

CAPÍTULO 1

Datos generales del PROYECTO

CONTENIDO

1. DATOS GENERALES DEL PROYECTO, DEL PROMOVENTE Y DEL RESPONSABLE DEL ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL Y DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO 5

1.1 PROYECTO 5
1.1.1 Nombre del proyecto 5
1.1.2 Ubicación del proyecto 5
1.1.3 Tiempo de vida útil 5
1.2 DATOS GENERALES DEL PROMOVENTE. 5
1.2.1 Nombre o razón social 5
1.2.2 Registro Federal de Contribuyentes del promovente 5
1.2.3 Nombre y cargo del representante legal 5
1.2.4 Dirección del promovente o de su representante legal para recibir u oír notificaciones 5
1.3 RESPONSABLE DE LA ELABORACIÓN DEL ESTUDIO 6
1.3.1 Nombre del responsable técnico del estudio 6
1.3.2 Registro federal de contribuyentes o CURP 6
1.3.3 Dirección del responsable técnico del estudio 6
1.4 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO 7
1.4.1 Antecedentes 7
1.4.2 Naturaleza del proyecto 7
1.4.3 Características particulares del proyecto 16
1.5 RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS RELEVANTES DEL PROYECTO SEGÚN LA GUÍA DE SEMARNAT PARA EL SECTOR DE ENERGÍA 24

Índice de figuras

Figura 1-1. Producción energética mensual estimada. 8
Figura 1-2. Ubicación del proyecto. 10
Figura 1-3. Superficie de ocupación permanente (paneles) en los tres grupos de cubierta. 11
Figura 1-4. Superficie de maniobra temporal 12
Figura 1-5. Superficie de operación y mantenimiento 13
Figura 1-6. Áreas del proyecto 15
Figura 1-7. Actividades principales de la etapa de instalación 18
Figura 1-8. Actividades principales de la etapa de abandono para EL PROYECTO. 21

Índice de tablas

Tabla 1-1. Características generales de la instalación proyectada. 8
Tabla 1-2. Superficie ocupada por paneles. 11
Tabla 1-3. Superficie de operación y mantenimiento 13
Tabla 1-4. Residuos potencialmente generados en cada una de las etapas del proyecto. 22

1. DATOS GENERALES DEL PROYECTO, DEL PROMOVENTE Y DEL RESPONSABLE DEL ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL Y DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1 Proyecto

1.1.1 Nombre del proyecto

GRAND PALLADIUM RIVIERA MAYA - FOTOVOLTAICA

1.1.2 Ubicación del proyecto

El proyecto Grand Palladium Riviera Maya, en adelante referido como “EL PROYECTO”, se ubica dentro del complejo Grand Palladium Riviera Maya, a su vez ubicado a la altura del kilómetro 256+100 de la carretera federal 307 Reforma Agraria – Puerto Juárez, en el municipio de Playa del Carmen (antes Solidaridad), estado de Quintana Roo.

1.1.3 Tiempo de vida útil

EL PROYECTO tendrá una vida útil de 25 años.

1.2 Datos generales del promovente.

ELIMINADO, por contener DATOS PERSONALES que son considerados INFORMACIÓN CONFIDENCIAL de conformidad con los artículos 23 y 116 de la Ley General de Transparencia y Acceso a la Información Pública; 9 y 113 de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

1.3 Responsable de la elaboración del estudio

ELIMINADO, por contener DATOS PERSONALES que son considerados INFORMACIÓN CONFIDENCIAL de conformidad con los artículos 23 y 116 de la Ley General de Transparencia y Acceso a la Información Pública; 9 y 113 de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

ELIMINADO, por contener DATOS PERSONALES que son considerados INFORMACIÓN CONFIDENCIAL de conformidad con los artículos 23 y 116 de la Ley General de Transparencia y Acceso a la Información Pública; 9 y 113 de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

1.4 Descripción del proyecto

1.4.1 Antecedentes

EL PROYECTO consiste en la instalación de un sistema fotovoltaico destinado a la generación complementaria de energía eléctrica para la operación de un complejo hotelero actualmente en funcionamiento, identificado como Grand Palladium Riviera Maya (**GPRM**).

Cabe precisar que en 1997 Desarrollos DINE S.A. de C.V., sometió una manifestación de impacto ambiental en modalidad específica en el marco del procedimiento de evaluación en materia de impacto ambiental para el proyecto denominado Desarrollo Turístico Xaac; éste fue autorizado de manera condicionada mediante el oficio resolutivo número D.O.O.DGOEIA.-06413 con fecha del 01 de octubre de 1997 y es este proyecto el que alberga al complejo GPRM.

En este sentido, EL PROYECTO no implica la apertura de un nuevo desarrollo turístico ni la ocupación de una nueva superficie con fines de urbanización, sino la incorporación de infraestructura energética complementaria sobre instalaciones existentes del complejo GPRM, con el propósito de fortalecer su eficiencia operativa y contribuir parcialmente al abastecimiento de su demanda eléctrica durante la etapa de operación.

Bajo este contexto, la evaluación ambiental del presente PROYECTO debe entenderse a partir de su carácter de obra complementaria asociada a un complejo previamente autorizado y construido, cuyas condiciones actuales difieren de las que originalmente presentaba el sitio antes del desarrollo hotelero. Por ello, el análisis contenido en esta MIA-P se enfoca en identificar, describir y valorar los impactos ambientales que pudieran derivarse específicamente de la instalación y operación del sistema fotovoltaico, considerando el entorno intervenido en el que se pretende desarrollar.

1.4.2 Naturaleza del proyecto

EL PROYECTO consiste en la instalación de un sistema fotovoltaico distribuido sobre las cubiertas de edificios existentes dentro del complejo GPRM, el cual ha sido concebido para autoconsumo interconectado con conversión de corriente continua a corriente alterna mediante inversores string Huawei y sistema de monitorización mediante SmartLogger 3000B. Sin incorporación de sistemas de almacenamiento de energía, y con una capacidad instalada total (potencia pico) de 1,807.92 kWp.

La infraestructura estará integrada por 3,348 módulos fotovoltaicos de 540 Wp o equivalente Tier 1, así como por los componentes auxiliares necesarios para su operación y seguridad, entre ellos inversores, protecciones eléctricas en corriente continua y corriente alterna, sistema de monitoreo y una nueva red de puesta a tierra.

En términos de equipamiento, el sistema contempla la instalación de 34 inversores para la conversión de corriente continua a corriente alterna (Tabla 1-1). Los paneles fotovoltaicos serán instalados sobre estructuras de soporte de aluminio y contarán con un diseño que busca optimizar la distribución horaria de la generación eléctrica y reducir los requerimientos de lastre sobre las cubiertas. En el Anexo 1.9 se encuentran las fichas técnicas con las especificaciones de los equipos que serán instalados y en el Anexo 1.12 el proyecto ejecutivo, para mayor referencia.

Tabla 1-1. Características generales de la instalación proyectada.

Potencia unitaria	Potencia nominal total	Potencia pico de la instalación	Producción estimada 1er año	Modelos de inversor	Número de inversores
540 W	1,304 kW	1,807.92 kWp	2,967 MWh/año	Huawei SUN2000-33/36/40KTL-M3	34

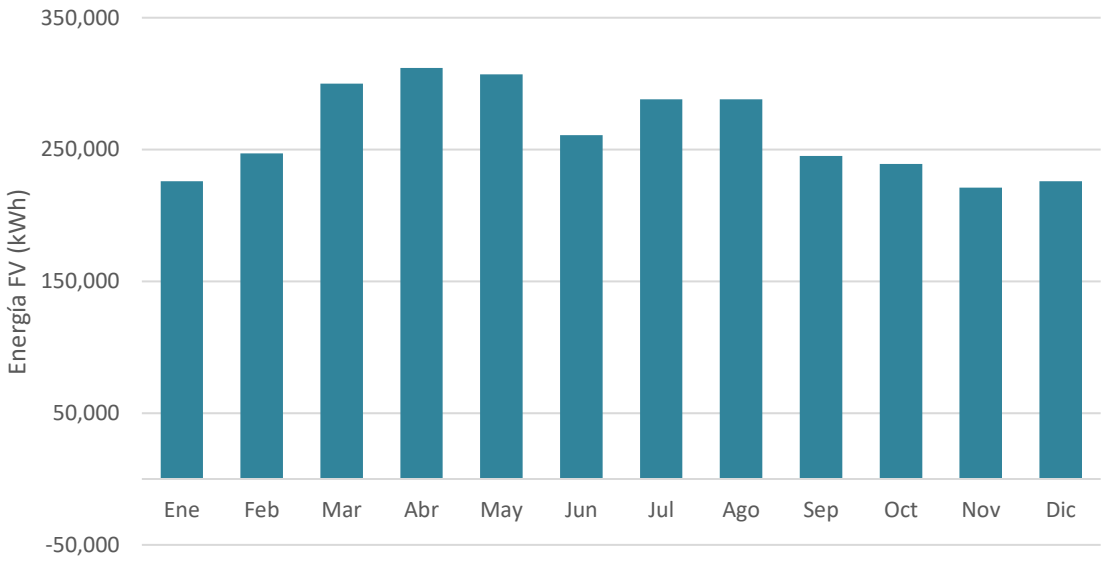
Fuente: Elaboración propia a partir de la información proporcionada por el promovente.

La superficie total ocupada por EL PROYECTO es de 54,540.09 m^2 (5.454 ha). Dicha superficie se describe a detalle en el aparatado 1.4.2.4 Dimensiones del proyecto.

Desde el punto de vista funcional, EL PROYECTO tiene como finalidad disminuir el consumo de energía eléctrica proveniente de la red mediante la generación fotovoltaica en sitio, complementando así el abastecimiento energético del complejo GPRM durante su operación. En términos ambientales, esta sustitución parcial de energía de fuente convencional por energía solar permitirá contribuir al ahorro energético del complejo y, de manera indirecta, a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al consumo de electricidad.

Para el primer año de operación se estima una producción energética de **2,967 MWh** con una variación mensual estimada tal como se muestra en la Figura 1-1. En los años sucesivos la producción decrecerá con base en la pérdida de eficiencia de los paneles.

Figura 1-1. Producción energética mensual estimada.



Fuente: Estel, 2026.

1.4.2.1 Selección del sitio

El sitio seleccionado para la instalación del sistema fotovoltaico fue definido con base en criterios ambientales, operativos y económicos, privilegiando el aprovechamiento de infraestructura preexistente dentro del complejo GPRM. En este sentido, se evitó la ocupación de áreas naturales con vegetación forestal, lo que permite minimizar tanto la afectación potencial sobre los ecosistemas circundantes como los requerimientos de desmonte, preparación del sitio y construcción de infraestructura adicional.

De esta manera, EL PROYECTO se desarrolla sobre superficies ya intervenidas y funcionalmente integradas al complejo GPRM, lo que favorece una implementación más eficiente desde el punto de vista técnico y financiero, al tiempo que reduce la generación de impactos ambientales asociados a la apertura de nuevas áreas para el desarrollo de la obra.

1.4.2.2 Ubicación del proyecto

EL PROYECTO se ubica el Municipio de Playa del Carmen (antes Solidaridad) en el estado de Quintana Roo, en particular dentro del complejo Grand Palladium Riviera Maya (GPRM), a la altura del kilómetro 256+100 de la carretera federal 307 Reforma Agraria – Puerto Juárez. Específicamente el sistema fotovoltaico se llevará a cabo dentro de las instalaciones del complejo GPRM ocupando la superficie correspondiente a la cubierta superior de las edificaciones existentes (Figura 1-2).

1.4.2.3 Inversión requerida

ELIMINADO, por contener DATOS PERSONALES que son considerados INFORMACIÓN CONFIDENCIAL de conformidad con los artículos 23 y 116 de la Ley General de Transparencia y Acceso a la Información Pública; 9 y 113 de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública.

Figura 1-2. Ubicación del proyecto.



Fuente: Elaboración propia con base en el marco geoestadístico nacional INEGI (2025) e información proporcionada por el promovente.

1.4.2.4 Dimensiones del proyecto

Considerando todas las obras y actividades contempladas en cada etapa, EL PROYECTO, ocupará una superficie de total de 54,540.09 m^2, la cual desglosa a continuación:

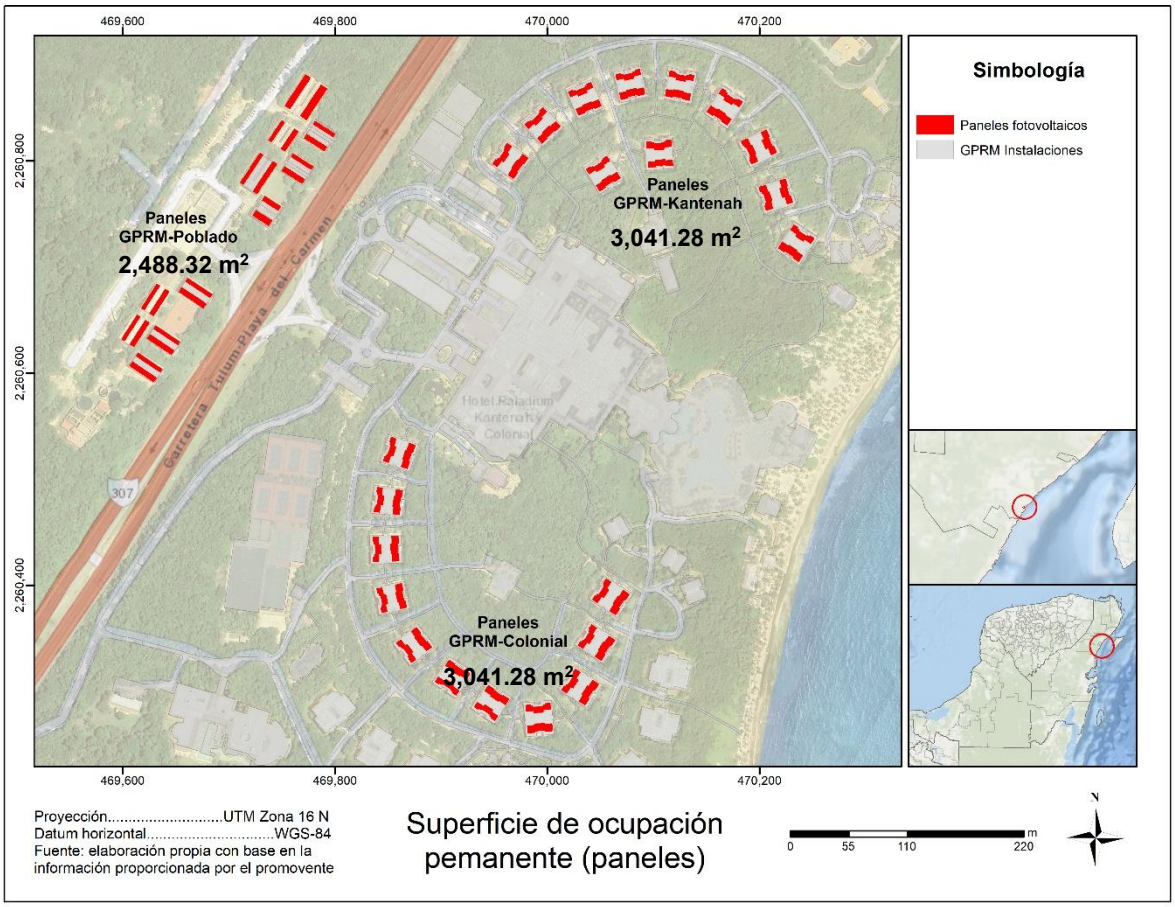
Superficie de ocupación permanente (paneles)

Esta superficie corresponde al área neta ocupada por los paneles del PROYECTO, la cual es de 8,570.88 m^2, los cuales se encontrarán distribuidos en las cubiertas de los edificios en tres grandes grupos: Kantenah, Colonial y Poblado, tal como es señalado en la Tabla 1-2 y reflejado de manera espacial en la Figura 1-3 y Anexo 1.13.

Tabla 1-2. Superficie ocupada por paneles.

Grupo de Cubierta	N° módulos	Potencia pico (kWp)	Potencia nominal (kWn)	Inversores (unidades)	Superficie neta (m^2)
GPRM-Kantenah	1,188	641.52	440	11	3,041.28
GPRM-Colonial	1,188	641.52	440	11	3,041.28
GPRM-Poblado	972	524.88	424	12	2,488.32
TOTAL	3,348	1,807.92	1,304	34	8,570.88

Figura 1-3. Superficie de ocupación permanente (paneles) en los tres grupos de cubierta.

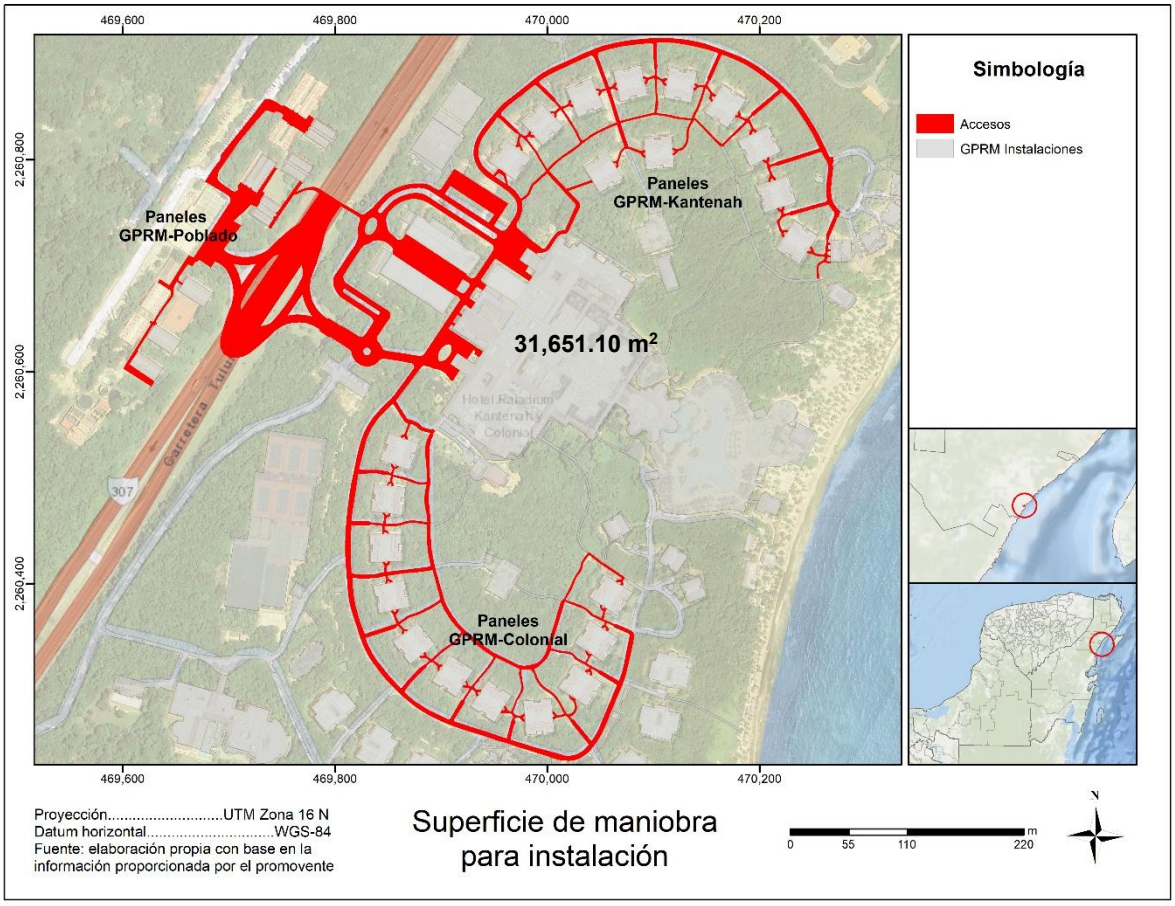


Fuente: Elaboración propia con base en información proporcionada por el promovente.

Superficie de maniobra temporal

La superficie de maniobra temporal corresponde a todas aquellas áreas que serán ocupadas para el desplazamiento de los paneles hasta las zonas de instalación y las áreas de maniobra para su elevación a cubiertas. Para ello no será requerida la apertura de nuevos caminos ya que se ocuparán únicamente los accesos existentes del complejo GPRM, los cuales constituyen una superficie de 31,651.10 m^2. Cabe precisar, que la superficie señalada no corresponde al total de accesos del complejo, incluye solo aquellos que potencialmente serán utilizados por las actividades del PROYECTO (Figura 1-4).

Figura 1-4. Superficie de maniobra temporal



Fuente: Elaboración propia con base en información proporcionada por el promovente.

Superficie de operación y mantenimiento

El área definida como “superficie de operación y mantenimiento” comprende la zona de maniobra durante la instalación de paneles fotovoltaicos, así como la superficie sobre la cual se desarrollarán acciones y actividades de mantenimiento durante la etapa de operación.

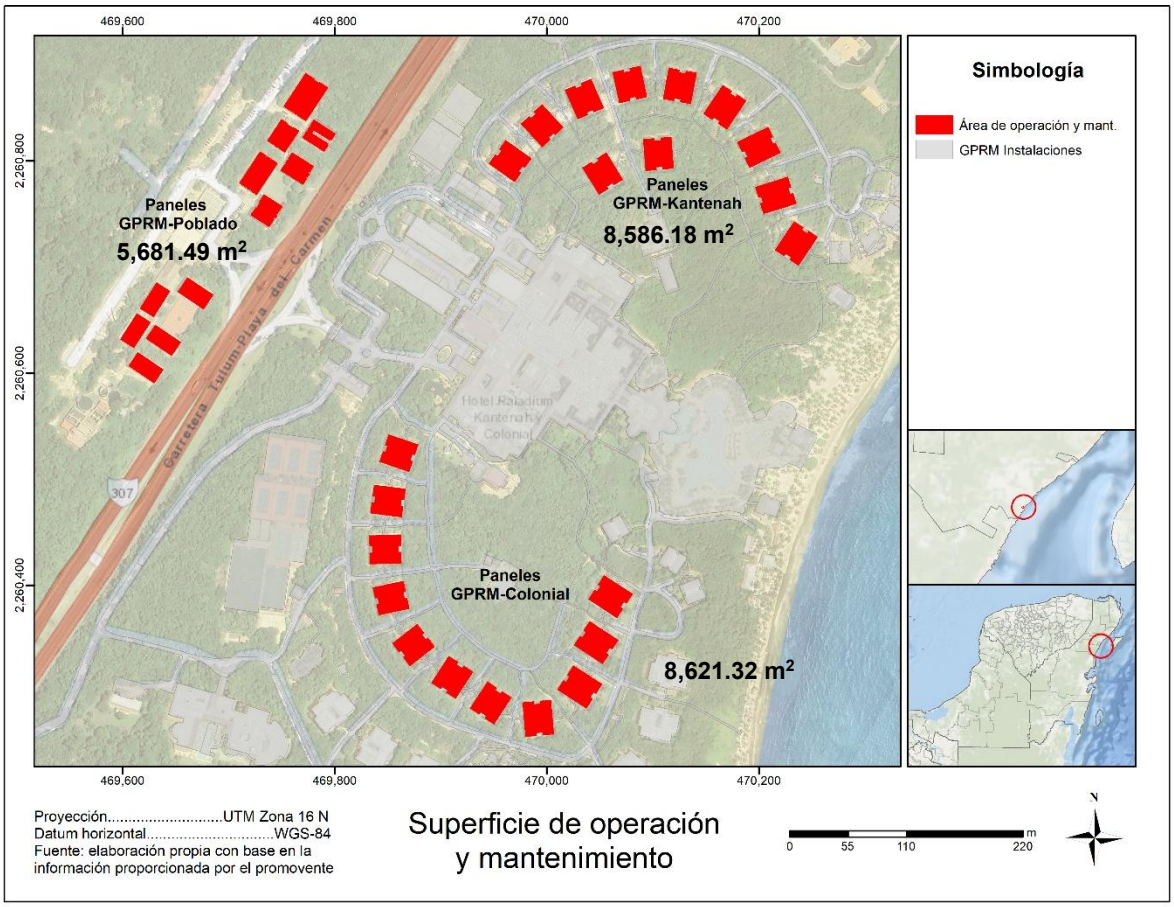
Cabe precisar que dicha superficie incluye el área ocupada directamente por los paneles solares y además considera la cubierta de los edificios donde se ejecutarán maniobras de instalación y la amplitud que conllevarían las acciones de mantenimiento tal como se muestra en la Figura 1-5 y Tabla 1-3. Estas zonas comprenden una superficie total de 22,888.99 m^2.

Con el fin de mostrar cómo se integran cada una de las zonas descritas con el entorno presente en el complejo GPRM en la Figura 1-6 se presentan de forma conjunta.

Tabla 1-3. Superficie de operación y mantenimiento

Grupo de Cubierta	Superficie neta (m^2)
GPRM-Kantenah	8,586.18
GPRM-Colonial	8,621.32
GPRM-Poblado	5,681.49
TOTAL	22,888.99

Figura 1-5. Superficie de operación y mantenimiento



Fuente: Elaboración propia con base en información proporcionada por el promovente.

1.4.2.5 Uso actual del suelo y/o cuerpos de agua

El uso de suelo actual donde se pretende establecer EL PROYECTO es turístico hotelero, y actualmente se encuentra en operación el complejo GPRM, razón por la cual se pretende instalar el sistema fotovoltaico propuesto por EL PROYECTO en la cubierta superior de los edificios que forman parte de este.

1.4.2.6 Urbanización del área

Tal como ha sido señalado, EL PROYECTO no abre un nuevo frente de urbanización, por el contrario, se superpone a infraestructura ya existente, específicamente cubiertas de edificios. Las cubiertas forman parte de un complejo GPRM con operación permanente, servicios, circulación interna y ocupación humana constante. Por tanto, el entorno es altamente modificado y con vocación turística consolidada. En este contexto, se considera que EL PROYECTO cuenta con acceso a los servicios básicos y de apoyo preexistentes del complejo turístico, los cuales actualmente permiten la operación integral del resort y, por extensión, hacen viable la instalación, operación y mantenimiento del sistema fotovoltaico.

Vías de acceso

El acceso al área del PROYECTO se realiza a través de la infraestructura vial existente del complejo GPRM, incluyendo accesos vehiculares y circulaciones internas que actualmente dan servicio a los edificios donde se ubicarán las cubiertas intervenidas. La etapa de construcción se desarrollará dentro del hotel y contempla medidas de gestión para garantizar el libre y seguro tránsito de peatones y el establecimiento de espacios seguros para peatones y vehículos no motorizados, así como la colocación de señalización preventiva.

En consecuencia, no se requerirá la apertura de nuevos caminos ni la construcción de accesos adicionales, siendo responsabilidad del promovente utilizar y administrar temporalmente la infraestructura interna existente del resort durante la ejecución de la obra.

Energía eléctrica

La disponibilidad de energía eléctrica en el sitio es inherente a la propia operación del complejo GPRM, ya que el sistema fotovoltaico está diseñado para consumir internamente en el complejo la energía generada y se integra mediante infraestructura y tendidos eléctricos en cubiertas, conexión de inversores y nueva red de puesta a tierra. Por tanto, no se requiere construir infraestructura externa nueva de suministro eléctrico; EL PROYECTO aprovechará la red interna existente del hotel, mientras que las adecuaciones electromecánicas específicas para interconectar el sistema fotovoltaico serán responsabilidad del promovente y/o de sus contratistas especializados.

Agua potable y drenaje sanitario

Al tratarse de un proyecto que será instalado en un complejo hotelero que se encuentra en operaciones se tiene garantizado el suministro de agua potable y la presencia de una red de drenaje sanitario. Cabe señalar que debido a la naturaleza del PROYECTO la demanda de estos servicios no será constante, ya que no forma parte de las necesidades operativas del PROYECTO.

Telecomunicaciones

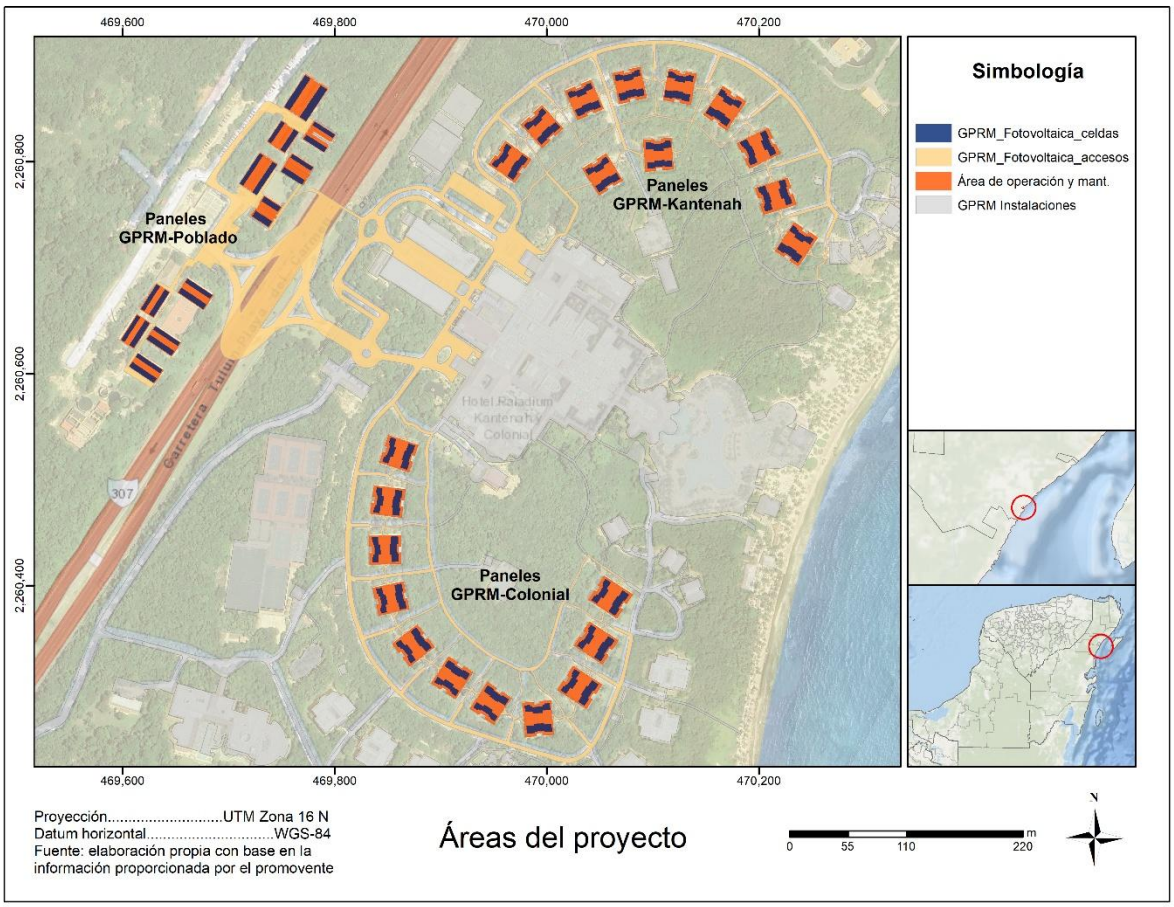
EL PROYECTO incluirá un sistema de monitoreo a través del cual los paneles e inversores se enlazan mediante cable de datos hacia un controlador, permitiendo su operación remota, de tal forma que las líneas de comunicación representan un servicio básico necesario para la operación. Por lo tanto, EL PROYECTO hará uso de la infraestructura de telecomunicaciones y comunicaciones internas existente en el complejo para fines de monitoreo, control, comunicación operativa y atención de incidencias. No se advierte la

necesidad de construir una red telefónica externa nueva; en todo caso, la adecuación de enlaces de datos y monitoreo específicos del sistema fotovoltaico corresponderá al promovente, mientras que la operación de la infraestructura base del complejo corresponderá al hotel o a un tercero prestador del servicio.

No obstante, fuera del complejo no se presenta un tejido urbano compacto ni asentamientos humanos inmediatos; por el contrario, el contexto territorial corresponde a un corredor turístico costero con desarrollos dispersos y amplios espacios abiertos. En este sentido, el área del PROYECTO se puede definir como un entorno de urbanización turística consolidada en su interior, pero sin continuidad urbana residencial inmediata en su periferia.

De acuerdo con el Catálogo Único de Claves de Áreas Geoestadísticas Estatales, Municipales y Localidades (INEGI, 2025), no existe presencia de localidades en casi dos kilómetros a la redonda.

Figura 1-6. Áreas del proyecto



Fuente: Elaboración propia con base en información proporcionada por el promovente.

1.4.3 Características particulares del proyecto

1.4.3.1 Programa general de trabajo

Se plantea un periodo de instalación de 4 meses con 38 trabajadores, operación de 25 años con mantenimiento anual y monitoreo remoto, y un desmantelamiento de 30 a 60 días hábiles con uso de grúa para bajar equipos desde cubiertas de los edificios.

1.4.3.2 Preparación del sitio

EL PROYECTO será instalado en las cubiertas de 33 edificaciones del complejo GPRM, por lo cual no se llevarán a cabo acciones de preparación de sitio invasivas o altamente modificadoras. La distribución e instalación del sistema fotovoltaico, en particular de los paneles, se realizará sobre las cubiertas de edificios existentes del hotel, razón por la cual no se prevé la ejecución de obras civiles asociadas adicionales, tales como despalme, cimentaciones profundas, apertura de caminos, rellenos o conformación de plataformas nuevas. En esta etapa, las actividades comprenden principalmente acciones de limpieza, delimitación, retiro de obstáculos menores y acondicionamiento de áreas de trabajo.

1.4.3.3 Obras y actividades provisionales

Dada la naturaleza del PROYECTO, no se requieren obras provisionales, ya que el complejo hotelero GPRM cuenta con la infraestructura necesaria para la instalación de los equipos, incluida un área de almacenamiento. Para el almacenamiento temporal de materiales y equipo se utilizará un edificio tipo bodega existente, el cual actualmente ya funciona como almacén. Para efectos del PROYECTO tendrá como función el acopio y resguardo temporal de paneles fotovoltaicos, estructuras de soporte, inversores, cableado, protecciones eléctricas, herrajes y demás accesorios requeridos para la instalación del sistema. Por su naturaleza, esta área será utilizada por EL PROYECTO únicamente durante la etapa de instalación y dejará de utilizarse una vez concluido el montaje.

1.4.3.4 Etapa de instalación

La etapa de instalación del PROYECTO comprende la ejecución de las obras permanentes y asociadas necesarias para el montaje, interconexión y puesta en operación del sistema fotovoltaico en las cubiertas de edificios existentes del complejo GPRM.

La instalación se desarrollará exclusivamente dentro del complejo GPRM, específicamente en las cubiertas de los edificios definidos para EL PROYECTO. En este sentido, la intervención se limita a una adecuación electromecánica sobre infraestructura previamente construida.

