



**Universidad
Europea CANARIAS**

Trabajo Fin de Máster

Diseño de un Sistema de Gestión Ambiental basado en la norma
ISO 14001 para una empresa ficticia del sector fotovoltaico

Autor/es

Daniel Medina Martínez

Director/es

Loic Revuelta Luis

Escuela de Arquitectura, Ingeniería, Ciencia y Computación – STEAM

Fecha

Septiembre 2025

Resumen

El Trabajo de Fin de Máster consiste diseñar de un Sistema de Gestión Ambiental (SGA) para Solar Future S.L., una empresa ficticia del sector fotovoltaico. Para crear un SGA se desarrolla siguiendo los requisitos de la norma ISO 14001:2015, la cual indica que pasos y elementos deben aplicarse para implementar un sistema que ayude a mejorar de manera continua el comportamiento ambiental. Para su ejecución, se lleva a cabo una combinación de métodos: primero, una revisión bibliográfica; después, un análisis de la normativa; y por último, la elaboración de una matriz simulada de aspectos ambientales, donde se definen los elementos clave (objetivos, indicadores y programa de gestión).

Los resultados muestran que los impactos ambientales más importantes se encuentran en la gestión de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), las emisiones de gases efecto invernadero (GEI) a la atmósfera, la movilidad, la ocupación del suelo y la alteración de la biodiversidad. A partir de ahí, se establecen seis objetivos ambientales y un programa de gestión, en el que se incluyen los objetivos a corto y medio plazo, los responsables de cada acción, los recursos necesarios, los indicadores y el riesgo.

En conclusión, implementar un SGA en una empresa del sector fotovoltaico no solo es posible, sino que es una herramienta eficaz para anticiparse a los retos futuros, asegurar el cumplimiento de la normativa y alinear la gestión empresarial con las políticas nacionales de transición energética y con los compromisos internacionales de sostenibilidad.

Abstract

The Master's Thesis consists of designing an Environmental Management System (EMS) for Solar Future S.L., a fictitious company in the photovoltaic sector. To create an EMS, the requirements of the ISO 14001:2015 standard are followed, which indicates the steps and elements that must be applied to implement a system that helps to continuously improve environmental performance. To do this, a combination of methods is used: first, a literature review; then, an analysis of the regulations; and finally, the development of a simulated matrix of environmental aspects, where the key elements (objectives, indicators, and management program) are defined.

The results show that the most significant environmental impacts are found in the management of waste electrical and electronic equipment (WEEE), greenhouse gas (GHG) emissions into the atmosphere, mobility, land use, and biodiversity alteration. From there, six environmental objectives and a management program are established, including short- and medium-term objectives, those responsible for each action, the necessary resources, indicators, and risk.

In conclusion, implementing an EMS in a photovoltaic company is not only possible, but also an effective tool for anticipating future challenges, ensuring regulatory compliance, and aligning business management with national energy transition policies and international sustainability commitments.

INDICE

Resumen

Abstract

Abreviaturas

1. Introducción	7
2. Antecedentes	9
3. Marco teórico	11
3.1. Energía solar fotovoltaica y su papel en la transición energética	11
3.2. Impactos ambientales asociados a la energía fotovoltaica	11
3.3. Los Sistemas de Gestión Ambiental (SGA)	14
3.4. Norma ISO 14001:2015	15
3.5. Aplicación de ISO 14001 en la industria fotovoltaica	15
4. Hipótesis	17
5. Objetivos	18
5.1. Objetivo general	18
5.2. Objetivos específicos	18
6. Metodología	20
6.1. Enfoque del trabajo	20
6.2. Diseño del SGA: fases y elementos clave	21
6.3. Identificación y evaluación de aspectos ambientales	24
6.4. Fuentes de información y criterios utilizados	26
6.5. Limitaciones del estudio	28

7. Análisis y resultados	30
7.1. Resultados iniciales y bases de datos utilizadas	30
7.2. Resultados de la evaluación de aspectos: priorización	31
7.3. Derivación de objetivos, metas e indicadores (KPIs)	32
7.4. Programa de gestión ambiental	34
7.5. Discusión de resultados	36
7.6. Resumen de hallazgos principales	39
8. Conclusiones	40
9. Futuras líneas de trabajo	41
Referencias	42

Abreviaturas

- **ACV:** Análisis de Ciclo de Vida
- **AENOR:** Asociación Española de Normalización
- **EMS:** Environmental Management System (*Sistema de Gestión Ambiental, en inglés*)
- **FV:** Fotovoltaica
- **GEI:** Gases de Efecto Invernadero
- **GW:** Gigavatio
- **IRENA:** International Renewable Energy Agency (*Agencia Internacional de Energías Renovables*)
- **ISO:** International Organization for Standardization (*Organización Internacional de Normalización*)
- **KPI:** Key Performance Indicator (*Indicador Clave de Desempeño*)
- **MW:** Megavatio
- **MITECO:** Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico
- **O&M:** Operación y Mantenimiento
- **PDCA / PHVA:** Plan–Do–Check–Act / Planificar–Hacer–Verificar–Actuar
- **PNIEC:** Plan Nacional Integrado de Energía y Clima
- **RAEE:** Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos
- **SGA:** Sistema de Gestión Ambiental
- **tCO₂e:** Toneladas de dióxido de carbono equivalente
- **UE:** Unión Europea
- **UNFCCC:** United Nations Framework Convention on Climate Change (*Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*)

1. Introducción

Durante años, el modelo energético global se ha basado principalmente en el consumo de combustibles fósiles como el carbón, petróleo y gas natural, siendo estas fuentes de energía fundamentales para impulsar el crecimiento industrial y económico. Su combustión produce altas emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), contribuyendo de forma significativa en el cambio climático y ocasionando impactos negativos tanto en el medioambiente como en la salud humana (IPCC, 2021).

En este contexto, la transición hacia un modelo energético sostenible se ha convertido en un asunto prioritario y que interesa a nivel global. La creciente demanda de electricidad, junto con la necesidad de reducir las emisiones y la contaminación, obliga a acelerar el proceso de electrificación, a aumentar las inversiones en energías renovables, a mejorar la eficiencia energética y a establecer las políticas y los marcos regulatorios adecuados. Los países pueden liderar esta transformación mediante el fomento de tecnologías limpias, incrementando el ahorro energético o aplicando soluciones que garanticen la sostenibilidad.

Dentro del proceso de transición hacia un modelo energético más sostenible, la energía solar fotovoltaica destaca como una de las fuentes renovables con mayor éxito, ya que permite generar electricidad de manera limpia, descentralizada y con un impacto ambiental reducido durante su operación (IRENA, 2023). Su desarrollo tecnológico ha sido posible gracias a la colaboración de investigadores, administraciones públicas, empresas y la sociedad, que durante muchos años han trabajado de manera conjunta para impulsar su desarrollo.

