o depredadores. Por ello, pasan más de la mitad de su vida dependiendo de dichos refugios. Es decir, las condiciones y sucesos relacionados con éstos tienen una gran influencia sobre la ecología y evolución de las poblaciones, por lo que su protección es crucial para la supervivencia de este grupo de mamíferos.

Para favorecer el desarrollo de estas poblaciones en el entorno de las plantas fotovoltaicas, una buena práctica que se está empleando hoy en día, es la instalación de refugios o de cajas-nido para estos mamíferos, que se alimentan de la entomofauna que reside bajo los seguidores y en su entorno inmediato (Imagen 15).



Imagen 15. Ejemplo de refugios para quirópteros a instalar en plantas solares.

- **Colocación de posaderos:** Para facilitar el uso de la zona por parte de las aves en el entorno de las plantas solares, sobre todo ante ausencia de arbolado, se pueden instalar postes, de 6 metros de longitud y de 5 cm de diámetro (con tratamiento clase IV), que sirvan como posaderos tanto a las rapaces como otras aves de los alrededores.
- **Vivares y refugios para lagomorfos:** El conejo de monte (*Oryctolagus cuniculus*) es la base de la cadena trófica de aves rapaces y felinos e incluso ayuda a mantener las poblaciones de perdices que no soportarían tanta depredación. Con la propagación de las enfermedades de la mixomatosis y de la neumonía hemorrágica vírica, la población de conejo ha descendido de forma alarmante disminuyendo asimismo la población de sus depredadores.

Una medida que ayudaría a fomentar estas poblaciones de conejo es la colocación de majanos, que podrían ser utilizados para crear sus refugios. Así mismo, potencia el desarrollo de las aves rapaces que se encuentran en el entorno de una planta fotovoltaica.

El majano es un entramado de galerías que puede hacerse con piedras o de forma artificial. Se instalarán en terrenos soleados con una ligera pendiente para evitar el encharcamiento de agua. Además, la parte superior de los majanos se cubrirá con piedras o con maleza para salvaguardarlo del intenso sol del verano (Imagen 16).



Imagen 16. Ejemplo de majanos para lagomorfos.

- **Medidas para los polinizadores y otros insectos:** Una medida para potenciar la polinización entomófila y otros insectos, es la instalación de estructuras tipo “bug-hotel” en las zonas sin ocupar por infraestructuras de una planta solar.

Si se sitúan en lugares con presencia de vegetación natural, favorecerán el crecimiento de estas poblaciones, acelerando la creación de cadenas tróficas completas y así se incrementa también la cantidad de alimento disponible para los grupos faunísticos insectívoros cuya alimentación básica es a base de coleópteros, ortópteros o lepidópteros. Este es el caso de los quirópteros, los reptiles, los anfibios y las aves.

Además se favorece el desarrollo de las colonias de abejas, que emplean menos tiempo en la construcción de las colmenas y puedan realizar puestas algo más grandes (Imagen 17).



Imagen 17. Estructura tipo “Bug -hotel” para insectos que se pueden instalar en las plantas fotovoltaicas.