La etapa de instalación tendrá una duración aproximada de cuatro meses y se ejecutará con un equipo de 38 personas especializadas. Durante esta fase se realizará el montaje de la estructura soporte, la instalación de la infraestructura y tendidos eléctricos requeridos para lograr la conexión del sistema, así como el montaje y conexión de inversores, concluyendo una vez que el sistema quede en funcionamiento.

Secuencia de instalación

Desde el punto de vista constructivo, la secuencia general de instalación puede describirse de la siguiente manera (representada de forma visual en la Figura 1-7):

Primero, se realizará la recepción, resguardo y distribución interna de materiales y equipos dentro del complejo GPRM. Esta actividad incluye el almacenamiento temporal de módulos, estructuras, inversores, protecciones, conductores y accesorios, así como su traslado hacia cada frente de trabajo en cubiertas.

Posteriormente, se llevará a cabo la disposición del sistema en cubiertas, considerando la distribución propuesta de paneles en varios edificios del complejo. La instalación será distribuida en tres grupos de cubiertas: GPRM-Kantenah con 1,188 módulos, GPRM-Colonial con 1,188 módulos y GPRM-Poblado con 972 módulos.

Enseguida se efectuará el montaje de la estructura de soporte. Los módulos serán colocados sobre soportes de aluminio, con una inclinación de 10° y una disposición este-oeste, con el fin de optimizar la distribución horaria de la producción, reducir sombras entre paneles y disminuir el peso en lastres, lo cual es particularmente relevante en una zona con alta exposición a viento como el Caribe. La instalación se resolverá mediante un sistema ligero para cubiertas, con un criterio de diseño orientado a desempeño aerodinámico.

Una vez colocada la estructura, se procederá a la instalación de los módulos fotovoltaicos, su fijación mecánica al sistema soporte tipo anclaje y su agrupación en cadenas eléctricas. Esta actividad implica maniobras manuales en cubiertas, posicionamiento de paneles, sujeción, conexión entre módulos y verificación de continuidad del arreglo fotovoltaico.

De forma paralela o subsecuente, se ejecutarán las obras eléctricas de interconexión, que constituyen la parte más representativa de la instalación. Estas incluyen tendidos de conductores en corriente continua desde los arreglos fotovoltaicos hacia los inversores, instalación de conductores de corriente alterna aguas abajo de los inversores, colocación de protecciones, tableros, centros de carga y enlaces hacia la red interior del complejo.

También forma parte de la instalación el montaje y conexión de inversores, que básicamente constituyen equipos encargados de convertir la corriente continua en corriente alterna para su consumo en el hotel, mientras que los diagramas unifilares (Anexo 1.10) evidencian que su disposición es descentralizada por subsistema o edificio. En consecuencia, la obra de instalación incluye no solo la fijación de estos equipos, sino también su conexión eléctrica, comunicación y pruebas de funcionamiento.

Asimismo, se instalará el sistema de monitoreo y comunicación, mediante el cual los paneles fotovoltaicos y los inversores se enlazan con un controlador para permitir la operación remota del sistema. Esta actividad supone la colocación de cableado de datos y equipos de supervisión, y representa una obra complementaria indispensable para la operación del PROYECTO.

Figura 1-7. Actividades principales de la etapa de instalación



Fuente: Elaboración asistida por IA con base en EL PROYECTO ejecutivo proporcionado por el promovente.

Otro componente permanente de la instalación es la nueva red de toma de tierra, prevista para conectar la estructura y los demás elementos metálicos del sistema, incrementando la seguridad eléctrica de la instalación.

En cuanto a las obras para generación, distribución o transformación de energía eléctrica que conforman EL PROYECTO, la documentación permite identificar como obras permanentes:

a) los arreglos fotovoltaicos en cubiertas;
b) las estructuras soporte;
c) los inversores;
d) la red de conductores en corriente continua y corriente alterna;
e) las protecciones eléctricas;
f) los tableros y centros de carga;
g) el sistema de monitoreo; y
h) la red de tierras físicas

1.4.3.5 Etapa de operación y mantenimiento

La etapa de operación y mantenimiento del PROYECTO corresponde al periodo durante el cual el sistema fotovoltaico instalado en las cubiertas de los edificios del complejo GPRM generará energía eléctrica para autoconsumo, mediante la conversión de corriente continua a corriente alterna y su aprovechamiento en la red interna del resort. Los módulos fotovoltaicos estarán en operación durante 25 años y el sistema contará tanto con monitoreo en sitio como con monitoreo remoto.

Durante esta etapa, la infraestructura permanente en operación estará integrada principalmente por 3,348 módulos fotovoltaicos de 540 W, inversores, soportes, cableado, controlador de monitoreo, protecciones en corriente continua y corriente alterna, así como una nueva red de toma de tierra para conectar la estructura y los demás elementos metálicos del sistema.

La operación del sistema inicia, una vez obtenido el permiso de interconexión. A partir de ese momento, la planta funcionará de manera automatizada, con supervisión operativa basada en el sistema de monitorización. Los paneles fotovoltaicos y los inversores se enlazan mediante un cable de datos hacia un controlador, lo que permite realizar la operación de manera remota. Adicionalmente, se contempla el uso de un sistema de monitoreo tipo Huawei Smart Logger, compatible con interfaces de comunicación WAN, LAN y RS485, para llevar a cabo el control y seguimiento de la instalación mediante una plataforma electrónica de supervisión.

Desde la perspectiva funcional, la etapa de operación comprende:

a) la captación de radiación solar por los módulos
b) la generación de corriente continua
c) su transformación a corriente alterna a través de los inversores
d) el paso por protecciones eléctricas y tableros; y
e) la inyección de la energía generada a la red interior del hotel

Los diagramas unifilares muestran, además, que el sistema dispone de protección magnetotérmica, protección contra sobretensiones de tipo II en corriente continua y alterna, puntos de conexión a tierra y puntos de conexión a la red interior de la planta fotovoltaica. Indicando que la etapa operativa incluye también la vigilancia continua del desempeño eléctrico y de las condiciones de seguridad del sistema.

En materia de mantenimiento, durante los años de operación se realizará mantenimiento preventivo anual, consistente en la revisión del estado de todas las conexiones eléctricas y mecánicas, así como en la limpieza de los módulos fotovoltaicos.

En términos ambientales, esta actividad implica intervenciones periódicas de baja intensidad sobre las cubiertas, mediante inspección visual, pruebas de funcionamiento, ajuste o reposición menor de conexiones, revisión de soportes y limpieza superficial de los paneles.

Las actividades de operación y mantenimiento se ejecutarán conforme a programas preventivos, protocolos de seguridad eléctrica, trabajo en altura, y manejo adecuado de residuos de mantenimiento, incluyendo en su caso el retiro y disposición autorizada de cables, conectores, fusibles, protecciones o módulos dañados. Asimismo, se garantizará que las labores de inspección y limpieza no interfieran con la operación ordinaria del resort ni con la seguridad de huéspedes y personal.

1.4.3.6 Obras asociadas al proyecto

De acuerdo con la naturaleza y características del PROYECTO, no se prevé la ejecución de obras asociadas convencionales tales como apertura de caminos, construcción de plataformas, campamentos, talleres, patios de maquinaria, edificaciones auxiliares

permanentes o estructuras semipermanentes independientes. Ello se debe a que EL PROYECTO no implica la habilitación de un nuevo predio ni la transformación física de áreas naturales o de suelo libre, sino la incorporación de infraestructura electromecánica sobre una base constructiva ya consolidada.

En este sentido, las actividades del PROYECTO se limitan esencialmente al montaje de estructuras de soporte, instalación de módulos fotovoltaicos, tendidos eléctricos, conexión de inversores, implementación del sistema de monitoreo y adecuación de la red de tierras físicas, todo ello dentro de las áreas previamente intervenidas del propio resort. Por lo anterior, no se identifican obras asociadas adicionales de carácter permanente fuera de las estrictamente necesarias para la operación del sistema fotovoltaico.

1.4.3.7 Etapa de abandono

La etapa de abandono, también definida como desmantelamiento, tendrá lugar una vez concluida la vida útil de los módulos fotovoltaicos, prevista en EL PROYECTO para el final de su periodo de operación. Esta etapa tendrá una duración aproximada de 30 a 60 días hábiles, con la participación de al menos 25 personas.

La etapa de abandono consistirá en el retiro ordenado de la infraestructura electromecánica instalada en las cubiertas, incluyendo módulos fotovoltaicos, estructura soporte, inversores, conductores, protecciones, controlador y demás accesorios asociados al sistema. Para el retiro de los módulos, se utilizará una grúa para bajar los equipos de las cubiertas, lo que confirma que la fase de desmantelamiento implicará maniobras de descenso controlado de componentes desde las cubiertas hacia áreas de acopio o carga temporal

Desde el punto de vista operativo, la etapa de abandono puede entenderse como la secuencia inversa a la instalación. En términos generales, las acciones listadas a continuación (pueden verse representadas de forma esquemática en la Figura 1-8):

a) desenergización y aislamiento eléctrico del sistema;
b) desconexión de cadenas fotovoltaicas, inversores y tableros;
c) desmontaje de módulos;
d) retiro de estructuras de soporte;
e) retiro de cableado, protecciones, controlador y elementos auxiliares;
f) descenso de equipos mediante maniobras de levantamiento o grúa;
g) acopio temporal; y
h) traslado para disposición, reciclaje o aprovechamiento conforme al tipo de material.

Debido a lo anterior, esta etapa se considera una actividad temporal y acotada, desarrollada sobre infraestructura previamente intervenida, sin implicar excavaciones, demoliciones mayores ni modificación del terreno natural. Dado que el sistema se localiza en las cubiertas de edificios existentes, el abandono no supone restitución de suelo o cobertura vegetal, sino básicamente la remoción de equipamiento superficial y la liberación de las cubiertas ocupadas por el sistema fotovoltaico.

El abandono contempla la limpieza final de las áreas intervenidas, el retiro de elementos temporales asociados a la maniobra, la verificación de que no queden conductores energizados o accesorios sueltos, y la restitución de las condiciones operativas de las cubiertas para su uso posterior.

Dado que EL PROYECTO no prevé obras civiles adicionales permanentes sobre el terreno, la etapa de abandono no implica restauración ecológica del sitio en sentido convencional, sino más bien la remoción segura de infraestructura tecnológica instalada sobre edificios existentes.

Figura 1-8. Actividades principales de la etapa de abandono para EL PROYECTO.



Fuente: Elaboración asistida por IA con base en el proyecto ejecutivo proporcionado por el promovente.

1.4.3.8 Generación, manejo y disposición de residuos sólidos, líquidos y emisiones a la atmósfera

Con base en las actividades previstas para la preparación del sitio, instalación, operación y mantenimiento, así como eventual abandono del sistema fotovoltaico, se identifica que los residuos potenciales del PROYECTO corresponden principalmente a cuatro grandes grupos: residuos sólidos urbanos, residuos de manejo especial, residuos de construcción de generación menor y residuos peligrosos, estos últimos en volúmenes previsiblemente bajos y asociados principalmente al uso de insumos químicos, materiales impregnados y sustitución de ciertos componentes.

En términos generales, los residuos asimilables a los generados de manera cotidiana en el complejo GPRM, como residuos sólidos urbanos, cartón, ciertos plásticos, vidrio, latas o desechos ordinarios del personal, presentan una alta compatibilidad con el esquema de manejo ya implementado por el hotel, siempre que se mantenga la separación en la fuente y la disposición conforme a los procedimientos internos autorizados.

Asimismo, los residuos derivados específicamente de la instalación y desmantelamiento del sistema fotovoltaico, tales como retazos de cableado, tuberías, soportes metálicos, componentes eléctricos, paneles dañados o fuera de servicio, residuos electrónicos y residuos contaminados con aceites, solventes, selladores o grasas, requieren un manejo más específico. No obstante, es necesario precisar que el complejo GPRM cuenta con un

Sistema de Gestión Ambiental (SGA) activo y periódicamente auditable que a su vez posee un Programa de Integral de Manejo de Residuos. Por ello, su compatibilidad con el plan de manejo del hotel es alta, pues dicho instrumento ya contempla flujos equivalentes, áreas de almacenamiento temporal, bitácoras, proveedores autorizados y procedimientos diferenciados. En la Tabla 1-4 se presenta el listado de residuos potencialmente generados por EL PROYECTO en cada una de las etapas y con su clasificación general.

Tabla 1-4. Residuos potencialmente generados en cada una de las etapas del proyecto.

ACTIVIDAD ESPECÍFICA	RESIDUO POTENCIAL	CLASIFICACIÓN GENERAL
ETAPA DE PREPARACIÓN		
Delimitación, limpieza inicial y organización del frente de trabajo	Restos de alimentos, envases plásticos, latas, papel, cartón, residuos sanitarios	RSU
Recepción de materiales y herramientas	Cartón, película plástica, flejes, tarimas de madera	Manejo especial / reciclables
Adecuaciones puntuales, perforaciones menores o retiro de elementos existentes	Fragmentos de concreto, polvo, recortes de material, restos de sellador	Residuos de construcción / manejo especial
Uso y mantenimiento menor de herramientas	Estopas, guantes, envases contaminados con grasas, aceites o selladores	Peligrosos, cuando estén contaminados
ETAPA DE INSTALACIÓN		
Desembalaje de módulos, inversores y accesorios	Cajas de cartón, plásticos protectores, espumas, separadores, flejes, tarimas	Manejo especial / reciclables
Montaje de estructuras	Retazos metálicos, tornillería sobrante, piezas de aluminio o acero	Manejo especial / reciclables
Canalización y tendido eléctrico	Retazos de cable, aislamiento, conectores, canaletas, tubería conductiva	Manejo especial
Perforaciones, fijaciones y anclajes	Polvo, fragmentos de concreto, mortero, discos de corte gastados	Residuos de construcción / manejo especial
Aplicación de selladores, pinturas o impermeabilizantes	Envases vacíos contaminados, brochas, trapos, sobrantes de producto	Peligrosos o manejo especial, según ficha de seguridad.
Maniobras de colocación de módulos	Paneles fotovoltaicos dañados por ruptura o defecto	Manejo especial sujeto a manejo diferenciado
Trabajo cotidiano del personal	Residuos alimenticios, envases, desechables, sanitarios	RSU
ETAPA DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO		
Inspecciones periódicas	Envases, papel, residuos menores del personal técnico	RSU

ACTIVIDAD ESPECÍFICA	RESIDUO POTENCIAL	CLASIFICACIÓN GENERAL
Limpieza rutinaria de paneles	Envases de insumos, paños, cepillos desgastados, sedimentos retirados	RSU / manejo especial
Sustitución de refacciones menores	Cajas, empaques, conectores, fusibles, cableado, tornillería	Manejo especial
Sustitución de componentes eléctricos/electrónicos	Tarjetas, sensores, interruptores, partes de inversores	Manejo especial / electrónicos
Uso de grasas, aceites o limpiadores especializados	Trapos, absorbentes, guantes y envases contaminados	Peligrosos
Reemplazo de módulos dañados o fuera de servicio	Paneles fotovoltaicos fuera de operación	Manejo especial sujeto a manejo diferenciado
ETAPA DE ABANDONO		
Desmontaje de módulos	Paneles fotovoltaicos retirados	Manejo especial sujeto a manejo diferenciado
Desmontaje de estructuras	Perfiles, bases, soportes, tornillería, anclajes	Manejo especial / reciclables
Retiro de cableado y canalizaciones	Cables, canaletas, tuberías, cajas de conexión	Manejo especial
Retiro de equipos eléctricos y de monitoreo	Inversores, tableros, protecciones, sensores, tarjetas	Manejo especial / electrónicos
Retiro de anclajes y rehabilitación del área	Escombro, concreto, restos de sellador, impermeabilizante, polvo	Construcción y demolición
Limpieza final	Empaques, plásticos, maderas, residuos diversos	RSU y manejo especial
Limpieza técnica o desmontaje con insumos químicos	Envases contaminados, trapos, absorbentes, guantes impregnados	Peligrosos

Fuente: Elaboración propia con base en el análisis de obras, actividades y equipos contemplados en EL PROYECTO.

1.4.3.9 Infraestructura para el manejo y disposición de residuos

El complejo GPRM, al derivar de un proyecto con autorización, cuenta con la infraestructura suficiente para el adecuado manejo y disposición de residuos sólidos. Incluso cuenta con almacén temporal de residuos peligrosos. Cabe mencionar que tanto la disposición de residuos, así como otras acciones y actividades vinculadas al desempeño ambiental del complejo se encuentran auditadas en un Sistema de Manejo y Gestión Ambiental (SMGA).

1.5 Resumen de las características relevantes del proyecto según la guía de SEMARNAT para el sector de energía

TÓPICO	ESPECIFICACIÓN DEL PROYECTO
Capacidad de generación	540 W potencia unitaria 1,304 potencia nominal total 1,807.92 kW potencia pico
Cantidad y características de los paneles fotovoltaicos	3,348 módulos fotovoltaicos de 540 Wp o equivalente Tier 1 instalados sobre estructuras de soporte de aluminio distribuidos en tres grupos de cubiertas de edificaciones preexistentes del complejo ya construido GPRM
Cantidad y características de los centros de transformación	Sin transformadores
Cantidad y características de los inversores	34 inversores para conversión de corriente continua a corriente alterna modelo Huawei SUN2000-33/36/40KTL-M3
Características del sistema de almacenamiento de baterías en caso de requerirse	Sin sistema de almacenamiento de baterías
Longitud y características técnicas de la red de media y/o baja tensión y/o sistema de tierras	Se usará la red de distribución de energía del complejo ya construido GPRM.



CAPÍTULO 2

Vinculación con los instrumentos de planeación

CONTENIDO

2. VINCULACIÓN CON LOS ORDENAMIENTOS JURÍDICOS APLICABLES EN MATERIA AMBIENTAL Y, EN SU CASO, CON LA REGULACIÓN SOBRE USO DE SUELO. 5

2.1 ORDENAMIENTOS JURÍDICOS FEDERALES 5
2.1.1 Ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente (LGEEPA) 5
2.1.2 Reglamento de la ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente 6
2.1.3 Ley general para la prevención y gestión integral de residuos 7
2.1.4 Ley para la Prevención, Gestión Integral y Economía Circular de los Residuos del Estado de Quintana Roo 10
2.2 PROGRAMAS DE ORDENAMIENTO ECOLÓGICO DEL TERRITORIO (POET) 13
2.2.1 Programa de Ordenamiento Ecológico Marino y Regional del Golfo de México y Mar Caribe 13
2.2.2 Programa de Ordenamiento Ecológico Local del Municipio de Solidaridad 42
2.3 DECRETOS Y PROGRAMAS DE CONSERVACIÓN Y MANEJO DE LAS ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS 71
2.3.1 Áreas Naturales Protegidas 71
2.3.2 Regiones prioritarias 73
2.4 NORMAS OFICIALES MEXICANAS 77
2.4.1 Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 77

Índice de figuras

Figura 2-1. Unidades de gestión ambiental del Programa de Ordenamiento Ecológico Marino del Golfo de México y Mar Caribe. 14
Figura 2-2. Ficha técnica UGA 139 del Programa de Ordenamiento Ecológico Marino del Golfo de México y Mar Caribe 24
Figura 2-3. POEL del Municipio de Solidaridad. 42
Figura 2-4. ANP Reserva de la Biósfera Caribe Mexicano. 72
Figura 2-5. RHP 105 Corredor Cancún - Tulum 75
Figura 2-6. RMP 64 Tulum-Xpuha 77

Índice de tablas

Tabla 2-1. Acciones generales del Programa de Ordenamiento Ecológico Marino del Golfo de México y Mar Caribe. 15
Tabla 2-2. Acciones generales del Programa de Ordenamiento Ecológico Marino del Golfo de México y Mar Caribe aplicables a la UGA 135. 25
Tabla 2-3. Lineamientos generales UGA 8 POEL Solidaridad 43
Tabla 2-4. Lineamientos generales UGA 15 POEL Solidaridad 43
Tabla 2-5. Vinculación con Criterios Generales del POEL Solidaridad. 44
Tabla 2-6. Criterios de regulación ecológica aplicables a las áreas urbanas (UGA 08). 52
Tabla 2-7. Criterios de regulación ecológica de carácter específico (UGA 15) 58
Tabla 2-8. Parámetros de cumplimiento de descargas 73

2. VINCULACIÓN CON LOS ORDENAMIENTOS JURÍDICOS APLICABLES EN MATERIA AMBIENTAL Y, EN SU CASO, CON LA REGULACIÓN SOBRE USO DE SUELO.

2.1 Ordenamientos jurídicos federales

2.1.1 Ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente (LGEEPA)

EL PROYECTO, al tratarse de una instalación de paneles fotovoltaicos en un complejo GPRM existente es una obra que, por sus características, ubicación y contexto ambiental, debe analizarse conforme a lo dispuesto por la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), particularmente en materia de evaluación del impacto ambiental. Para tal efecto, debe atenderse a lo establecido en el Artículo 28 de la LGEEPA, que a la letra señala:

> *"ARTÍCULO 28.- La evaluación del impacto ambiental es el procedimiento a través del cual la Secretaría establece las condiciones a que se sujetará la realización de obras y actividades que puedan causar desequilibrio ecológico o rebasar los límites y condiciones establecidos en las disposiciones aplicables para proteger el ambiente y preservar y restaurar los ecosistemas, a fin de evitar o reducir al mínimo sus efectos negativos sobre el medio ambiente. Para ello, en los casos en que determine el Reglamento que al efecto se expida, quienes pretendan llevar a cabo alguna de las siguientes obras o actividades, requerirán previamente la autorización en materia de impacto ambiental de la Secretaría: (…)*
>
> *II. Industria del petróleo, petroquímica, química, siderúrgica, papelera, azucarera, del cemento y* ***eléctrica*** *(…)*
>
> *X. Obras y actividades en humedales, ecosistemas costeros, lagunas, ríos, lagos y esteros conectados con el mar, así como en sus litorales o zonas federales. En el caso de actividades pesqueras (…)*

En razón de lo anterior, la obra propuesta deberá sujetarse al proceso de evaluación ambiental y por consiguiente presentar ante la SEMARNAT una Manifestación de Impacto Ambiental que deberá contener a) la descripción de los posibles efectos en el o los ecosistemas que pudieran ser afectado por la obra o actividad de que se trate, y b) las medidas preventivas, de mitigación y las que sean necesarias para evitar y reducir al mínimo los efectos negativos sobre el ambiente; según lo establece el artículo 30 de la LGEEPA.

Aunado a lo anterior, el artículo 35 de la LGEEPA establece que, una vez presentada la manifestación de impacto ambiental, la Secretaría deberá sujetar su resolución a lo que establezcan la propia Ley, sus reglamentos, las normas oficiales mexicanas aplicables, los programas de desarrollo urbano, los ordenamientos ecológicos del territorio, las declaratorias y programas de manejo de áreas naturales protegidas y las demás disposiciones jurídicas aplicables. Por tanto, la viabilidad ambiental del PROYECTO no depende únicamente de que éste incorpore medidas de prevención y mitigación, sino también de que acredite su congruencia con el marco de ordenamiento ecológico y territorial vigente, así como con cualquier instrumento de protección especial que resulte aplicable al sitio o a su área de influencia.

2.1.2 Reglamento de la ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente

El reglamento de la LGEEPA en materia de impacto ambiental establece las especificaciones a las cuales se sujeta el proceso de evaluación de impacto ambiental, y como tal, en su Artículo 5° se enlistan las obras que requerirán previamente la autorización de la secretaría, siendo los incisos A), S) y los que aplican al PROYECTO: (…)

Artículo 5-. Quienes pretendan llevar a cabo alguno de las siguientes obras o actividades, requerirán previamente la autorización de la Secretaría en materia de impacto ambiental:

K). Industria eléctrica: (…)

I. Construcción de plantas nucleoeléctricas, hidroeléctricas, carboeléctricas, geotermoeléctricas, eoloeléctricas o termoeléctricas, convencionales, de ciclo combinado o de unidad turbogás, con excepción de las plantas de generación con una capacidad menor o igual a medio MW, utilizadas para respaldo en residencias, oficinas y unidades habitacionales;

II. Construcción de estaciones o subestaciones eléctricas de potencia o distribución;

III. Obras de transmisión y subtransmisión eléctrica, y

IV. ***Plantas de cogeneración y autoabastecimiento de energía eléctrica mayores a 3 MW****.*

Las obras a que se refieren las fracciones II a III anteriores no requerirán autorización en materia de impacto ambiental cuando pretendan ubicarse en áreas urbanas, suburbanas, de equipamiento urbano o de servicios, rurales, agropecuarias, industriales o turísticas.

En consecuencia, al consistir en la instalación de infraestructura para la generación de energía eléctrica mediante un sistema fotovoltaico de autoabasto, EL PROYECTO se inscribe dentro de los supuestos regulatorios previstos para la industria eléctrica en el Reglamento de la LGEEPA en materia de Evaluación del Impacto Ambiental. Bajo esta premisa, y atendiendo además al contexto territorial y ambiental en el que se pretende desarrollar, resulta jurídicamente procedente y ambientalmente necesario que la obra sea sometida de manera previa al procedimiento de evaluación del impacto ambiental ante la SEMARNAT, a efecto de que dicha autoridad valore integralmente sus características, determine la viabilidad de su ejecución y, en su caso, establezca las condicionantes y medidas de manejo ambiental que correspondan conforme a la legislación aplicable.

Adicionalmente, de acuerdo con el Artículo 10 del reglamento, el estudio en materia de impacto ambiental puede ser presentado en dos modalidades; regional o particular, siendo el Artículo 11 del mismo reglamento el establece los criterios para determinar la modalidad de un estudio, en el que se enlistan las siguientes actividades:

“Artículo 11.- Las manifestaciones de impacto ambiental se presentarán en la modalidad regional cuando se trate de:

I. Parques industriales y acuícolas, granjas acuícolas de más de 500 hectáreas, carreteras y vías férreas, proyectos de generación de energía nuclear, presas y, en general, proyectos que alteren las cuencas hidrológicas;

II. Un conjunto de obras o actividades que se encuentren incluidas en un plan o programa parcial de desarrollo urbano o de ordenamiento ecológico que sea sometido a consideración de la Secretaría en los términos previstos por el artículo 22 de este reglamento;

III. Un conjunto de proyectos de obras y actividades que pretendan realizarse en una región ecológica determinada, y

IV. proyectos que pretendan desarrollarse en sitios en los que, por su interacción con los diferentes componentes ambientales regionales, se prevean impactos acumulativos, sinérgicos o residuales que pudieran ocasionar la destrucción, el aislamiento o la fragmentación de los ecosistemas.

En los demás casos, la manifestación deberá presentarse en la modalidad particular."

2.1.3 Ley general para la prevención y gestión integral de residuos

EL PROYECTO, al consistir en la instalación de un sistema fotovoltaico sobre infraestructura hotelera existente, generará residuos en distintas etapas, principalmente residuos sólidos urbanos, residuos de manejo especial y, en ciertos casos, residuos peligrosos, por lo que su desarrollo debe sujetarse a las disposiciones aplicables de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos.

La vinculación jurídica del PROYECTO con esta Ley deriva del hecho de que durante la instalación, operación, mantenimiento y abandono se producirán materiales de desecho cuya clasificación y manejo deben ajustarse al marco normativo vigente.

Artículo 19. Residuos de manejo especial. La LGPGIR establece que son residuos de manejo especial, entre otros, los residuos de la construcción, mantenimiento y demolición en general, así como los residuos tecnológicos que por sus características requieran un manejo específico.

Este artículo resulta directamente aplicable porque, durante la etapa de instalación del sistema fotovoltaico, podrán generarse residuos asociados a trabajos de montaje, adecuaciones menores, sustitución de elementos de fijación, empaques, sobrantes de materiales, cableado, charolas, canalizaciones y residuos menores de obra. De igual manera, durante el mantenimiento o abandono podrían generarse componentes tecnológicos en desuso, tales como inversores, cableado, conectores, equipos electrónicos de control, luminarias o ciertos accesorios eléctricos, cuyo manejo no debe asimilarse automáticamente a residuos sólidos urbanos. En consecuencia, EL PROYECTO deberá identificar, separar y canalizar estos residuos conforme a su naturaleza y a la regulación estatal o municipal aplicable a los residuos de manejo especial.

Artículo 27. Finalidad de los planes de manejo. La Ley dispone que los planes de manejo tienen por objeto promover la prevención y valorización de los residuos, establecer modalidades de manejo acordes con sus características, aplicar esquemas de responsabilidad compartida y evitar derrames, infiltraciones, descargas o vertidos accidentales de materiales o residuos peligrosos.

Aunque no todo residuo generado por la instalación fotovoltaica exige por sí mismo un plan de manejo federal, sí obliga a estructurar un esquema de manejo que priorice: separación en sitio, prevención de mezclas, almacenamiento temporal adecuado, valorización de

materiales recuperables y control de residuos con potencial de riesgo. Esto es particularmente relevante para residuos como aceites, solventes, trapos impregnados, envases contaminados, lámparas, baterías o componentes electrónicos que pudieran generarse durante mantenimiento o sustitución de equipos.

Artículo 28. Supuestos obligatorios de planes de manejo. La LGPGIR señala quiénes están obligados a formular y ejecutar planes de manejo, incluyendo a productores o distribuidores de productos que al desecharse se convierten en ciertos residuos peligrosos, así como a grandes generadores y a quienes manejen residuos sólidos urbanos o de manejo especial incorporados en listados o normas oficiales correspondientes; también incluye pilas y baterías eléctricas cuando así se determine normativamente.

La sola instalación del sistema fotovoltaico no implica por sí misma que el promovente deba formular un plan de manejo federal; ello dependerá de que:

a) EL PROYECTO alcance la condición de gran generador respecto del tipo de residuo de que se trate; o

b) los residuos generados se encuentren expresamente sujetos a plan de manejo en la norma oficial mexicana o listado correspondiente.

Bajo esta consideración, es pertinente señalar que la posible actualización de obligaciones asociadas al manejo de residuos de manejo especial, incluyendo la eventual formulación de un plan de manejo por única ocasión, se configuraría de manera preponderante en la etapa de abandono, y solo en caso de que se lleve a cabo el retiro total del sistema fotovoltaico. Ello, en virtud de que la remoción conjunta de los paneles fotovoltaicos y de los componentes complementarios podría generar un volumen concentrado de residuos que, por su naturaleza y cantidad, requiera un manejo específico conforme a las disposiciones jurídicas aplicables.

Artículo 31. Residuos peligrosos sujetos a plan de manejo. La Ley enumera residuos peligrosos que están sujetos a plan de manejo, entre ellos aceites lubricantes usados, disolventes orgánicos usados, ciertas baterías, lámparas fluorescentes y de vapor de mercurio, y aditamentos que contengan mercurio, cadmio o plomo, siempre en los términos de la norma oficial correspondiente. Aunque un sistema fotovoltaico en las cubiertas de edificios no necesariamente generará todos esos residuos, sí existe posibilidad razonable de generar algunos de ellos, por ejemplo:

- aceites o lubricantes usados de equipos auxiliares, si existieran;
- disolventes o sustancias de limpieza especializadas;
- lámparas retiradas durante adecuaciones eléctricas;
- accesorios o dispositivos eléctricos con metales pesados.

No obstante, se prevé que la generación de residuos atribuible exclusivamente al PROYECTO no alcance, por sí misma, los volúmenes que pudieran actualizar la necesidad de formular un plan de manejo específico. Asimismo, debe considerarse que la instalación se desarrollará dentro de un complejo GPRM previamente construido y en operación, el cual ya cuenta con un esquema integral de manejo de residuos, dentro del que tienen cabida las sustancias y materiales antes referidos, dado que se trata de residuos que razonablemente pueden generarse también como parte de las actividades ordinarias de operación y mantenimiento del propio hotel.

Artículos 40, 41 y 42. Manejo de residuos peligrosos y responsabilidad del generador. La Ley establece que los residuos peligrosos deben manejarse conforme a la propia LGPGIR, su Reglamento y las disposiciones derivadas; además, señala que los generadores deben manejarlos de forma segura y ambientalmente adecuada. Asimismo, prevé que pueden contratar empresas autorizadas para su manejo, pero que la responsabilidad del manejo y disposición final corresponde originalmente a quien los genera, debiendo además verificar que los prestadores cuenten con autorización vigente.

En atención a lo señalado en el artículo, el promovente deberá asegurar su identificación, segregación, almacenamiento temporal adecuado, entrega a gestor autorizado y trazabilidad documental. Además, aun cuando se contraten terceros para su transporte, tratamiento o disposición final, el promovente conserva responsabilidad sobre su manejo y debe cerciorarse de que dichos terceros cuenten con autorización vigente. Esto es especialmente relevante en un proyecto inserto en un complejo GPRM, donde el manejo inadecuado de residuos peligrosos podría generar riesgos al ambiente, al personal y a los huéspedes.

Artículos 46, 47 y 48. Registro y obligaciones según categoría del generador. La LGPGIR distingue entre grandes generadores, pequeños generadores y microgeneradores de residuos peligrosos. Para los grandes generadores exige registro ante la Secretaría, plan de manejo, bitácora e informe anual; para los pequeños generadores exige registro y bitácora; y para los microgeneradores prevé registro ante autoridades locales competentes y sujeción a planes de manejo cuando corresponda.

De conformidad con la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, EL PROYECTO se encuentra jurídicamente vinculado, en lo conducente, a las disposiciones relativas a la clasificación, prevención, separación, almacenamiento, aprovechamiento, transporte y disposición final de los residuos que se generen durante sus distintas etapas. Dicha vinculación resulta particularmente relevante respecto de los residuos de manejo especial derivados de actividades de instalación, mantenimiento o sustitución de componentes, así como respecto de los residuos peligrosos que eventualmente pudieran generarse, tales como aceites usados, disolventes, envases contaminados, lámparas, baterías o accesorios con metales pesados. En este sentido, EL PROYECTO asegurará que cada residuo sea identificado y manejado conforme a su clasificación legal, verificando además si, por su naturaleza o volumen de generación, actualiza la obligación de registro o de formulación de un plan de manejo, y en su caso entregándolo a prestadores de servicios autorizados, sin que ello extinga la responsabilidad del propio generador sobre su manejo integral.

2.1.4 Ley para la Prevención, Gestión Integral y Economía Circular de los Residuos del Estado de Quintana Roo

EL PROYECTO, al consistir en la instalación de un sistema fotovoltaico sobre infraestructura hotelera previamente construida y en operación dentro del Estado de Quintana Roo, se encuentra vinculado con la Ley para la Prevención, Gestión Integral y Economía Circular de los Residuos del Estado de Quintana Roo, en virtud de que durante sus distintas etapas podrá generar residuos sólidos urbanos, residuos de manejo especial y, en su caso, residuos peligrosos en los términos de la legislación general aplicable. La ley estatal establece disposiciones obligatorias en todo el territorio del estado y tiene por objeto regular la gestión integral de residuos con enfoque de economía circular y ciclo de vida, así como el manejo integral de los residuos sólidos urbanos, biorresiduos, residuos de manejo especial y residuos peligrosos de competencia local.