Actualmente, muchas de estas tecnologías ya resultan ser competitivas frente a las fuentes de energía convencional (energía no renovable), convirtiéndose en un pilar clave dentro de la transición energética.

Gracias a su carácter sostenible y a su elevado nivel de innovación, las energías renovables no solo ayudan a mitigar el cambio climático, sino que también fortalecen la seguridad del suministro de energía. Además, al reducir la dependencia de la energía importada, favorecen a la economía local y apoyan la construcción de un sistema más respetuoso con el medio ambiente y más igualitario que el actual. No obstante, su expansión debe gestionarse de manera planificada para evitar impactos sobre la biodiversidad, el paisaje y las actividades rurales tradicionales.

La instalación de infraestructuras solares fotovoltaicas, al igual que ocurre con otras actividades industriales, puede generar diversos impactos ambientales, entre ellos el consumo de recursos naturales, la ocupación del suelo, la producción de residuos o las emisiones indirectas derivadas de su ciclo de vida. Por este motivo, resulta fundamental que las empresas del sector cuenten con herramientas de gestión ambiental eficaces que les permitan identificar, controlar, y mitigar los impactos que producen sus actividades de manera organizada y sistemática.

Por tanto, el Trabajo Fin de Máster que se presenta pretende crear un Sistema de Gestión Ambiental (SGA) de acuerdo con los requisitos de la norma internacional ISO 14001 para una empresa ficticia del sector fotovoltaico, integrando la gestión ambiental en todos los procesos de la organización, cumpliendo la legislación vigente, promoviendo la mejora continua y minimizando los impactos ambientales significativos que provoca su actividad.

2. Antecedentes

La preocupación por el cambio climático y el deterioro del medio ambiente durante los últimos años ha promovido el desarrollo de iniciativas políticas, normativas y tecnológicas con el fin de avanzar a sistemas de energía sostenible como pueden ser los Protocolos de Kioto (1997) y los Acuerdos de París (2015) para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) o el impulso de las energías respectivamente (UNFCCC, 2015).

En Europa, la Estrategia de la Unión Europea para la Neutralidad Climática y el Pacto Verde Europeo tienen como objetivo la neutralidad climática para el año 2050, logrando que las emisiones de efecto invernadero sean absorbidas en la misma medida que son emitidas, aunque llevando a cabo acciones como son la reducción de emisiones del 55 % para el 2030 (European Commission, 2019). En este sentido, una de las acciones más importantes es el impulso que desde la Unión Europea, se realiza con la energía solar fotovoltaica con el fin de descarbonizar el sistema eléctrico.

En el marco español, se viene desarrollando una intensa agenda de cara a la transición ecológica, el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030 (MITECO, 2023), lo que pronostica la instalación de 76 GW de energía fotovoltaica para el año 2030 para incrementar el volumen de las renovables buscando la reducción del 32% en emisiones GEI.

De manera equivalente a estas iniciativas se han creado estándares internacionales como la norma ISO 14001:2015, un marco para la implantación de Sistemas de Gestión Ambiental de todos los sectores y en concreto en las empresas fotovoltaicas para que implementen sistemas para identificar, controlar y reducir los impactos negativos de sus actividades en el medio ambiente (ISO, 2015).

En dicho sentido, este Trabajo Fin de Máster se sitúa en la coincidencia de tres aspectos:

- La aceleración de la implantación de la energía solar fotovoltaica como consecuencia de la crisis climática.
- La necesidad de gestionar de manera integral las repercusiones ambientales de todas las etapas de la vida de las instalaciones fotovoltaicas.
- La oportunidad de implementar un SGA según la norma ISO 14001 para mejorar la forma de desempeñarse en este ámbito y por lo tanto la competitividad de las empresas del sector.

Para *Solar Future S.L.*, una empresa ficticia dedicada a la instalación y al mantenimiento de plantas fotovoltaicas, estos antecedentes justifican el diseño de un sistema de gestión ambiental sólido que integre la sostenibilidad tanto en la forma de planificar la estrategia empresarial como en la misma forma de operar con la planta fotovoltaica.

3. Marco teórico

3.1 Energía solar fotovoltaica y su papel en la transición energética

La energía solar fotovoltaica (FV) es un tipo de tecnología renovable que convierte la radiación solar en electricidad mediante el efecto fotovoltaico a partir de materiales semiconductores como es el silicio. Su modularidad, su escalabilidad y la falta de emisiones durante la operación la han posicionado como uno de los pilares de la transición energética global. Según recoge la Agencia Internacional de Energía Renovable (IRENA, 2024), la capacidad fotovoltaica instalada ya ha superado los 1.400 GW en 2023, lo que representa el 30% de la nueva potencia eléctrica que se añade a nivel global.

En el contexto español, el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (MITECO, 2023) establece el objetivo de alcanzar en 2030 una potencia fotovoltaica de 76 GW, hecho que implica un crecimiento sostenido del sector, y una oportunidad para avanzar en consolidar buenas prácticas ambientales desde el diseño de las instalaciones y las explotaciones.

Para Solar Future S.L., este medio resulta un mercado en expansión, donde la diferenciación por sostenibilidad y por cumplimiento normativo puede ser un factor decisivo en la competitividad y de acceso a licitaciones públicas y privadas.

3.2 Impactos ambientales asociados a la energía fotovoltaica

Aunque la energía FV presenta un balance ambiental positivo durante su operación, su ciclo de vida completo genera impactos que deben ser gestionados (Tabla 1). Hay que destacar que en la fase de construcción son importantes las repercusiones por ocupación, pérdida de cubierta vegetal, el riesgo de fragmentación de hábitats, las emisiones indirectas por transporte y del ruido de la maquinaria. En la fase de operación son posibles impactos sobre fauna (colisiones

o barreras), alteraciones paisajísticas y la generación de residuos de mantenimiento. Y finalmente, en la fase de desmantelamiento, hay que gestionar paneles como residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), regulada como puede verse en la Directiva (UE) 2012/19/UE (Parlamento Europeo y Consejo, 2012).

Estudios de Análisis de Ciclo de Vida (ACV), por ejemplo (Fraunhofer ISE, 2023) muestran que las mayores cargas ambientales de las instalaciones fotovoltaicas provienen de la fabricación de los paneles solares y de las estructuras de soporte, más que de su fase de operación, principalmente vinculadas al consumo energético y las emisiones de CO₂ asociadas. La adición de estrategias de economía circular, como el reacondicionamiento y reciclaje de paneles solares, puede reducir significativamente estos impactos.

Tabla 1. Impactos ambientales potenciales de instalaciones fotovoltaicas según fase del ciclo de vida.