5. SÍNTESIS Y CONCLUSIONES

1. Tras la instalación de una planta solar fotovoltaica en agrosistemas manchegos, el suelo recupera su actividad y por tanto el equilibrio entre los organismos vivos, la materia orgánica y la materia mineral para adaptarse a las nuevas condiciones. Transcurridos más de 5 años de funcionamiento de la planta, el análisis de indicadores ambientales del suelo pone de manifiesto, especialmente en suelos bajo seguidor, la evolución favorable de la calidad del suelo hacia un estado intermedio de transición, diferenciándose de los suelos de los sistemas agrarios de partida (cultivos herbáceos) y aproximándose a suelos forestales naturales, de mayor calidad.
2. Paralelamente a la evolución del suelo, la cubierta vegetal presente en instalaciones fotovoltaicas se asemeja a la vegetación existente en los alrededores, aumentando su diversidad de forma significativa con respecto a los agrosistemas manchegos. Se constituye así una zona de transición similar a un ecotono, cuya composición, reflejada mediante un inventario taxonómico, permite determinar el aprovechamiento secundario de cada instalación, como la apicultura, plantas medicinales y pastos.
3. En una planta fotovoltaica, aproximadamente un 90% del suelo queda libre de instalaciones permitiendo mantener la vegetación autóctona y ser hábitat y refugio de diversas especies animales. Además, la eliminación del uso de fitosanitarios, equilibra la estructura y la función de una cadena trófica típica de ecosistemas naturales de La Mancha. Como consecuencia, el ecosistema fotovoltaico hace posible el aprovechamiento del pasto o la apicultura, entre otros.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anderson, T. 2003. Microbial eco-physiological indicators to assess soil quality. *Agric, Ecos & Env.*,98,285-293.
- Andrés-Abellán M., Wic Baena C., García Morote F.A., Picazo Córdoba M.I., Candel Pérez D., Lucas-Borja M.E. 2011. Influence of the storage method on soil enzymatic activities in Mediterranean forest soils. *Forest Systems*, 20 (3), 379-388.
- Andrés-Abellán M., Martínez García E., Wic Baena C., López Serrano F.R., García Morote F.A., Lucas Borja M.E., Dadi T., Picazo Córdoba M.I., Cervantes Peralta F., Roldán Arroyo, J.M. 2015. Valoración del impacto en suelo generado por la planta solar fotovoltaica “El Bonillo 16 +2 MW” (Albacete- España). VIII CONEIA. ISBN 978-84-491-0113-7, pp, 301-311.
- Adeboye, M.K.A., Iwuafor E.N.O., Agbenin, J.O. 2006. The effects of crop rotation and nitrogen fertilization on soil chemical and microbial properties in a Guinea Savanna Alfisol o Nigeria. *Plant soil* 281: 97-107.
- Bremner, J. M. 1965. Nitrogen availability indexes. In: *Methods of soil analysis* (ed Black C.A. et al.) Part 2. *Agronomy* 9:1324-1345. *American Society of Agronomy*.
- Dick, W. & Tabatabai, M. 1993. Significance and potential uses of soil enzymes. In: *applications in agricultural and environmental management* (ed. Blaine, Meeting, F.) pp: 95–127. *Soil Microbial Ecology*. Marcel Dekker, New York.
- García, C., Gil, F., Hernández, T., Trasar, C. 2003. Técnicas de análisis de parámetros bioquímicos en suelos: Medidas de actividades enzimáticas y biomasa microbiana. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.
- González Bernáldez, F. 1981. *Ecología y paisaje*. Ediciones Blume. Madrid.
- LLorente, M.; Turrión, M.B.; 2010. Microbiological parameters as indicators of soil organic carbon dynamics in relation to different land use management. *Eur J For Res.* 129:73-81
- Margalef, R. 1980. Diversidad, estabilidad y madurez en los ecosistemas naturales. In: *conceptos unificadores en ecología*. W.H. van Dobben y R. H. Lowe Mcconnell (Eds.). Blume. Barcelona.
- Montes, C., Borja, F., Bravo-Utrera, M.A., Moreira, J.M. 1998. Reconocimiento biofísico de Espacios Naturales Protegidos. Doñana: una aproximación ecosistémica. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Sevilla
- Olivero J, Márquez AL, Arroyo B, 2011. Modelización de las áreas agrícolas y forestales de alto valor natural en España. Report to the Spanish Ministry of Environment (MARM)