En sus Artículos 1 y 2 la Ley dispone, en esencia, que sus normas son de orden público y observancia obligatoria en todo el territorio del Estado de Quintana Roo, y que su objeto consiste en regular la gestión integral de los residuos con enfoque de economía circular, incluyendo el manejo integral de los residuos sólidos urbanos, biorresiduos, residuos de manejo especial y residuos peligrosos de competencia local.

Estos preceptos constituyen el fundamento general de aplicabilidad de la ley estatal al PROYECTO, ya que las actividades de instalación, operación, mantenimiento y eventual abandono del sistema fotovoltaico implican la generación potencial de residuos cuya gestión debe ajustarse al marco estatal. En consecuencia, el promovente deberá prevenir la generación innecesaria de residuos, favorecer su separación, aprovechamiento y valorización cuando sea técnica y ambientalmente procedente, y asegurar que su manejo no contravenga las disposiciones estatales y municipales aplicables.

El Artículo 13 clasifica los residuos, distinguiendo entre residuos sólidos urbanos, biorresiduos, residuos de manejo especial y residuos peligrosos. Dentro de los residuos de manejo especial, la ley incluye expresamente los residuos eléctricos y electrónicos provenientes de productos usados, caducos o retirados del comercio, así como los residuos de la construcción, mantenimiento o demolición en general; asimismo, remite a la LGPGIR para la definición de residuos peligrosos.

Este artículo resulta directamente aplicable porque permite clasificar jurídicamente los residuos que podrían generarse durante EL PROYECTO. Por ejemplo, empaques ordinarios, cartón, plásticos y residuos asimilables a domésticos podrán considerarse residuos sólidos urbanos; sobrantes de canalizaciones, soportes, cableado, conectores, equipos eléctricos, inversores u otros componentes tecnológicos retirados podrán ubicarse como residuos de manejo especial, particularmente como residuos eléctricos y electrónicos; y, en su caso, aceites, solventes, envases contaminados. Así, EL PROYECTO estructurará el manejo de residuos a partir de esta clasificación legal, evitando su mezcla y asignando a cada flujo el tratamiento que corresponda.

Artículos 16 y 17. La ley establece que la separación y clasificación de los residuos en la fuente de generación es obligatoria, y que los generadores de residuos sólidos urbanos, biorresiduos y de manejo especial deben identificar, clasificar y manejar sus residuos conforme a la ley, sus reglamentos y demás disposiciones aplicables. También dispone que, al cerrarse instalaciones o dejar de realizarse actividades generadoras, deben dejarse libres de residuos las áreas correspondientes cuando se trate de residuos de competencia estatal.

La obligación de separación en fuente vincula de manera directa al promovente durante todas las etapas del proyecto. En la instalación del sistema fotovoltaico no resulta jurídicamente válido incorporar indistintamente en un mismo flujo residuos de empaque, residuos eléctricos y electrónicos, sobrantes de obra menor y residuos con potencial de peligrosidad. Por el contrario, deberá implementarse un esquema de segregación desde el sitio de generación, con almacenamiento temporal diferenciado y controlado. Además, en caso de desmontaje parcial o total del sistema en la etapa de abandono, el promovente deberá asegurar que las áreas intervenidas queden libres de residuos y que los componentes retirados sean canalizados al manejo correspondiente.

El Artículo 18 establece que los proyectos de construcción y/o demolición deben prever un sitio destinado para el manejo y almacenamiento de residuos debidamente separados, así como su recolección a través de un prestador de servicios registrado ante la Secretaría.

Aunque EL PROYECTO no implica la construcción de un nuevo hotel ni una obra civil mayor, sí contempla actividades de instalación y adecuaciones asociadas que pueden generar residuos vinculados con trabajos de montaje, sujeción, canalización, sustitución de componentes y mantenimiento. Por ello, este artículo resulta vinculante en la medida en que obliga a prever, dentro del complejo, un área o punto de acopio temporal para residuos debidamente separados y a canalizarlos mediante prestadores de servicios registrados cuando así corresponda. Esta disposición adquiere especial relevancia en la etapa de abandono, si se llegara a desmontar el sistema en su conjunto, pues en ese escenario podría concentrarse el mayor volumen de residuos tecnológicos y de manejo especial.

Artículo 58. La ley dispone que la minimización de residuos comprende el compromiso solidario de los responsables de su manejo, mediante programas y proyectos orientados a la innovación, producción limpia, logística inversa, consumo responsable y otras medidas que incrementen la eficiencia en el manejo de residuos.

En términos prácticos, obliga a privilegiar medidas de prevención y minimización, tales como adquisición de materiales en cantidades ajustadas, reducción de empaques innecesarios, reutilización de embalajes cuando sea posible, aprovechamiento de sobrantes útiles, y devolución o canalización de componentes a esquemas de valorización o reciclaje cuando exista viabilidad técnica. En una instalación fotovoltaica sobre infraestructura existente, este criterio es particularmente pertinente porque buena parte de los impactos asociados a residuos puede reducirse desde la planeación logística y la selección de proveedores.

El Artículo 62 señala que los grandes generadores de residuos sólidos urbanos, biorresiduos y de manejo especial están obligados a solicitar ante la Secretaría el registro de su Plan de Manejo de Residuos, anexar un plan de contingencia ambiental, llevar bitácora física y electrónica y presentar informe anual sobre generación y modalidades de manejo.

La sola instalación del sistema fotovoltaico no implica por sí misma que el promovente deba registrar un plan de manejo estatal específico; ello dependerá de que la generación de residuos atribuible al PROYECTO actualice la condición de gran generador respecto de residuos sólidos urbanos, biorresiduos o residuos de manejo especial. En principio, por las características del PROYECTO, se prevé que la generación derivada exclusivamente de la instalación y operación del sistema no alcance por sí sola ese umbral; sin embargo, dicha obligación podría cobrar mayor relevancia en la etapa de abandono, particularmente si se lleva a cabo el retiro integral de paneles, estructuras, cableado, inversores y demás

componentes, generando un volumen concentrado de residuos de manejo especial. Por tanto, el promovente deberá verificar, en su momento, si la magnitud real de los residuos generados actualiza este supuesto legal.

Artículo 114. La ley establece que toda persona que genere y maneje residuos es responsable de hacerlo de manera que no implique daños a la salud humana y al ambiente. Este artículo constituye una obligación directa y transversal para todas las etapas del PROYECTO. En consecuencia, el promovente deberá asegurar que el acopio temporal, manejo interno, traslado y entrega de residuos no generen dispersión, contaminación del suelo, riesgos de incendio, exposición del personal, afectaciones a huéspedes o deterioro del entorno. Esta obligación es particularmente relevante al tratarse de una instalación inserta en un complejo turístico en operación, donde el manejo inadecuado de residuos puede traducirse no solo en impactos ambientales, sino también en riesgos operativos y sanitarios.

De conformidad con la Ley para la Prevención, Gestión Integral y Economía Circular de los Residuos del Estado de Quintana Roo, EL PROYECTO se encuentra vinculado, en lo que resulta materialmente aplicable, a las disposiciones relativas a la clasificación, separación en la fuente, almacenamiento temporal, minimización y manejo integral de los residuos que se generen durante sus etapas de instalación, operación, mantenimiento y eventual abandono. En particular, resulta jurídicamente relevante la correcta identificación de los residuos sólidos urbanos, de manejo especial y, en su caso, de los residuos peligrosos conforme a la legislación concurrente; la previsión de un sitio para su acopio temporal debidamente segregado; y la contratación, cuando proceda, de prestadores de servicios registrados para su recolección y manejo. Asimismo, en caso de que por la cantidad de residuos generados EL PROYECTO actualice la condición de gran generador, atenderá las obligaciones estatales relativas al registro y ejecución del plan de manejo correspondiente.

2.2 Programas de ordenamiento ecológico del territorio (POET)

2.2.1 Programa de Ordenamiento Ecológico Marino y Regional del Golfo de México y Mar Caribe

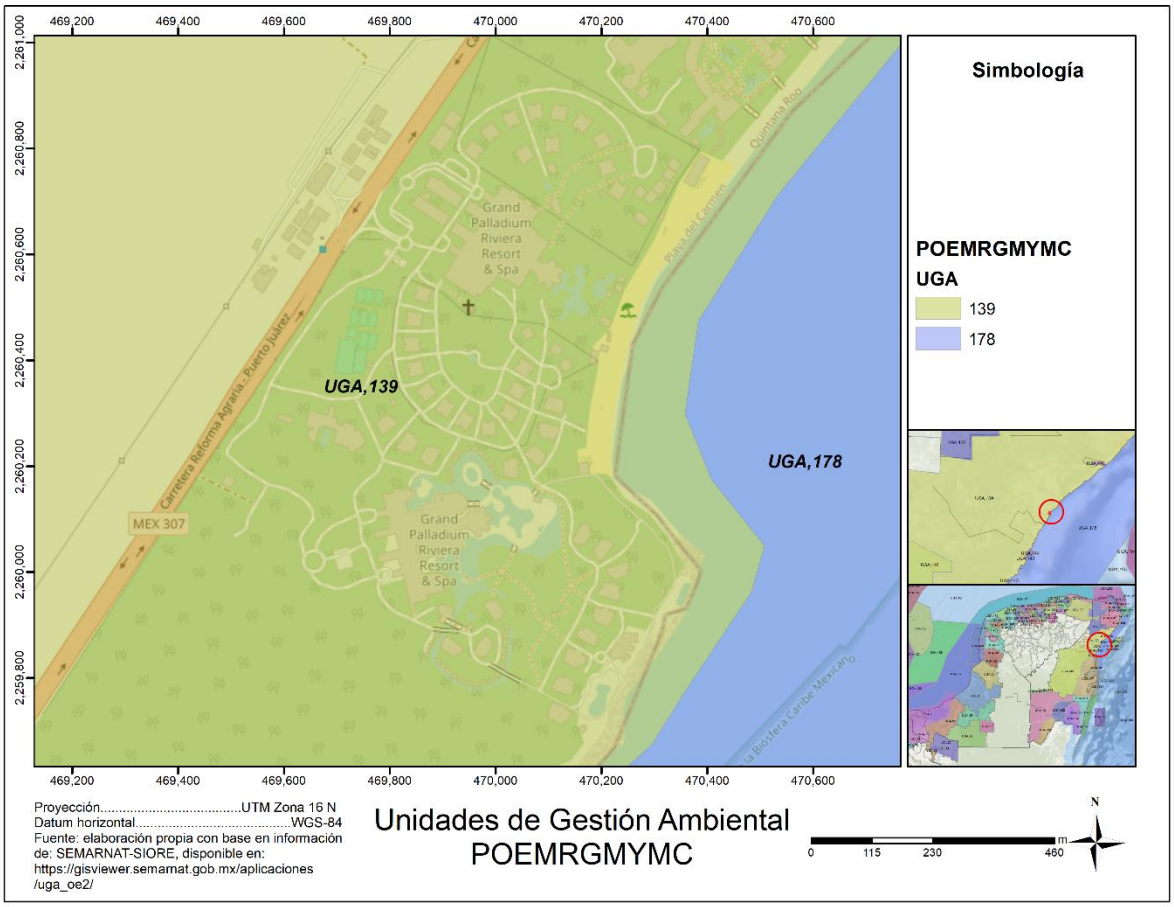
De acuerdo con la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, corresponde a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales apoyar técnicamente la formulación y ejecución de los programas de ordenamiento ecológico regional; así como a las entidades federativas y los municipios el participar en las consultas y emitir las recomendaciones que estimen pertinentes para la formulación de los programas del ordenamiento ecológico marino, los cuales tienen por objeto la preservación, restauración, protección y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales existentes en áreas o superficies específicas ubicadas en zonas marinas mexicanas, incluyendo las zonas federales adyacentes.

El 30 de octubre del año 2006 se instaló el Comité de Ordenamiento Ecológico Marino y Regional del Golfo de México y Mar Caribe en el cual participó el Ejecutivo Federal a través de las Secretarías de Gobernación; Marina; Desarrollo Social; Medio Ambiente y Recursos Naturales; Energía; Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación; Comunicaciones y Transportes; Reforma Agraria; y Turismo; los organismos públicos descentralizados Petróleos Mexicanos y Comisión Federal de Electricidad, así como los Gobiernos de los Estados de Campeche, Quintana Roo, Tabasco, Tamaulipas, Veracruz y Yucatán, celebrando asimismo un “Convenio Marco de Coordinación para la instrumentación de un proceso de planeación conjunto para la formulación, expedición, ejecución, evaluación y modificación del Programa de Ordenamiento Ecológico Marino y Regional del Golfo de México y Mar Caribe”.

La propuesta de Programa de Ordenamiento Ecológico Marino y Regional del Golfo de México y Mar Caribe fue sometida a un proceso de consulta pública del 8 de diciembre del año 2009 al 16 de marzo del año 2010, y su versión final del mismo fue aprobada durante la Sexta Sesión del Órgano Ejecutivo del Comité de Ordenamiento Ecológico Marino y Regional del Golfo de México y Mar Caribe el 9 de marzo del año 2011.

Las obras y actividades contempladas en EL PROYECTO que se sujeta a evaluación en materia de Impacto Ambiental se encuentran dentro de la Unidad de Gestión Ambiental (UGA) 139, tal como se muestra en la Figura 2-1.

Figura 2-1. Unidades de gestión ambiental del Programa de Ordenamiento Ecológico Marino del Golfo de México y Mar Caribe.



Fuente: Elaboración propia con base en información de SEMARNAT-SIORE, disponible en: https://gisviewer.semarnat.gob.mx/aplicaciones/uga_oe2/.

2.2.1.1 Acciones generales

De acuerdo con el POEMRGMYMC, al PROYECTO le aplican 65 Acciones Generales (Tabla 2-1), 61 Acciones y Criterios Específicos y 14 Criterios de Regulación Ecológica de la Zona Costera Inmediata Mar Caribe.

Tabla 2-1. Acciones generales del Programa de Ordenamiento Ecológico Marino del Golfo de México y Mar Caribe.

CLAVE	ACCIONES GENERALES	VINCULACIÓN
G001	Promover el uso de tecnologías y prácticas de manejo para el uso eficiente del agua en coordinación con la CONAGUA y demás autoridades competentes.	Esta acción general es aplicable para las instituciones encargadas de la planeación y ejecución de las políticas públicas de desarrollo, y de acuerdo con la descripción del PROYECTO, el uso de agua durante su operación no comprometerá los niveles de abasto ya contemplados para el complejo GPRM.
G002	Promover el establecimiento del pago por servicios ambientales hídricos en coordinación con la CONAGUA y las demás autoridades competentes.	Esta acción está orientada a instrumentos económicos y de política pública en materia hídrica. EL PROYECTO fotovoltaico no involucra esquemas de pago por servicios ambientales, por lo que no existe relación material directa.
G003	Impulsar y apoyar la creación de UMA para evitar el comercio de especies de extracción y sustituirla por especies de producción.	EL PROYECTO no contempla manejo, reproducción ni aprovechamiento de vida silvestre bajo esquema UMA, por lo que esta acción no resulta aplicable por su materia.
G004	Instrumentar o en su caso reforzar las campañas de vigilancia y control de las actividades extractivas de flora y fauna silvestre, particularmente para las especies registradas en la Norma Oficial Mexicana, Protección ambiental-Especies Nativas de México de Flora y Fauna Silvestre-Categoría de Riesgo y Especificaciones para su Inclusión, Exclusión o Cambio-Lista de Especies en Riesgo (NOM-059-SEMARNAT-2010).	La acción está dirigida a autoridades de vigilancia ambiental y al control de actividades extractivas, lo cual no corresponde a la naturaleza del PROYECTO.
G005	Establecer bancos de germoplasma, conforme a la legislación aplicable.	EL PROYECTO no incluye actividades de conservación *ex situ*, propagación genética ni establecimiento de bancos de germoplasma.
G006	Reducir la emisión de gases de efecto invernadero.	EL PROYECTO se alinea de manera clara con esta acción, ya que la generación de energía solar fotovoltaica sustituye parcial o totalmente el consumo de electricidad de origen convencional, contribuyendo a la reducción de emisiones indirectas de GEI del complejo GPRM.

CLAVE	ACCIONES GENERALES	VINCULACIÓN
G007	Fortalecer los programas económicos de apoyo para el establecimiento de metas voluntarias para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y comercio de Bonos de Carbono.	Aunque EL PROYECTO no necesariamente se integra a mercados de carbono ni a programas económicos específicos, sí contribuye materialmente a la reducción de emisiones, por lo que es congruente con el espíritu de la acción.
G008	El uso de organismos genéticamente modificados debe realizarse conforme a la legislación vigente.	No se realizará manejo de Organismos Genéticamente Modificados dentro de las actividades del PROYECTO. La acción general en comento es para la observancia de las instituciones encargadas de la planeación, por lo que no le es aplicable a los particulares.
G009	Planificar las acciones de construcción de infraestructura, en particular la de comunicaciones terrestres para evitar la fragmentación del hábitat.	La instalación del sistema fotovoltaico se realizará sobre infraestructura ya existente, como cubiertas, estacionamientos o áreas previamente intervenidas, la acción se cumple al evitar expansión sobre áreas conservadas y prevenir fragmentación del hábitat.
G010	Instrumentar campañas y mecanismos para la reutilización de áreas agropecuarias para evitar su expansión hacia áreas naturales.	EL PROYECTO no es agropecuario ni implica reconversión de uso agrícola.
G011	Instrumentar medidas de control para minimizar las afectaciones producidas a los ecosistemas costeros por efecto de las actividades humanas.	EL PROYECTO se desarrollará dentro de un hotel ya existente y totalmente fuera de ecosistemas costeros sensibles (dunas, manglares, humedales o vegetación costera), de tal forma que resulta acorde con esta acción.
G012	Impulsar la ubicación o reubicación de parques industriales en sitios ya perturbados o de escaso valor ambiental.	EL PROYECTO no contempla la instalación de un parque industrial.
G013	Evitar la introducción de especies potencialmente invasoras en o cerca de las coberturas vegetales nativas.	En ninguna etapa o área del PROYECTO se introducirán especies potencialmente invasoras.
G014	Promover la reforestación en los márgenes de los ríos.	No forma parte del objeto del PROYECTO ni de sus obras principales. Además, no se localizan ríos en el área donde se establecerá EL PROYECTO.
G015	Evitar el asentamiento de zonas industriales o humanas en los márgenes o zonas inmediatas a los cauces naturales de los ríos.	EL PROYECTO no implica creación de un nuevo asentamiento humano o industrial; se inserta en un complejo ya existente.

CLAVE	ACCIONES GENERALES	VINCULACIÓN
G016	Reforestar las laderas de las montañas con vegetación nativa de la región.	La zona donde se establecerá EL PROYECTO no es una zona montañosa. De tal forma que no corresponde a la naturaleza ni al sitio típico del PROYECTO.
G017	Desincentivar las actividades agrícolas en las zonas con pendientes mayores a 50%.	Acción ajena al sector y objeto del PROYECTO, ya que no se realizará ninguna actividad agrícola dentro de las contempladas en EL PROYECTO.
G018	Recuperar la vegetación que consolide las márgenes de los cauces naturales en el ASO, de conformidad por lo dispuesto en la Ley de Aguas Nacionales, la Ley General de Vida Silvestre y demás disposiciones jurídicas aplicables	No es una acción materialmente vinculada al PROYECTO fotovoltaico.
G019	Los planes o programas de desarrollo urbano del área sujeta a ordenamiento deberán tomar en cuenta el contenido de este Programa de Ordenamiento, incluyendo las disposiciones aplicables sobre riesgo frente a cambio climático en los asentamientos humanos.	La acción está dirigida a instrumentos de planeación urbana; no obstante, EL PROYECTO es congruente con ella en tanto se inserta en infraestructura existente y considera los riesgos hidrometeorológicos y de cambio climático en su diseño e instalación, así como en las acciones de mantenimiento.
G020	Recuperar y mantener la vegetación natural en las riberas de los ríos y zonas inundables asociadas a ellos.	Esta acción no constituye un componente propio del PROYECTO, además el área donde se localizará no corresponde a riberas de ríos o zonas inundables.
G021	Promover las tecnologías productivas en sustitución de las extractivas.	La energía solar constituye una tecnología limpia y no extractiva en su operación, por lo que existe afinidad conceptual con esta acción, aunque no haya relación sectorial estricta.
G022	Promover el uso de tecnologías productivas intensivas en sustitución de las extensivas.	EL PROYECTO optimiza el uso de la infraestructura existente para generar energía, sin requerir expansión territorial significativa, lo que es consistente con un uso más eficiente del espacio y de la infraestructura.
G023	Implementar campañas de control de especies que puedan convertirse en plagas.	Esta acción se encuentra orientada al manejo biológico o sanitario, y por lo tanto es ajena al objeto principal del PROYECTO.
G024	Promover la realización de acciones de forestación y reforestación con restauración de suelos para incrementar el potencial de sumideros forestales de carbono, como medida de mitigación y adaptación de efectos de cambio climático.	Aunque EL PROYECTO no constituye una acción forestal, sí contribuye a la mitigación del cambio climático por una vía distinta: reducción de emisiones por sustitución de energía convencional.

CLAVE	ACCIONES GENERALES	VINCULACIÓN
G025	Fomentar el uso de especies nativas que posean una alta tolerancia a parámetros ambientales cambiantes para las actividades productivas.	La presente acción general es para la observancia de las instituciones encargadas de la planeación, por lo que no le es aplicable al PROYECTO, además de diferir sustancialmente con su naturaleza.
G026	Identificar las áreas importantes para el mantenimiento de la conectividad ambiental en gradientes altitudinales y promover su conservación (o rehabilitación).	EL PROYECTO será acorde con esta acción en tanto que se ubica en áreas previamente intervenidas y evita ocupar zonas clave para conectividad ecológica.
G027	Promover el uso de combustibles de no origen fósil.	EL PROYECTO al ser un sistema fotovoltaico es congruente con la sustitución de consumos energéticos asociados a combustibles fósiles y con la transición energética, por lo que se encuentra totalmente alineado a esta acción.
G028	Promover el uso de energías renovables.	Esta es una de las acciones con mayor vinculación al PROYECTO, dado que su objeto central es precisamente la generación de energía a partir de una fuente renovable.
G029	Promover un aprovechamiento sustentable de la energía.	EL PROYECTO mejora el desempeño energético del complejo GPRM mediante una fuente renovable y de menor impacto ambiental relativo, por lo cual está estrechamente alineado con esta acción.
G030	Fomentar la producción y uso de equipos energéticamente más eficientes.	EL PROYECTO es compatible con esta acción en la medida en que incorpora tecnología orientada a eficiencia energética y optimización del consumo eléctrico del inmueble.
G031	Promover la sustitución a combustibles limpios, en los casos en que sea posible, por otros que emitan menos contaminantes que contribuyan al calentamiento global.	Aunque el sistema fotovoltaico no sustituye necesariamente de forma directa combustibles líquidos o gaseosos en todos los procesos del hotel, sí reduce la demanda de energía de fuente convencional con mayor huella de carbono.
G032	Promover la generación y uso de energía a partir de hidrógeno.	La acción se refiere a una tecnología distinta a la del PROYECTO, sin embargo, comparte objetivo indirecto al contribuir a la adopción de fuentes de generación alternas.
G033	Promover la investigación y desarrollo en tecnologías limpias.	No se contemplan actividades relacionadas con la investigación y desarrollo en tecnologías limpias. Aunque EL PROYECTO se inscribe dentro del aprovechamiento de tecnologías limpias ya disponibles.

CLAVE	ACCIONES GENERALES	VINCULACIÓN
G034	Impulsar la reducción del consumo de energía de viviendas y edificaciones a través de la implementación de diseños bioclimático, el uso de nuevos materiales y de tecnologías limpias.	EL PROYECTO se relaciona directamente con la incorporación de tecnologías limpias para reducir el consumo energético neto de edificaciones existentes. Por lo que se encuentra alineado con esta acción.
G035	Establecer medidas que incrementen la eficiencia energética de las instalaciones domésticas existentes.	EL PROYECTO no se orienta a instalaciones domésticas, sino a un complejo GPRM. Sin embargo, se encuentra acorde al propósito de incrementar la eficiencia energética.
G036	Establecer medidas que incrementen la eficiencia energética de las instalaciones industriales existentes.	Aunque el hotel no es una instalación industrial en sentido estricto, la lógica de la acción de “mejora de eficiencia energética en instalaciones existentes” es compatible con EL PROYECTO.
G037	Elaborar modelos (sistemas mundiales de zonificación agroecológica) que permitan evaluar la sostenibilidad de la producción de cultivos; en diferentes condiciones del suelo, climáticas y del terreno.	Esta acción es ajena al sector y a la naturaleza del PROYECTO.
G038	Evaluar la potencialidad del suelo para la captura de carbono.	EL área donde se establecerá el PROYECTO corresponde a las coberturas de los edificios, por lo cual esta acción no le es aplicable.
G039	Promover y fortalecer la formulación e instrumentación de los ordenamientos ecológicos locales en el ASO.	EL PROYECTO es congruente con esta acción en tanto su evaluación ambiental se realiza considerando los instrumentos de ordenamiento ecológico aplicables.
G040	Fomentar la participación de las industrias en el Programa Nacional de Auditoría Ambiental.	EL PROYECTO no corresponde al sector industrial ni está vinculado necesariamente a dicho programa.
G041	Fomentar la elaboración de Programas de Desarrollo Urbano en los principales centros de población de los municipios.	Esta acción general es para la observancia de las instituciones encargadas de la planeación del desarrollo urbano, por lo que no le es aplicable a los particulares en la elaboración de proyectos. El presente PROYECTO acata todos los instrumentos de planeación aplicables al mismo.
G042	Fomentar la inclusión de las industrias de todo tipo en el Registro de Emisión y Transferencia de Contaminantes (RETC) y promover el Sistema de Información de Sitios Contaminados en el marco del Programa Nacional de Restauración de Sitios Contaminados.	EL PROYECTO no se ubica, en principio, dentro de los supuestos de industria contaminante a los que se dirige la acción, sin perjuicio del debido manejo de residuos que le resulte aplicable.

CLAVE	ACCIONES GENERALES	VINCULACIÓN
G043	LA SEMARNAT, considerará el contenido aplicable de este Programa. En su participación para la actualización de la Carta Nacional Pesquera, Asimismo, lo considerará en las medidas tendientes a la protección de quelonios, mamíferos marinos y especies bajo un estado especial de protección, que dicte de conformidad con la Ley General de Pesca y Acuacultura Sustentable.	La acción general en comento es para la observancia de las instituciones encargadas de la planeación, por lo que no le es aplicable a los particulares en la elaboración de proyectos. Debido a lo anterior, la misma no le es aplicable al PROYECTO sujeto a evaluación.
G044	Contribuir a la construcción y reforzamiento de las cadenas productivas y de comercialización interna y externa de las especies pesqueras.	EL PROYECTO no contempla actividades productivas señaladas. La acción general es para la observancia de las instituciones encargadas de la planeación pesquera, por lo que no le es aplicable al PROYECTO.
G045	Consolidar el servicio de transporte público en las localidades nodales.	Acción de política pública en movilidad, ajena al objeto del PROYECTO.
G046	Fomentar la ampliación o construcción de infraestructuras que liberen tránsito de paso, corredores congestionados y mejore el servicio de transporte.	No se realizarán obras relacionadas con infraestructura vial o de transporte. La acción general en comento es para la observancia de las instituciones encargadas de la planeación urbana y ambiental.
G047	Impulsar la diversificación de actividades productivas.	La incorporación de generación fotovoltaica puede considerarse congruente con estrategias de diversificación tecnológica y de transición energética en actividades económicas existentes.
G048	Instrumentar y apoyar campañas para la prevención ante la eventualidad de desastres naturales.	EL PROYECTO se diseñó considerando riesgos por huracanes, vientos, inundaciones u otros eventos hidrometeorológicos, por lo que no contraviene la acción y puede complementarse con los protocolos internos de prevención existentes en la operación del complejo GPRM.
G049	Fortalecer la creación o consolidación de los comités de protección civil.	La acción compete principalmente a autoridades e instituciones; sin embargo, EL PROYECTO se armonizará con los programas internos de protección civil del hotel.

CLAVE	ACCIONES GENERALES	VINCULACIÓN
G050	Promover que las construcciones de las casas habitación sean resistentes a eventos hidrometeorológicos	EL PROYECTO no contempla la construcción de casas. El cumplimiento de la presente acción general es responsabilidad de las instituciones encargadas de la planeación y ejecución de las políticas públicas en materia de protección civil y planeación urbana.
G051	Realizar campañas de concientización sobre el manejo adecuado de residuos sólidos urbanos.	Las campañas a las que se refiere la presente acción general corresponden a las autoridades municipales encargadas de la ejecución de las políticas públicas en materia de residuos. No obstante, EL PROYECTO incorporará buenas prácticas de manejo de residuos en instalación y mantenimiento, las cuales serán acordes a los programas y protocolos ya establecidos y autorizados en la operación del complejo GPRM.
G052	Implementar campañas de limpieza, particularmente en asentamientos suburbanos y urbanos (descacharrización, limpieza de solares, separación de basura, etc.).	El área de instalación del PROYECTO no es un asentamiento urbano y/o suburbano. Las campañas a las que se refiere la presente acción general corresponden autoridades municipales competentes en la limpia y recolección de residuos.
G053	Instrumentar programas y mecanismos de reutilización de las aguas residuales tratadas.	Las obras del PROYECTO no generarán aguas residuales debido a que no constituyen un componente propio del sistema fotovoltaico. La acción general es de observancia para las instituciones encargadas de la planeación, por lo que no le es aplicable al PROYECTO.
G054	Promover en el sector industrial la instalación y operación adecuada de plantas de tratamiento para sus descargas.	EL PROYECTO no es de naturaleza industrial. La acción general en comento es para la observancia de las instituciones encargadas de la planeación, por lo que no le es aplicable al PROYECTO.
G055	La remoción parcial o total de vegetación forestal para el cambio de uso del suelo en terrenos forestales, o para el aprovechamiento de recursos maderables en terrenos forestales y preferentemente forestales, solo podrá llevarse a cabo de conformidad con la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable y demás disposiciones jurídicas aplicables.	EL PROYECTO no implica la remoción total o parcial de vegetación forestal debido a que la instalación del sistema fotovoltaico se llevará a cabo sobre las cubiertas de edificios existentes.

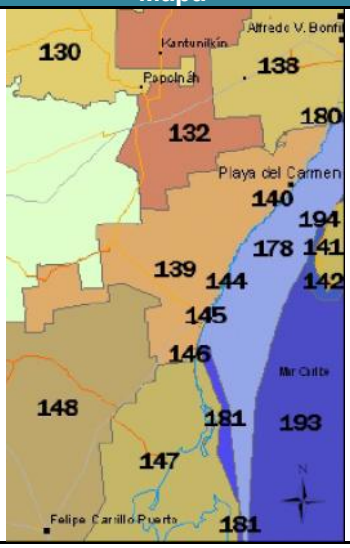
CLAVE	ACCIONES GENERALES	VINCULACIÓN
G056	Promover e impulsar la construcción y adecuada operación de sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos, peligrosos o de manejo especial de acuerdo con la normatividad vigente.	La acción general es para la observancia de las instituciones encargadas de la planeación ambiental, por lo que no le es aplicable a los particulares en la elaboración de proyectos.
G057	Promover los estudios sobre los problemas de salud relacionados con los efectos del cambio climático.	Esta acción es de política pública y de investigación, ajena al objeto directo del PROYECTO.
G058	La gestión de residuos peligrosos deberá realizarse conforme a lo establecido por la legislación vigente y los lineamientos de la CICOPLAFEST que resulten aplicables.	No se contempla la generación de residuos peligrosos. La disposición de residuos en las diferentes etapas del PROYECTO se realizará conforme a los programas y protocolos desarrollados en la operación del hotel, los cuales han sido autorizados conforme a lo establecido en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos y su Reglamento.
G059	El desarrollo de infraestructura dentro de un ANP, deberá ser consistente con la legislación aplicable, el Programa de Manejo y el Decreto de creación correspondiente.	El sistema fotovoltaico y las edificaciones existentes sobre las cuales se instalará se encuentran en la Zona de Influencia del ANP Reserva de la Biósfera Caribe Mexicano. EL PROYECTO no se contrapone a los lineamientos tal como se describe a detalle en el apartado 2.3.1.
G060	Ubicar la construcción de infraestructura costera en sitios donde se minimice el impacto sobre la vegetación acuática sumergida.	EL PROYECTO no constituye infraestructura costera ni marina.
G061	La construcción de infraestructura costera se deberá realizar con proceso y materiales que minimicen la contaminación del ambiente marino.	La instalación del sistema fotovoltaico se llevará a cabo en la cubierta de edificaciones existentes, por lo que EL PROYECTO se encuentra en apego al objetivo de esta acción.
G062	Implementar procesos de mejora de la actividad agropecuaria y aplicar mejores prácticas de manejo.	EL PROYECTO no consiste en la realización de actividad agropecuaria, por lo que la acción general en comento no le es aplicable.
G063	Promover la elaboración de ordenamientos pesqueros y acuícolas a diferentes escalas y su vinculación con los ordenamientos ecológicos.	Esta acción general es para la observancia de las instituciones encargadas de la planeación, por lo que no le es aplicable al PROYECTO.
G064	La construcción de carreteras, caminos, puentes o vías férreas deberá evitar modificaciones en el comportamiento hidrológico de los flujos subterráneos o superficiales o	El PROYECTO no contempla la construcción de ningún tipo de infraestructura vial, por lo cual este criterio no le es aplicable.

CLAVE	ACCIONES GENERALES	VINCULACIÓN
	atender dichas modificaciones en caso de que sean inevitables.	
G065	La realización de obras y actividades en Áreas Naturales Protegidas, deberá contar con la opinión de la Dirección del ANP o en su caso de la Dirección Regional que corresponda, conforme lo establecido en el Decreto y Programa de Manejo del área respectiva.	EL PROYECTO no se localiza dentro de los límites de ninguna ANP; sin embargo, se ubica dentro del área de influencia de la Reserva de la Biósfera Caribe Mexicano. En ese sentido, la observancia de esta disposición podrá ser valorada por la autoridad competente durante el proceso de evaluación en materia de impacto ambiental, en caso de que estime pertinente requerirla. No obstante, es necesario precisar que el proyecto es de naturaleza ambiental mayoritariamente benéfica, pues contribuye a la disminución de emisión de gases de efecto invernadero por consumo de combustibles para generación de energía eléctrica.