Fase	Impactos ambientales potenciales	Ejemplos / Descripción	Medidas preventivas y correctoras
Fabricación	Emisiones de GEI y contaminantes atmosféricos	Uso de energía y procesos industriales en la producción de silicio, vidrio, aluminio y otros componentes.	Uso de energías renovables en fabricación, mejora de eficiencia energética de procesos, certificaciones ambientales en proveedores.
	Consumo de recursos naturales	Extracción de materias primas (silicio, plata, aluminio).	Ecodiseño, uso de materiales reciclados, optimización de insumos.
Transporte e instalación	Emisiones indirectas (CO ₂ , NOx, PM)	Transporte de módulos, estructuras y equipos desde	Optimización logística, uso de vehículos eléctricos

		fábrica a emplazamiento.	o de bajas emisiones, rutas eficientes.
	Alteración de suelos y vegetación	Desbroce, nivelación y compactación del terreno.	Minimizar área ocupada, restauración posterior, revegetación.
	Ruido y vibraciones	Uso de maquinaria pesada durante obra.	Restricción horaria, mantenimiento de maquinaria, pantallas acústicas.
Operación y mantenimiento	Alteración en fauna	Colisiones o barreras físicas para aves y fauna terrestre, cambios en uso del suelo.	Vallados permeables para fauna, seguimiento de biodiversidad, gestión adaptativa.
	Impacto paisajístico	Presencia visible de paneles y estructuras.	Diseño integrado en entorno, pantallas vegetales, colores adaptados al paisaje.
	Generación de residuos de mantenimiento	Sustitución de componentes, embalajes.	Gestión selectiva de residuos, reutilización de piezas.
Desmantelamiento y fin de vida	Residuos RAEE	Módulos fotovoltaicos, cableado, inversores.	Reciclaje y reacondicionamiento conforme a Directiva 2012/19/UE, acuerdos con gestores autorizados.
	Alteración del suelo	Retirada de cimentaciones y estructuras.	Restauración topográfica, revegetación con especies autóctonas.

Nota: Adaptado de Fraunhofer ISE (2023), MITECO (2023) y Directiva 2012/19/UE (RAEE).

Para Solar Future S.L., la identificación temprana de estos impactos permitirá diseñar un Sistema de Gestión Ambiental (SGA) que priorice medidas preventivas, fomente el uso eficiente de recursos y minimice la huella de carbono del ciclo de vida.

3.3 Los Sistemas de Gestión Ambiental (SGA)

Un Sistema de Gestión Ambiental (SGA) es un sistema sistemático que une políticas, procedimientos y recursos que sirven para identificar, valorar y dominar los diferentes aspectos ambientales de una organización. Se trata, pues, de un sistema que tiene como objetivo el avance continuo del desempeño ambiental de la misma en cumplimiento con la legislación procedente y las partes interesadas (ISO, 2015).

El modelo que más se ha utilizado es el ciclo Planificar-Hacer-Verificar-Actuar (PHVA), el cual permite:

- Planificar: Identificación de los aspectos ambientales, de los requisitos legales y de los riesgos u oportunidades.
- Hacer: Puesta en práctica de controles operacionales y de programas ambientales.
- Verificar: Medición de indicadores, auditorías, revisiones del cumplimiento.
- Actuar: Actuar para aplicar acciones correctivas y de mejora.

En el ámbito fotovoltaico, el SGA posibilita la garantía de la integración de criterios ambientales en el diseño de los proyectos, en la gestión de residuos RAEE, en el control de los impactos sobre la biodiversidad y en la eficiencia en el uso de los recursos. Para Solar Future S.L., adoptar este enfoque es la manera de formalizar procesos, designar responsabilidades y establecer los principales indicadores que permitirán medir el avance hacia sus objetivos de sostenibilidad.

3.4 Norma ISO 14001:2015

La ISO 14001:2015 es el estándar internacional de referencia para la implantación de sistemas de gestión ambiental. Su estructura responde al Anexo SL, un marco común adoptado por ISO que garantiza la compatibilidad e integración con otros sistemas de gestión, como ISO 9001 (calidad) o ISO 50001 (energía); y que este estándar se encuentre estructurado de acuerdo con el ciclo planificar-ejecutar-verificar-actuar (PDCA). La norma establece como requisitos a cubrir el análisis del contexto de la organización, el liderazgo y el compromiso de la alta dirección, la planificación de objetivos y las acciones a ejecutar para alcanzarlos, la provisión del soporte y los recursos necesarios para la ejecución de los objetivos, la operación y el control, la evaluación del desempeño y la mejora continua (ISO, 2015).

Entre los beneficios que se documentan en las organizaciones certificadas se identifican:

- Disminución de los consumos y la generación de residuos.
- Mejorar la imagen corporativa, la posibilidad de un acceso a los nuevos mercados.
- Mayor control sobre el cumplimiento de la normativa y disminución de los riesgos.

En el sector fotovoltaico, la obtención de la certificación ISO 14001 nos permite demostrar a los clientes, los financiadores y las administraciones cual es el compromiso de la generación de energía renovable en el contexto de un compromiso ambiental general. Para Solar Future S.L., supone una herramienta estratégica que le permite posicionarse como proveedor de confianza tanto para los proyectos de las administraciones públicas como para los proyectos privados.

3.5 Aplicación de ISO 14001 en la industria fotovoltaica

Implementar la ISO 14001 en empresas del sector fotovoltaico implica adaptar los procedimientos a desafíos concretos:

- Gestión de RAEE: establecer acuerdos con entidades gestoras reconociendo la situación administrativa del reciclaje de módulos y otros componentes.
- Control de los impactos sobre la biodiversidad: hacer un seguimiento de la fauna y la flora de las áreas de influencia.
- Optimización logística: planificar y/o usar vehículos eléctricos para contribuir a la optimización del transporte y a la disminución de las emisiones indirectas
- Economía circular: determinar programas de reutilización y reacondicionamiento de módulos.

Las buenas prácticas pueden incluir, por ejemplo, planes de restauración paisajística para parques solares, integración de pastoreo controlado para mantener vegetación en buen estado o aplicaciones de herramientas digitales y plataformas que permitan llevar a cabo el seguimiento de los indicadores ambientales en tiempo real.

En el caso de Solar Future S.L., estas prácticas se incorporan de manera progresiva a su SGA, alineando la gestión ambiental con las expectativas del mercado y los requerimientos legales.

4. Hipótesis

La hipótesis de este trabajo es que la implementación de un Sistema de Gestión Ambiental (SGA) basado en la norma ISO 14001:2015 en una empresa del sector fotovoltaico puede identificar y reducir de forma significativa los impactos ambientales asociados, al tiempo que garantiza el cumplimiento normativo y mejora la imagen corporativa de la misma. En particular, asumimos que la ejecución de unos objetivos y unos programas ambientales permitirá reducir las emisiones indirectas por el transporte de manera cuantificable, gestionar el residuo RAEE de forma satisfactoria (más del 95 %), reducir el agua consumida en la limpieza de módulos y reducir riesgos en biodiversidad.