- Olsen, S. R., Cole, C. V., Watanabe, F. S. & Dean, L. A. 1954. Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate. Department of Agriculture. Circular 939. U.S. Washington, D. C.
- Pinzari, F.; Trinchera, A.; Benedetti, A.; Sequi, P.; 1999. Use of biochemical indices in the mediterranean environment: comparison among soils under different forest vegetation. *Journal of Microbiological Methods*. 36: 21-28.
- Rey Benayas J.M. and De la Montaña E. 2003. Identifying areas of high-value vertebrate diversity for strengthening conservation. *Biological Conservation*, 114, 357–370.
- Rivas Martínez S. 1987. Mapa de series de vegetación.
- Ros, M., Hernández, M.T. & García, C., 2003. Bioremediation of soil degraded by sewage sludge: effects on soil properties and erosion losses. *Environmental Management*, 31, 741-747.
- Simón et al. 2010. Diez años de conservación del Lince ibérico. Consejería de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Sevilla.
- Telleria, J.L., 1986. Manual para el censo de los vertebrados terrestres. Ediciones Raíces. Madrid.
- Traba, J., García de la Morena, E.L., Morales, M.B. & Suárez, F. 2007. Determining high value areas for steppebirds in Spain: hot spots, complementarity and the efficiency of protected areas. *Biodivers. Conserv.* 16, 3255–3275.
- Vance, E., Brookes, P. & Jenkinson, D. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology and Biochemistry*, 19: 703-707.
- Walkley, A. & Black, A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37, 29-38.
- Wic-Baena C., Andrés-Abellán M., Lucas-Borja M.E., Martínez-García E., García Morote F.A., Rubio E.; López-Serrano F.R. 2013. Thinning and recovery effects on soil properties in two sites of a Mediterranean forest, in Cuenca Mountain (South-eastern of Spain). *Forest Ecology and Management*, 308, 223-230.

6. ANEJO

Se han consultado las cuadrículas UTM 10x10 en la Base de Datos del Inventario Español de Especies Terrestres (IEET) y se han aplicado Índices Combinados, que valoran la importancia de la comunidades de fauna sobre cuadrículas UTM 10x10 en función de su distribución, rareza y grado de conservación correspondiente. En nuestro caso esta información se habría extraído sobre las cuadrículas UTM 30SVJ74, 30SVJ84, 30SVJ94, 30SWJ04, 30SWJ14, 30SWJ23, 30SWJ33, 30SWJ42, 30SVJ72, 30SVJ64, 30SVJ85, 30SVJ75, 30SWJ31, 30SVJ92, 30SVJ82, 30SWJ05, y 30SWJ34 que comprenden parte de los términos municipales Villarrobledo, Socuéllamos, Alcázar de San Juan, Herencia, Villarta de San Juan, Puerto Lápice, Manzanares, Llanos del Caudillo, Argamasilla de Alba, Tomelloso, Campo de Criptana, Arenales de San Gregorio, Ossa de Montiel, Munera y Villarrobledo, todo ellos integrantes de la Mancha.

Tabla 3. Abreviaturas. Listas Rojas (UICN) y el Catálogo Español de Especies Amenazadas (CEEAA). NE: No Evaluado; DD: Datos Insuficientes; LC: Preocupación Menor; NT: Casi Amenazado; VU: Vulnerable; IE: Interés Especial.