2.2.1.2 Acciones específicas aplicables a la UGA 139

La UGA 139 “Isla Blanca” tiene una superficie de 327,229.174 Ha, y los lineamientos aplicables se presentan en la Figura 2-2.

Figura 2-2. Ficha técnica UGA 139 del Programa de Ordenamiento Ecológico Marino del Golfo de México y Mar Caribe

Tipo de UGA:	Regional	Mapa
Nombre:	Solidaridad	
Municipio:	Solidaridad	
Estado:	Quintana Roo	
Población:	135,237 habitantes	
Superficie:	327,229.174 Ha	
Subregión:	Aplicar criterios de Zona Costera Inmediata Mar Caribe	
Islas:	-	
Puerto Turístico	Presente	
Puerto Comercial	Presente	
Puerto pesquero	-	
Nota:	-	

ACCIONES ESPECÍFICAS							
Acción	Aplicación	Acción	Aplicación	Acción	Aplicación	Acción	Aplicación
A-001	APLICA	A-027	APLICA	A-053	APLICA	A-079	NA
A-002	APLICA	A-028	APLICA	A-054	APLICA	A-080	NA
A-003	APLICA	A-029	APLICA	A-055	APLICA	A-081	NA
A-004	NA	A-030	APLICA	A-056	APLICA	A-082	NA
A-005	APLICA	A-031	APLICA	A-057	APLICA	A-083	NA
A-006	APLICA	A-032	APLICA	A-058	APLICA	A-084	NA
A-007	APLICA	A-033	APLICA	A-059	APLICA	A-085	NA
A-008	APLICA	A-034	NA	A-060	APLICA	A-086	NA
A-009	APLICA	A-035	NA	A-061	APLICA	A-087	NA
A-010	APLICA	A-036	NA	A-062	APLICA	A-088	NA
A-011	APLICA	A-037	APLICA	A-063	APLICA	A-089	NA
A-012	APLICA	A-038	APLICA	A-064	APLICA	A-090	NA
A-013	APLICA	A-039	APLICA	A-065	APLICA	A-091	NA
A-014	APLICA	A-040	APLICA	A-066	APLICA	A-092	NA
A-015	APLICA	A-041	NA	A-067	APLICA	A-093	NA
A-016	APLICA	A-042	NA	A-068	APLICA	A-094	NA
A-017	APLICA	A-043	NA	A-069	APLICA	A-095	NA
A-018	APLICA	A-044	APLICA	A-070	APLICA	A-096	NA
A-019	APLICA	A-045	NA	A-071	APLICA	A-097	NA
A-020	NA	A-046	APLICA	A-072	APLICA	A-098	NA
A-021	APLICA	A-047	NA	A-073	NA	A-099	NA
A-022	APLICA	A-048	NA	A-074	NA	A-100	NA
A-023	APLICA	A-049	NA	A-075	NA		
A-024	APLICA	A-050	APLICA	A-076	NA		
A-025	APLICA	A-051	APLICA	A-077	APLICA		
A-026	APLICA	A-052	APLICA	A-078	NA		

De las 100 acciones específicas establecidas por el POEMGMMC, 61 resultan aplicables a la UGA 139. No obstante, conforme al Anexo 6 del Programa de Ordenamiento Ecológico Marino y Regional del Golfo de México y Mar Caribe, la responsabilidad de instrumentar y dar seguimiento a las acciones aplicables a la UGA 139 recae en autoridades estatales, municipales y dependencias de la Administración Pública Federal, dentro del ámbito de sus respectivas competencias, entre las que se encuentran SEMARNAT, SAGARPA, SEP, SEDESOL, SECTUR, CONAGUA, CFE, SEMAR, SCT, PEMEX, SENER, INAPESCA, SE, CDI, SEGOB, INAH, SSA, CONANP, así como los municipios y gobiernos estatales.

En este contexto, si bien la ejecución formal de dichas acciones no corresponde directamente al promovente, en la Tabla 2-2 se presenta la manera en que el PROYECTO puede contribuir al cumplimiento de varias de ellas, evidenciando su congruencia con los objetivos y lineamientos del instrumento de ordenamiento ecológico.

Tabla 2-2. Acciones generales del Programa de Ordenamiento Ecológico Marino del Golfo de México y Mar Caribe aplicables a la UGA 135.

CRITERIO	ACCIONES-CRITERIOS	VINCULACIÓN
A001	Fortalecer los mecanismos para el control de la comercialización y uso de agroquímicos y pesticidas.	EL PROYECTO no requiere del uso o aplicación o comercialización de agroquímicos y pesticidas. Por lo cual este criterio no le es aplicable.
A002	Instrumentar mecanismos de capacitación para el manejo adecuado de agroquímicos y pesticidas.	EL PROYECTO no requiere del uso o aplicación o comercialización de agroquímicos y pesticidas. Por lo cual este criterio no le es aplicable.
A003	Fomentar el uso de fertilizantes orgánicos y abonos verdes en los procesos de fertilización del suelo de actividades agropecuarias y forestales.	EL PROYECTO fotovoltaico no corresponde a una actividad agropecuaria o forestal ni contempla procesos de fertilización del suelo, por lo que esta acción no resulta aplicable por razón de materia.
A005	Evitar las pérdidas de agua durante los procesos de distribución de la misma.	EL PROYECTO no tiene como objeto la distribución de agua y por su naturaleza no requerirá del abasto continuo de la misma, por lo que esta acción no resulta aplicable.
A006	Implementar programas para la captación de agua de lluvia y el uso de aguas grises	Esta acción no forma parte del objeto central del sistema fotovoltaico; sin embargo, EL PROYECTO puede considerarse congruente con estrategias integrales de sustentabilidad del complejo GPRM.

CRITERIO	ACCIONES-CRITERIOS	VINCULACIÓN
A007	Promover la constitución de áreas destinadas voluntariamente a la conservación o ANP en áreas aptas para la conservación o restauración de ecosistemas naturales.	EL PROYECTO no contempla la creación de áreas destinadas voluntariamente a la conservación ni la declaratoria de ANP, por lo que esta acción no se vincula de manera directa con su objeto.
A008	Evitar las actividades humanas en las playas de anidación de tortugas marinas, salvo aquellas que estén autorizadas en los programas de conservación	Las obras y actividades contempladas por EL PROYECTO no requieren en ninguna de sus etapas el aprovechamiento, uso o explotación de las playas por lo que no se interfiere con lo establecido en la acción.
A009	Fortalecer la inspección y vigilancia en las zonas de anidación y reproducción de las tortugas marinas.	Esta acción corresponde principalmente a autoridades y programas de conservación. EL PROYECTO no tiene atribuciones de inspección o vigilancia, aunque debe abstenerse de generar condiciones que dificulten esas labores.
A010	Fortalecer el apoyo económico de las actividades de conservación de las tortugas marinas.	Ninguna de las actividades o acciones contempladas en EL PROYECTO se llevarán a cabo en áreas de conservación de tortuga marina, por lo cual esta acción no le es aplicable.
A011	Establecer e impulsar programas de restauración y recuperación de la cobertura vegetal original para revertir el avance de la frontera agropecuaria	EL PROYECTO no se inserta en procesos de expansión agropecuaria ni en restauración vinculada a ese fenómeno.
A012	Promover la preservación de las dunas costeras y su vegetación natural, -a través de la ubicación de la infraestructura detrás del cordón de dunas frontales.	Esta acción es particularmente relevante en el contexto costero. EL PROYECTO se ejecutará de forma tal que no implica ocupación, afectación o alteración de dunas costeras ni de su vegetación natural, privilegiando su ubicación sobre infraestructura preexistente y fuera de los cordones dunares.
A013	Establecer las medidas necesarias para evitar la introducción de especies potencialmente invasoras por actividades marítimas en los términos establecidos por los artículos 76 y 77 de la Ley de Navegación y Comercio Marítimo.	EL PROYECTO no involucra actividades marítimas ni vectores asociados a introducción de especies invasoras por navegación.

CRITERIO	ACCIONES-CRITERIOS	VINCULACIÓN
A014	Instrumentar campañas de restauración, reforestación y recuperación de manglares y otros humedales en las zonas de mayor viabilidad ecológica	EL PROYECTO no contempla campañas de restauración de manglares o humedales como parte de su objeto principal, aunque debe evitar cualquier afectación a estos ecosistemas si se encuentran en el entorno del sitio.
A015	Promover e impulsar la reubicación de instalaciones que se encuentran sobre las dunas arenosas en la zona costera del ASO.	EL PROYECTO es congruente con esta acción dado que no establecerá infraestructura sobre dunas arenosas. Su ejecución sobre cubiertas de edificios existentes dentro del complejo en operación evita promover ocupación de estos ecosistemas frágiles.
A016	Establecer corredores biológicos para conectar las ANP existentes o las áreas en buen estado de conservación dentro del ASO.	La acción está dirigida a procesos de planeación y conservación ecológica regional. EL PROYECTO no establece corredores biológicos, aunque debe evitar interferir con áreas de conectividad ecológica.
A017	Establecer e impulsar programas de restauración, reforestación y recuperación de zonas degradadas	EL PROYECTO no tiene como objeto restaurar zonas degradadas; sin embargo, si existieran afectaciones puntuales durante la instalación, éstas deberán ser rehabilitadas o restauradas según corresponda.
A018	Promover acciones de apoyo a la protección y recuperación de especies bajo algún régimen de protección considerando en la Norma Oficial Mexicana, Protección ambiental Especies Nativas de México de Flora y Fauna Silvestre-Categoría de Riesgo y Especificaciones para su Inclusión, Exclusión o Cambio-Lista de Especies en Riesgo (NOM-059-SEMARNAT-2010), así como las competencias del Consejo Técnico Consultivo Nacional para la Conservación y Aprovechamiento Sustentable de la Vida Silvestre.	EL PROYECTO será acorde con esta acción en la medida en que identifique la posible presencia de especies protegidas en el área de influencia y adopte medidas para evitar su afectación durante todas sus etapas.
A-019	Los programas de remediación que se implementen deberán ser formulados y aprobados de conformidad con la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, y demás normatividad aplicable.	EL PROYECTO no parte de un escenario de remediación; no obstante, si durante su ejecución ocurriera una contingencia que generara contaminación del suelo o del sitio, cualquier remediación se sujetará a la LGPGIR y demás normatividad aplicable.

CRITERIO	ACCIONES-CRITERIOS	VINCULACIÓN
A-021	Fortalecer los mecanismos de control de emisiones y descargas para mejorar la calidad del aire, agua y suelos, particularmente en las zonas industriales y urbanas del ASO	EL PROYECTO es compatible con esta acción, ya que durante su ejecución deberán aplicarse medidas para controlar emisiones de polvo, ruido, residuos, posibles escurrimientos contaminantes y cualquier descarga no autorizada, previniendo afectaciones al aire, agua y suelo.
A-022	Fomentar programas de remediación y monitoreo de zonas y aguas costeras afectadas por hidrocarburos.	EL PROYECTO no está orientado a remediación de zonas impactadas por hidrocarburos, aunque se tomarán medidas para prevenir derrames accidentales de combustibles o lubricantes durante instalación y mantenimiento.
A-023	Aplicar medidas preventivas y correctivas de contaminación del suelo con base a riesgo ambiental, así como la aplicación de acciones inmediatas o de emergencia y tecnologías para la remediación in situ, en términos de la legislación aplicable.	Esta acción se vincula con EL PROYECTO en cuanto a la obligación de prevenir contaminación del suelo por manejo inadecuado de combustibles, aceites, solventes, residuos o materiales de instalación, así como de aplicar acciones inmediatas si ocurriera alguna contingencia, los cuales se tienen contemplados en la operación normal del complejo GPRM.
A-024	Fomentar el uso de tecnologías para reducir la emisión de gases de efecto invernadero y partículas al aire por parte de la industria y los automotores	El sistema fotovoltaico constituye precisamente una tecnología orientada a reducir emisiones indirectas de gases de efecto invernadero al disminuir la demanda de energía convencional.
A-025	Efectuar programas de remediación y de rehabilitación integral de sitios contaminados por actividades industriales, de conformidad con la LGPGIR y su Reglamento.	EL PROYECTO no es una actividad industrial orientada a remediar sitios contaminados, aunque debe operar bajo criterios preventivos para no generar contaminación.
A-026	Promover e impulsar el uso de tecnologías "Limpias" y "Ambientalmente amigables" en las industrias registradas en el ASO y su área de influencia. Fomentar que las industrias que se establezcan cuenten con las tecnologías de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero	EL PROYECTO presenta una vinculación clara y favorable con esta acción, ya que la energía solar fotovoltaica constituye una tecnología limpia y ambientalmente más compatible que las fuentes convencionales de generación eléctrica.

CRITERIO	ACCIONES-CRITERIOS	VINCULACIÓN
A-027	Mantener al mínimo posible la superficie ocupada por las instalaciones de infraestructura en las playas para evitar su perturbación	EL PROYECTO es totalmente congruente con esta acción ya que no ocupa superficie de playa ni incrementa infraestructura sobre ella, privilegiando la instalación sobre superficies previamente intervenidas del complejo GPRM.
A-028	Promover las medidas necesarias para que la instalación de infraestructura de ocupación permanente sobre el primero o segundo cordón de dunas eviten efectos negativos sobre su estructura o función ecosistémica.	EL PROYECTO no contempla la instalación de infraestructura permanente sobre cordones dunares. Su compatibilidad depende de que la instalación se realiza fuera de estos elementos y sin alterar su estructura o función ecosistémica.
A-029	Promover la preservación del perfil de la costa y los patrones naturales de circulación de las corrientes alineadas a la costa. Salvo cuando dichas modificaciones correspondan a PROYECTOs de infraestructura que tengan por objeto mitigar o remediar los efectos causados por alguna contingencia meteorológica o desastre natural.	EL PROYECTO fotovoltaico no tiene por objeto modificar el perfil costero ni la dinámica litoral; por ello, es compatible porque sus obras no implican alteraciones físicas de la línea de costa, playas o estructuras costeras.
A-030	Generar o adaptar tecnologías constructivas y de ingeniería que minimicen la afectación al perfil costero y a los patrones de circulación de aguas costeras.	Aunque no se trata de una obra costera o marítima, el PROYECTO emplea soluciones constructivas que minimizan cualquier afectación al entorno, evitando movimientos de tierra o modificaciones físicas innecesarias cerca de la zona costera.
A-031	Evitar la modificación de las características de las barras arenosas que limitan los sistemas lagunares costeros.	EL PROYECTO no interviene barras arenosas ni sistemas lagunares; por tanto, esta acción no guarda relación directa.
A-032	Promover el mantenimiento de las características naturales, físicas y químicas de playas y dunas costeras.	EL PROYECTO será acorde con esta acción ya que en la instalación del sistema fotovoltaico no altera la composición, morfología o dinámica natural de playas y dunas, ni introduce materiales, residuos o infraestructura que afectan estos ecosistemas.
A-033	Fomentar el aprovechamiento de la energía eólica excepto cuando su infraestructura pueda afectar corredores de especies migratorias.	La acción se refiere específicamente a energía eólica, tecnología distinta a la del PROYECTO.

CRITERIO	ACCIONES-CRITERIOS	VINCULACIÓN
A-037	Fomentar la generación energética por medio de energía solar.	Esta es una de las acciones con mayor relación con EL PROYECTO, ya que su objeto central consiste precisamente en la generación de energía a partir de fuente solar fotovoltaica. Por lo cual el PROYECTO es altamente congruente con la misma.
A-038	Impulsar el uso de los residuos agrícolas para la generación de energía y reducir los riesgos de incendios forestales en las regiones más secas.	EL PROYECTO no genera energía a partir de biomasa o residuos agrícolas.
A-040	Impulsar la sustitución de las actividades de pesca extractiva por actividades de producción acuícola con especies nativas de la zona en la cual se aplica el programa y con tecnologías que no contaminen el ambiente y cuya infraestructura no afecte los sistemas naturales.	Inaplicable por tratarse de una acción del sector pesquero-acuícola.
A-044	Diversificar la base de especies en explotación comercial en las pesquerías.	Inaplicable por materia.
A-046	Incentivar el cumplimiento de los mecanismos existentes para controlar el vertido y disposición de residuos de embarcaciones, en las porciones marinas tanto costeras como oceánicas.	Este criterio es aplicable a las actividades asociadas a embarcaciones por lo que no es vinculante al PROYECTO.
A-050	Promover el desarrollo de Programas de Desarrollo Urbano y Programas de Conurbación con el fin de dotar de infraestructura de servicios a las comunidades rurales.	Acción dirigida a procesos de planeación urbana, ajena al objeto específico del PROYECTO.
A-051	Promover la construcción de caminos rurales, de terracería o revestidos entre las localidades estratégicas para procesos de mejorar la comunicación.	EL PROYECTO no contempla apertura de caminos rurales ni infraestructura vial nueva de esa naturaleza.
A-052	Promover el uso sostenible de la tierra/agricultura (cultivos, ganado, pastos y praderas, y bosques) y prácticas de manejo y tecnología que favorezcan la captura de carbono.	Aunque EL PROYECTO no se relaciona con manejo agropecuario o forestal, sí es congruente con objetivos de mitigación climática al contribuir a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.
A-053	Desincentivar y evitar el desarrollo de actividades productivas extensivas.	EL PROYECTO utiliza infraestructura existente y no requiere expansión territorial extensiva significativa, por lo que es compatible con un modelo de aprovechamiento más eficiente del espacio ya transformado.

CRITERIO	ACCIONES-CRITERIOS	VINCULACIÓN
A-054	Promover la sustitución de tecnologías extensivas por sus correspondientes intensivas en las actividades acordes a la aptitud territorial, utilizando esquemas de manejo y tecnología adecuada para minimizar el impacto ambiental.	El sistema fotovoltaico aprovecha superficies ya ocupadas dentro del hotel, favoreciendo una tecnología de uso intensivo de infraestructura preexistente y menor presión sobre nuevas áreas.
A-055	Coordinar los programas de gobierno que apoyan a la producción agropecuaria para actuar sinérgicamente sobre el territorio y la población que lo ocupa.	No corresponde al sector del PROYECTO.
A-056	Identificar e implementar aquellos cultivos aptos a las condiciones ambientales cambiantes.	EL PROYECTO no pretende el establecimiento de ningún tipo de cultivo o actividad asociada al sector agrícola por lo cual este criterio no le es aplicable
A-057	El establecimiento de zonas urbanas no debe realizarse en zonas de riesgo industrial, zonas de riesgo ante eventos naturales y zonas susceptibles de inundación y derrumbe. Tampoco deberá establecerse en zonas de restauración ecológica, en humedales, dunas costeras ni sobre manglares.	EL PROYECTO no implica el establecimiento de una nueva zona urbana; sin embargo, resulta congruente con esta acción en tanto no promueve la expansión de infraestructura hacia humedales, dunas, manglares o zonas de riesgo.
A-058	Realizar campañas para reubicar a personas fuera de las zonas de riesgo.	Acción de política pública y protección civil no vinculada directamente al objeto del PROYECTO.
A-059	Identificar, reforzar o dotar de equipamiento básico a las localidades estratégicas para la conservación y/o el desarrollo sustentable	No corresponde al objeto del sistema fotovoltaico.
A-060	Establecer y mejorar sistemas de alerta temprana ante eventos hidrometeorológicos extremos.	EL PROYECTO considera en su diseño, instalación y operación la exposición a huracanes, vientos extremos, lluvias intensas y demás eventos hidrometeorológicos, articulándose con los mecanismos de prevención y respuesta del complejo GPRM.
A-061	Mejorar las condiciones de las viviendas y de infraestructura social y comunitaria en las localidades de mayor marginación	Inaplicable por materia.
A-062	Fortalecer y consolidar las capacidades organizativas y de infraestructura para el manejo adecuado y disposición final de residuos peligrosos y de manejo especial. Asegurar el Manejo Integral de los Residuos Peligrosos.	El PROYECTO asegurará el manejo integral de los residuos generados durante instalación, operación, mantenimiento y abandono, incluyendo residuos de manejo especial y, en su caso, residuos

CRITERIO	ACCIONES-CRITERIOS	VINCULACIÓN
		peligrosos, con disposición a través de prestadores autorizados.
A-063	Instalar nuevas plantas de tratamiento de aguas residuales municipales y optimizar las ya existentes.	No forma parte del objeto del PROYECTO.
A-064	Completar la conexión de todas las viviendas al sistema de colección de aguas residuales municipales y a las plantas de tratamiento.	Inaplicable por materia.
A-065	Instrumentar programas de recuperación y mejoramiento de suelos mediante el uso de lodos inactivados de las plantas de tratamiento de aguas servidas municipales.	No corresponde al objeto ni a las actividades del PROYECTO.
A-066	Incrementar la capacidad de tratamiento de las plantas para dar tratamiento terciario a los efluentes e inyectar aguas de mayor calidad al manto freático en apoyo, en su caso, a la restauración de humedales.	No forma parte del alcance del sistema fotovoltaico.
A-067	Incrementar la capacidad de captación de aguas pluviales en las zonas urbanas y turísticas.	Aunque no es un componente propio del sistema fotovoltaico, la acción es compatible con una estrategia integral de sustentabilidad del hotel y puede complementarse con otras medidas ambientales del desarrollo.
A-068	Promover el manejo integral de los residuos sólidos, peligrosos y de manejo especial para evitar su impacto ambiental en el mar y zona costera.	EL PROYECTO implementa medidas específicas de manejo, almacenamiento temporal, recolección y disposición adecuada de residuos para evitar dispersión, arrastre o afectación al mar y a la zona costera.
A-069	Promover el tratamiento o disposición final de los residuos sólidos urbanos, peligrosos y de manejo especial para evitar su disposición en el mar.	Todos los residuos generados por EL PROYECTO serán canalizados a sitios o empresas autorizadas, evitando su abandono, disposición inadecuada o arrastre hacia ambientes costeros.
A-070	Realizar campañas de colecta y concentración de residuos sólidos en la zona costera para su disposición final.	Esta acción corresponde más a campañas públicas o institucionales de limpieza costera; EL PROYECTO no tiene ese objeto, aunque mantendrá condiciones de orden y limpieza durante su ejecución.
A-071	Diseñar e instrumentar acciones coordinadas entre sector turismo y sector conservación para reducir al mínimo la	No corresponde al objeto ni a las actividades del PROYECTO.

CRITERIO	ACCIONES-CRITERIOS	VINCULACIÓN
	afectación de los ecosistemas en zonas turísticas y aprovechar al máximo el potencial turístico de los recursos. Impulsar y fortalecer las redes de turismo de la naturaleza (ecoturismo) en todas sus modalidades como una alternativa al desarrollo local respetando los criterios de sustentabilidad según la norma correspondiente.	
A-072	Promover que la operación de desarrollos turísticos se haga con criterios de sustentabilidad ambiental y social, a través de certificaciones ambientales nacionales o internacionales, u otros mecanismos.	El sistema fotovoltaico fortalece el desempeño ambiental del complejo GPRM y constituye una medida consistente con criterios de sustentabilidad, ecoeficiencia y mejora ambiental de la operación turística.
A-077	La construcción, modernización y ampliación de la infraestructura aeroportuaria deberá minimizar la afectación de la estructura y función de los ecosistemas y sus bienes y servicios ambientales, entre éstos: flujos hidrológicos, conectividad de ecosistemas, especies en riesgo, recarga de acuíferos y hábitats críticos.	La acción se refiere a infraestructura portuaria, la cual no forma parte del objeto del PROYECTO.

2.2.1.3 Criterios zona costera inmediata mar caribe

De acuerdo con la ficha técnica de la UGA 139 se debe aplicar la vinculación de los criterios de Zona Costera Inmediata Mar Caribe, por tanto, a continuación se presenta la vinculación de los mismos con respecto a las actividades desarrolladas por EL PROYECTO, no obstante es necesario precisar que los criterios ZMC-01 a ZMC-08 se orientan principalmente a proteger arrecifes, pastos marinos, fauna marina, zonas coralinas, playas, tortugas y evitar contaminación marina, mientras que ZMC-14 enfatiza la importancia de humedales y flujos subterráneos en la protección del sistema costero-marino. EL PROYECTO no incide físicamente sobre estos ambientes, por lo que su relación principal es preventiva y de compatibilidad territorial.

CLAVE	CRITERIOS
ZMC-01	Con el fin de proteger y preservar las comunidades arrecifales, principalmente las de mayor extensión, y/o riqueza de especies en la zona, y aquellas que representan valores culturales particulares, se recomienda no construir ningún tipo de infraestructura en las áreas ocupadas por dichas formaciones.

EL PROYECTO no se desarrollará en el medio marino ni sobre formaciones arrecifales, sino sobre cubiertas de edificaciones existentes dentro del complejo hotelero. Por tanto, no implica ocupación, remoción, sombreado, anclaje, modificación física ni afectación directa o indirecta sobre comunidades arrecifales.

CLAVE	CRITERIOS
ZMC-02	Dado que los pastos marinos representan importantes ecosistemas para la fauna marina, debe promoverse su conservación y preservación, por lo que se debe evitar su afectación y pérdida en caso de alguna actividad o proyecto. Los estudios de impacto ambiental en esta zona, deberán demostrar la no afectación y pérdida de estos ecosistemas.

El PROYECTO no contempla actividades en lagunas arrecifales, bahías, zona marina, zona intermareal o fondos someros con pastos marinos. Al limitarse a techos existentes, no generará remoción, sedimentación, turbidez ni alteración de hábitats de pastos marinos.

CLAVE	CRITERIOS
ZMC-03	Se prohíbe la captura de mamíferos marinos, aves y reptiles salvo para fines de investigación, rescate y traslado con fines de conservación y preservación.

EL PROYECTO no contempla actividades de captura, manejo, aprovechamiento, traslado o interacción directa con fauna marina, aves o reptiles.

CLAVE	CRITERIOS
ZMC-04	Con el fin de preservar zonas coralinas, principalmente las más representativas por su extensión, riqueza y especies presentes, la ubicación y construcción de posibles puntos de anclaje deberán estar sujetas a estudios específicos que la autoridad correspondiente solicite.

EL PROYECTO no contempla puntos de anclaje, boyas, muelles, infraestructura náutica ni estructuras en el ambiente marino. Por tanto, el criterio no es aplicable directamente.

CLAVE	CRITERIOS
ZMC-05	Salvo en casos de rescate o con fines científicos para su conservación y preservación, no se debe permitir la recolección, remoción o trasplante de organismos vivos o muertos en las zonas arrecifales u otro ecosistema representativo.

EL PROYECTO no realizará extracción, recolección, remoción, trasplante ni aprovechamiento de organismos marinos vivos o muertos.

CLAVE	CRITERIOS
ZMC-06	La construcción de estructuras promotoras de playas deberá estar avaladas por las autoridades competentes y contar con los estudios técnicos y específicos que la autoridad requiera para este fin.

EL PROYECTO no contempla espigones, geotubos, arrecifes artificiales, rellenos, estructuras de protección costera ni obras para generación o estabilización de playas. No se modificará la dinámica litoral.

CLAVE	CRITERIOS
ZMC-07	Como una medida preventiva para evitar contaminación marina no debe permitirse el vertimiento de hidrocarburos y productos químicos de ningún tipo en los cuerpos de agua en esta zona.

EL PROYECTO no prevé vertimiento de hidrocarburos ni productos químicos en cuerpos de agua.

CLAVE	CRITERIOS
ZMC-08	Con el objeto de coadyuvar en la preservación de las especies de tortugas que año con año arriban en esta zona costera, es recomendable que las actividades recreativas marinas eviten llevarse a cabo entre el ocaso y el amanecer, esto en la temporada de anidación, principalmente en aquellos sitios de mayor incidencia de dichas especies.

EL PROYECTO no contempla actividades recreativas marinas, tránsito nocturno en playa ni uso de iluminación en zona de anidación. No obstante, cualquier iluminación temporal asociada a trabajos no se orientará hacia la playa o áreas sensibles.

CLAVE	CRITERIOS
ZMC-09	Con el objetivo de preservar las comunidades arrecifales en la zona, es importante que cualquier actividad que se lleve a cabo en ellos y su zona de influencia estén sujetas a permisos avalados que garanticen que dichas actividades no tendrán impactos adversos sobre los valores naturales o culturales de los arrecifes, con base en estudios específicos que determinen su capacidad de carga.

EL PROYECTO no contempla actividades turísticas, recreativas, constructivas o de operación en arrecifes. Por tanto, no se requiere capacidad de carga arrecifal para las obras planteadas.

CLAVE	CRITERIOS
ZMC-10	Con el fin de prevenir la contaminación y deterioro de las zonas marinas, es recomendable la difusión de las normas ambientales correspondientes en toda actividad náutica en la zona.

EL PROYECTO no implica actividades náuticas; sin embargo, como buena práctica ambiental, la capacitación del personal podrá incluir restricciones para evitar disposición de residuos, derrames o afectaciones indirectas al sistema costero.

CLAVE	CRITERIOS
ZMC-11	Se requerirá que, en caso de alguna actividad relacionada con obras de canalización y dragado debidamente autorizadas, se utilicen mallas geotextiles y otras tecnologías que eviten la suspensión y dispersión de sedimentos, en el caso de que exista el riesgo de que se afecten o resulten dañados recursos naturales por estas obras.

EL PROYECTO no contempla dragados, canalizaciones, excavaciones en zona marina ni movimientos de fondo. Por tanto, no generará sedimentos en suspensión en cuerpos de agua.

CLAVE	CRITERIOS
ZMC-12	Los proyectos relacionados con muelles de gran tamaño (para embarcaciones mayores de 500TRB [Toneladas de Registro Bruto] y/o 49 pies de eslora), deberán contar con estudios de impacto ambiental que incluyan estudios específicos batimétricos, topográficos, de mecánica de suelos y geohidrológicos, donde se demuestre que se asegura el mantenimiento de los procesos de transporte litoral, la calidad del agua marina, y la no afectación de comunidades

CLAVE	CRITERIOS
	marinas presentes en la zona, así como autorización por parte del INAH en caso de existir vestigios arqueológicos en el sitio.

EL PROYECTO no contempla muelles, marinas, infraestructura portuaria ni operación de embarcaciones. No es aplicable directamente.

CLAVE	CRITERIOS
ZMC-13	Las embarcaciones utilizadas para la pesca comercial o deportiva deberán portar los colores y claves distintivas asignadas por la Comisión Nacional de Pesca y Acuacultura, en los Lineamientos para los Mecanismos de Identificación y Control del Esfuerzo Pesquero, así como el permiso de pesca correspondiente.

Dada la naturaleza del PROYECTO, este no requerirá ni contempla la operación de embarcaciones de pesca; razón por la cual este criterio no le aplica.

CLAVE	CRITERIOS
ZMC-14	Por las características de gran volumen de los efluentes subterráneos de los sistemas asociados a la zona oriente de la Península de Yucatán y por la importancia que revisten los humedales como mecanismo de protección del ecosistema marino ante el arrastre de contaminantes de origen terrígeno en particular para esta región los fosfatos y algunos metales pesados producto de los desperdicios generados por el turismo, se recomienda en las UGA terrestres correspondientes (UGA:139, UGA:152 y UGA:156) estudiar la factibilidad y promover la creación de áreas de protección mediante políticas, estrategias y control de uso del suelo en esquemas como los Ordenamientos Ecológicos locales o mediante el establecimiento de ANP federales, estatales, municipales, o áreas destinadas voluntariamente a la conservación que actúen de manera sinérgica para conservar los atributos del sistema costero colindante y contribuyan a completar un corredor de áreas protegidas sobre toda la zona costera del Canal de Yucatán y Mar Caribe, en particular para mantener o restaurar la conectividad de los sistemas de humedales de la Península de Yucatán.

El criterio reconoce la importancia de los efluentes subterráneos de la Península de Yucatán, los humedales y la conectividad costera para proteger el ecosistema marino frente al arrastre de contaminantes. Aunque EL PROYECTO no crea áreas de protección, es congruente con el criterio al no intervenir humedales, manglares, cuerpos de agua, playas, dunas ni sistemas subterráneos, y al aprovechar infraestructura ya construida. Además, al incorporar energía solar, contribuye al mejoramiento ambiental de un desarrollo turístico existente sin ampliar su huella territorial

2.2.1.4 Criterios aplicables a la zona costera inmediata al municipio de Solidaridad Quintana Roo

CLAVE	CRITERIO
SOL-G-1	Las obras o actividades que impliquen la extracción de arena, los dragados, rellenos, excavaciones y cualquier obra o acción que genere sedimentos en

CLAVE	CRITERIO
	suspensión, o modifique directa o indirectamente el contorno del litoral y el fondo marino, por su impacto en la zona de influencia, deberá considerar los impactos sinérgicos potenciales de dichas obras o actividades, y en su caso, adoptar las medidas necesarias para su prevención y mitigación, de estar sujetas a autorización en materia de impacto ambiental federal.

EL PROYECTO no contempla ninguna de estas actividades; se instalará sobre cubiertas existentes, por lo que no modificará el contorno litoral, el fondo marino ni generará sedimentos suspendidos.

CLAVE	CRITERIO
SOL-G-2	Promover y fomentar que en toda obra, durante las etapas de preparación de sitio, construcción y operación, se apliquen las medidas adecuadas para el manejo de grasas, aceites, emisiones atmosféricas e hidrocarburos, que minimicen la afectación a los ecosistemas. En cuanto a los efectos de la emisión de energías como son vibración, ruido y energía lumínica provenientes de la maquinaria en uso, se acatarán las medidas de mitigación que establezca la autoridad competente.

De acuerdo a la naturaleza del PROYECTO no se prevé la generación continua de grasas, aceites, emisiones atmosféricas e hidrocarburos. No obstante, se implementarán los protocolos y medidas existentes en el SGMA existente en el complejo GPRM, el cual contempla el Plan de Manejo Integral de Residuos con diferentes acciones para cada tipo de residuo que pudiera ser generado por EL PROYECTO.

CLAVE	CRITERIO
SOL-G-3	Para aquellos eventos temporales de carácter cultural, recreativo o deportivo que se realicen en la zona marina y que requieran de instalaciones o infraestructura temporales, deberán ubicarse a una distancia mínima de 100 metros de las formaciones arrecifales, y bajo la supervisión de la autoridad competente.

EL PROYECTO no contempla eventos ni infraestructura temporal marina. No es aplicable.

CLAVE	CRITERIO
SOL-G-4	Evitar la instalación de infraestructura que afecte la dinámica del transporte litoral, incluyendo espigones, geotubos y cualquier barrera que obstruya o modifique los cauces principales del flujo y reflujo de marea para evitar el desbalance en los procesos costeros, con excepción de aquellos proyectos para fines de conservación y restauración de playas que impliquen una solución de manejo integral costero.

EL PROYECTO no contempla obras de protección costera ni estructuras en playa o zona marina; por tanto, no afectará el transporte litoral ni los flujos de marea.