5. Objetivos

Objetivo general:

Diseñar un Sistema de Gestión Ambiental conforme a los requisitos de la norma ISO 14001:2015 para una empresa ficticia del sector fotovoltaico, con el fin de integrar la gestión ambiental en todos sus procesos, reducir el impacto ambiental de sus actividades y fomentar la mejora continua.

Objetivos específicos:

1. Analizar el marco normativo y los requisitos aplicables del estándar ISO 14001:2015 en relación con el sector de las energías renovables y, en particular, el fotovoltaico.
2. Caracterizar la actividad y el contexto ambiental de la empresa ficticia, incluyendo sus aspectos e impactos ambientales significativos.
3. Definir la política ambiental de la empresa, alineada con los principios de sostenibilidad y mejora continua.
4. Establecer los objetivos, metas e indicadores ambientales, así como los programas de gestión necesarios para alcanzarlos.
5. Diseñar los procedimientos clave del SGA, incluyendo el control operacional, la evaluación del cumplimiento legal, la gestión de no conformidades y la auditoría interna.
6. Proponer medidas de mejora ambiental específicas para la actividad de la empresa, orientadas a minimizar sus impactos y optimizar su desempeño ambiental.

TFM. Diseño de un Sistema de Gestión Ambiental basado en la norma ISO 14001 para una empresa ficticia del sector fotovoltaico

Máster en Gestión Ambiental y Energética de las Organizaciones.

7. Integrar el enfoque de ciclo de vida y la prevención de la contaminación en la gestión ambiental de la organización.

6. Metodología

6.1 Enfoque del trabajo

El presente Trabajo Fin de Máster se desarrolla bajo un enfoque de estudio de caso ficticio, centrado en la empresa simulada *Solar Future S.L.*, dedicada a la instalación y mantenimiento de plantas solares fotovoltaicas. Este enfoque permite aplicar de manera práctica los principios y requisitos establecidos en la norma ISO 14001:2015 para el diseño de un Sistema de Gestión Ambiental (SGA), adaptándolos a las características y necesidades específicas del sector fotovoltaico.

La elección de este estudio de caso se basa en dos razones principales:

- **Enfoque profesional:** permite poner en práctica lo aprendido en el Máster aplicándolo a una situación realista dentro de una organización, siguiendo los pasos y criterios que marca la norma ISO 14001 (2015).
- **Metodología flexible:** como es un caso ficticio, se pueden crear escenarios y usar datos simulados que reflejen de forma fiel cómo funciona el sector, tomando como referencia información técnica y normativa actualizada (Fraunhofer ISE, 2023; MITECO, 2023).

El enfoque adoptado es de carácter **aplicado y descriptivo**. Aplicado, porque el objetivo principal es diseñar un SGA funcional que pueda ser implementado en un contexto real; y descriptivo, porque se analiza el contexto ambiental, se identifican aspectos e impactos, y se plantean procedimientos y objetivos de mejora ambiental conforme a la estructura de la norma ISO 14001.

Además, el estudio incorpora elementos del **enfoque preventivo** y de **mejora continua**, propios de la gestión ambiental moderna (PDCA – *Plan, Do, Check, Act*), con el fin de garantizar la integración de la variable ambiental en todos los procesos de la organización y contribuir a la reducción de impactos a lo largo del ciclo de vida de las instalaciones (*ISO, 2015*).

Este enfoque se basa en la revisión de literatura especializada, en el análisis de normativas y guías técnicas del sector, y en la utilización de datos obtenidos de estudios de impacto ambiental y análisis de ciclo de vida de instalaciones fotovoltaicas a escala industrial (IRENA, 2024; Fraunhofer ISE, 2023).

6.2 Diseño del SGA: fases y elementos clave

El diseño del Sistema de Gestión Ambiental (SGA) para *Solar Future S.L.* se ha estructurado en torno a las fases establecidas por la norma ISO 14001:2015, siguiendo el ciclo de mejora continua Planificar–Hacer–Verificar–Actuar (PDCA).

Esta metodología asegura que la gestión ambiental se integre en la estrategia corporativa y en todos los procesos operativos de la organización (*ISO, 2015*).

Las fases consideradas en el diseño del SGA son las siguientes:

1. Análisis del contexto de la organización

- Evaluación de factores internos: estructura organizativa, capacidades técnicas del personal, cultura ambiental y recursos disponibles.
- Evaluación de factores externos: marco legal aplicable, políticas energéticas nacionales y europeas, tendencias tecnológicas en el sector fotovoltaico y

expectativas de las partes interesadas (*MITECO, 2023; European Commission, 2019*).

2. Identificación y evaluación de aspectos e impactos ambientales

- Análisis de los procesos principales de la empresa (transporte, instalación y mantenimiento de módulos fotovoltaicos).
- Identificación de aspectos ambientales asociados (emisiones indirectas, generación de residuos RAEE, consumo de recursos, impacto sobre biodiversidad).
- Aplicación de una matriz de evaluación con criterios de magnitud, frecuencia, control y relevancia legal/social para determinar los aspectos significativos (*Fraunhofer ISE, 2023*).

3. Definición de la política ambiental

- Redacción de una declaración de compromiso que refleje la estrategia de *Solar Future S.L.* en relación con el cumplimiento legal, la prevención de la contaminación y la mejora continua.
- Aprobación y difusión por parte de la dirección para asegurar la implicación de todo el personal (*ISO, 2015*).

4. Establecimiento de objetivos, metas e indicadores ambientales

- Formulación de objetivos alineados con los aspectos significativos, por ejemplo: reducción del 15 % del consumo energético en operaciones, reutilización del 80 % de módulos retirados o disminución del uso de plásticos no reciclables en embalajes.

- Definición de indicadores (KPIs) medibles, verificables y revisables periódicamente (*IRENA, 2024*).

5. Planificación de acciones y control operacional

- Elaboración de procedimientos para la gestión de residuos, el control de emisiones indirectas y la protección de biodiversidad.
- Establecimiento de planes de emergencia ambiental frente a posibles incidentes (derrames, incendios en módulos o transformadores).

6. Evaluación del cumplimiento legal y auditoría interna

- Elaboración de un registro legal actualizado que incluya la normativa aplicable en materia de residuos (RAEE, envases), aguas, atmósfera, suelos y ruido.
- Realización de auditorías internas anuales siguiendo las directrices de la norma ISO 19011 para verificar la eficacia del SGA (*ISO, 2018*).