NOMBRECI	NOMBRECO	IUCN (Libro Rojo)	CEEAA	CAT CLM
ANFIBIOS				
<i>Pleurodeles waltl</i>	Gallipato	NT	Listado	IE
<i>Pelobates cultripes</i>	Sapo de espuelas	LC	Listado	IE
<i>Pelodytes punctatus</i>	Sapillo moteado común	LC	Listado	IE
<i>Epidalea calamita</i>	Sapo corredor	LC	Listado	IE
<i>Pelophylax perezi</i>	Rana común	LC	Ausente	NC
REPTILES				
<i>Mauremys leprosa</i>	Galápago leproso	VU	Listado	IE
<i>Blanus cinereus</i>	Culebrilla ciega	LC	Listado	IE
<i>Chalcides bedriagai</i>	Eslizón ibérico	NT	Listado	IE
<i>Tarentola mauritanica</i>	Salamanquesa común	LC	Listado	IE
<i>Acanthodactylus erythrurus</i>	Lagartija colirroja	LC	Listado	IE
<i>Timon lepidus</i>	Lagarto ocelado	LC	Listado	IE
<i>Podarcis hispanica</i>	Lagartija ibérica	LC	Listado	IE
<i>Psammodromus algirus</i>	Lagartija colilarga	LC	Listado	IE
<i>Psammodromus hispanicus</i>	Lagartija cenicienta	LC	Listado	IE
<i>Rhinechis scalaris</i>	Culebra de escalera	LC	Listado	IE
<i>Malpolon monspessulanus</i>	Culebra bastarda	LC	Ausente	IE
<i>Natrix maura</i>	Culebra viperina	LC	Listado	IE
AVES				
<i>Tachybaptus ruficollis</i>	Zampullín común	NE	Listado	IE
<i>Podiceps cristatus</i>	Somormujo lavanco	NE	Listado	IE
<i>Podiceps nigricollis</i>	Zampullín cuellinegro	NT	Listado	VU
<i>Ixobrychus minutus</i>	Avetorillo común	NE	Listado	VU

NOMBRECI	NOMBRECO	IUCN (Libro Rojo)	CEEA	CAT CLM
<i>Nycticorax nycticorax</i>	Martinete común	NE	Listado	VU
<i>Bubulcus ibis</i>	Garcilla bueyera	NE	Listado	IE
<i>Egretta garzetta</i>	Garceta común	NE	Listado	IE
<i>Ardea cinerea</i>	Garza real	NE	Listado	IE
<i>Ardea purpurea</i>	Garza imperial	LC	Listado	VU
<i>Ciconia ciconia</i>	Cigüeña blanca	NE	Listado	IE
<i>Phoenicopterus roseus</i>	Flamenco común	NT	Listado	VU
<i>Tadorna tadorna</i>	Tarro blanco	NT	Listado	VU
<i>Anas strepera</i>	Anade friso	LC	Ausente	NC
<i>Anas platyrhynchos</i>	Anade azulón	NE	Ausente	NC
<i>Anas acuta</i>	Anade rabudo	VU	Ausente	NC
<i>Anas querquedula</i>	Cerceta carretona	VU	Ausente	NC
<i>Anas clypeata</i>	Cuchara común	NT	Ausente	NC
<i>Netta rufina</i>	Pato colorado	VU	Ausente	NC
<i>Aythya ferina</i>	Porrón europeo	NE	Ausente	NC
<i>Milvus migrans</i>	Milano negro	NT	Listado	IE
<i>Circaetus gallicus</i>	Culebrera europea	LC	Listado	VU
<i>Circus aeruginosus</i>	Aguilucho lagunero occidental	NE	Listado	VU
<i>Circus cyaneus</i>	Aguilucho pálido	NE	Listado	VU
<i>Circus pygargus</i>	Aguilucho cenizo	VU	Vulnerable	VU
<i>Accipiter gentilis</i>	Azor común	NE	Listado	VU
<i>Accipiter nisus</i>	Gavilán común	NE	Listado	VU
<i>Buteo buteo</i>	Busardo ratonero	NE	Listado	IE
<i>Aquila pennata</i>	Águila calzada	NE	Listado	IE
<i>Falco naumanni</i>	Cernícalo primilla	VU	Listado	VU
<i>Falco tinnunculus</i>	Cernícalo vulgar	NE	Listado	IE
<i>Falco peregrinus</i>	Halcón peregrino	NE	Listado	VU
<i>Alectoris rufa</i>	Perdiz roja	DD	Ausente	NC
<i>Coturnix coturnix</i>	Codorniz común	DD	Ausente	NC
<i>Rallus aquaticus</i>	Rascón europeo	NE	Ausente	IE
<i>Gallinula chloropus</i>	Gallineta común	NE	Ausente	IE
<i>Porphyrio porphyrio</i>	Calamón común	NE	Listado	VU
<i>Fulica atra</i>	Focha común	NE	Ausente	NC
<i>Tetrax tetrax</i>	Sisón común	VU	Vulnerable	VU
<i>Otis tarda</i>	Avutarda común	VU	Listado	VU
<i>Himantopus himantopus</i>	Cigüeñuela común	NE	Listado	IE
<i>Recurvirostra avosetta</i>	Avoceta común	LC	Listado	VU
<i>Burhinus oedicnemus</i>	Alcaraván común	NT	Listado	IE
<i>Glareola pratincola</i>	Canastera común	VU	Listado	VU
<i>Charadrius dubius</i>	Chorlitejo chico	NE	Listado	IE
<i>Charadrius alexandrinus</i>	Chorlitejo patinegro	VU	Listado	IE