CLAVE	CRITERIO
SOL-G-5	Las descargas de aguas residuales de cualquier tipo al mar o a las aguas interiores de recintos portuarios deberán cumplir estrictamente con la normatividad aplicable y con los términos de los permisos que para tales efectos se emitan.

EL PROYECTO fotovoltaico no genera aguas residuales de proceso ni contempla descargas al mar. Las necesidades sanitarias del personal deberán atenderse mediante la infraestructura existente del complejo o servicios autorizados, evitando cualquier descarga no controlada.

CLAVE	CRITERIO
SOL-G-6	Evitar el uso de explosivos que puedan dañar formaciones arrecifales y especies asociadas.

En ninguna de las actividades a desarrollar en EL PROYECTO serán utilizados explosivos de ningún tipo, por lo cual se cumple con este criterio.

CLAVE	CRITERIO
SOL-G-7	La autorización para la prestación de servicios acuáticos motorizados, incluyendo motos acuáticas, deportes de arrastre o remolque del tipo parasailing, bananas, ski, y similares, deberá considerar la elaboración de estudios técnicos que determinen la capacidad de carga del ecosistema, con el fin de que la Secretaría de Comunicaciones y Transportes pueda regular el número máximo de embarcaciones que presten estos servicios, propiciando así condiciones de seguridad y evitando daños al ecosistema.

El criterio aplica a servicios acuáticos motorizados. EL PROYECTO no contempla motos acuáticas, parasailing, bananas, ski ni actividades náuticas. No es aplicable.

CLAVE	CRITERIO
SOL-G-8	Para asegurar el aprovechamiento sustentable de los recursos arrecifales, se evitará la acuacultura intensiva o con especies no nativas que implique: la acumulación de materia orgánica compuesta por los restos de alimentos y/o por las mismas materias fecales de los organismos en cultivo; contaminación producida por los agentes químicos utilizados en la construcción, en la protección contra la corrosión y/o en antifijación de organismos incrustantes, así como en pigmentos incorporados al alimento, desinfectantes y diferentes productos utilizados para el control de enfermedades; la abundancia de patógenos provocada por el mantenimiento en condiciones de monocultivo, en altas densidades y en un lugar determinado y por un tiempo prolongado que provocara el contagio de patógenos que afecten a otras especies silvestres; o el posible escape o liberación de los individuos cultivados cuando éstos han sido modificados genéticamente.

EL PROYECTO no contempla acuacultura, cultivo de organismos ni manejo de especies acuáticas. No es aplicable.

CLAVE	CRITERIO
SOL-G-9	Promover ante las autoridades competentes la creación de "zonas de refugio" pesquero previstas en la Ley General de Pesca y Acuacultura Sustentables para la recuperación de las poblaciones y ecosistemas, incrementando el atractivo natural de las zonas.

EL PROYECTO no tiene relación con actividades pesqueras ni con la administración de zonas de refugio. No es aplicable directamente.

CLAVE	CRITERIO
SOL-G-10	Las actividades de pesca se realizarán preferentemente fuera de las zonas de nado, arrecifales y portuarias.

EL PROYECTO no contempla pesca comercial, deportiva o de autoconsumo. No es aplicable.

CLAVE	CRITERIO
SOL-G-11	Fomentar que los distintos tipos de actividades tanto pesqueras, como acuático-recreativas se realicen en horarios y zonas alternadas para evitar conflictos entre éstas y a través de acuerdos entre los sectores.

EL PROYECTO no contempla actividades pesqueras ni acuático-recreativas. No es aplicable.

CLAVE	CRITERIO
SOL-G-12	La pesca deportiva se realizará de acuerdo a la normatividad aplicable, conforme a buenas prácticas y con artes de pesca que minimicen el impacto a las especies capturadas.

El criterio regula la pesca deportiva. EL PROYECTO no contempla pesca deportiva. No es aplicable.

CLAVE	CRITERIO
SOL-G-13	Los responsables de las embarcaciones mayores que transiten en el área, cumpliendo con la normatividad aplicable, dispondrán de un sistema de captación, recuperación y manejo de aceites, grasas, combustibles y otro tipo de hidrocarburos, que pudieran verterse accidentalmente en el mar.

EL PROYECTO no utilizará embarcaciones mayores. No es aplicable directamente; no obstante, el manejo de aceites, grasas y residuos en tierra deberá seguir medidas preventivas equivalentes de control y contención.

CLAVE	CRITERIO
SOL-G-14	Las marinas y muelles, deberán permitir el libre paso de fauna acuática bajo sus instalaciones.

El criterio aplica a marinas y muelles, los cuales deben permitir el libre paso de fauna acuática. EL PROYECTO no contempla marinas, muelles ni infraestructura sobre cuerpos de agua. No es aplicable.

CLAVE	CRITERIO
SOL-G-15	Se evitará realizar el mantenimiento, limpieza, reparación de embarcaciones y motores, abastecimiento de combustible y achicamiento de las sentinas en aguas marinas abiertas, fuera de instalaciones portuarias o adecuadas para tal efecto, con excepción de casos de emergencia. En dicho supuesto se deberá notificar a la autoridad competente.

EL PROYECTO no contempla embarcaciones ni mantenimiento náutico. No es aplicable.

CLAVE	CRITERIO
SOL-G-16	La instalación de cualquier tipo de infraestructura portuaria, previa Manifestación y Resolución de Impacto Ambiental, se realizará de tal manera que no impacte significativamente en el ambiente debido a: los cambio de flujos marinos, la obstaculización del libre paso de la fauna, la limitación de la conectividad entre ecosistemas, la generación de sedimentos en suspensión, la alteración de las propiedades bioquímicas y físicas del agua y las estructuras arrecifales.

EL PROYECTO no contempla infraestructura portuaria ni obras marinas. No es aplicable directamente.

CLAVE	CRITERIO
SOL-G-17	Promover la señalización de las rutas para el tránsito de las embarcaciones en la zona, por parte de la autoridad competente.

EL PROYECTO no involucra navegación ni tránsito marítimo. No es aplicable.

CLAVE	CRITERIO
SOL-G-18	Promover programas de monitoreo de calidad del agua con el propósito de identificar las posibles fuentes de contaminación y establecer medidas que eviten y mitiguen daños a la salud pública y a los ecosistemas arrecifales.

EL PROYECTO no generará descargas al mar ni aguas residuales de proceso; por tanto, no requiere monitoreo marino específico. No obstante, es necesario precisar que el agua que sea desechada por las labores de mantenimiento del PROYECTO será conducida y tratada a través de la infraestructura existente en el complejo GPRM, donde el drenaje sanitario se encuentra separado del drenaje pluvial.

CLAVE	CRITERIO
SOL-G-19	Se evitará el abandono de embarcaciones.

El PROYECTO no utilizará embarcaciones. No es aplicable.

CLAVE	CRITERIO
SOL-G-20	El uso de vehículos acuáticos motorizados deberá realizarse en el marco de las autorizaciones expedidas para tal efecto, y evitando daños mecánicos a los arrecifes por encallamientos, por el golpe y arrastre de anclas o alguna parte de la embarcación o motor, derrames de aceites y combustibles, o generación o resuspensión de sedimentos.

EL PROYECTO no contempla vehículos acuáticos motorizados. No es aplicable.

CLAVE	CRITERIO
SOL-G-21	Las embarcaciones utilizarán de preferencia motores de cuatro tiempos, con la finalidad de minimizar la contaminación por hidrocarburos y aceites.

EL PROYECTO no usará embarcaciones. No es aplicable.

CLAVE	CRITERIO
SOL-G-22	Por motivos de seguridad de los usuarios, las embarcaciones y la integridad de los arrecifes de la zona, se evitará el acuatizaje de aeronaves.

EL PROYECTO no contempla aeronaves ni acuatizaje. No es aplicable.

CLAVE	CRITERIO
SOL-G-23	Sólo se permite el acuatizaje de hidroaviones en el área de lagunas arrecifales, con fines de protección civil y vigilancia.

EL PROYECTO no contempla hidroaviones. No es aplicable.

CLAVE	CRITERIO
SOL-G-24	Se evitará la extracción, captura o comercialización de especies de flora y fauna marina nativas, a excepción de aquellas que se extraigan, capturen o comercialicen en términos de la normatividad aplicable y de los permisos que para tal efecto haya emitido la SEMARNAT o la SAGARPA.

EL PROYECTO no contempla extracción, captura, comercialización ni aprovechamiento de especies marinas. No es aplicable directamente.

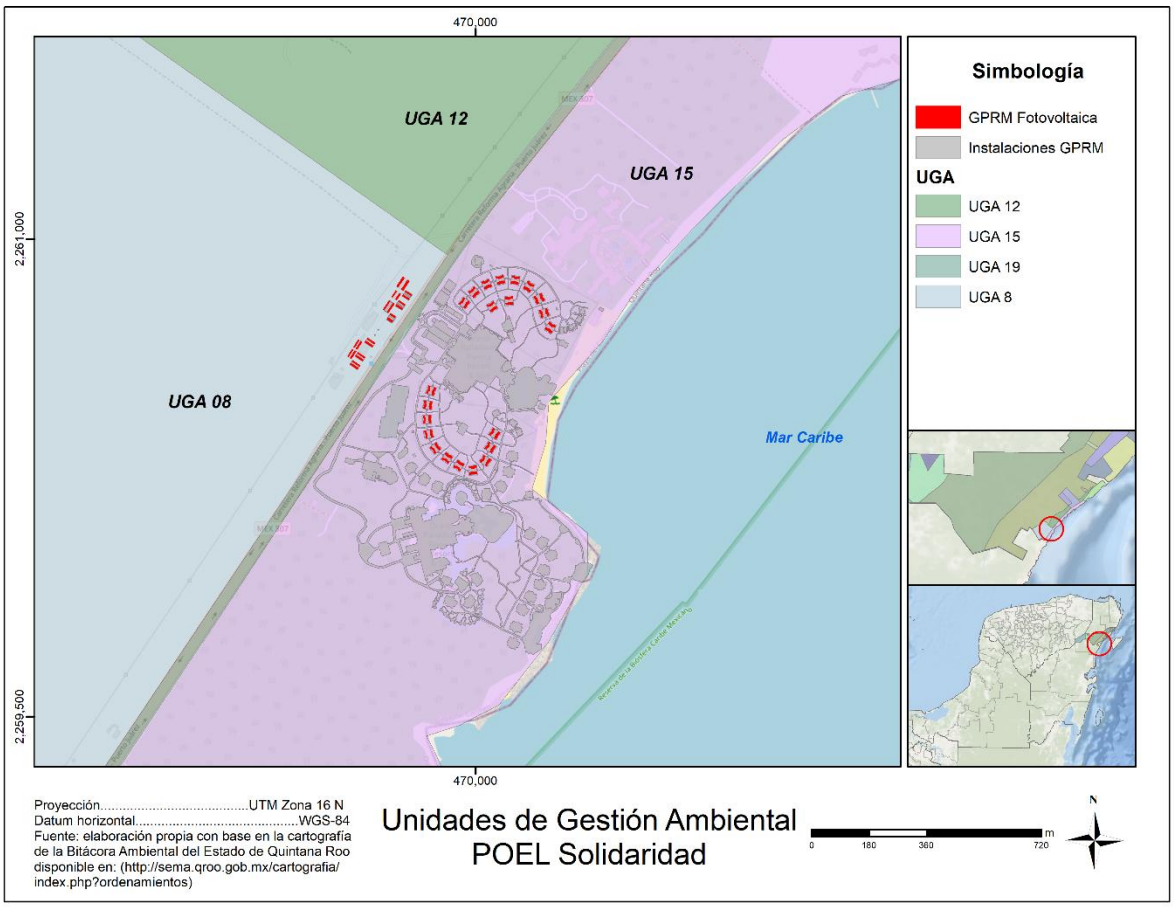
CLAVE	CRITERIO
SOL-G-25	La captura de individuos vivos de especies exóticas sólo podrá realizarse de conformidad con lo dispuesto en la Ley General de Vida Silvestre y demás disposiciones jurídicas aplicables.

EL PROYECTO no contempla captura, manejo o traslado de especies exóticas. No es aplicable.

2.2.2 Programa de Ordenamiento Ecológico Local del Municipio de Solidaridad

El Programa de Ordenamiento Ecológico Local del Municipio de Solidaridad (actualmente Playa del Carmen) posee en total 19 unidades de gestión ambiental (UGA), a las que asigna diferente política, lineamientos y uso del suelo, así como distintos criterios de regulación ecológica, con objeto de propiciar el aprovechamiento sustentable del territorio. EL PROYECTO se encuentra inmerso principalmente en dos unidades: la UGA 8 Zona Urbana Akumal y la UGA 15 Corredor Paamul-Yalku (Figura 2-3).

Figura 2-3. POEL del Municipio de Solidaridad.



Fuente: Elaboración propia con base la cartografía de la Bitácora Ambiental del Estado de Quintana Roo disponible en: http://sema.qroo.gob.mx/cartografia/index.php?ordenamientos.

Es importante precisar que la UGA 19 corresponde a la zona asociada a la carretera federal. Si bien EL PROYECTO contempla el uso de los accesos existentes como rutas de ingreso, circulación y maniobra temporal para el traslado de personal, herramientas, materiales y equipos, en dicha zona no se prevé el establecimiento de obras permanentes ni temporales que impliquen desmonte, modificación del terreno, alteración de la infraestructura vial, cambio de uso de suelo o afectación directa a los elementos ambientales regulados por dicha UGA. En este sentido, la utilización de los accesos se limitará a actividades logísticas de apoyo, sin que ello represente una intervención física sobre la carretera federal o su derecho de vía. Por tanto, la evaluación de congruencia ambiental del PROYECTO se enfoca principalmente en las disposiciones aplicables a las UGA 8 y 15, sin omitir que

cualquier actividad de tránsito, maniobra o movilización deberá realizarse bajo medidas preventivas que eviten la generación de residuos, derrames, obstrucciones, emisiones innecesarias o cualquier afectación indirecta al entorno inmediato. En la Tabla 2-3 y Tabla 2-4 se presentan los lineamientos generales para la UGA 8 y UGA 15 respectivamente.

Tabla 2-3. Lineamientos generales UGA 8 POEL Solidaridad

NOMBRE	ZONA URBANA DE AKUMAL	UGA 8
Política ambiental	Aprovechamiento urbano	
Vocación de uso del suelo	Urbana	
Usos condicionados	Los que establezca el Plan Director de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Akumal 2007-2032 (P.O. 13 de diciembre de 2007).	
Usos incompatibles	Los que establezca el Plan Director de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Akumal 2007-2032 (P.O. 13 de diciembre de 2007).	
CRITERIOS DE REGULACIÓN ECOLÓGICA		
Uso	Criterios de regulación ecológica aplicables a las áreas urbanas	
Urbano	1 al 33	

Tabla 2-4. Lineamientos generales UGA 15 POEL Solidaridad

NOMBRE	CORREDOR TURÍSTICO PAAMUL-YALKU	UGA 15
Política ambiental	Conservación	
Vocación de uso del suelo	Turística	
Usos condicionados	Turístico, ecoturístico, suburbano, UMA's, deportivo, parque recreativo, comercial, equipamiento, reserva natural, marina.	
Usos incompatibles	Forestal, agropecuario, agroforestal, agroindustrial, urbano, industrial, minero.	
CRITERIOS DE REGULACIÓN ECOLÓGICA		
Uso	Criterios de regulación ecológica aplicables a las áreas urbanas	
Turístico	06, 08, 09, 13, 14, 15, 19, 21, 27, 36, 38, 53, 54, 55, 56, 57, 59, 62, 64, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 75, 79, 80, 81, 83, 84, 85, 87, 89, 91, 92, 93, 95, 96, 97, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109.	

2.2.2.1 Criterios generales

Los criterios de regulación ecológica de aplicación general (CG), son aplicables a la totalidad del territorio ordenado fuera de los centros de población legalmente constituidos en el Municipio Solidaridad, independientemente del uso del suelo que se pretenda dar a los predios particulares. Por lo tanto, son de observación para EL PROYECTO, aunque su vinculación directa con el mismo se describe en la Tabla 2-5.

Tabla 2-5. Vinculación con Criterios Generales del POEL Solidaridad.

CLAVE	CRITERIO	VINCULACIÓN
CG-01	Las actividades, obras y proyectos que se pretendan desarrollar dentro del área municipal, deberán dar cabal cumplimiento a lo establecido en el marco normativo ambiental vigente, considerando de manera enunciativa pero no limitativa, Tratados Internacionales suscritos por México, Leyes Generales, Leyes Estatales, Normas Oficiales Mexicanas, Reglamentos Federales, Estatales y Municipales, Declaratorias y Decretos, Planes y Programas de Manejo aplicables en materia ambiental, urbana, manejo de residuos, protección de flora y fauna y emisión de contaminantes, uso y goce de la Zona Federal Marítimo Terrestre; por lo que no se describen como criterios las obligaciones, límites máximos permisibles o cualquier otro parámetro establecido por estos instrumentos de carácter obligatorio.	EL PROYECTO se someterá al marco normativo ambiental aplicable y a las autorizaciones que correspondan. La obra consiste en instalar infraestructura fotovoltaica en cubiertas existentes del complejo GPRM, sin cambio de uso de suelo, sin desmonte y sin modificación de cuerpos de agua o ZOFEMAT; por ello su cumplimiento se concentrará en la gestión ambiental de obra, manejo de residuos, prevención de contaminación, seguridad eléctrica y atención de condicionantes que emita la autoridad.
CG-02	Antes del inicio de cualquier obra o actividad se deberá ejecutar el rescate selectivo de vegetación en el área de aprovechamiento proyectada. La selección de las especies, el número de individuos por especie a rescatar y la densidad mínima de rescate, los métodos y técnicas aplicables, así como el monitoreo del programa, se determinarán y propondrán en un estudio técnico o programa que deberá acompañar al estudio de impacto ambiental aplicable al proyecto. Las actividades de rescate de vegetación deberán obtener de manera previa a su inicio la autorización correspondiente.	No aplica directamente. La instalación se realizará sobre cubiertas de edificaciones existentes, por lo que no se prevé remoción de vegetación ni apertura de áreas de aprovechamiento en suelo natural. En consecuencia, no se requiere rescate selectivo de vegetación. Como medida preventiva, las áreas verdes colindantes deberán permanecer delimitadas y libres de acopio, tránsito o disposición de materiales.
CG-03	Previo al inicio de cualquier obra o actividad de cada proyecto se deberán ejecutar medidas preventivas orientadas a la protección de los individuos de fauna silvestre presentes en el área de aprovechamiento proyectada. La selección de los métodos y técnicas a aplicar se determinará con base en un estudio técnico o programa que deberá acompañar al estudio de impacto ambiental aplicable al proyecto. Las medidas deberán obtener de manera previa a su inicio la autorización correspondiente.	Aunque el área de intervención corresponde a techos y superficies construidas, antes del inicio de actividades se realizará una inspección visual de las cubiertas y zonas inmediatas para descartar presencia de nidos, refugios o individuos de fauna. Si se detecta fauna silvestre, se deberá evitar su manipulación por personal no autorizado y aplicar medidas de

CLAVE	CRITERIO	VINCULACIÓN
		ahuyentamiento, rescate o reubicación por personal capacitado tal como lo determina el actual Sistema de Gestión y Manejo Ambiental (SGMA) del complejo.
CG-04	Los proyectos de cualquier índole deberán incorporar a sus áreas verdes vegetación nativa propia del ecosistema en el cual se realice el proyecto. Únicamente se permite el empleo de flora exótica que no esté incluida en el listado de flora exótica invasiva de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). La selección de especies a incluir en las áreas verdes, así como el diseño de jardines deberá sustentarse en un programa de arborización y ajardinado que deberá acompañar al estudio de impacto ambiental aplicable al proyecto. Se deberá emplear una proporción de 4 a 1 entre plantas de especies nativas y especies ornamentales, excluyendo los pastos.	EL PROYECTO no considera la creación, modificación o ampliación de áreas verdes, jardines o paisajismo. Al ejecutarse sobre infraestructura existente, no introduce flora ornamental, exótica ni invasora. Las áreas verdes actuales del hotel se mantendrán sin afectación por acopio, tránsito de materiales o residuos.
CG-05	Con la finalidad de evitar el fraccionamiento de los ecosistemas y el aislamiento de las poblaciones, se deberán agrupar las áreas de aprovechamiento y mantener la continuidad de las áreas con vegetación natural. Para lo cual, el promovente deberá presentar un estudio de zonificación ambiental que demuestre la mejor ubicación de la infraestructura planteada por el proyecto, utilizando preferentemente las áreas perturbadas por usos previos o con vegetación secundaria o acahual.	La infraestructura fotovoltaica se concentra en cubiertas ya construidas del complejo GPRM, utilizando superficies previamente ocupadas por edificaciones. Esta decisión evita la apertura de nuevas áreas de aprovechamiento, reduce la presión sobre vegetación natural y no genera fragmentación adicional de ecosistemas.
CG-06	En el desarrollo de los proyectos se debe realizar el aprovechamiento integral de los recursos naturales existentes en el predio, por lo que será obligatorio realizar la recuperación de tierra vegetal en las superficies que se desmonten, así como el triturado y composteo de la madera resultante del desmonte que se autorice. Los materiales obtenidos no podrán ser comercializados –salvo autorización expresa de la autoridad correspondiente-, sino aprovechados en el mejoramiento de áreas verdes, de equipamiento o de donación.	No se proyecta desmonte, remoción de tierra vegetal ni aprovechamiento de madera o biomasa. Por tanto, no se generarán materiales vegetales que deban triturarse, compostearse o reincorporarse a áreas verdes.
CG-07	Los proyectos que generen aguas residuales (grises, negras, azules o jabonosas) deberán disponerlas a través de un sistema de tratamiento de aguas residuales propio que cumpla con la normatividad vigente aplicable. La descripción del sistema de tratamiento deberá incorporarse en el estudio de impacto ambiental aplicable al proyecto.	EL PROYECTO no generará nuevas aguas residuales de proceso ni requiere una planta de tratamiento adicional. Las necesidades sanitarias del personal durante la instalación se atenderán mediante la infraestructura sanitaria existente del hotel o servicios temporales

CLAVE	CRITERIO	VINCULACIÓN
	Sólo se permitirá la reutilización de las aguas residuales tratadas cuándo éstas cumplan con la normatividad ambiental vigente.	autorizados, evitando descargas fuera de los sistemas permitidos.
CG-08	En cualquier obra deberá estar separada la canalización del drenaje pluvial del drenaje sanitario.	La instalación fotovoltaica no contempla modificar la red de drenaje sanitario ni la red de drenaje pluvial del complejo. Durante la obra se evitará que residuos, empaques, polvo, fragmentos de cable, selladores u otros materiales lleguen a bajantes pluviales o registros, lo cual puede tener el debido seguimiento dado que el complejo GPRM cuenta con un SGMA.
CG-09	La canalización del drenaje pluvial hacia el mar o cuerpos de agua superficiales o pozos de absorción, podrá realizarse previa filtración de sus aguas con sistemas de decantación, trampas de grasas y sólidos u otros que garanticen la retención de sedimentos o contaminantes y deberá ser aprobada por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).	No se prevé construir ni modificar canalizaciones pluviales hacia el mar, cuerpos de agua o pozos de absorción.
CG-10	Los materiales calizos y los recursos naturales que se utilicen durante la construcción de un proyecto deberán provenir de fuentes o bancos de material autorizados.	EL PROYECTO no requiere materiales calizos ni bancos de material para desplante de obra.
CG-11	En el manejo de áreas verdes, campos, canchas, pistas, viveros, plantaciones o sembradíos y para el control de pestes y plagas, sólo se permite el uso de sustancias autorizadas por la Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas (CICOPLAFEST).	EL PROYECTO no incluye manejo de áreas verdes, campos, viveros, plantaciones ni control de plagas. No se prevé uso de plaguicidas, fertilizantes o sustancias sujetas a autorización de CICOPLAFEST.
CG-12	Los proyectos que se realicen fuera de los centros de población, en predios mayores a 5 hectáreas, deberán llevar a cabo un monitoreo del desempeño ambiental del proyecto, el cual deberá sustentarse en un estudio técnico o programa en el que se establezcan los indicadores de calidad ambiental que permitan identificar la eficacia de las medidas sobre los principales componentes de la biota, así como los métodos, técnicas que permitan medir tales indicadores y los tiempos y mecanismos para la interpretación de los resultados. Este estudio deberá acompañar al estudio de impacto ambiental aplicable al proyecto. El promovente deberá entregar copia de los reportes a la SEDUMA para su inclusión en la Bitácora Ambiental.	EL PROYECTO corresponde a la instalación de equipos sobre cubiertas existentes y no implica aprovechamiento de nuevas superficies naturales. No obstante, se integrará el seguimiento ambiental al SGMA del complejo GPRM mediante indicadores simples: residuos generados y enviados a destino autorizado, incidentes de derrames, quejas por ruido, cumplimiento de horarios, y verificación de no afectación a áreas verdes o fauna.
CG-13	Los residuos derivados de las obras no se dispondrán sobre la vegetación remanente dentro	Los residuos de instalación, tales como empaques, cartón, plásticos,

CLAVE	CRITERIO	VINCULACIÓN
	del predio, ni sobre la vegetación circundante, debiéndose trasladar al sitio de disposición final de residuos de manejo especial que establezca el municipio o el estado.	tarimas, flejes, recortes de cable, canalizaciones, tornillería y otros residuos de manejo especial, serán segregados, almacenados temporalmente en sitios definidos y retirados a destinos autorizados. Quedando prohibida su disposición sobre vegetación remanente, áreas verdes o zonas circundantes.
CG-14	Está prohibida la introducción de especies de flora o fauna exóticas o invasoras incluidas en los listados de la CONABIO, en áreas naturales, cavernas y cuerpos de agua superficiales o subterráneos. La introducción y manejo de especies exóticas sólo se permite en áreas modificadas previa autorización de la SEMARNAT o la SAGARPA. Se excluye de esta restricción las especies de plantas ornamentales tropicalizadas de uso común en la zona Norte de Quintana Roo que se destinen a la conformación de áreas verdes o jardines.	EL PROYECTO no contempla introducir especies de flora o fauna, ni realizar actividades en cavernas o cuerpos de agua. Por tanto, no se incorporarán especies exóticas o invasoras. Se deberá vigilar que el personal no libere, alimente, capture o traslade fauna dentro del complejo.
CG-15	Los promoventes que pretendan llevar a cabo obras o actividades en zonas que se constituyan como sitios de anidación o reproducción de una o más especies de fauna incluida en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2001, deberán implementar acciones que aseguren la disponibilidad de sitios de anidación y reproducción de tales especies. Estas acciones deberán estar sustentadas en un plan de manejo de acuerdo con la Ley General de Vida Silvestre, que deberá acompañar al manifiesto de impacto ambiental o al informe preventivo aplicable al proyecto. Las acciones deberán obtener de manera previa a su inicio la autorización correspondiente.	Las obras se realizarán sobre cubiertas existentes y no se ubican, por su naturaleza, en sitios de anidación o reproducción de especies listadas en la NOM-059. Sin embargo, dado que el área del PROYECTO incluye accesos aledaños a zonas con vegetación natural se llevará estricto apego a las medidas de protección y cuidado que ya se tienen instrumentalizadas en el complejo a través de su SGMA. Si durante la inspección previa o la ejecución se detectan nidos o individuos en reproducción, se suspenderá el frente específico y se aplicará un protocolo de protección de fauna con personal capacitado.
CG-16	Los campamentos para trabajadores de la construcción deberán ser dignos para la vida humana, contar con servicios sanitarios, agua potable, un reglamento para el manejo de residuos sólidos, así como una estrategia de protección civil para atender las alertas por fenómenos hidrometeorológicos. La proporción de servicios sanitarios será de al menos 1 por cada 25 trabajadores.	La obra no requiere campamentos para trabajadores. El personal usará servicios existentes del complejo o servicios temporales autorizados, y recibirá reglas de manejo de residuos, seguridad laboral y actuación ante fenómenos hidrometeorológicos.

CLAVE	CRITERIO	VINCULACIÓN
CG-17	El uso del fuego estará condicionado a lo establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-015-SEMARNAP/SAGAR-1997.	No se utilizará fuego para ninguna actividad de preparación, instalación, limpieza o manejo de residuos.
CG-18	Los proyectos que se realicen fuera de los centros de población, en predios mayores a 5 hectáreas, durante las etapas de preparación del sitio y construcción, deberán presentar de manera semestral a la SEDUMA para su inclusión en la Bitácora Ambiental, un plano georreferenciado (UTM, Datum WGS-84, Zona 16Q) de las áreas aprovechadas dentro del predio, en donde se especifiquen los tipos de vegetación afectados y su superficie.	EL PROYECTO no ocupará áreas adicionales a las ya autorizadas en el complejo GPRM, de tal forma que no se hará remoción de ningún tipo de vegetación y por lo tanto no le es aplicable el criterio.
CG-19	Para la apertura de caminos de acceso y vialidades de cualquier tipo fuera de los centros de población se requiere contar con la autorización en materia de impacto ambiental, así como de la autorización de cambio de uso del suelo que por excepción emite la autoridad federal correspondiente.	EL PROYECTO no contempla apertura de caminos, vialidades ni accesos nuevos. La movilización de personal y materiales se realizará por vialidades y accesos internos existentes del hotel.
CG-20	El establecimiento de viviendas o unidades de hospedaje de cualquier tipo, deberá ubicarse a una distancia mayor a 1,000 metros medidos a partir del pozo de extracción de agua potable de la red pública para abasto urbano más cercano.	EL PROYECTO no consiste en viviendas ni unidades de hospedaje nuevas; se trata de infraestructura complementaria de generación eléctrica sobre edificaciones existentes.
CG-21	En el desarrollo u operación de cualquier tipo de proyecto se debe evitar el derrame al suelo o cuerpos de agua de combustibles, lubricantes, grasas, aceites, pinturas u otras sustancias potencialmente contaminantes. De igual manera, se deberá evitar la disposición inadecuada de materiales impregnados con estas sustancias o de sus recipientes. En este sentido el promovente deberá manifestar el tipo de sustancias potencialmente contaminantes que empleará en las distintas etapas del proyecto, así como las medidas de prevención, mitigación y, en su caso, corrección, que aplicará en cada etapa. Para el almacenamiento de este tipo de sustancias o sus residuos se deberá contar con un almacén que cumpla con las especificaciones establecidas en la normatividad aplicable y se deberá llevar el registro de su manejo en la bitácora del almacén.	Durante instalación, operación y mantenimiento se prevé el uso mínimo de los materiales señalados en el criterio. No obstante, los insumos serán resguardados y manejados de acuerdo a los protocolos internos con los que ya se cuenta en el complejo GPRM. Los residuos derivados serán dispuestos en contenedores cerrados, sobre superficies impermeables, con material absorbente disponible, y sus envases o materiales impregnados se manejarán conforme a su clasificación, todo ello en concordancia con el Plan Integral de Manejo de Residuos con el que ya cuenta el complejo.
CG-22	El uso de explosivos, estará regulado por los lineamientos de la Secretaría de Defensa Nacional y la normatividad aplicable. Previamente a la utilización de explosivos deberá entregarse a la autoridad competente en materia de protección civil, el cronograma de	No se utilizarán explosivos en ninguna etapa del PROYECTO.

CLAVE	CRITERIO	VINCULACIÓN
	detonaciones y el programa de protección civil correspondiente que deberá estar disponible al público en general.	
CG-23	Todos los proyectos que en cualquiera de sus etapas de desarrollo generen residuos peligrosos deberán contar con un almacén de residuos peligrosos y disponerlos a través de una empresa autorizada en el manejo de los mismos, conforme a la legislación y normatividad ambiental aplicable en la materia.	Dada la naturaleza del PROYECTO la generación de residuos peligrosos será mínima y en cantidades que fácilmente pueden ser manejadas a través de los protocolos y acciones contempladas en el Plan de Manejo Integral de Residuos que forma parte del SGMA con el que cuenta el complejo GPRM.
CG-24	Para los fines de aplicación de este instrumento, en particular para la definición de competencias para la evaluación en materia de impacto ambiental, la zona costera o ecosistema costero del Municipio Solidaridad fuera de los centros de población está delimitada entre la zona federal marítimo terrestre y la carretera federal 307. El territorio localizado al poniente de la carretera federal 307 se considera zona continental.	Se atiende como criterio de referencia territorial y competencial. EL PROYECTO se ubica dentro del complejo Grand Palladium Riviera Maya, en Playa del Carmen, y no implica ocupación ni aprovechamiento de la ZOFEMAT. La evaluación deberá considerar la delimitación de zona costera o ecosistema costero que corresponda para definir la competencia ambiental aplicable.
CG-25	La superficie que se permite ocupar en un predio será el área de aprovechamiento máxima permitida para el desplante de las obras provisionales o definitivas proyectadas, incluyendo obras de urbanización (red de abasto de agua potable, red de alcantarillado sanitario, planta de tratamiento de aguas residuales o fosas sépticas, red de electrificación y alumbrado, obras viales interiores, estacionamientos y las que se requieran para la incorporación del proyecto a la red vial), las obras o edificaciones de que conste el proyecto, así como los jardines, áreas públicas, albercas y áreas verdes. La superficie restante deberá mantenerse en condiciones naturales siendo responsabilidad del propietario su preservación y protección. No se contabilizan los senderos, brechas o andadores peatonales al interior de las áreas naturales que se conserven dentro del predio y que sirvan para intercomunicar las diferentes áreas de instalaciones o servicios dentro del proyecto. Las áreas previamente desmontadas o sin vegetación dentro del predio podrán formar parte del área de aprovechamiento permitida y deben considerarse en primer lugar para el desplante de las obras que se proyecten. Cuando por motivo del diseño y funcionalidad de un proyecto no	La ocupación física del PROYECTO ocurre sobre cubiertas de edificaciones ya existentes y no aumenta el desplante sobre suelo natural. No se proyectan nuevas vialidades, estacionamientos, edificaciones, áreas verdes ni urbanización adicional. La superficie natural remanente del predio no será intervenida y deberá mantenerse protegida.