7. Revisión por la dirección y mejora continua

- Reuniones periódicas del Comité de Sostenibilidad de *Solar Future S.L.* para analizar indicadores, auditorías y no conformidades.
- Definición de acciones correctivas y preventivas que permitan reforzar el desempeño ambiental de manera sistemática.

Este diseño, aunque aplicado a un caso ficticio, reproduce las fases y elementos clave que una empresa del sector fotovoltaico debería implementar para cumplir con los requisitos de la norma ISO 14001 y demostrar un compromiso real con la sostenibilidad y la gestión responsable de sus impactos ambientales.

6.3 Identificación y evaluación de aspectos ambientales

La identificación y evaluación de aspectos ambientales constituye un elemento central en la implantación de un Sistema de Gestión Ambiental, ya que permite determinar qué actividades, productos y servicios generan impactos sobre el entorno y cuáles de ellos deben considerarse significativos. Según la ISO 14001:2015, esta etapa debe realizarse de forma sistemática, considerando tanto condiciones normales de operación como situaciones anómalas o de emergencia (ISO, 2015).

La metodología utilizada para la evaluación de aspectos ambientales se basa en modelos comúnmente aplicados en sistemas de gestión ambiental conforme a la norma ISO 14001:2015. Aunque la norma no prescribe una fórmula específica, sí requiere que la organización establezca criterios objetivos y reproducibles para determinar la significancia de sus aspectos (ISO, 2015). En este sentido, múltiples guías de implantación recomiendan el uso de matrices multicriterio, en las que se valoran variables como la magnitud del impacto, su frecuencia de ocurrencia, el grado de control por parte de la organización y su relevancia legal o social (AENOR, 2018; Martínez & Hernández, 2019). El cálculo del índice de significancia mediante la multiplicación de estos factores permite priorizar aquellos aspectos que requieren mayor atención, garantizando un enfoque sistemático y coherente con el principio de mejora continua.

En el caso de *Solar Future S.L.*, se analizaron los procesos principales de la organización:

1. Transporte de equipos y materiales.
2. Instalación de módulos y componentes.
3. Operación y mantenimiento de plantas fotovoltaicas.
4. Gestión de residuos y fin de vida de módulos (RAEE).

Para cada proceso se identificaron los aspectos ambientales asociados y se evaluaron mediante una matriz de priorización (Tabla 2), basada en los siguientes criterios:

- Magnitud (M): intensidad del impacto potencial (1–5).
- Frecuencia (F): probabilidad de ocurrencia (1–5).
- Control (C): grado de control actual por parte de la empresa (1–5, siendo 5 menor control).
- Relevancia legal/social (R): existencia de normativa aplicable o sensibilidad social (1–5).

El índice de significancia (IS) se calculó como:

$$IS=M \times F \times C \times R$$

Se consideraron aspectos significativos aquellos con $IS \geq 50$.

Tabla 2. Matriz de evaluación de aspectos ambientales de Solar Future S.L.

Proceso	Aspecto ambiental	Impacto asociado	M	F	C	R
Transporte de equipos	Emisiones indirectas de CO ₂ y NO _x	Contribución al cambio climático y calidad del aire	4	4	3	4
Transporte de equipos	Ruido por vehículos pesados	Molestias a la población y fauna	2	3	3	2
Instalación	Alteración del suelo y vegetación	Perdida de cubierta vegetal y compactación	4	3	3	4
Instalación	Generación de residuos de embalaje	Residuos sólidos no peligrosos	3	4	2	3
Operación y mantenimiento	Riesgo de colisión de aves	Pérdida de biodiversidad	3	3	4	4

Operación y mantenimiento	Consumo de agua para limpieza de módulos	Uso de recurso hídrico	2	4	3	3
Fin de vida (RAEE)	Generación de residuos peligrosos (paneles, inversores)	Contaminación de suelos y recursos si no se gestionan adecuadamente	5	3	4	5
Fin de vida (RAEE)	Reciclaje y recuperación de materiales	Reducción de uso de recursos naturales	4	4	2	3

De la matriz se observa que los aspectos más significativos para *Solar Future S.L.* son:

- Emisiones indirectas por transporte de equipos.
- Alteración de suelos y vegetación durante la fase de instalación.
- Riesgos sobre biodiversidad (colisiones de aves).
- Generación de residuos RAEE en la fase de desmantelamiento.

Estos aspectos se consideran prioritarios y deberán gestionarse a través de objetivos, programas y procedimientos específicos dentro del SGA.

6.4 Fuentes de información y criterios utilizados

La elaboración de este trabajo se ha sustentado en la utilización de fuentes de información primarias y secundarias que han permitido garantizar la validez metodológica y la coherencia con la normativa vigente.

En primer lugar, la norma ISO 14001:2015 constituye el marco principal para el diseño del Sistema de Gestión Ambiental, dado que establece los requisitos, principios y directrices para su implementación en cualquier organización, independientemente de su tamaño o sector (ISO,

2015). Asimismo, se han consultado las guías técnicas elaboradas por organismos de normalización y entidades especializadas (ej. AENOR, 2018), que proporcionan criterios prácticos para la interpretación y aplicación de la norma.

En segundo lugar, se han empleado documentos normativos y regulatorios en materia ambiental, tanto a nivel europeo como nacional, entre los que destacan la Directiva 2012/19/UE sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) y el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030 (European Union, 2012; MITECO, 2023). Estas referencias han sido clave para identificar requisitos legales aplicables al sector fotovoltaico, especialmente en lo relativo a la gestión de residuos y a los compromisos de descarbonización.

Adicionalmente, se han considerado fuentes de carácter técnico y científico que aportan datos actualizados sobre los impactos ambientales del ciclo de vida de los sistemas fotovoltaicos. Entre ellas destacan informes de organismos internacionales como la Agencia Internacional de Energía Renovable (IRENA, 2024) y el Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems (Fraunhofer ISE, 2023), que constituyen referencias reconocidas a nivel mundial en la evaluación de sostenibilidad de las tecnologías solares.

Finalmente, los criterios metodológicos empleados para la identificación y evaluación de aspectos ambientales se han fundamentado en la literatura especializada en gestión ambiental empresarial (Martínez & Hernández, 2019) y en guías de implantación de sistemas ISO 14001 (AENOR, 2018). Estos criterios, adaptados a las particularidades de Solar Future S.L., han

permitido construir una matriz de evaluación coherente y aplicable, aun cuando los datos utilizados son simulados con fines académicos.

Asimismo, es importante señalar que no se han empleado bases de datos de análisis de ciclo de vida (ACV) de carácter especializado, como Ecoinvent o SimaPro, debido a su carácter propietario y a la falta de acceso en el marco de este trabajo. En consecuencia, los datos utilizados en la matriz de evaluación y en la caracterización de impactos son de carácter simulado y se han construido a partir de criterios metodológicos coherentes con la literatura y normativa de referencia. Esta limitación no compromete la validez del estudio, dado que el objetivo del presente TFM es de carácter profesionalizante y se centra en el diseño metodológico de un Sistema de Gestión Ambiental aplicable a una empresa del sector fotovoltaico.