NOMBRECI	NOMBRECO	IUCN (Libro Rojo)	CEEA	CAT CLM
<i>Vanellus vanellus</i>	Avefría europea	LC	Ausente	NC
<i>Tringa totanus</i>	Archibebe común	VU	Listado	IE
<i>Tringa ochropus</i>	Andarríos grande	NE		IE
<i>Actitis hypoleucos</i>	Andarríos chico	NE	Listado	IE
<i>Chroicocephalus ridibundus</i>	Gaviota reidora	NE	Ausente	NC
<i>Larus fuscus</i>	Gaviota sombría	LC	Ausente	NC
<i>Gelochelidon nilotica</i>	Pagaza piconegra	VU	Listado	VU
<i>Chlidonias hybrida</i>	Fumarel cariblanco	VU	Listado	VU
<i>Chlidonias niger</i>	Fumarel común	EN	En peligro de extinción	VU
<i>Pterocles orientalis</i>	Ganga ortega	VU	Vulnerable	VU
<i>Pterocles alchata</i>	Ganga ibérica	VU	Vulnerable	VU
<i>Columba livia familiaris</i>	Paloma doméstica	NE	Ausente	NC
<i>Columba oenas</i>	Paloma zurita	DD	Ausente	NC
<i>Columba palumbus</i>	Paloma torcaz	NE	Ausente	NC
<i>Streptopelia decaocto</i>	Tórtola turca	NE	Ausente	NC
<i>Streptopelia turtur</i>	Tórtola europea	VU	Ausente	NC
<i>Clamator glandarius</i>	Críalo europeo	NE	Listado	IE
<i>Cuculus canorus</i>	Cuco común	NE	Listado	IE
<i>Tyto alba</i>	Lechuza común	NE	Listado	IE
<i>Otus scops</i>	Autillo europeo	NE	Listado	IE
<i>Bubo bubo</i>	Búho real	NE	Listado	VU
<i>Athene noctua</i>	Mochuelo común	NE	Listado	IE
<i>Strix aluco</i>	Cárabo común	NE	Listado	IE
<i>Asio otus</i>	Búho chico	NE	Listado	IE
<i>Caprimulgus europaeus</i>	Chotacabras europeo	NE	Listado	IE
<i>Caprimulgus ruficollis</i>	Chotacabras cuellirrojo	NE	Listado	IE
<i>Apus apus</i>	Vencejo común	NE	Listado	IE
<i>Alcedo atthis</i>	Martín pescador común	NT	Listado	VU
<i>Merops apiaster</i>	Abejaruco europeo	NE	Listado	IE
<i>Coracias garrulus</i>	Carraca europea	VU	Listado	VU
<i>Upupa epops</i>	Abubilla	NE	Listado	IE
<i>Jynx torquilla</i>	Torcecuello euroasiático	DD	Listado	IE
<i>Picus viridis</i>	Pito real	NE	Listado	IE
<i>Dendrocopos major</i>	Pico picapinos	NE	Listado	IE
<i>Melanocorypha calandra</i>	Calandria común	NE	Listado	IE
<i>Calandrella brachydactyla</i>	Terrera común	VU	Listado	IE
<i>Calandrella rufescens</i>	Terrera marismeña	NT	Listado	IE
<i>Galerida cristata</i>	Cogujada común	NE	Listado	IE
<i>Galerida theklae</i>	Cogujada montesina	NE	Listado	IE
<i>Lullula arborea</i>	Alondra totovía	NE	Listado	IE
<i>Alauda arvensis</i>	Alondra común	NE	Ausente	IE