CLAVE	CRITERIO	VINCULACIÓN
	resulte conveniente el uso de las áreas previamente desmontadas, podrá solicitarse el aprovechamiento de otras áreas siempre que el promovente se obligue a reforestar las áreas afectadas que no utilizará, situación que deberá realizar de manera previa a la etapa de operación del proyecto. Cuando el área afectada dentro del predio sea mayor al área de aprovechamiento máxima permitida en el mismo, el propietario deberá implementar medidas tendientes a la restauración ambiental de la superficie excedente de manera previa a la conclusión de laetapa de construcción. Dichas medidas deberán sustentarse en un estudio técnico o programa de restauración que deberá acompañar al manifiesto de impacto ambiental o al informe preventivo aplicable al proyecto. Las actividades de restauración ambiental deberán obtener de manera previa a su inicio la autorización correspondiente.	
CG-26	Para el aprovechamiento de predios, cuerpos de agua o cavernas en los que se detecten vestigios arqueológicos, deberá obtenerse de manera previa al inicio de obras la autorización del Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH). Si el hallazgo arqueológico se realiza durante el desarrollo del proyecto se deberá informar de manera inmediata al INAH.	Para el desarrollo del PROYECTO no se realizarán excavaciones, cimentaciones nuevas ni aprovechamiento de cuerpos de agua o cavernas. De tal manera que no se pretende intervenir en ningún sentido áreas diferentes a las ya intervenidas por el complejo GPRM, por lo que la probabilidad de los hallazgos mencionados durante las acciones y etapas del PROYECTO es totalmente nula.
CG-27	Las obras de infraestructura o equipamiento regional de interés público sólo se permiten con la aprobación del H. Cabildo de Solidaridad y/u otras autoridades competentes, previa autorización en materia de impacto ambiental y de cambio de uso del suelo de terrenos forestales.	No aplica. EL PROYECTO no corresponde a infraestructura o equipamiento regional de interés público; se trata de infraestructura privada de generación eléctrica complementaria para autoconsumo del complejo hotelero.
CG-28	Para el aprovechamiento o uso de especies vegetales o animales silvestres o nativas, partes de ellas o subproductos de los mismos, así como de los recursos forestales, se requiere que éstos productos provengan de UMA’s o Productores Forestales autorizados y den cumplimiento a lo establecido en la normatividad aplicable.	No aplica. No se prevé aprovechamiento, extracción, uso o comercialización de especies vegetales o animales silvestres, partes, subproductos o recursos forestales.
CG-29	Con la finalidad de garantizar la estabilidad de las edificaciones, así como evitar el desplome o alumbramiento innecesario del acuífero o la afectación de estructuras y sistemas cársticos, los promoventes deberán realizar de manera	EL PROYECTO no implica desplante sobre suelo ni intervención del sistema cárstico, la instalación sobre cubiertas se sustenta en la revisión estructural

CLAVE	CRITERIO	VINCULACIÓN
	previa al inicio de obras un estudio de mecánica de suelos avalado por un laboratorio acreditado ante la Entidad Mexicana de Acreditación.	de las losas, capacidad de carga, fijaciones, anclajes, impermeabilización y resistencia a viento. En este sentido EL PROYECTO no implica el establecimiento de infraestructura que comprometa el suelo cárstico.
CG-30	Los promoventes deberán implementar un programa de información y capacitación ambiental para los trabajadores que viven en los campamentos de construcción, que los ilustre sobre las especies de flora y fauna que cuentan con protección especial, para evitar su depredación.	En ninguna etapa del PROYECTO habrá campamentos de construcción, sin embargo, el personal recibirá inducción ambiental sobre manejo de residuos, prohibición de captura o alimentación de fauna, protección de áreas verdes, prevención de derrames y atención de hallazgos de fauna. Todo ello bajo la estructura y protocolos del SGMA.
CG-31	En caso que se autorice la ejecución de obras o construcciones sobre cavernas, secas o inundadas, deberá realizarse programa de monitoreo de la misma, el cual deberá acompañar al manifiesto de impacto ambiental, para su aprobación y, en su caso, implementación.	EL PROYECTO no pretende llevar a cabo ninguna obra o actividad sobre ningún tipo de caverna, por lo cual no es un criterio de directa aplicación y no incumple lo que regula.
CG-32	En predios en los que existan manglares deberá cumplirse lo establecido en la Ley General de Vida Silvestre y las Normas Oficiales Mexicanas aplicables.	EL PROYECTO no intervendrá ni modificará ningún ecosistema de manglar o humedal. Todas las acciones se realizarán sobre áreas ya construidas.
CG-33	Para la práctica de actividades autorizadas al interior de cavernas o cenotes, únicamente se permite el uso de luz amarilla o roja, la cual solamente se encenderá durante la estancia de los usuarios.	No aplica. EL PROYECTO no contempla actividades al interior de cavernas o cenotes.
CG-34	Se prohíbe la disposición de aguas residuales, con o sin tratamiento, en cenotes, cuevas inundadas o cuevas secas.	Cumple. EL PROYECTO no generará descargas de aguas residuales hacia cenotes, cuevas inundadas o cuevas secas. Cualquier necesidad sanitaria del personal será fácilmente atendida por las amenidades ya existentes en el complejo GPRM.
CG-35	En los términos que establece la Ley para la Gestión Integral de Residuos del Estado de Quintana Roo, los promoventes deberán aplicar el Plan de Manejo de residuos correspondiente durante las distintas etapas de desarrollo y operación de las obras o actividades que se le autoricen.	El complejo GPRM cuenta actualmente con un Plan de Manejo de Residuos sustentado en el SGMA. De tal forma que los residuos generados durante la instalación, operación, mantenimiento y eventual retiro del sistema, serán manejados conforme a los protocolos y acciones definidos en dicho instrumento.

CLAVE	CRITERIO	VINCULACIÓN
CG-36	En el caso de fraccionamientos que se desarrollen fuera de los centros urbanos, el área de aprovechamiento máxima del predio o lote será la que establece la Ley de Fraccionamientos del Estado de Quintana Roo. La superficie remanente deberá mantenerse en condiciones naturales.	No aplica. EL PROYECTO no corresponde a un fraccionamiento ni a la apertura de lotes fuera de centros urbanos.

2.2.2.2 Criterios de regulación ecológica aplicables a las áreas urbanas

Los criterios de regulación ecológica aplicables a las áreas urbanas (CU), son aplicables a la totalidad del territorio ordenado dentro de los centros de población legalmente constituidos en el Municipio Solidaridad, independientemente del uso del suelo que se pretenda dar a los predios particulares. Dado que EL PROYECTO converge en la UGA 08 debe cumplir con los criterios aplicables a las áreas urbanas de tal forma que en la Tabla 2-6 se brinda la vinculación específica con respecto a dichos criterios.

Tabla 2-6. Criterios de regulación ecológica aplicables a las áreas urbanas (UGA 08).

CLAVE	CRITERIO	VINCULACIÓN
CU-01	Las actividades, obras y proyectos que se pretendan desarrollar dentro del área municipal, deberán dar cabal cumplimiento a lo establecido en el marco normativo ambiental vigente, considerando de manera enunciativa pero no limitativa, Tratados Internacionales suscritos por México, Leyes Generales, Leyes Estatales, Normas Oficiales Mexicanas, Reglamentos Federales, Estatales y Municipales, Declaratorias y Decretos, Planes y Programas de Manejo aplicables en materia ambiental, urbana, manejo de residuos, protección de flora y fauna y emisión de contaminantes, uso y goce de la Zona Federal Marítimo Terrestre; por lo que no se describen como criterios las obligaciones, límites máximos permisibles o cualquier otro parámetro establecido por estos instrumentos de carácter obligatorio.	Cumple. EL PROYECTO se ejecutará conforme al marco normativo ambiental, urbano, de residuos, seguridad eléctrica, protección de flora y fauna y emisiones aplicable. Su naturaleza es de infraestructura fotovoltaica sobre cubiertas existentes, por lo que el cumplimiento se orienta principalmente a autorizaciones ambientales, manejo de residuos, prevención de contaminación y control operativo durante instalación y mantenimiento.
CU-02	Antes del inicio de cualquier obra o actividad se deberá ejecutar el rescate selectivo de vegetación en el área de aprovechamiento proyectada. La selección de las especies, el número de individuos por especie a rescatar y la densidad mínima de rescate, los métodos y técnicas aplicables, así como el monitoreo del programa se determinarán y propondrán en un estudio técnico o programa que deberá acompañar al estudio de impacto ambiental aplicable al proyecto. Las actividades de rescate	No aplica directamente. No se requiere rescate selectivo de vegetación porque el desplante se realizará sobre techos de edificaciones existentes y no sobre áreas con cobertura vegetal. Las áreas verdes del hotel se mantendrán libres de acopios, tránsito de materiales o disposición accidental de residuos.

CLAVE	CRITERIO	VINCULACIÓN
	de vegetación deberán obtener de manera previa a su inicio la autorización correspondiente.	
CU-03	Previo al inicio de cualquier obra o actividad de cada proyecto se deberán ejecutar medidas preventivas orientadas a la protección de los individuos de fauna silvestre presentes en el área de aprovechamiento proyectada. La selección de los métodos y técnicas a aplicar se determinará con base en un estudio técnico o programa que deberá acompañar al estudio de impacto ambiental aplicable al proyecto. Las medidas deberán obtener de manera previa a su inicio la autorización correspondiente.	Dado que EL PROYECTO será instalado sobre edificaciones existentes, no se tiene el riesgo de afectar o modificar zonas de refugio de fauna silvestre. No obstante, en caso de encontrar algún individuo en la cubierta de edificios se procederá conforme a los protocolos y acciones señalados en el SGMA.
CU-04	Los proyectos de cualquier índole deberán incorporar a sus áreas verdes vegetación nativa propia del ecosistema en el cual se realice el proyecto. Únicamente se permite el empleo de flora exótica que no esté incluida en el listado de flora exótica invasiva de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). La selección de especies a incluir en las áreas verdes, así como el diseño de jardines deberá sustentarse en un programa de arborización y ajardinado que deberá acompañar al estudio de impacto ambiental aplicable al proyecto. Se deberá emplear una proporción de 4 a 1 entre plantas de especies nativas y especies ornamentales, excluyendo los pastos.	No aplica. EL PROYECTO no incorpora ni modifica áreas verdes, ni introduce especies de flora. En consecuencia, no se requiere programa de arborización o ajardinado asociado al sistema fotovoltaico.
CU-05	Para el desplante de cualquier obra o instalación se deberán utilizar preferentemente las áreas perturbadas por usos previos o con vegetación secundaria o acahual.	Cumple. EL PROYECTO utiliza preferentemente áreas previamente transformadas como son las cubiertas de edificios existentes del complejo hotelero. Con ello se evita ocupar vegetación natural, acahuales o nuevas áreas de suelo, y se reduce la incidencia espacial del PROYECTO.
CU-06	En el desarrollo de los proyectos se debe realizar el aprovechamiento integral de los recursos naturales existentes en el predio, por lo que será obligatorio realizar la recuperación de tierra vegetal en las superficies que se desmonten, así como el triturado y composteo de la madera resultante del desmonte que se autorice. Los materiales obtenidos no podrán ser comercializados –salvo autorización expresa de la autoridad correspondiente-, sino aprovechados en el mejoramiento de áreas verdes, de equipamiento o de donación.	No aplica. No habrá desmonte, recuperación de tierra vegetal, triturado de madera ni composteo, dado que no se intervendrán superficies con vegetación.
CU-07	En cualquier obra deberá estar separada la canalización del drenaje pluvial del drenaje sanitario.	EL PROYECTO no implica la instalación o construcción de obra o actividad que requiera el manejo

CLAVE	CRITERIO	VINCULACIÓN
		de drenaje pluvial o drenaje sanitario ya que solo se ocuparan las instalaciones previamente existentes.
CU-08	La canalización del drenaje pluvial hacia el mar o cuerpos de agua superficiales o pozos de absorción, podrá realizarse previa filtración de sus aguas con sistemas de decantación, trampas de grasas y sólidos u otros que garanticen la retención de sedimentos o contaminantes y deberá ser aprobada por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), de conformidad con la normatividad aplicable.	No se construirán nuevas descargas pluviales hacia el mar, cuerpos de agua o pozos de absorción.
CU-09	Los materiales calizos y los recursos naturales que se utilicen durante la construcción de un proyecto deberán provenir de fuentes o bancos de material autorizados.	En ninguna de las etapas del PROYECTO serán requeridos materiales calizos u otros para la construcción.
CU-10	En el manejo de áreas verdes, campos, canchas, pistas, viveros, plantaciones, sembradíos, y para el control de pestes y plagas, sólo se permite el uso de sustancias autorizadas por la Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas (CICOPLAFEST).	EL PROYECTO no implica el manejo de áreas verdes, viveros, plantaciones o control de plagas, por lo que no contempla uso de plaguicidas o sustancias reguladas por CICOPLAFEST.
CU-11	Los residuos derivados de las obras no se dispondrán sobre la vegetación remanente dentro del predio, ni sobre la vegetación circundante, debiéndose trasladar al sitio de disposición final de residuos de manejo especial que establezca el municipio o el estado.	Los residuos que sean generados en cualquiera de las etapas del PROYECTO serán manejados conforme al Plan Integral de Manejo de Residuos incluido en el SGMA del complejo GPRM.
CU-12	Los campamentos para trabajadores de la construcción deberán ser dignos para la vida humana, contar con servicios sanitarios, agua potable, un reglamento para el manejo de residuos sólidos, así como una estrategia de protección civil para atender las alertas por fenómenos hidrometeorológicos. La proporción de servicios sanitarios será de al menos 1 por cada 25 trabajadores.	No aplica. No se instalarán campamentos para trabajadores. El personal utilizará servicios existentes del hotel o servicios temporales autorizados, y deberá sujetarse a reglas de seguridad, manejo de residuos y protección civil.
CU-13	En ningún caso se permite el uso del fuego para el desmonte de predios urbanos o suburbanos, ni para la disposición de residuos sólidos en áreas abiertas.	Cumple. No se usará fuego para actividades constructivas, acondicionamiento de superficies ni disposición de residuos. La quema de residuos en áreas abiertas es una actividad prohibida por el SGMA.
CU-14	Todos los proyectos que en cualquiera de sus etapas de desarrollo generen residuos peligrosos deberán contar con un almacén de residuos peligrosos y disponerlos a través de una empresa autorizada en el manejo de los mismos, conforme a la legislación y normatividad ambiental aplicable en la materia.	Los residuos peligrosos que pudieran ser generados en las distintas etapas, ya sea por adhesivos, selladores, solventes, trapos impregnados, envases contaminados o componentes eléctricos/electrónicos, serán

CLAVE	CRITERIO	VINCULACIÓN
		almacenados, registrados y dispuestos conforme al Plan Integral de Manejo de Residuos con el que actualmente opera el complejo GPRM.
CU-15	En los términos que establece la Ley para la Gestión Integral de Residuos del Estado de Quintana Roo, los promoventes deberán aplicar el Plan de Manejo de residuos correspondiente durante las distintas etapas de desarrollo y operación de las obras o actividades que se le autoricen.	Actualmente el complejo GPRM cuenta con un Plan de Manejo Integral de Residuos, de tal forma que los residuos potenciales del PROYECTO serán manejados a través del mismo y el seguimiento se llevará a cabo con base en SGMA.
CU-16	Para los fines de aplicación de este instrumento, en particular para la definición de competencias para la evaluación en materia de impacto ambiental, la zona costera o ecosistema costero del Municipio Solidaridad al interior de los centros de población con programa de desarrollo urbano decretado incluye únicamente a los predios colindantes con la zona federal marítimo terrestre.	En términos de la redacción del criterio, parte del PROYECTO se encuentra dentro de la Zona Costera y otra parte fuera. Sin embargo, EL PROYECTO cumple con las definiciones y disposiciones establecidas en la LGEEPA y demás instrumentos legales aplicables
CU-17	Para el aprovechamiento de predios, cuerpos de agua o cavernas en los que se detecten vestigios arqueológicos, deberá obtenerse de manera previa al inicio de obras la autorización del Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH). Si el hallazgo arqueológico se realiza durante el desarrollo del proyecto se deberá informar de manera inmediata al INAH.	No aplica. EL PROYECTO no prevé excavaciones ni intervención de cuerpos de agua o cavernas.
CU-18	Las reservas territoriales destinadas a aprovechamiento urbano y las áreas de preservación ecológica establecidas en el programa de desarrollo urbano deberán mantener su cobertura vegetal original mientras no se incorporen al desarrollo y se autorice su aprovechamiento por las autoridades competentes.	No aplica. EL PROYECTO no implica desarrollo urbano dentro de reservas territoriales ni áreas de preservación ecológica; se limita a cubiertas existentes y no modifica la cobertura vegetal original que deba conservarse.
CU-19	El desarrollo de proyectos en las áreas de reserva urbana se realizará de acuerdo con la programación prevista en el plan o programa director de desarrollo urbano que le corresponda.	No aplica. No se trata del desarrollo de un proyecto en áreas de reserva urbana ni implica programación de crecimiento urbano; es una instalación complementaria dentro de un complejo hotelero en operación.
CU-20	Alrededor de los cenotes y accesos a cuevas se deberá mantener una franja perimetral de protección constituida por vegetación natural, con una anchura equivalente a la anchura máxima del espejo de agua. En esta franja sólo se permitirá el aclareo de hasta el 10 % de su cobertura y la remoción de árboles jóvenes de hasta 10 cm de diámetro, siempre y cuando la autoridad	No aplica. EL PROYECTO no interviene cenotes, accesos a cuevas ni franjas perimetrales de protección.

CLAVE	CRITERIO	VINCULACIÓN
	competente por excepción otorgue el cambio de uso de suelo en esta superficie.	
CU-21	En el aprovechamiento de los cuerpos de agua continentales (cenotes, cuevas inundadas o lagunas) y otras formaciones cársticas (cuevas secas, rejolladas o chuntunes) sólo se permite el establecimiento de estructuras ligeras y de tipo temporal fuera del cuerpo de agua o estructura cárstica y de la franja de protección.	No aplica. EL PROYECTO no contempla aprovechamiento de cenotes, cuevas inundadas, lagunas, cuevas secas, rejolladas o chuntunes, ni instalación de estructuras en dichos elementos o sus franjas de protección.
CU-22	Las aguas residuales deberán canalizarse hacia las plantas de tratamiento de aguas residuales operadas por la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado o el organismo operador autorizado por esta instancia. En el caso de que no existan plantas de tratamiento que puedan atender la demanda del proyecto, el promovente deberá instalar una planta que cumpla con las condiciones establecidas en la normatividad vigente en materia de aguas residuales tratadas.	No aplica. El sistema fotovoltaico no generará aguas residuales de proceso. Las aguas residuales sanitarias asociadas al personal, en su caso, serán canalizadas con la infraestructura autorizada del hotel sin descargas directas al ambiente.
CU-23	El manejo y disposición final de los lodos y otros residuos generados en el tratamiento de las aguas residuales es responsabilidad del propietario del sistema de tratamiento que los genere, quien deberá presentar un reporte semestral ante la autoridad correspondiente, turnando una copia a la SEDUMA para la inclusión de los resultados en la Bitácora Ambiental, que indique el volumen de agua tratado, tipo y características de los lodos y otros residuos generados, tratamiento aplicado a los lodos, resultados del análisis CRETIB y sitio o forma de disposición final.	No aplica. EL PROYECTO no instalará ni operará una planta de tratamiento de aguas residuales, por lo que no generará lodos de tratamiento. Si el personal usa infraestructura existente, el manejo de lodos seguirá siendo responsabilidad del sistema de tratamiento correspondiente.
CU-24	En las áreas de aprovechamiento proyectadas se deberá mantener en pie la vegetación arbórea y palmas de la vegetación original que por diseño del proyecto coincidan con las áreas destinadas a camellones, parques, jardines, áreas verdes, áreas de donación o áreas de equipamiento, de tal forma que estos individuos se integren al proyecto.	Cumple. No se intervendrán áreas de aprovechamiento en suelo ni se removerá vegetación arbórea o palmas. Los árboles y palmas existentes en áreas verdes del hotel deberán mantenerse en pie y protegidos durante el traslado interno de materiales.
CU-25	La superficie de aprovechamiento de un predio, así como sus coeficientes de uso (CUS) y ocupación del suelo (COS), estarán en función de lo que determine el programa o plan de desarrollo urbano vigente que le aplique. Sólo se permite el desmonte de la superficie que resulte de multiplicar el Coeficiente de Modificación del Suelo por la superficie total del predio, para lo cual deberá obtener de manera previa la autorización por excepción del cambio de uso del suelo en terrenos forestales y las autorizaciones estatales y municipales respectivas. Será obligatorio mantener la superficie remanente con	Cumple. La instalación sobre cubiertas existentes no implica nuevo desmonte ni incremento del desplante en suelo natural. No modifica el COS ni el CUS de nuevas edificaciones, sin perjuicio de que el promovente verifique la compatibilidad urbanística aplicable para equipos en azotea y obras complementarias.

CLAVE	CRITERIO	VINCULACIÓN
	la vegetación original. En el caso que la superficie remanente se encuentre afectada o que carezca de vegetación, el promovente deberá procurar su restauración o reforestación.	
CU-26	Para el aprovechamiento o uso de especies vegetales o animales silvestres o nativas, partes de ellas o subproductos de los mismos, así como de los recursos forestales, se requiere que estos productos provengan de UMA's o Productores Forestales autorizados y den cumplimiento a lo establecido en la normatividad aplicable.	No aplica. No se aprovecharán especies vegetales o animales silvestres, partes, subproductos ni recursos forestales. Los materiales del sistema fotovoltaico provendrán de cadenas comerciales y proveedores especializados.
CU-27	Se deberán mantener en pie e integrar al diseño del proyecto los árboles con diámetro normal (1.30 cm del suelo) igual o mayor a 40 cm. Para evitar daño a las raíces deberá establecerse un radio de protección de 5 m alrededor del tronco del árbol.	No aplica directamente. No se removerán ni intervendrán árboles con diámetro normal igual o mayor a 40 cm, ya que las actividades se desarrollan en cubiertas de edificaciones existentes.
CU-28	Se permite la instalación temporal de plantas de premezclado, dosificadoras o similares dentro del área de desmonte permitida en el interior de predios para abastecer al proyecto, únicamente durante su construcción. Debiendo ser retiradas una vez que se concluya la construcción del mismo. El área ocupada por la planta deberá integrarse al proyecto.	No aplica. No se instalarán plantas de premezclado, dosificadoras o instalaciones similares para EL PROYECTO.
CU-29	Las plantas de premezclado, dosificadoras o similares deberán contar con un programa de cumplimiento ambiental autorizado por la SEDUMA para la regulación de emisiones a la atmósfera, ruido y generación de residuos peligrosos, que dé cumplimiento a la normatividad vigente. Este programa se deberá presentar junto con la manifestación de impacto ambiental de la planta.	No aplica. Al no requerirse plantas de premezclado o dosificadoras, no se requiere programa de cumplimiento ambiental específico para ese tipo de instalaciones.
CU-30	Se deberá instalar una malla perimetral para reducir la emisión de polvos hacia el exterior de las áreas de trabajo y reducir el impacto visual.	No aplica de forma estricta por ausencia de terracerías o generación significativa de polvo. No obstante, las áreas de trabajo y acopio serán delimitadas y se mantendrán ordenadas para reducir impactos visuales, dispersión de materiales ligeros y riesgos para huéspedes o trabajadores.
CU-31	Durante el transporte de materiales pétreos éstos deberán humedecerse y cubrirse con una lona antidispersante, la que se debe sujetarse adecuadamente y encontrarse en buen estado, con objeto de minimizar la dispersión de partículas de polvo.	No aplica. No se transportarán materiales pétreos a granel.
CU-32	En predios urbanos en los que existan manglares, deberá cumplirse lo establecido en la Ley General	EL PROYECTO no afectará ningún ecosistema de manglar, ya que se

CLAVE	CRITERIO	VINCULACIÓN
	de Vida Silvestre y las Normas Oficiales Mexicanas aplicables	limita a cubiertas de edificaciones existentes.
CU-33	En el desarrollo u operación de cualquier tipo de proyecto se debe evitar el derrame al suelo o cuerpos de agua de combustibles, lubricantes, grasas, aceites, pinturas u otras sustancias potencialmente contaminantes. De igual manera, se deberá evitar la disposición inadecuada de materiales impregnados con estas sustancias o de sus recipientes. En este sentido el promovente deberá manifestar el tipo de sustancias potencialmente contaminantes que se empleará en las distintas etapas del proyecto, así como las medidas de prevención, mitigación y, en su caso corrección, que aplicará. Para el almacenamiento de este tipo de sustancias se deberá contar con un almacén que cumpla con las especificaciones establecidas en la normatividad aplicable y se deberá llevar el registro de su manejo en la bitácora del almacén.	Cumple. Durante la instalación, operación y mantenimiento del PROYECTO se aplicarán los protocolos y acciones señaladas en el SGMA para la prevención o en su defecto mitigación de derrames de lubricantes, grasas, aceites, pinturas, solventes, adhesivos, selladores u otras sustancias potencialmente contaminantes. Los insumos y residuos asociados serán manejados en recipientes cerrados, sobre superficies impermeables, con bitácora y disposición autorizada según su clasificación.

2.2.2.3 Criterios de regulación ecológica de carácter específico

De acuerdo con el POEL de Solidaridad, los criterios de regulación ecológica de carácter específico (CE), son aplicables a la totalidad del territorio ordenado fuera de los centros de población legalmente constituidos en el Municipio Solidaridad, cuya aplicación está en función del tipo de uso del suelo que se pretenda dar a los predios particulares. Debido a que la UGA 15 menciona criterios específicos para proyectos de vocación turística, en la Tabla 2-7 se muestra la vinculación del PROYECTO con los criterios de dicha UGA.

Tabla 2-7. Criterios de regulación ecológica de carácter específico (UGA 15)

CLAVE	CRITERIO	VINCULACIÓN
CE-06	Se deberá reutilizar el agua tratada para el riego de áreas verdes, jardines, campos deportivos o áreas con vegetación natural, así como para su uso en servicios sanitarios y otros compatibles. En todo momento la calidad del agua tratada deberá cumplir los estándares indicados en la Norma Oficial Mexicana aplicable.	El criterio se considera compatible con EL PROYECTO. La instalación fotovoltaica no implica la creación de nuevas áreas verdes, jardines, campos deportivos ni servicios sanitarios, por lo que no incrementa la demanda de agua tratada para riego o usos sanitarios. Durante la operación sólo podría requerirse agua de manera eventual para la limpieza de módulos.
CE-08	Las actividades recreativas que se promuevan en cuerpos de agua continentales (cenotes, cuevas inundadas o secas, cavernas o rejolladas),	No resulta aplicable. El PROYECTO no promueve ni incorpora actividades recreativas

CLAVE	CRITERIO	VINCULACIÓN
	deberán sustentarse en un estudio de capacidad de carga que determine la intensidad de aprovechamiento sustentable y el límite de cambio aceptable en el sitio. Este estudio se debe presentar junto con el estudio de impacto ambiental aplicable al proyecto o actividad.	en cenotes, cuevas, cavernas, rejolladas, lagunas u otros cuerpos de agua continentales; su alcance se restringe a la instalación de infraestructura fotovoltaica sobre cubiertas existentes del hotel. Por lo tanto, no se requiere un estudio de capacidad de carga asociado a actividades recreativas acuáticas o subterráneas como consecuencia del PROYECTO.
CE-09	En el aprovechamiento de los cuerpos de agua continentales (cenotes, cuevas inundadas o lagunas) y otras formaciones cársticas (cuevas secas, rejolladas o chuntunes) sólo se permite el establecimiento de estructuras ligeras y de tipo temporal fuera del cuerpo de agua o estructura cárstica y de la franja de protección.	No resulta aplicable de manera directa. EL PROYECTO no contempla aprovechamiento, ocupación, construcción o instalación de estructuras en cuerpos de agua continentales ni en formaciones cársticas. Las obras se ubicarán en techos y superficies previamente edificadas, por lo que no se modifican cenotes, cuevas, rejolladas, chuntunes, lagunas ni sus franjas de protección.
CE-13	La densidad aplicable a un predio se determina multiplicando la superficie total del predio (convertida en hectáreas) acreditada legalmente, por el número de cuartos, cabañas o viviendas permitidos en este ordenamiento para el uso del suelo específico. En los proyectos mixtos la densidad aplicable al predio se estima por el uso predominante del proyecto. La densidad no es acumulable por usos del suelo. Si un predio está dividido en dos o más UGA, a cada porción se le aplicará la densidad que corresponde para cada UGA. En el caso de que se obtenga una fracción, se realizará el redondeo usando sólo dos cifras significativas como sigue: hasta 0.50 se reduce al entero inferior; desde 0.51 en adelante se incrementa al entero superior.	No resulta aplicable. EL PROYECTO no constituye un nuevo desarrollo turístico, habitacional o mixto, ni incrementa el número de cuartos, viviendas, cabañas o llaves hoteleras autorizadas. La densidad del predio permanece sin modificación, ya que la instalación fotovoltaica se integra a infraestructura existente como equipamiento complementario para el suministro parcial de energía eléctrica.
CE-14	En predios en donde exista, total o parcialmente, comunidades de manglar, se deberá implementar un Programa Integral de Conservación, Restauración o Rehabilitación del Humedal, que contenga estrategias y acciones tendientes a la conservación, restauración o rehabilitación de dicho ecosistema y que deberá desarrollarse en concordancia con la normatividad aplicable. El programa habrá de contener como mínimo un estudio de línea base del humedal; la delimitación georreferenciada del manglar; en su caso, las	El criterio se atiende por compatibilidad ambiental. En caso de existir comunidades de manglar dentro del predio o en su zona de influencia, EL PROYECTO no plantea su aprovechamiento, remoción, poda, relleno, descarga, vertimiento ni modificación hidrológica. Las actividades se realizarán en cubiertas existentes y

CLAVE	CRITERIO	VINCULACIÓN
	estrategias de conservación a aplicar; en su caso, la identificación de la magnitud y las causas de deterioro; en su caso, la descripción y justificación detallada de las medidas de rehabilitación propuestas y el cronograma detallado correspondiente; y la definición de un subprograma de monitoreo ambiental que permita identificar la efectividad del programa y la mejora del ecosistema propuesto para su rehabilitación. El programa deberá formar parte del estudio de impacto ambiental correspondiente y sus resultados deben ser ingresados anualmente en la Bitácora Ambiental. El uso sustentable que se pretenda dar a la superficie ocupada por la comunidad de manglar estará sujeto al cumplimiento de la normatividad y las disposiciones jurídicas aplicables, considerando de manera enunciativa, pero no limitativa, la Norma Oficial Mexicana NOM-022-SEMARNAT-2003 y la Ley General de la Vida Silvestre.	deberán sujetarse a medidas preventivas para evitar caída de residuos, escurrimientos con sedimentos, derrames o disposición de materiales hacia humedales o áreas naturales. Cualquier programa de conservación, restauración o monitoreo de manglar autorizado para el desarrollo turístico deberá mantenerse vigente e integrarse como marco de control ambiental durante la ejecución y operación del sistema fotovoltaico.
CE-15	Se consideran como equivalentes: 1 cuarto hotelero = 0.5 cuartos clínica, hospital, asilo u orfanato. 1 cuarto hotelero = 1.0 vivienda residencial de 2 recámaras. 1 cuarto hotelero = 1.0 cuarto de condohotel, motel, estudio, departamento o llave hotelera. 1 cuarto hotelero = 2.0 campers, cabañas ecoturísticas. 1 vivienda de 4 recámaras = 2 cuartos de hotel. Por cada 2 recámaras adicionales = 1 cuarto hotelero. Estas equivalencias son estimadas a partir del consumo de agua determinado por CONAGUA (Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Datos básicos. 2007), teniendo como referencia un cuarto hotelero (4 a 5 estrellas) sencillo para dos ocupantes cuyo consumo estimado es de 1,500 L/día.	No resulta aplicable. EL PROYECTO no incorpora nuevas unidades de alojamiento ni modifica las equivalencias entre cuartos hoteleros, viviendas, cabañas, campers u otros componentes de hospedaje. La instalación de paneles, inversores y elementos eléctricos no altera la densidad turística ni los parámetros de ocupación asociados al consumo de agua de hospedaje.
CE-19	La densidad para desarrollos turísticos hoteleros es de hasta 10 cuartos por hectárea.	No resulta aplicable. EL PROYECTO no corresponde a la autorización de un nuevo desarrollo turístico hotelero ni incrementa la densidad de cuartos por hectárea. Se trata de infraestructura energética complementaria en un complejo existente, instalada sobre cubiertas ya construidas.
CE-21	La densidad en fraccionamientos mixtos hotelero-habitacional, se determinará a partir del número de cuartos que resulte de multiplicar la superficie	No resulta aplicable. EL PROYECTO no corresponde a un fraccionamiento mixto hotelero-

CLAVE	CRITERIO	VINCULACIÓN
	total del predio por la densidad asignada. La conversión de cuartos hoteleros a viviendas se determinará de conformidad con las equivalencias indicadas en el criterio CE-15.	habitacional ni modifica la relación entre cuartos hoteleros y viviendas. La densidad y el uso predominante del predio se mantienen sin cambio.
CE-27	La superficie máxima de aprovechamiento no podrá exceder del 35 % del predio en donde se realizará el desplante de las edificaciones, obra exterior, circulaciones, áreas verdes y cualquier otra obra o servicio relativo al uso permitido. La superficie restante deberá mantenerse en condiciones naturales.	Cumple. La instalación fotovoltaica se realizará sobre edificaciones y cubiertas existentes, por lo que no genera un nuevo desplante en terreno natural, no amplía la huella física del desarrollo, no implica desmonte y no modifica la superficie natural remanente. En ese sentido, la superficie máxima de aprovechamiento del predio no se incrementa por EL PROYECTO, siempre que las áreas temporales de acopio, maniobra y tránsito se limiten a zonas previamente urbanizadas o ya impactadas.
CE-36	Se permite la modificación de hasta el 25 % de la superficie del sustrato rocoso de la franja litoral dentro de los predios, para usos recreativos y amenidades (asoleaderos, palapas, albercas marinas). La superficie que se modifique formará parte del área de aprovechamiento del predio.	No resulta aplicable. EL PROYECTO no contempla modificación del sustrato rocoso de la franja litoral, ni la construcción de asoleaderos, palapas, albercas marinas, amenidades o infraestructura recreativa costera. Su ejecución se limita a cubiertas existentes del complejo hotelero.
CE-38	El suministro parcial de energía eléctrica se deberá llevar a cabo de manera alternativa (Hidrógeno, gas natural, biogás, solares, eólicos, mareomotrices o de otro tipo no contaminante) al menos en un porcentaje igual al 10 % del consumo proyectado el desarrollo.	El criterio resulta directamente aplicable y EL PROYECTO es congruente con su finalidad. La instalación fotovoltaica constituye una fuente alternativa y no contaminante para el suministro parcial de energía eléctrica del desarrollo. El sistema propuesto considera una potencia pico aproximada de 1,807.92 kWp, 3,348 módulos fotovoltaicos de 540 W y una producción estimada que representa alrededor del 17 % del consumo anual del hotel. Por tanto, supera el umbral mínimo del 10 % establecido por el criterio, sujeto a la verificación final con los consumos eléctricos anuales reales y la producción efectiva