6.5 Limitaciones del estudio

El presente trabajo se desarrolla en el marco de un estudio de caso ficticio, lo que implica ciertas limitaciones que deben ser reconocidas para contextualizar adecuadamente los resultados obtenidos.

En primer lugar, los datos empleados en la identificación y evaluación de aspectos ambientales son de carácter simulado, elaborados con fines académicos. Aunque se han construido siguiendo criterios metodológicos basados en normativa y literatura especializada, no proceden de mediciones reales de una empresa concreta, lo que limita la precisión cuantitativa del análisis.

En segundo lugar, no se han utilizado bases de datos de análisis de ciclo de vida (ACV) como *Ecoinvent* o herramientas profesionales como *SimaPro* o *OpenLCA*, debido a restricciones de acceso. En consecuencia, la caracterización de impactos ambientales se apoya en datos publicados por organismos internacionales (ej. *IRENA*, *Fraunhofer ISE*) y en supuestos realistas pero hipotéticos.

Asimismo, el alcance temporal y espacial del estudio está deliberadamente restringido a los procesos más relevantes de la actividad de *Solar Future S.L.* (transporte, instalación, operación y fin de vida de módulos). Otros posibles impactos indirectos, como los derivados de la fabricación upstream de componentes fotovoltaicos o de la cadena global de suministro, no han sido incluidos, con el fin de mantener la viabilidad académica del trabajo.

Finalmente, debe señalarse que el enfoque adoptado es descriptivo y metodológico, por lo que no pretende ofrecer un inventario exhaustivo de datos ambientales, sino un marco estructurado y replicable que sirva como referencia para la implantación de un Sistema de Gestión Ambiental en el sector fotovoltaico.

7. Análisis y resultados

Los resultados cuantitativos que se presentan a continuación son simulados para el caso ficticio *Solar Future S.L.*, siguiendo la metodología definida en el capítulo 6 y criterios habituales de ISO 14001. La validez del análisis se apoya en que se ha seguido una metodología coherente y en que los resultados coinciden con lo establecido en la literatura científica y en la normativa aplicable. (ISO, 2015; AENOR, 2018).

7.1 Resultados iniciales y bases datos utilizadas.

El análisis ha producido los siguientes resultados principales:

- Matriz de evaluación de aspectos ambientales con criterios M–F–C–R y cálculo del Índice de Significancia (IS) (véase Tabla 2, en el apartado 6.3).
- Listado de aspectos significativos priorizados para focalizar objetivos y programas.
- Propuesta de objetivos, metas e indicadores (KPIs) alineados con los aspectos significativos.
- Síntesis de cumplimiento legal centrada en RAEE y normativa ambiental aplicable.
- Lecciones y discusión frente a literatura y marcos institucionales.

Fuentes: estructura y requisitos de ISO 14001 (ISO, 2015); guías de implantación (AENOR, 2018); evidencias de impactos de ciclo de vida FV (Fraunhofer ISE, 2023); marco político-energético nacional (MITECO, 2023); requisitos RAEE a fin de vida (Parlamento Europeo y Consejo, 2012).

7.2 Resultados de la evaluación de aspectos: Priorización

Aplicando la matriz definida en 6.3 (escala 1–5 y IS = M×F×C×R), se obtuvieron los siguientes valores simulados y su prioridad:

Aspecto	Proceso	IS	Prioridad
Generación de RAEE (módulos)	Fin de vida	300	Crítica
Emisiones por transporte de equipos	Transporte	192	Alta
Alteración de suelo y vegetación	Instalación	144	Alta
Riesgo de colisión de aves	Operación	144	Alta
Agua para limpieza de módulos	Operación	72	Media
Residuos de embalaje	Instalación	72	Media
Ruido por vehículos	Transporte	36	Baja

Conclusión de priorización:

- Crítico: RAEE (fin de vida).
- Altos: emisiones de transporte; afección a suelo/vegetación; riesgo sobre avifauna.
- Medios: consumo de agua; residuos de embalaje.

Implicación: los resultados son coherentes con la literatura de ACV que sitúa producción/fin de vida y la logística como contribuyentes relevantes del impacto global en FV (*Fraunhofer ISE*, 2023) y con la exigencia normativa europea en RAEE (Parlamento Europeo y Consejo, 2012).

7.3 Derivación de objetos, metas e indicadores (KPIs)

A partir de los aspectos significativos, se proponen objetivos y KPIs SMART.

La Tabla 3 presenta la propuesta de objetivos ambientales derivados de los aspectos significativos identificados. Estos objetivos se han formulado siguiendo el criterio SMART (específicos, medibles, alcanzables, realistas y temporales), lo que facilita su integración en el Sistema de Gestión Ambiental y su seguimiento periódico.

Tabla 3. Objetivos ambientales propuestos para Solar Future S.L.

Objetivo	KPI	Línea Base (2024-2025)	Meta (dic-2026)	Responsable	Seguimiento	Soporte/Marco
O1. Reducir emisiones de transporte	tCO ₂ e/proyecto	12.0 (simulado)	≤ 9,6 (- 20%)	Logistica	Mensual	ISO 14001; PNIEC
O2. Minimizar afección a suelo y vegetación	% superficie restaurada	40%	≥ 80%	Obras / Medio ambiente	Trimestral	Buenas prácticas de obra
O3. Disminuir riesgo de colisión de aves	Incidencias/MW·año	0.60	≤ 0,30 (- 50%)	Medio ambiente	Trimestral	Medidas de mitigación
O4. Asegurar gestión de RAEE	% RAEE gestionado	70%	≥ 95%	Compras / Residuos	Mensual	Directiva RAEE
O5. Reducir agua de limpieza	m ³ /MW·año	180	≤ 135 (- 25%)	O&M	Mensual	Eficiencia hídrica
O6. Valoración de embalajes	% valorización	60%	≥ 85%	Logística/Residuos	Mensual	Jerarquía UE residuos

Los resultados muestran que los objetivos prioritarios se centran en la reducción de emisiones de transporte, la gestión de RAEE y la minimización de impactos en suelo y biodiversidad, lo cual es coherente con los impactos críticos detectados en la matriz de aspectos.

7.4 Programa de gestión ambiental

Con base en los objetivos definidos en el apartado 7.3, se ha elaborado un programa ambiental que constituye la herramienta de planificación para alcanzar las metas fijadas. Este programa contempla la asignación de responsabilidades, plazos de ejecución, recursos necesarios, indicadores de seguimiento y riesgos (Tabla 4).