NOMBRECI	NOMBRECO	IUCN (Libro Rojo)	CEEA	CAT CLM
<i>Hirundo rustica</i>	Golondrina común	NE	Listado	IE
<i>Cecropis daurica</i>	Golondrina dáurica	NE	Listado	IE
<i>Delichon urbicum</i>	Avión común	NE	Ausente	IE
<i>Anthus campestris</i>	Bisbita campestre	NE	Listado	IE
<i>Motacilla flava</i>	Lavandera boyera	NE	Listado	IE
<i>Motacilla cinerea</i>	Lavandera cascadeña	NE	Listado	IE
<i>Motacilla alba</i>	Lavandera blanca	NE	Listado	IE
<i>Troglodytes troglodytes</i>	Chochín común	NE	Listado	IE
<i>Luscinia megarhynchos</i>	Ruiseñor común	NE	Listado	IE
<i>Phoenicurus ochruros</i>	Colirrojo tizón	NE	Listado	IE
<i>Saxicola rubicola</i>	Tarabilla europea	NE	Ausente	IE
<i>Oenanthe oenanthe</i>	Collalba gris	NE	Listado	IE
<i>Oenanthe hispanica</i>	Collalba rubia	NT	Listado	IE
<i>Turdus merula</i>	Mirlo común	NE	Ausente	IE
<i>Turdus philomelos</i>	Zorzal común	NE	Ausente	NC
<i>Turdus viscivorus</i>	Zorzal charlo	NE	Ausente	NC
<i>Cettia cetti</i>	Cetia ruiseñor	NE	Listado	IE
<i>Cisticola juncidis</i>	Cistícola buitrón	NE	Listado	IE
<i>Locustella luscinioides</i>	Buscarla unicolor	NT	Listado	IE
<i>Acrocephalus melanopogon</i>	Carricerín real	VU	Listado	VU
<i>Acrocephalus scirpaceus</i>	Carricero común	NE	Listado	IE
<i>Acrocephalus arundinaceus</i>	Carricero tordal	NE	Listado	IE
<i>Hippolais pallida</i>	Zarcero pálido	NT	Listado	IE
<i>Hippolais polyglotta</i>	Zarcero común	NE	Listado	IE
<i>Sylvia undata</i>	Curruca rabilarga	NE	Listado	IE
<i>Sylvia conspicillata</i>	Curruca tomillera	LC	Listado	IE
<i>Sylvia cantillans</i>	Curruca carrasqueña	NE	Listado	IE
<i>Sylvia melanocephala</i>	Curruca cabecinegra	NE	Listado	IE
<i>Sylvia hortensis</i>	Curruca mirlona	LC	Listado	IE
<i>Sylvia communis</i>	Curruca zarcera	NE	Listado	IE
<i>Sylvia atricapilla</i>	Curruca capirotada	NE	Listado	IE
<i>Phylloscopus bonelli</i>	Mosquitero papialbo	NE	Listado	IE
<i>Muscicapa striata</i>	Papamoscas gris	NE	Listado	IE
<i>Ficedula hypoleuca</i>	Papamoscas cerrojillo	NE	Listado	IE
<i>Panurus biarmicus</i>	Bigotudo	NT	Listado	VU
<i>Aegithalos caudatus</i>	Mito común	NE	Listado	IE
<i>Cyanistes caeruleus</i>	Herrerillo común	NE	Listado	IE
<i>Parus major</i>	Carbonero común	NE	Listado	IE
<i>Sitta europaea</i>	Trepador azul	NE	Listado	IE
<i>Certhia brachydactyla</i>	Agateador europeo	NE	Listado	IE
<i>Oriolus oriolus</i>	Oropéndola europea	NE	Listado	IE