CLAVE	CRITERIO	VINCULACIÓN
		registrada por el sistema de monitoreo.
CE-53	Es obligatoria la instalación de una planta de tratamiento de aguas residuales con capacidad suficiente para el manejo de las aguas residuales del proyecto a máxima capacidad de ocupación. El proceso de tratamiento y disposición final del efluente y subproductos deberá cumplir con lo establecido en la normatividad aplicable.	No resulta aplicable al PROYECTO, ya que la instalación fotovoltaica no genera nuevas aguas residuales de proceso ni incrementa la capacidad de ocupación hotelera. Durante la ejecución, el personal utilizará los servicios sanitarios existentes del complejo o instalaciones sanitarias autorizadas; en operación, la limpieza eventual de módulos no generará descargas directas a cuerpos de agua y no sustituye ni modifica el sistema de tratamiento de aguas residuales del hotel.
CE-54	El manejo y disposición final de los lodos y otros residuos generados en el tratamiento de las aguas residuales es responsabilidad del propietario del sistema de tratamiento que los genere, quien deberá presentar un reporte semestral ante la autoridad correspondiente, turnando una copia a la SEDUMA para la inclusión de los resultados en la Bitácora Ambiental, que indique el volumen de agua tratado, tipo y características de los lodos y otros residuos generados, tratamiento aplicado a los lodos, resultados del análisis CRETIB y sitio o forma de disposición final.	No resulta aplicable. EL PROYECTO no incluye la instalación, ampliación u operación de una planta de tratamiento de aguas residuales ni genera lodos derivados de tratamiento. El manejo de lodos y subproductos de la PTAR del complejo, corresponde a la operación general del desarrollo turístico y se mantendrá conforme a las obligaciones previamente autorizadas.
CE-55	El desarrollo contará permanentemente con un programa de atención a contingencias derivadas de derrames o vertimientos accidentales al medio terrestre o acuático de sustancias contaminantes, residuos líquidos (aguas negras, tratadas o de rechazo) o peligrosos.	Aunque EL PROYECTO no implica manejo intensivo de sustancias peligrosas, durante la instalación y mantenimiento podrían utilizarse adhesivos, selladores, aceites, lubricantes, pinturas, empaques, trapos impregnados, residuos eléctricos o materiales de limpieza. Por ello, las actividades del PROYECTO serán integradas al programa de atención a contingencias del complejo y al plan integral de manejo de residuos, ambos integrados en el SGMA del complejo GPRM.
CE-56	En el diseño, construcción y operación del desarrollo se aplicarán medidas que prevengan las descargas de agua y el arrastre de	EL PROYECTO no contempla la generación de descargas de agua hacia zonas inundables y áreas

CLAVE	CRITERIO	VINCULACIÓN
	sedimentos diferentes a los naturales, hacia zonas inundables y áreas costeras adyacentes.	costeras adyacentes, ya que serán utilizadas las instalaciones existentes.
CE-57	En cenotes y lagunas interiores o continentales, sólo se permite el empleo de embarcaciones sin motor.	No resulta aplicable. EL PROYECTO no contempla uso de embarcaciones ni actividades en cenotes, lagunas interiores o cuerpos de agua continentales.
CE-59	Cuando se utilicen los cuerpos de agua continentales, superficiales o subterráneos en actividades recreativas, los promoventes deberán llevar a cabo el monitoreo del agua para determinar la calidad de la misma, conforme a los criterios ecológicos de calidad del agua CE CCA-001/89 (INE), debiendo presentar reportes semestrales del análisis del agua a la autoridad competente y copia a la SEDUMA para su inclusión en la Bitácora Ambiental. Los análisis de calidad del agua deberán ser elaborados por un laboratorio acreditado ante la Entidad Mexicana de Acreditación. El promovente deberá presentar el programa de monitoreo del agua junto con el estudio de impacto ambiental respectivo.	EL PROYECTO no utiliza cuerpos de agua continentales, superficiales o subterráneos para actividades recreativas.
CE-62	Los manglares podrán ser utilizados para el tratamiento terciario de aguas residuales tratadas, en concordancia con la normatividad aplicable. Para tal efecto, deberá realizarse un estudio detallado que demuestre técnicamente que no será rebasada la capacidad de carga del humedal para el metabolismo de nutrientes y que justifique la no afectación de su estructura y funciones ambientales básicas. El estudio que demuestre la viabilidad ambiental del humedal, deberá contener; a) un estudio de línea base, b) el estudio de capacidad de carga, c) el programa de manejo de las áreas de vertido e influencia de las aguas residuales tratadas, d) un programa de monitoreo con indicadores ambientales para el ecosistema y e) la planimetría georreferenciada de las áreas de manglar planteadas para el vertido de las aguas residuales tratadas.	No resulta aplicable al alcance del PROYECTO. La instalación fotovoltaica no contempla el uso de manglares para tratamiento terciario, vertido de aguas residuales tratadas o manejo de nutrientes.
CE-64	Los materiales producto del dragado de mantenimiento de canales interiores serán dispuestos en sitios acondicionados previamente para contenerlos y filtrar el agua.	No resulta aplicable. EL PROYECTO no contempla dragado de canales interiores ni disposición de materiales producto de dragado.
CE-68	En el desarrollo de actividades con vehículos a través o dentro de los ecosistemas presentes en	El criterio es aplicable a las actividades de movilización interna

CLAVE	CRITERIO	VINCULACIÓN
	el municipio, éstos deberán contar con silenciador con la finalidad de evitar molestar o afectar a las especies de fauna, por lo que el nivel máximo permisible de emisión de ruido por las fuentes móviles será de 68 db. La medición de este parámetro debe ser realizada en el sitio donde se desarrolla la actividad por una unidad de verificación registrada ante la Entidad Mexicana de Acreditación, de acuerdo con las técnicas y métodos establecidos en la normatividad aplicable. Los prestadores de servicio deberán presentar reportes anuales de dichas mediciones a la Dirección de Ordenamiento Ambiental y Urbano del municipio, así como a la SEDUMA para su valoración e inclusión en la Bitácora Ambiental.	y acceso de vehículos durante la instalación, mantenimiento y eventual retiro de equipos. Los vehículos que ingresen al complejo serán responsabilidad del proveedor externo, no obstante, únicamente circularán por los accesos existentes sin que se afecten o modifiquen áreas naturales.
CE-69	Para el desarrollo de las actividades permitidas sólo se podrán emplear motocicletas, triciclos y cuatrimotos con motor de cuatro tiempos, con la finalidad de reducir las emisiones de contaminantes.	Para la instalación del PROYECTO se requieren vehículos de apoyo para la disposición de los paneles. Para ello serán utilizados vehículos pequeños, montacargas y caso excepcional grúas, los cuales no formarán parte del parque de uso continuo dentro del hotel y solo se limitará a las acciones señaladas en horarios determinados para diminución de emisiones.
CE-70	Las plantas de premezclado, dosificadoras o similares deberán contar con un programa de cumplimiento ambiental para la regulación de emisiones a la atmósfera, ruido y generación de residuos peligrosos, que dé cumplimiento a la normatividad vigente. Este programa se deberá presentar junto con la manifestación de impacto ambiental de la planta.	No resulta aplicable. EL PROYECTO no contempla la instalación ni operación de plantas de premezclado, dosificadoras o equipos similares para concreto o materiales pétreos.
CE-71	Se deberá instalar una malla o barrera perimetral para reducir la dispersión de polvos hacia el exterior de las áreas de trabajo.	El criterio no resulta aplicable porque EL PROYECTO no implica desmonte, excavaciones, terracerías ni manejo significativo de materiales pulverulentos. No obstante, en las áreas temporales de acopio o maniobra se delimitarán las zonas de trabajo y aplicarán buenas prácticas de orden y limpieza para evitar dispersión de polvo, residuos de empaques o partículas durante la descarga, izaje y traslado de materiales.

CLAVE	CRITERIO	VINCULACIÓN
CE-72	Los silos de las maquinarias que almacenan los materiales pétreos o agregados, deberán estar equipados con filtros bolsas que retengan las partículas sólidas durante el proceso de carga, permitiendo la salida del aire libre de partículas de mezcla. El dosificador múltiple deberá contar con un colector filtro bolsa, el cual captará las partículas emitidas durante la descarga de los materiales pétreos, el cemento, el agua y los aditivos a los camiones de mezclado (ollas). Las bandas de abastecimiento deberán tener una tolva que minimice la emisión de partículas suspendidas.	No resulta aplicable. EL PROYECTO no utilizará silos, maquinaria de almacenamiento de materiales pétreos, agregados, cemento ni dosificadores de mezcla.
CE-73	En las áreas de carga y mezclado de materiales pétreos deberán instalarse cortinas o barreras, con la finalidad de minimizar la dispersión de partículas sólidas volátiles a la atmósfera y mantenerlas dentro de los niveles máximos permisibles establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-043-SEMARNAT-1993.	No resulta aplicable. EL PROYECTO no considera áreas de carga o mezclado de materiales pétreos.
CE-75	Durante el transporte de materiales pétreos éstos deberán humedecerse y cubrirse con una lona antidispersante, la que debe sujetarse adecuadamente y encontrarse en buen estado con objeto de minimizar la dispersión de partículas de polvo.	No resulta aplicable, ya que no se prevé transporte de materiales pétreos para la ejecución del PROYECTO.
CE-79	Los proyectos que pretendan realizarse en predios que colinden con playas aptas para la anidación de tortugas marinas deberán incorporar medidas preventivas que minimicen el impacto negativo a estos animales tanto durante la temporada de arribo y anidación de las hembras como durante el período de desarrollo de los huevos y eclosión de las crías. Dichas medidas deberán manifestarse en el estudio de impacto ambiental aplicable al proyecto, para su valoración y en su caso, validación y autorización por la Dirección de Vida Silvestre de la SEMARNAT.	EL PROYECTO no contempla obras en playa, duna o zona federal marítimo terrestre, ni incrementa el tránsito vehicular en dichas zonas. Asimismo, las actividades en cubiertas no contemplan la iluminación nocturna dirigida hacia la playa, generación de residuos, ruido innecesario o maniobras durante horarios sensibles.
CE-80	Previo al aclareo que se permite en la franja perimetral de protección de los cenotes y accesos a cuevas se deberá realizar el rescate de los árboles con diámetros menores o iguales a 10 cm de diámetro a la altura de 1.30 m, mismos que se estabilizarán en un vivero provisional y posteriormente se reintroducirán dentro de la franja de protección.	No resulta aplicable. EL PROYECTO no contempla aclareo en franjas de protección de cenotes o accesos a cuevas, ni rescate de árboles en dichas áreas. Las obras se ubicarán en cubiertas existentes.

CLAVE	CRITERIO	VINCULACIÓN
CE-81	Las cercas, bardas o muros perimetrales que se instalen en los diferentes tipos de vegetación, unidades naturales y ecosistemas deberán permitir el libre paso de la fauna silvestre.	El criterio se considera compatible. EL PROYECTO no prevé la instalación de cercas, bardas o muros perimetrales en vegetación natural, unidades naturales o ecosistemas. En caso de requerirse delimitaciones temporales de seguridad en áreas de trabajo, éstas serán colocadas en zonas ya urbanizadas y serán retiradas al concluir las actividades, sin obstaculizar corredores o pasos de fauna existentes.
CE-83	Las vialidades interiores y de acceso al desarrollo deberán contar con elementos y sistemas de protección que faciliten el libre tránsito de la fauna silvestre entre las zonas de conservación y áreas naturales.	El criterio se considera compatible. EL PROYECTO utilizará vialidades interiores y accesos existentes, sin abrir nuevos caminos ni modificar la red vial del desarrollo. Durante las maniobras se evitará el bloqueo prolongado de pasos de fauna, áreas verdes o zonas de conservación.
CE-84	En caso de ser necesario se establecerán sitios de albergue temporal de fauna rescatada durante las etapas de preparación del terreno, construcción y operación, con apego a lo indicado en la Ley General de Vida Silvestre.	Al no intervenir vegetación natural ni suelo descubierto, no se espera rescate de fauna asociado a desmonte o preparación del terreno. Sin embargo, durante el ingreso de personal, acopio, izaje, montaje y mantenimiento, el personal será capacitado para no capturar, molestar, alimentar o trasladar fauna silvestre. Si se localiza fauna en áreas de trabajo, deberá detenerse la actividad puntual y notificarse al responsable ambiental para aplicar el procedimiento autorizado de manejo o resguardo temporal.
CE-85	En las áreas de aprovechamiento proyectadas se deberá mantener en pie la vegetación arbórea y palmas de la vegetación original que por diseño del proyecto coincidan con las áreas destinadas a camellones, parques, áreas verdes, jardines, áreas de donación o áreas de equipamiento, de tal forma que estos individuos se integren al proyecto.	EL PROYECTO no requiere remoción de vegetación arbórea ni palmas de vegetación original, ya que la infraestructura se instalará en cubiertas existentes. Las áreas verdes, jardines, camellones y equipamiento del complejo no serán utilizadas para disposición de residuos, almacenamiento no

CLAVE	CRITERIO	VINCULACIÓN
		autorizado ni maniobras que dañen individuos arbóreos.
CE-87	Se deberán mantener en pie e integrar al diseño del proyecto los árboles con diámetro normal (1.30 cm del suelo) igual o mayor a 40 cm. Para evitar daño a las raíces deberá establecerse un radio de protección de 5 m alrededor del tronco del árbol.	No se prevé el derribo, poda o afectación de árboles con diámetro normal igual o mayor a 40 cm. Las maniobras de traslado e izaje serán planeadas para no afectar copas, troncos o raíces de árboles cercanos a accesos, edificios o áreas de acopio temporal, manteniendo las zonas de protección necesarias.
CE-89	El diseño de proyectos adyacentes a predios con edificios e instalaciones en proceso de construcción o de operación, debe considerar las áreas impactadas por estos y las áreas de conservación que mantengan su vegetación primaria. Esto con la finalidad de que las áreas de conservación que defina el proyecto aseguren la contigüidad del ecosistema y el mantenimiento de la diversidad florística y faunística.	La instalación aprovecha infraestructura hotelera existente y evita expandir el área impactada hacia zonas de conservación o vegetación primaria. Al no abrir nuevas áreas de desplante, contribuye a mantener la contigüidad de áreas naturales remanentes y reduce la presión sobre la diversidad florística y faunística del predio.
CE-91	En las playas, dunas y post dunas sólo se permite el uso de cuadrúpedos para la realización de paseos, actividades turísticas, recreativas o de exhibición, fuera de temporada de anidación de tortuga marina y en predios y en áreas concesionadas a nombre del promovente de la actividad.	No resulta aplicable. EL PROYECTO no contempla paseos, actividades turísticas, recreativas o de exhibición con cuadrúpedos en playas, dunas o post dunas.
CE-92	En las playas, dunas y post dunas sólo se permite el uso de vehículos motorizados para situaciones de limpieza, vigilancia y control, así como para las actividades autorizadas que hagan las personas públicas o privadas participantes en los programas de protección a la tortuga marina.	No resulta aplicable. EL PROYECTO no requiere el uso de vehículos motorizados en playas, dunas o post dunas. El transporte de materiales y equipos será limitado a accesos y vialidades existentes del complejo, sin ingresar a zonas de playa o duna.
CE-93	Se deberá mantener libre de obras e instalaciones de cualquier tipo (permanentes o temporales) una franja de por lo menos 10 m dentro del predio, aledaña a los terrenos ganados al mar o la Zona Federal Marítimo Terrestre, en la que se preservará la vegetación costera original, salvo lo previsto en otros criterios específicos en este instrumento. La amplitud y continuidad de la franja se podrá modificar cuando se demuestre en el estudio de impacto ambiental	EL PROYECTO es compatible con este criterio ya que no contempla obras permanentes ni temporales dentro de la franja de 10 m aledaña a terrenos ganados al mar o Zona Federal Marítimo Terrestre. La infraestructura fotovoltaica se ubicará en cubiertas existentes de edificios del complejo, por lo que

CLAVE	CRITERIO	VINCULACIÓN
	correspondiente que dicha modificación no generará impactos ambientales significativos al ecosistema costero.	no modifica la vegetación costera original ni ocupa la franja de protección.
CE-95	En los predios en los que exista vegetación exótica o invasora deberá llevarse a cabo un programa de erradicación de dichas especies.	No resulta aplicable al alcance del PROYECTO, ya que no se intervendrán áreas con vegetación ni se establecerán jardines nuevos. En caso de que durante las actividades se detecte vegetación exótica o invasora en zonas de apoyo del complejo, su manejo será conforme a los programas ambientales existentes del desarrollo, sin introducir nuevas especies ni propagar material vegetal.
CE-96	La restauración o rehabilitación de manglares afectados se deberá realizar de conformidad con lo establecido en la normatividad aplicable.	El criterio se considera atendido por no intervención. EL PROYECTO no contempla afectación, restauración ni rehabilitación de manglares.
CE-97	Los embarcaderos y muelles dentro del sistema de canales deberán permitir el libre paso de fauna acuática.	No resulta aplicable. EL PROYECTO no contempla embarcaderos, muelles ni obras dentro de sistemas de canales.
CE-100	Alrededor de los cenotes y accesos a cuevas se deberá mantener una franja perimetral de protección constituida por vegetación natural, con una anchura equivalente a la anchura máxima del espejo de agua. En esta franja sólo se permitirá el aclareo de hasta el 10 % de su cobertura y la remoción de árboles jóvenes de hasta 10 cm de diámetro, siempre y cuando la autoridad competente por excepción otorgue el cambio de uso de suelo en esta superficie.	No resulta aplicable. EL PROYECTO no contempla obras, aclareo o remoción de vegetación en franjas de protección de cenotes o accesos a cuevas. Las áreas de trabajo se ubicarán sobre cubiertas e infraestructura previamente construida.
CE-101	En todas sus fases -construcción, operación y mantenimiento- el desarrollo deberá contar con un programa de difusión ambiental que incluya los aspectos necesarios de información, concientización y capacitación a los diversos actores involucrados, que complemente o refuerce los fines de los demás programas aplicables al proyecto.	Antes y durante la ejecución del PROYECTO será impartida capacitación al personal sobre manejo de residuos, prevención de derrames, protección de fauna, restricciones de tránsito, control de ruido, limpieza de áreas de trabajo, seguridad eléctrica, uso eficiente del agua en limpieza de módulos y atención a contingencias. Esta capacitación será integrada al

CLAVE	CRITERIO	VINCULACIÓN
		programa de difusión ambiental y al SGMA existente del complejo.
CE-102	Con la finalidad de evitar el efecto de islas de calor se deberá establecer, en por lo menos el 50 % de las losas planas de las construcciones, un jardín de azotea o roof garden en el que se utilicen preferentemente especies nativas.	El criterio no se actualiza plenamente como obligación constructiva del PROYECTO, ya que no se edifican nuevas construcciones ni se modifica el diseño arquitectónico original de las losas planas del desarrollo. No obstante, la instalación de paneles fotovoltaicos sobre cubiertas existentes contribuye de manera funcional a reducir la radiación solar directa sobre las losas y la carga térmica de las edificaciones. Además, la superficie ocupada por los paneles solares (8,570.88 m^2) representa menos del 50% de la cubierta total de los edificios (22,888.99 m^2), por lo que aún existe superficie disponible para tal fin.
CE-103	En el caso de que el ecosistema de duna costera se encuentre afectado o carezca de vegetación, ésta se deberá restaurar o reforestar con la finalidad de promover la protección de las playas, de la zona de anidación de las tortugas marinas y para el mantenimiento de la vegetación costera. Para el cumplimiento de este criterio deberá presentarse de manera conjunta con el estudio ambiental correspondiente, el programa de restauración de vegetación costera. La restauración se realizará en el primer año a partir de la fecha de inicio de obras del proyecto autorizado. Las actividades de restauración deberán obtener de manera previa a su inicio la autorización correspondiente.	No resulta aplicable. EL PROYECTO no intervendrá duna costera ni vegetación de playa, duna o post duna; por tanto, no genera afectaciones que requieran restauración o reforestación de vegetación costera como consecuencia de sus obras.
CE-104	La estructura de la duna costera o bermas rocosas, así como la vegetación que las ocupa se debe mantener en estado natural en por lo menos el 75 % de su superficie dentro del predio.	EL PROYECTO no modifica la estructura de la duna costera, bermas rocosas ni vegetación asociada, ya que las obras se ubicarán en cubiertas existentes.
CE-105	Se permiten los andadores de acceso a la playa de conformidad con lo establecido en la normatividad vigente, los cuales siempre tendrán un trazo que atraviese la franja de vegetación costera en forma diagonal con la finalidad de evitar la erosión de la duna o playa. Los andadores o accesos a la playa tendrán una	EL PROYECTO no contempla nuevos andadores de acceso a playa ni modificación de accesos existentes.

CLAVE	CRITERIO	VINCULACIÓN
	anchura máxima de tres metros y se podrá establecer uno por cada 100 metros de frente de playa de cada predio.	
CE-106	Los andadores de acceso a la playa se establecerán sobre el terreno natural, sin rellenos, ni pavimentos, sólo se permitirá la delimitación del mismo con rocas u otros ornamentos no contaminantes. Se permite el establecimiento de andadores elevados que respeten el relieve natural de la duna.	EL PROYECTO no contempla el establecimiento de andadores de acceso a playa, rellenos, pavimentos o delimitaciones sobre terreno natural de duna.
CE-107	Para efectos del perfil de diseño del proyecto y el nivel de desplante, deben evaluarse los niveles de inundación y caudales de precipitación ante diversos escenarios de lluvia. Lo anterior como criterio para la definición del nivel de desplante que asegure el mantenimiento de la hidrología superficial y sub-superficial del predio y la región, así como la seguridad de la infraestructura planteada.	EL PROYECTO se establecerá sobre cubiertas de edificaciones previamente existentes por lo que esta medida ya ha sido tomada en cuenta por en el proyecto original del complejo GPRM.
CE-108	Se deberá garantizar el funcionamiento hidrodinámico de los canales interiores. Su diseño constructivo y operación se deberá fundamentar en estudios especializados, los que se presentarán de manera conjunta con el estudio de impacto ambiental respectivo.	No resulta aplicable. EL PROYECTO no contempla diseño, construcción, modificación u operación de canales interiores ni obras hidráulicas asociadas.
CE-109	Se permite la instalación temporal de plantas de premezclado, dosificadoras o similares dentro del área de desmonte permitida en el interior de predios para abastecer al proyecto únicamente durante su construcción. Debiendo ser retiradas una vez que se concluya la construcción del mismo. El área ocupada por la planta deberá integrarse al proyecto.	No resulta aplicable. EL PROYECTO no requiere la instalación temporal de plantas de premezclado, dosificadoras o similares. Las actividades se limitan al montaje de componentes prefabricados y conexiones eléctricas sobre infraestructura existente.

2.3 Decretos y programas de conservación y manejo de las áreas naturales protegidas

2.3.1 Áreas Naturales Protegidas

2.3.1.1 Reserva de la Biósfera Caribe Mexicano

La Reserva de la Biosfera Caribe Mexicano (RBCM) fue decretada el 7 de diciembre de 2016 y se localiza al este de la península de Yucatán, en los municipios de Isla Mujeres, Benito Juárez y Tulum, así como frente a las costas de Puerto Morelos, Solidaridad, Cozumel, Bacalar y Othón P. Blanco, en el estado de Quintana Roo. De acuerdo con el resumen oficial de su programa de manejo, abarca una superficie total de 5 millones 754 mil 055 hectáreas, lo que la convierte en una de las áreas naturales protegidas marino-costeras más extensas del país (CONANP, Programa de Manejo Reserva de la Biosfera Caribe Mexicano, 2019).

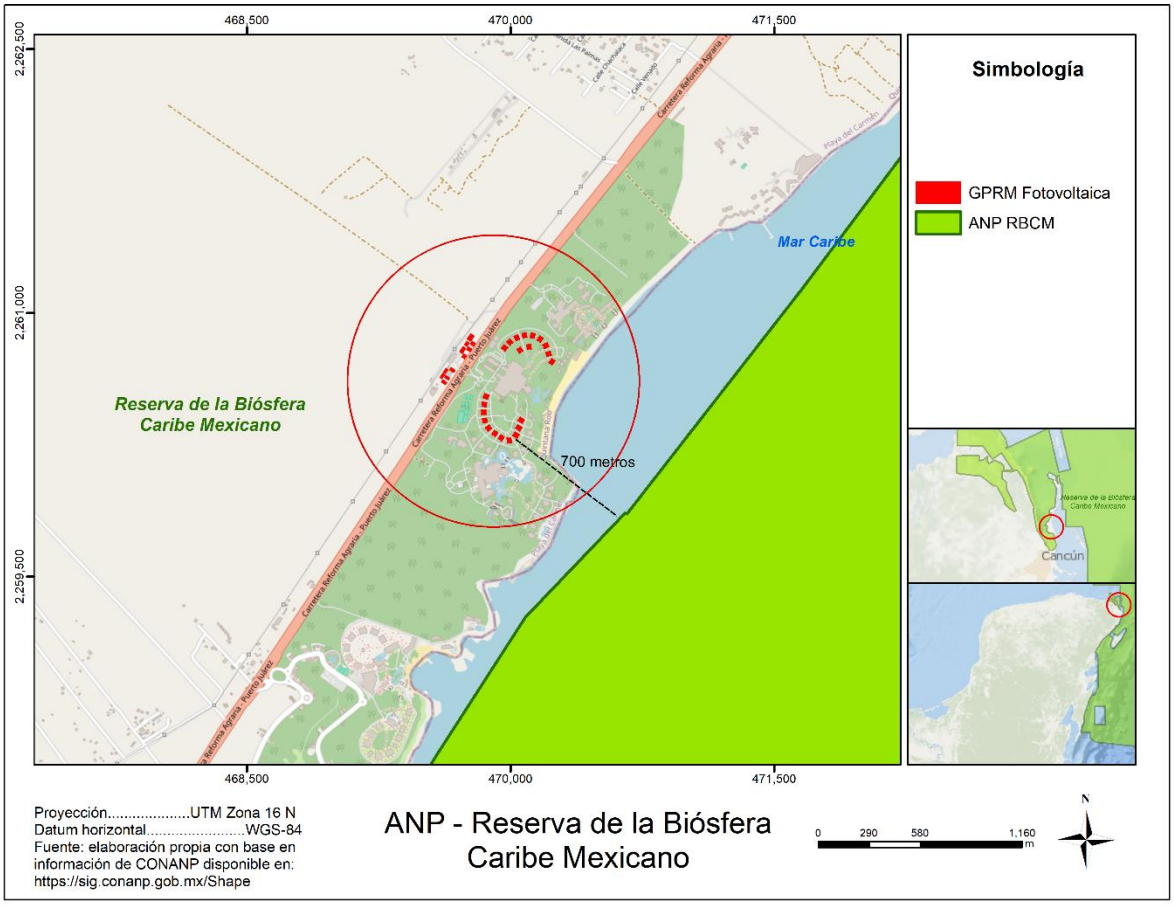
El objetivo central de su manejo es favorecer la permanencia y conservación de la diversidad biológica, mediante políticas y medidas orientadas a mejorar el ambiente y controlar el deterioro de los ecosistemas. Entre los elementos ecológicos más relevantes reconocidos por el programa de manejo se encuentran los arrecifes coralinos, pastizales marinos, selvas, manglares y sistemas lagunares, además de la conectividad ecológica entre hábitats costeros, estuarinos, marinos someros y profundos, la cual resulta esencial para numerosas especies de importancia ecológica y comercial.

En estricto sentido EL PROYECTO no se localiza dentro del polígono de la Reserva de la Biosfera Caribe Mexicano (Figura 2-4); sin embargo, sí se encuentra dentro de su zona de influencia, entendida por el propio programa de manejo como la superficie aledaña que mantiene una estrecha interacción ecológica, social, económica y cultural con el área natural protegida. El programa de manejo señala, además, que dicha zona de influencia abarca la totalidad del estado de Quintana Roo, así como porciones marinas entre la reserva y otras áreas naturales protegidas y la costa estatal.

En ese sentido, la vinculación del PROYECTO con la Reserva de la Biosfera Caribe Mexicano no deriva de una ocupación directa del área protegida ni de la realización de obras dentro de sus subzonas de manejo, sino de la necesidad de verificar que, aun ubicándose dentro de su zona de influencia, no genere efectos contrarios a los objetivos de conservación del área. El programa de manejo de la Reserva reconoce como elementos prioritarios de conservación a los arrecifes coralinos, pastos marinos, manglares, selvas, sistemas lagunares y demás ecosistemas costeros y marinos asociados, resaltando además la importancia de la conectividad ecológica entre estos ambientes.

Bajo esta premisa, EL PROYECTO resulta compatible con el programa de manejo de la Reserva, debido a que consiste exclusivamente en la instalación de paneles fotovoltaicos sobre las cubiertas de edificaciones existentes dentro de un complejo hotelero previamente construido y en operación. Por tanto, no implica ampliación de la huella del desarrollo, no requiere desmontes, no invade ecosistemas naturales, no ocupa playa, duna, manglar, humedal o laguna, y tampoco implica obras de relleno, desecación, canalización o desvío de flujos hidráulicos. Esta condición es particularmente relevante porque el programa de manejo restringe actividades que pudieran interrumpir flujos hidrológicos, rellenar o desecar humedales, fragmentar hábitats, modificar la línea de costa o contaminar el medio marino y costero.

Figura 2-4. ANP Reserva de la Biósfera Caribe Mexicano.



Fuente: Elaboración propia con base en información de CONANP disponible en: https://sig.conanp.gob.mx/Shape.

Asimismo, EL PROYECTO no constituye una obra marítima ni costera. No se construirán muelles, espigones, escolleras, marinas, canales, plataformas sobre playa o duna, ni otra infraestructura susceptible de alterar el litoral o los procesos ecológicos marino-costeros que la Reserva busca preservar. Tampoco se prevé la realización de dragados, remoción de sedimentos o incremento de tránsito náutico. En consecuencia, no se identifica un mecanismo plausible mediante el cual EL PROYECTO pueda afectar de manera directa los arrecifes, pastos marinos, manglares, lagunas costeras o hábitats asociados que forman parte de los objetos de conservación del área protegida.

Desde el punto de vista de las emisiones y residuos, EL PROYECTO tampoco contraviene los lineamientos del programa de manejo. Durante la operación del sistema fotovoltaico no se generan aguas residuales de proceso, no se utilizan agroquímicos, no existen descargas al medio marino, y la generación de residuos se limita principalmente a empaques, sobrantes de instalación y, eventualmente, componentes sustituidos, todos ellos susceptibles de manejo controlado dentro del esquema ya existente en el complejo GPRM. Por ello, EL PROYECTO no representa una fuente relevante de contaminación para los ecosistemas protegidos por la RBCM.

Adicionalmente, la incorporación de energía solar en infraestructura turística ya existente resulta congruente con una lógica de mejora ambiental del desarrollo, al reducir parcialmente su demanda de energía de fuentes convencionales sin ampliar la presión territorial sobre ecosistemas sensibles. En esta medida, EL PROYECTO no solo evita contravenir el programa de manejo, sino que se inserta de manera compatible en un contexto de sustentabilidad regional. Asimismo, en cuanto a la relación hidrológica, la salud del ambiente marino de la Reserva de la Biosfera está íntimamente relacionado con las actividades que se llevan a cabo tierra adentro y en las costas, particularmente aquellas relacionadas con la descarga de sedimentos y nutrientes terrestres a las cuencas hidrológicas (CONANP, Programa de Manejo Reserva de la Biosfera Caribe Mexicano, 2019). De acuerdo con lo anterior para las descargas que tengan efecto directo en el Área Natural Protegida se recomienda cumplir con los parámetros de la siguiente tabla:

Tabla 2-8. Parámetros de cumplimiento de descargas

Parámetro	Límite de efluente
Total de sólidos en suspensión	30 mg/l *
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5)	30 mg/l
pH	5-10 unidades de pH
Grasas y aceites	15 mg/l
Coliformes fecales (las partes podrán cumplir los límites de efluentes para los coliformes fecales o E. coli o enterococos)	Coliformes fecales: 200 mnp/100 ml *E. coli*: 126 organismos/100ml Enterococos: 35 organismos/100 ml
Sustancias flotantes	No visibles
Nitrógeno Total	No especificado/concentraciones que no dañen los ecosistemas
Fósforo Total	No especificado/concentraciones que no dañen los ecosistemas
Toxicidad	< 1 Unidad de Toxicidad

Fuente: CONANP, 2019.

En virtud de lo señalado EL PROYECTO no contempla ningún tipo de descargas de agua, al estar diseñado para instalarse sobre infraestructura existente y en operación, toda descarga será tratada con el sistema que ya cuenta el complejo GPRM, de tal forma que EL PROYECTO cumplirá con los lineamientos establecidos en el Programa de Manejo de la RBCM.

En conclusión, aunque EL PROYECTO se ubica dentro de la zona de influencia de la Reserva de la Biosfera Caribe Mexicano, su naturaleza y forma de implantación permiten afirmar que es compatible con los objetivos de conservación y con el sentido del programa de manejo, ya que no activa los procesos de deterioro territorial y ecológico que dicho instrumento busca prevenir.

2.3.2 Regiones prioritarias

El Programa Regiones Prioritarias para la Conservación de la Biodiversidad de la CONABIO se orienta a la detección de áreas, cuyas características físicas y bióticas favorezcan condiciones particularmente importantes desde el punto de vista de la biodiversidad. Este Programa forma parte de una serie de estrategias instrumentadas por la CONABIO para la promoción a nivel nacional para el conocimiento y conservación de la biodiversidad de México (CONABIO, 2026). Por lo anterior, se entiende que las regiones prioritarias

propuestas por la CONABIO no establecen criterios que regulen el aprovechamiento o uso del suelo contra los cuales pueda ser contrastado EL PROYECTO propuesto para determinar su factibilidad ambiental.

En este contexto EL PROYECTO converge en la Región hidrológica prioritaria (RHP-105) Corredor Cancún-Tulum, la Región Marina Prioritaria (RMP-64) Tulum-Xpuha.

El Programa de Regiones Hidrológicas Prioritarias (RHP), tiene el objetivo de obtener un diagnóstico de las principales subcuencas y sistemas acuáticos del país considerando las características de biodiversidad y los patrones sociales y económicos de las áreas identificadas, para establecer un marco de referencia que pueda ser considerado por los diferentes sectores para el desarrollo de planes de investigación, conservación uso y manejo sostenido.

El Programa de Regiones Marinas Prioritarias (RMP) instrumentado por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad instrumentó por medio de talleres multidisciplinarios, donde se identificaron, delimitaron y caracterizaron 70 áreas costeras y oceánicas consideradas prioritarias por su alta diversidad biológica, por el uso de sus recursos y por su falta de conocimiento sobre biodiversidad. Se identificaron las amenazas al medio marino de mayor incidencia o con impactos significativos en costas y mares.