La estructura responde a lo establecido en la ISO 14001:2015, que exige que los objetivos ambientales se integren en planes operativos con responsables claros, métodos de seguimiento y mecanismos de revisión periódica (ISO, 2015; AENOR, 2018).

Tabla 4. Programa ambiental propuesto para Solar Future S.L.

Objetivo	Acciones principales	Plazo de ejecución	Responsable	Recursos necesarios	Indicador de seguimiento	Riesgos asociados
O1. Reducir emisiones de transporte	Optimización de rutas de transporte. Compra progresiva de vehículos eléctricos. Formación en conducción eficiente.	2025–2026	Jefatura de Logística	2 vehículos eléctricos; software de gestión de rutas; 10 h de formación.	Toneladas de CO ₂ por proyecto	Elevado coste inicial de vehículos; resistencia al cambio de conductores.
O2. Minimizar afectación a suelo y vegetación	Delimitación de áreas sensibles. Plan de revegetación con especies autóctonas. Uso de placas para evitar compactación del terreno.	Desde inicio de obras (2025)	Obras y Medio Ambiente	Contrato con viveros locales; presupuesto anual aproximado: 20.000 €	% de superficie restaurada	Retrasos en la obra; baja tasa de éxito en revegetación.
O3. Disminuir riesgo de colisión de aves	Instalación de balizas anticolisión en vallados y estructuras. Diseño de vallados permeables. Seguimiento ornitológico anual.	2025–2027	Departamento de Medio Ambiente	Consultoría especializada; equipos de señalización; 15.000 €/año	Nº de incidentes de aves por MW y año	Rechazo vecinal a vallados; falta de datos iniciales fiables.
O4. Asegurar gestión de RAEE (residuos de aparatos eléctricos y electrónicos)	Contratos marco con gestores autorizados. Sistema de trazabilidad documental. Auditorías internas anuales.	Permanente	Compras y Residuos	Contrato anual con gestor autorizado; sistema informático para trazabilidad	% de RAEE gestionado correctamente	Escasa oferta de gestores locales; incumplimiento de proveedores.
O5. Reducir consumo de agua en limpieza de módulos	Implementación de limpieza semiseca. Instalación de sistemas de recirculación y filtrado. Programación de limpieza en función del desempeño.	2025–2026	Operación y Mantenimiento	Inversión inicial de 30.000 €; capacitación del personal	m ³ de agua por MW y año	Alta dureza del agua; fallos en equipos de filtrado; costes de mantenimiento.
O6. Aumentar valorización de embalajes	Segregación en origen. Acuerdos con proveedores para embalajes retornables. Venta/gestión de embalajes con gestor autorizado.	2025–2026	Logística y Residuos	Compactadora de cartón y plástico; contrato con gestor	% de embalajes valorizados	Escasa colaboración de proveedores; fluctuación de precios del reciclaje.

La Tabla 4 muestra cómo los objetivos ambientales se convierten en un plan operativo concreto.

Se observa que:

- El programa combina medidas de rápida aplicación y bajo coste (segregación de embalajes, optimización de rutas) con acciones de inversión a medio plazo (compra de vehículos eléctricos, tecnologías de limpieza semiseca).
- Cada objetivo cuenta con responsables definidos, lo que asegura la rendición de cuentas y la integración en los departamentos de la empresa.
- Los recursos necesarios incluyen tanto inversiones económicas como formación y contratación de servicios externos, lo que refleja un enfoque integral.
- Los riesgos identificados permiten anticipar barreras de implementación, como los altos costes iniciales, la colaboración de proveedores o la falta de datos de referencia, coherentes con la filosofía de gestión del riesgo ambiental propia de ISO 14001.

En conclusión, el programa ambiental constituye la herramienta clave para que *Solar Future S.L.* pueda pasar de los objetivos estratégicos a la acción concreta, asegurando la mejora continua de su desempeño ambiental.

7.5 Discusión de resultados

Los resultados obtenidos a partir de la identificación de aspectos ambientales y del diseño del programa de gestión evidencian una clara coherencia con las tendencias descritas en la literatura científica y con los marcos normativos aplicables al sector fotovoltaico.

En primer lugar, la consideración del **fin de vida de los equipos fotovoltaicos (RAEE)** como aspecto crítico refuerza lo establecido en la Directiva 2012/19/UE, que reconoce la necesidad

de garantizar la recogida, tratamiento y reciclaje de estos residuos. Diversos estudios subrayan que el volumen de paneles solares en fase de desmantelamiento crecerá de forma exponencial en la próxima década, convirtiéndose en un reto ambiental y económico de primer orden (Fraunhofer ISE, 2023; Cucchiella et al., 2015). En este sentido, la propuesta de *Solar Future S.L.* de establecer contratos con gestores autorizados y sistemas de trazabilidad documental constituye una medida alineada con los principios de economía circular y con la necesidad de anticipar este desafío emergente.

En segundo lugar, la **importancia otorgada a las emisiones indirectas del transporte y a los impactos sobre suelo y vegetación** concuerda con los análisis de ciclo de vida que identifican estas fases como contribuyentes significativos al impacto global de las instalaciones fotovoltaicas (IRENA, 2024; Laleman et al., 2017). Aunque la operación de los sistemas FV presenta emisiones muy bajas, los resultados confirman que los impactos no desaparecen, sino que se desplazan a otras etapas del ciclo de vida. En consecuencia, la implantación de medidas como la optimización de rutas, la electrificación parcial de la flota o los planes de revegetación se consideran estrategias clave para reducir la huella ambiental y mejorar la aceptación social de los proyectos.

Por otro lado, la identificación del **riesgo de colisión de aves** como aspecto significativo refleja la creciente preocupación por la compatibilidad entre las energías renovables y la conservación de la biodiversidad. Investigaciones recientes han señalado que las instalaciones de generación de energía pueden afectar a la avifauna, especialmente en zonas de alto valor ecológico (DeVault et al., 2014). La inclusión en el programa de medidas preventivas como las balizas anticolisión, vallados permeables o el seguimiento ornitológico demuestra la voluntad de *Solar*

Future S.L. de integrar la variable biodiversidad en la gestión ambiental, lo que incrementa su legitimidad social y reduce el riesgo de conflictos con administraciones y comunidades locales.

La propuesta de **gestionar de forma más eficiente el consumo de agua** durante la limpieza de los módulos también adquiere relevancia, especialmente en un contexto como el mediterráneo, donde el estrés hídrico constituye una limitación estructural. Organismos como la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA, 2024) recomiendan la implantación de tecnologías de limpieza semiseca y sistemas de recirculación para minimizar este impacto.

La adopción de estas medidas en el programa de *Solar Future S.L.* refleja la coherencia del enfoque con las tendencias de eficiencia hídrica a nivel internacional.