NOMBRECI	NOMBRECO	IUCN (Libro Rojo)	CEEA	CAT CLM
<i>Lanius meridionalis</i>	Alcaudón real	NT	Ausente	IE
<i>Lanius senator</i>	Alcaudón común	NT	Listado	IE
<i>Garrulus glandarius</i>	Arrendajo euroasiático	NE	Ausente	IE
<i>Cyanopica cyanus</i>	Rabilargo ibérico	NE	Listado	IE
<i>Pica pica</i>	Urraca común	NE	Ausente	NC
<i>Corvus monedula</i>	Grajilla occidental	NE	Ausente	NC
<i>Corvus corone</i>	Corneja negra	NE	Ausente	NC
<i>Sturnus unicolor</i>	Estornino negro	NE	Ausente	NC
<i>Passer domesticus</i>	Gorrión común	NE	Ausente	NC
<i>Passer montanus</i>	Gorrión molinero	NE	Ausente	IE
<i>Petronia petronia</i>	Gorrión chillón	NE	Listado	IE
<i>Fringilla coelebs</i>	Pinzón vulgar	NE	Listado	IE
<i>Serinus serinus</i>	Serín verdicillo	NE	Ausente	NC
<i>Chloris chloris</i>	Verderón común	NE	Ausente	NC
<i>Carduelis carduelis</i>	Jilguero europeo	NE	Ausente	NC
<i>Carduelis cannabina</i>	Pardillo común	NE	Ausente	NC
<i>Loxia curvirostra</i>	Piquituerto común	NE	Listado	IE
<i>Emberiza cirlus</i>	Escribano soteño	NE	Listado	IE
<i>Emberiza cia</i>	Escribano montesino	NE	Listado	IE
<i>Emberiza schoeniclus</i>	Escribano palustre	NE	Listado	IE
<i>Emberiza calandra</i>	Escribano triguero	NE	Ausente	IE
PÉCES CONTINENTALES				
<i>Esox lucius</i>	Lucio	NE	Ausente	NC
<i>Salaria fluviatilis</i>	Fraile	EN	Vulnerable	VU
MAMÍFEROS				
<i>Erinaceus europaeus</i>	Erizo europeo	DD	Ausente	IE
<i>Crocidura russula</i>	Musaraña gris	LC	Ausente	IE
<i>Vulpes vulpes</i>	Zorro rojo	LC	Ausente	NC
<i>Mustela nivalis</i>	Comadreja	DD	Ausente	IE
<i>Martes foina</i>	Garduña	LC	Ausente	IE
<i>Lutra lutra</i>	Nutria paleártica	NT	Listado	VU
<i>Genetta genetta</i>	Gineta	LC	Ausente	IE
<i>Sus scrofa</i>	Jabalí	LC	Ausente	NC
<i>Cervus elaphus</i>	Ciervo rojo	VU	Ausente	NC
<i>Arvicola sapidus</i>	Rata de agua	VU	Ausente	IE
<i>Microtus duodecimcostatus</i>	Topillo mediterráneo	LC	Ausente	NC
<i>Apodemus sylvaticus</i>	Ratón de campo	LC	Ausente	NC
<i>Rattus rattus</i>	Rata negra	DD	Ausente	NC
<i>Rattus norvegicus</i>	Rata parda	NE	Ausente	NC
<i>Mus musculus</i>	Ratón casero	LC	Ausente	NC
<i>Mus spretus</i>	Ratón moruno	LC	Ausente	NC

NOMBRECI	NOMBRECO	IUCN (Libro Rojo)	CEEA	CAT CLM
<i>Eliomys quercinus</i>	Lirón careto	LC	Ausente	NC
<i>Lepus granatensis</i>	Liebre ibérica	LC	Ausente	NC
<i>Oryctolagus cuniculus</i>	Conejo	LC	Ausente	NC