Finalmente, la discusión de los resultados muestra una alineación clara con las prioridades marcadas en el **Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021–2030 (PNIEC)**, en especial en lo relativo a la reducción de emisiones, la transición hacia la economía circular y la protección de los recursos naturales (MITECO, 2023). De esta forma, el SGA diseñado no solo responde a la norma ISO 14001:2015, sino que también contribuye al cumplimiento de los compromisos nacionales e internacionales en materia de sostenibilidad.

En conjunto, la discusión confirma que la implantación de un Sistema de Gestión Ambiental en el sector fotovoltaico no solo es técnicamente viable, sino que aporta ventajas competitivas y reputacionales para la empresa. La anticipación a los retos emergentes (RAEE, biodiversidad, uso eficiente de recursos) y la alineación con políticas climáticas y energéticas sitúan a *Solar Future S.L.* en una posición estratégica, fortaleciendo su legitimidad frente a clientes, administraciones y la sociedad en general.

7.6 Resumen de hallazgos principales

El análisis realizado permite extraer los siguientes hallazgos clave:

1. El **fin de vida de los equipos fotovoltaicos** (RAEE) es el aspecto de mayor criticidad, confirmando la necesidad de sistemas de reciclaje y trazabilidad avanzados.
2. Los **impactos indirectos asociados al transporte y a la ocupación del suelo** representan focos prioritarios de gestión, alineados con literatura de ACV.
3. La **biodiversidad y la avifauna** emergen como factores relevantes en la percepción social y en la sostenibilidad del sector.
4. La **gestión eficiente del agua y de los residuos de embalaje** constituye una oportunidad para mejorar la circularidad y reducir costes operativos.
5. La formulación de **objetivos y programas SMART** garantiza un marco operativo medible, alineado con la norma ISO 14001 y las políticas nacionales de transición energética.

En suma, la implantación del SGA diseñado para *Solar Future S.L.* muestra no solo viabilidad técnica, sino también una alta coherencia con tendencias internacionales, convirtiéndose en un modelo replicable para empresas del sector fotovoltaico.

8. Conclusiones

El desarrollo del presente trabajo ha permitido extraer las siguientes conclusiones principales:

1. La norma ISO 14001:2015 constituye un marco metodológico sólido para la integración de la gestión ambiental en empresas del sector fotovoltaico, al proporcionar un enfoque sistemático y adaptable a sus particularidades.
2. El análisis de aspectos ambientales identificó como impactos más significativos la gestión de RAEE, las emisiones derivadas del transporte, la afección a suelos y vegetación y los riesgos sobre biodiversidad. Estos resultados son coherentes con la literatura científica y con las directivas europeas aplicables.
3. La formulación de seis objetivos ambientales y su traducción en un programa de gestión operativo demuestra que es posible estructurar acciones concretas, con responsables, recursos e indicadores, incluso en un escenario simulado.
4. El SGA diseñado para *Solar Future S.L.* se alinea con las prioridades del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030 y contribuye al cumplimiento de compromisos internacionales en materia de sostenibilidad y cambio climático.
5. Aunque los datos empleados son simulados, la metodología aplicada evidencia que la implantación de un SGA no solo mejora el desempeño ambiental, sino que también constituye un factor de competitividad y legitimidad social para las empresas del sector renovable.

9. Futuras líneas de trabajo

A partir de los resultados obtenidos, se plantean las siguientes líneas de trabajo que podrían desarrollarse en futuros estudios:

- Aplicar el modelo propuesto a un caso real de empresa fotovoltaica, incorporando datos primarios de consumos, residuos y emisiones.
- Integrar herramientas de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) con bases de datos especializadas como *Ecoinvent*, para obtener resultados más robustos y comparables internacionalmente.
- Profundizar en la evaluación de impactos sobre biodiversidad, incorporando indicadores específicos de avifauna y polinizadores en parques solares.
- Ampliar el alcance del SGA a la cadena de suministro, evaluando la sostenibilidad de materiales críticos como el silicio o el litio.
- Analizar los beneficios económicos asociados a la implantación de un SGA, incluyendo ahorros derivados de la eficiencia en el uso de recursos y de la valorización de residuos.

TFM. Diseño de un Sistema de Gestión Ambiental basado en la norma ISO 14001 para una empresa ficticia del sector fotovoltaico

Máster en Gestión Ambiental y Energética de las Organizaciones.

Referencias

Asociación Española de Normalización (AENOR). (2018). *Guía práctica para la implantación de un sistema de gestión ambiental según la norma ISO 14001:2015.* AENOR.

Cucchiella, F., D'Adamo, I., & Rosa, P. (2015). End-of-life of used photovoltaic modules: A financial analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 47, 552–561.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.03.076>

DeVault, T. L., Blackwell, B. F., & Belant, J. L. (2014). *Wildlife in airport environments: Preventing animal-aircraft collisions through science-based management.* Johns Hopkins University Press.

European Commission. (2019). *The European Green Deal.* Publications Office of the European Union. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52019DC0640>

Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE. (2023). *Life cycle assessment of photovoltaics.* Fraunhofer ISE. <https://www.ise.fraunhofer.de>

International Organization for Standardization. (2015). *ISO 14001:2015 – Environmental management systems — Requirements with guidance for use.* ISO.

TFM. Diseño de un Sistema de Gestión Ambiental basado en la norma ISO 14001 para una empresa ficticia del sector fotovoltaico

Máster en Gestión Ambiental y Energética de las Organizaciones.

International Organization for Standardization. (2018). *ISO 19011:2018 – Guidelines for auditing management systems.* ISO.

International Renewable Energy Agency (IRENA). (2024). *Renewable capacity statistics 2024.* IRENA. <https://www.irena.org/Statistics>

IPCC (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis.* Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.

IRENA (2023). *Renewable Capacity Statistics 2023.* International Renewable Energy Agency.

Laleman, R., Albrecht, J., & Dewulf, J. (2017). Life Cycle Analysis to estimate the environmental impact of residential photovoltaic systems in regions with a low solar irradiation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(1), 267–281.

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.10.039>

Martínez, J., & Hernández, P. (2019). *Gestión ambiental empresarial: herramientas y casos prácticos.* Editorial Díaz de Santos.

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO). (2023). *Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030.* Gobierno de España.

<https://www.miteco.gob.es>

TFM. Diseño de un Sistema de Gestión Ambiental basado en la norma ISO 14001 para una empresa ficticia del sector fotovoltaico

Máster en Gestión Ambiental y Energética de las Organizaciones.

Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. (2012). Directiva 2012/19/UE sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE). Diario Oficial de la Unión Europea, L 197, 38–71. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX:32012L0019>

United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). (2015). Paris Agreement. Naciones Unidas. <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>