Se han revisado los límites espaciales de cada una de las regionalizaciones mencionadas con el fin de señalar los rasgos relevantes de las mismas que pudieran tener relación con el desarrollo del PROYECTO que si bien no tienen un carácter legal regulatorio, se contemplan dentro del marco de referencia ambiental planteado para el desarrollo del PROYECTO.

2.3.2.1 Región Hidrológica Prioritaria 105 Corredor Cancún -Tulum

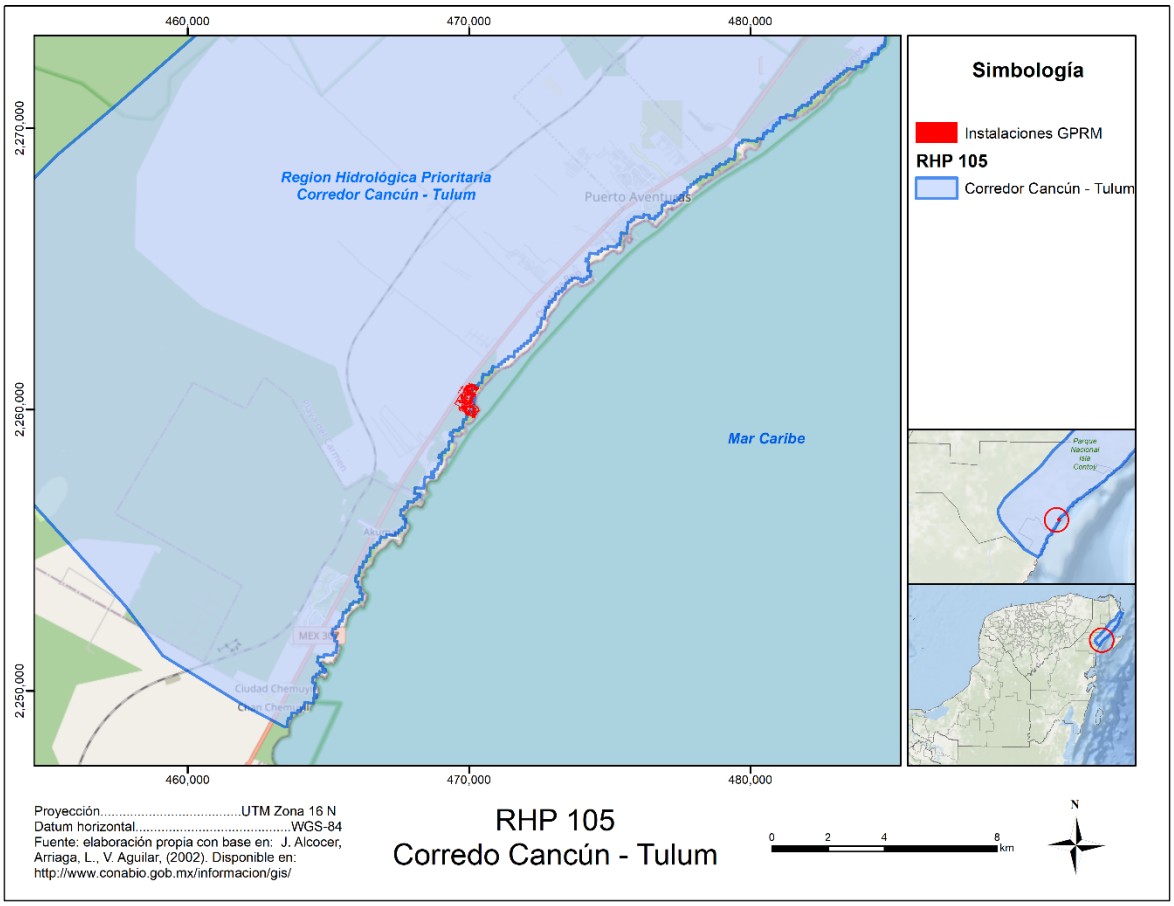
De acuerdo con la regionalización de la CONABIO, la Región Hidrológica Prioritaria 105, denominada Corredor Cancún–Tulum, se localiza en el estado de Quintana Roo y comprende una superficie aproximada de 1,715 km², delimitada entre las coordenadas 21°10'48"–20°20'24" Norte y 87°28'12"–86°44'24" Oeste (Figura 2-5). De acuerdo con CONABIO (2026), sus principales recursos hídricos incluyen sistemas lénticos como las lagunas de Chakmochuk y Nichupté, cenotes, estuarios y humedales, así como sistemas lóticos representados principalmente por aguas subterráneas.

Desde el punto de vista hidrológico-ambiental, la relevancia de la RHP 105 se relaciona con la presencia de acuíferos kársticos, cenotes, humedales, estuarios, manglares, dunas costeras, caletas y playas, ecosistemas particularmente sensibles a cambios en el uso del suelo, contaminación por aguas residuales, disposición inadecuada de residuos y alteraciones en la dinámica superficial y subterránea del agua. La ficha de CONABIO identifica para esta región vegetación de selva mediana subperennifolia, selva baja perennifolia, selva baja inundable, manglar, sabana, palmar inundable y vegetación de dunas costeras, así como diversidad de hábitats costeros y continentales.

En este contexto, EL PROYECTO guarda una relación ambientalmente favorable con la RHP 105, ya que no implica la apertura de nuevas áreas de aprovechamiento, desmonte de vegetación natural, modificación de humedales, afectación directa a cenotes, lagunas, cuerpos de agua, dunas costeras o manglares. Su desplante se limita a infraestructura previamente construida, particularmente cubiertas de edificaciones existentes, lo que reduce de manera significativa la presión sobre el suelo, la vegetación natural y los procesos

hidrológicos superficiales y subterráneos. Asimismo, EL PROYECTO contribuye a reducir la dependencia parcial de energía eléctrica proveniente de la red mediante la generación solar fotovoltaica. La el sistema tiene como objetivo complementar el consumo eléctrico del complejo GPRM y reducir emisiones contaminantes a la atmósfera; además, se estima que la producción energética del sistema representaría alrededor del 17 % del consumo anual. Esta condición resulta congruente con un enfoque de mejoramiento del desempeño ambiental de infraestructura turística existente en una región donde el crecimiento urbano y turístico ha sido señalado como uno de los factores de presión ambiental.

Figura 2-5. RHP 105 Corredor Cancún - Tulum



Fuente: Elaboración propia con base en J. Alcocer, Arriaga, L. V, Aguilar, (2002). Disponible en: https://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/.

2.3.2.2 Región Marina Prioritaria 64 Tulum - Xpuha

La Región Marina Prioritaria 64 Tulum-Xpuha forma parte de la regionalización marina prioritaria establecida por la CONABIO, instrumento técnico de planeación ambiental que identifica zonas costeras y oceánicas relevantes por sus valores de biodiversidad, procesos ecológicos, importancia económica y presencia de amenazas. La delimitación de las Regiones Marinas Prioritarias se realizó con base en criterios ambientales, económicos y de amenaza, incluyendo diversidad de hábitats, endemismos, riqueza de especies, zonas de reproducción, migración, crecimiento o refugio, procesos oceánicos relevantes, turismo,

pesca, modificación del entorno, contaminación, presión sobre especies clave y prácticas de manejo inadecuadas.

En el listado nacional de CONABIO, la RMP 64 Tulum-Xpuha se clasifica como una región de alta biodiversidad (AB), con amenaza para la biodiversidad (AA) y con uso por sectores (AU), lo que evidencia su relevancia ecológica y, al mismo tiempo, la presión derivada de actividades humanas, particularmente turísticas y costeras.

De acuerdo con CONABIO, la RMP 64 se localiza en el estado de Quintana Roo, entre las coordenadas aproximadas 20°35'24" a 20°05'24" de latitud norte y 87°31'48" a 87°06'36" de longitud oeste, con una extensión aproximada de 743 km² (Figura 2-6).

La RMP 64 se caracteriza por la presencia de cenotes, caletas, arrecifes y dunas, así como por la influencia de la corriente del Caribe, oleaje medio y aporte de agua dulce mediante ríos subterráneos. Esta condición resulta ambientalmente relevante porque evidencia la conexión funcional entre el territorio continental, los sistemas kársticos subterráneos, los humedales costeros y el ambiente marino. En este sentido, aun cuando EL PROYECTO no se desarrolla directamente en el medio marino, su ubicación dentro del corredor costero obliga a prevenir cualquier emisión, residuo, escurrimiento contaminado o manejo inadecuado de materiales que pudiera alcanzar indirectamente los sistemas costeros o subterráneos.

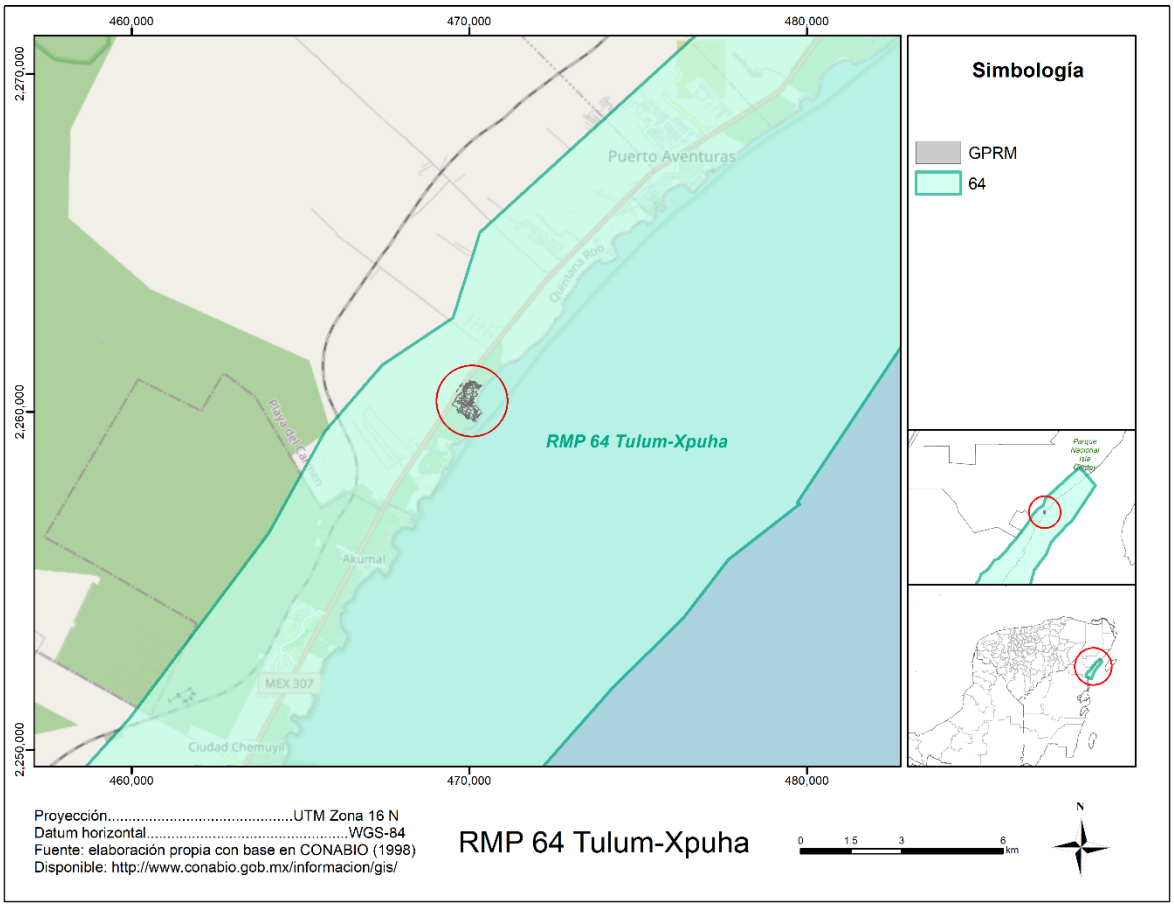
Desde el punto de vista de biodiversidad, CONABIO reconoce en la RMP 64 la presencia de moluscos, poliquetos, corales, equinodermos, crustáceos, peces, tortugas, aves, mamíferos marinos, manglares y selva baja, además de endemismos de vegetación en dunas y manglares, peces cavernícolas y organismos asociados a sistemas subterráneos. También se señala como zona de reproducción y refugio de manatí, tortugas y peces ciegos. Frente a estos atributos, EL PROYECTO presenta una relación de bajo riesgo ambiental directo, debido a que su instalación se limita a cubiertas de edificaciones existentes y no implica intervención de arrecifes, playas, dunas, manglares, caletas, cenotes, cuerpos de agua o vegetación natural.

La problemática ambiental identificada por CONABIO para la RMP 64 incluye dragados, relleno de áreas inundables, deforestación, daño por embarcaciones pesqueras y turísticas, blanqueamiento de corales, contaminación por basura y aguas residuales, presión sobre manatíes y tortugas, y falta de regulación en caletas y cenotes asociada al sector turístico. En este contexto, EL PROYECTO no se relaciona con las principales causas de modificación física del entorno marino-costero, ya que no contempla dragados, rellenos, construcción en zona litoral, obras en cuerpos de agua, apertura de canales, remoción de vegetación costera ni incremento de infraestructura turística de alojamiento. Por el contrario, corresponde a una mejora tecnológica sobre infraestructura previamente construida.

En este contexto, EL PROYECTO presenta una condición ambientalmente favorable, ya que consiste en la instalación de un sistema fotovoltaico sobre cubiertas existentes del complejo GPRM. Su ejecución no requiere cambio de uso de suelo, apertura de nuevas áreas de aprovechamiento, remoción de vegetación natural, relleno de zonas inundables, obras en dunas, intervención de manglares, construcción en zona marina, modificación de caletas, cenotes o arrecifes, ni alteración de flujos hidrológicos superficiales o subterráneos. Por tanto, no se prevén impactos directos sobre los principales atributos ecológicos que justifican la importancia de la RMP 64.

Asimismo, EL PROYECTO contribuye al mejoramiento del desempeño ambiental de una infraestructura turística ya existente, al incorporar generación solar fotovoltaica para complementar el consumo eléctrico del hotel y reducir emisiones contaminantes asociadas al suministro energético convencional. Esta condición resulta congruente con la necesidad de disminuir presiones ambientales indirectas dentro de regiones costeras sometidas a intenso desarrollo turístico.

Figura 2-6. RMP 64 Tulum-Xpuha



Fuente: Elaboración propia con base CONABIO (1998) Disponible en: http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/.

2.4 Normas oficiales mexicanas

2.4.1 Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010

La NOM-059-SEMARNAT-2010 tiene por objeto identificar las especies y poblaciones de flora y fauna silvestres en riesgo en la República Mexicana, mediante la integración de los listados correspondientes, así como establecer los criterios para su inclusión, exclusión o cambio de categoría de riesgo, con base en un método de evaluación del riesgo de extinción. Se trata de una disposición de observancia obligatoria en todo el territorio nacional, aplicable a las personas físicas o morales que promuevan la incorporación, exclusión o modificación de la categoría de riesgo de especies o poblaciones silvestres.

En el caso del complejo GPRM, dentro del cual se pretende desarrollar EL PROYECTO, existen amplias áreas verdes con cobertura vegetal natural que constituyen espacios funcionales para diversas especies de flora y fauna, incluidas algunas enlistadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010. No obstante, dada la naturaleza del PROYECTO (consistente en la instalación de un sistema fotovoltaico sobre infraestructura previamente construida), su ejecución no implica remoción de vegetación natural, ocupación de hábitat, ni intervención directa sobre dichas áreas.

Sin perjuicio de lo anterior, la presencia de especies incluidas en esta Norma confiere relevancia ambiental al entorno inmediato del PROYECTO, por lo que resulta procedente incorporar medidas de prevención, manejo y protección orientadas a evitar afectaciones indirectas sobre los ejemplares que utilizan estas áreas como sitio de refugio, alimentación, desplazamiento o descanso. En este sentido, las medidas propuestas se enfocarán particularmente en aquellas actividades que, de acuerdo con la valoración de impactos ambientales, representen mayor presión potencial, tales como el tránsito de personal, el movimiento de materiales, la generación de ruido, la iluminación temporal, la presencia de residuos o cualquier otra acción que pudiera alterar de manera indirecta el comportamiento o la permanencia de la fauna asociada al sitio.

De esta manera, la vinculación del PROYECTO con la NOM-059-SEMARNAT-2010 no deriva de una afectación directa a especies o hábitats sujetos a protección, sino de la necesidad de reconocer la sensibilidad biológica del entorno y de establecer medidas preventivas congruentes con la presencia de especies en categoría de riesgo dentro del complejo donde se inserta EL PROYECTO.



CAPÍTULO 3

Descripción de la región ecológica

CONTENIDO

3. DESCRIPCIÓN DE LA REGIÓN ECOLÓGICA Y SEÑALAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA AMBIENTAL DETECTADA. 5

3.1 DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO 6
3.1.1 Criterios de delimitación 6
3.1.2 Área de influencia directa 8
3.1.3 Área de influencia indirecta 9
3.2 CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS DE LA REGIÓN ECOLÓGICA 12
3.2.1 Medio abiótico 12
3.2.2 Medio biótico 22
3.2.3 Paisaje 27
3.2.4 Medio socioeconómico 30
3.2.5 Diagnóstico ambiental 30

Índice de figuras

Figura 3-1. Delimitación de la Región Ecológica. 7
Figura 3-2. Área de influencia directa del PROYECTO. 8
Figura 3-3. Umbrales de percepción del confort por ruido 10
Figura 3-4. Área de influencia indirecta con base en estimación de alcance del ruido. 11
Figura 3-5. Climograma del área de estudio. 13
Figura 3-6. Radiación solar incidente en el SA 13
Figura 3-7. Distribución histórica de tormentas por categoría máxima (Saffir-Simpson). 15
Figura 3-8. Trayectoria de huracanes 1890-2023 en la región de análisis y densidad de Kernel. 16
Figura 3-9. Porcentaje de huracanes mayores por época climática. 17
Figura 3-10. Estacionalidad: curva de densidad de actividad ciclónica anual 18
Figura 3-11. Uso de suelo y vegetación en la RE. 22
Figura 3-12. Valoración del paisaje (relevancia del paisaje) 29

Índice de tablas

Tabla 3-1. Umbrales de ruido derivados de las acciones de instalación del PROYECTO. 10
Tabla 3-2. Escala Saffir-Simpson 14
Tabla 3-3. Probabilidades de excedencia por horizonte temporal 18
Tabla 3-4. Periodo de retorno para los diferentes eventos. 18
Tabla 3-5. Superficie por cobertura de uso de suelo y vegetación en la RE. 23
Tabla 3-6. Listado de especies de flora en la RE por forma biológica. 23
Tabla 3-7. Especies de flora en la NOM-059-SEMARNAT-2010. 24
Tabla 3-8. Listado de fauna registrado en la RE. 25
Tabla 3-9. Especies de interés ecológico (NOM-059-SEMARNAT-2010-UICN-CITES) registradas en la RE del proyecto. 26

3. DESCRIPCIÓN DE LA REGIÓN ECOLÓGICA Y SEÑALAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA AMBIENTAL DETECTADA.

El presente capítulo tiene por objeto delimitar, describir y analizar la región ecológica en el cual se insertará EL PROYECTO, cuya instalación se llevará a cabo en el complejo que ya cuenta con infraestructura previamente autorizada y construida, así como identificar la problemática ambiental existente en el área de influencia del PROYECTO y las interacciones ambientales previsibles derivadas de su ejecución.

A diferencia de proyectos que implican el cambio de uso del suelo o el desmonte de superficies con cobertura vegetal primaria o secundaria, EL PROYECTO que se evalúa en este caso corresponde a una intervención sobre un entorno previamente transformado, cuyo soporte físico principal está constituido por edificaciones, las cubiertas, estructuras existentes, áreas de servicios, vialidades internas y demás superficies antropizadas. Por ello, la caracterización ambiental que aquí se presenta no se enfoca en reconstruir la condición original del predio antes del desarrollo hotelero, sino en describir el estado actual de la región ecológica funcional sobre el cual efectivamente se desarrollarán las obras y actividades del sistema fotovoltaico.

En este sentido, la descripción ambiental se construye a partir de dos escalas complementarias:

- Escala regional y de contexto, necesaria para ubicar EL PROYECTO dentro de la unidad ambiental mayor, reconocer sus condicionantes climáticas, geológicas, hidrológicas, ecológicas y territoriales, y entender la relación del complejo GPRM con el entorno.
- Escala local y operativa, que es la más relevante para este PROYECTO, ya que permite caracterizar las superficies específicas donde se instalarán los módulos fotovoltaicos, inversores, canalizaciones, estructuras de soporte, tableros, protecciones eléctricas y demás componentes asociados.

Con base en ello, el presente capítulo privilegia el análisis de las condiciones ambientales actuales del sitio intervenido, las cuales difieren sustancialmente de las condiciones preoperacionales originalmente descritas para el desarrollo hotelero. En consecuencia, se reconoce que la región ecológica actual presenta ya una modificación estructural y funcional derivada de la urbanización, operación hotelera y mantenimiento continuo del inmueble, por lo que los factores bióticos y abióticos potencialmente afectados por el sistema fotovoltaico son de magnitud, extensión y naturaleza distintas a las que corresponderían a un proyecto de nuevo desplante.

La caracterización y el diagnóstico que se presentan buscan cumplir con los requerimientos necesarios para facilitar la evaluación de impacto ambiental coherente del PROYECTO, pero con una interpretación metodológicamente consistente con la naturaleza de este. Esto implica que el análisis de la región ecológica se centra en:

- la compatibilidad del PROYECTO con el entorno construido existente;
- las condiciones de seguridad estructural, exposición climática y operación de las superficies receptoras;
- las interacciones con los elementos remanentes del medio biótico y del paisaje;

- la relación con los usos del suelo, infraestructura de servicios y operación hotelera vigente; y
- la identificación de la problemática ambiental relevante para un sistema fotovoltaico en un predio ya transformado.

Bajo este enfoque, el capítulo constituye la base para la posterior identificación de impactos, la formulación de medidas de prevención y mitigación, y la articulación del PROYECTO con las medidas y obligaciones ambientales que ya resultan aplicables al complejo GPRM autorizado.

3.1 Delimitación del área de estudio

El estudio de un ecosistema natural que ha sido transformado por la acción humana, ya sea mediante el aprovechamiento de sus recursos naturales (renovables o no renovables) o por la instalación de asentamientos humanos, urbanizaciones e infraestructura, exige considerar de manera integral el conjunto de elementos que intervienen en dichos procesos. Esto implica analizar no solo sus componentes o factores constitutivos, sino también las interrelaciones que guardan entre sí y sus interacciones con los procesos sociales, económicos y políticos asociados. En otras palabras, supone concebir el objeto de estudio como un sistema complejo. En este sentido, la teoría de los sistemas complejos constituye una propuesta conceptual y metodológica idónea para abordar este tipo de análisis, ya que sustenta, desde bases epistemológicas, el trabajo interdisciplinario requerido para comprender la dinámica de este tipo de sistemas (García R. , 2006).

Bajo esta perspectiva, desde hace más de tres décadas los instrumentos de gestión y política ambiental han incorporado un enfoque sistémico, sustentado en la Teoría General de Sistemas. Este enfoque reconoce que un sistema no puede entenderse como la simple suma de sus partes, sino como una organización dinámica en la que resultan fundamentales tanto la presencia de energía para su funcionamiento como los flujos de información entre sus componentes. Por ello, el análisis de cualquier sistema requiere comprender, de manera articulada, su estructura y sus funciones (Vidal López, 2009).

Con base en lo anterior, la Región Ecológica (RE) puede entenderse como el espacio finito definido a partir de las interacciones entre los medios abiótico, biótico y socioeconómico donde se pretende desarrollar EL PROYECTO, generalmente conformado por uno o varios ecosistemas, y dentro del cual se lleva a cabo el análisis orientado a identificar impactos, restricciones y medidas ambientales de prevención, mitigación y aprovechamiento y que sería equivalente al Sistema Ambiental (SEMARNAT, 2002). Por lo cual, la RE se definió con base en los criterios que se describen en el apartado siguiente.

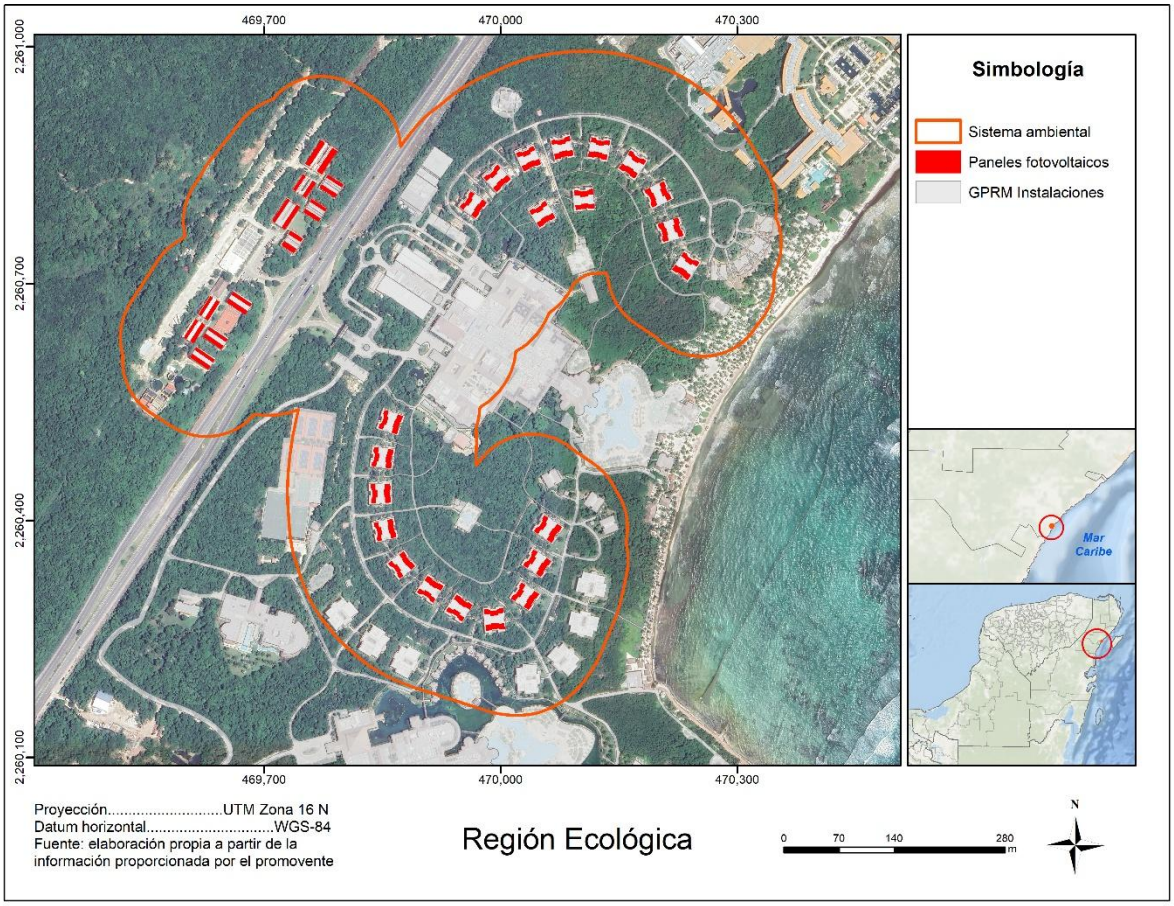
3.1.1 Criterios de delimitación

La delimitación del área de estudio se realizó a partir del análisis de la naturaleza específica del sistema fotovoltaico propuesto, considerando el tipo de obras y actividades asociadas, su localización sobre infraestructura previamente construida y la escala efectiva de sus posibles interacciones con el entorno. Bajo este enfoque, la delimitación del área de estudio no se restringió únicamente a criterios espaciales, sino que respondió también a la necesidad de distinguir entre el contexto ambiental histórico del predio y el ámbito de influencia real del PROYECTO en evaluación. Con base en ello, se consideraron como criterios principales los siguientes:

- las dimensiones del PROYECTO y la localización puntual de las obras y actividades;
- la distribución de la infraestructura fotovoltaica dentro del complejo GPRM;
- la condición de que EL PROYECTO será desplantado sobre superficies previamente construidas o modificadas;
- la posible interacción con elementos del medio físico, biótico y perceptual del entorno inmediato;
- la relación con la operación del complejo GPRM y con la infraestructura eléctrica existente; y
- la congruencia con el uso del suelo y con el marco regulatorio aplicable al predio y su zona de influencia.

En este contexto la delimitación de la Región Ecológica se encuentra estrechamente ligada con el área de influencia directa e indirecta a la vez que engloba el alcance real de las acciones del PROYECTO en cada una de sus etapas tal como se aprecia en la Figura 3-1, donde se muestra el límite de la Región Ecológica, la cual ocupa un área total de 39.854 hectáreas.

Figura 3-1. Delimitación de la Región Ecológica.



Fuente: Elaboración propia con base en información proporcionada por el promovente.

Dado que la delimitación de la RE se encuentra ligada al área de influencia directa e indirecta del PROYECTO a continuación se establece una descripción detallada de las mismas:

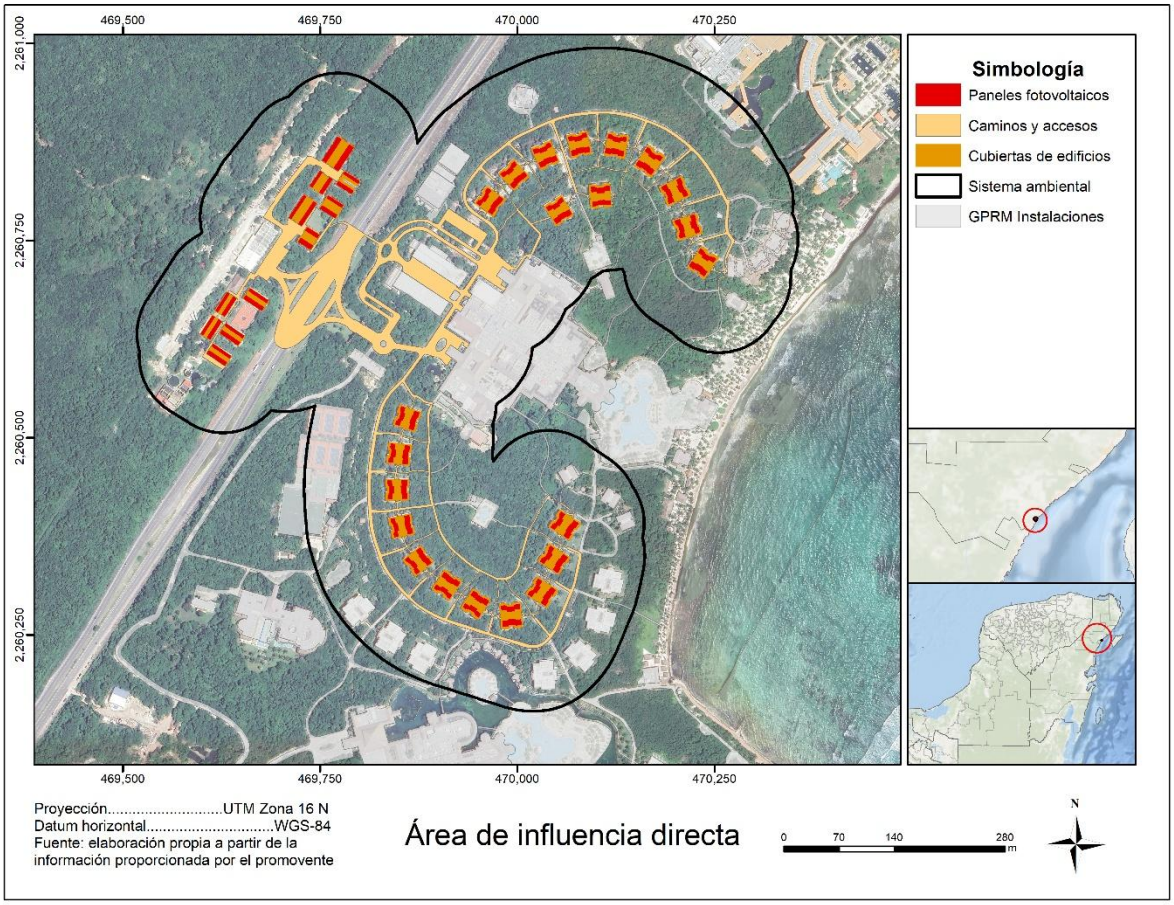
3.1.2 Área de influencia directa

El área de influencia directa corresponde a las superficies específicas donde se ejecutarán las obras y actividades del PROYECTO, incluyendo:

- cubiertas de edificios existentes donde se colocarán los paneles fotovoltaicos;
- áreas de instalación de inversores, centros de carga, tableros o equipos auxiliares;
- trayectorias de canalización, cableado, interconexión y protecciones eléctricas;
- áreas temporales de maniobra, acopio menor y tránsito de personal durante la instalación;
- zonas de mantenimiento periódico del sistema.

El área de influencia directa se encuentra integrada por las superficies representadas en el Figura 3-2.

Figura 3-2. Área de influencia directa del PROYECTO.



Fuente: Elaboración propia con base en información proporcionada por el promovente.

En términos ambientales, esta área se caracteriza por ser un espacio ya urbanizado, impermeabilizado o estructuralmente intervenido, cuyo funcionamiento actual está determinado por la operación del hotel. En consecuencia, los componentes ambientales directamente interactuantes con EL PROYECTO son, principalmente:

- la estructura física construida;
- la atmósfera local en términos de ruido temporal, polvo puntual y condiciones microclimáticas;
- la gestión de residuos de instalación y mantenimiento;
- la seguridad operativa frente a viento, corrosión, lluvia extrema y eventos hidrometeorológicos;
- y, de manera secundaria, la fauna oportunista o asociada al entorno urbano-hotelero.

3.1.3 Área de influencia indirecta

El área de influencia indirecta (AII) comprende el entorno inmediato del hotel y aquellas zonas donde podrían manifestarse efectos ambientales secundarios o acumulativos del PROYECTO, tales como:

- áreas operativas y de servicios del complejo GPRM;
- áreas ajardinadas y espacios abiertos adyacentes;
- infraestructura eléctrica interna del desarrollo;
- zonas donde exista percepción visual del sistema fotovoltaico;
- y, de manera contextual, el entorno territorial inmediato del complejo y sus elementos ambientales relevantes.

Dado que se trata de un PROYECTO de pequeña a mediana escala relativa respecto del conjunto hotelero, y cuya implantación ocurre sobre infraestructura existente, se prevé que su área de influencia indirecta sea acotada y esté condicionada principalmente por la logística constructiva, la integración visual, la operación eléctrica y la gestión de residuos. No obstante, con el objetivo de contar con un AII espacialmente definida se llevó a cabo un análisis del alcance de los impactos que suelen ser más dispersos y difusos, hablamos del impacto sonoro causado por el uso de maquinaria y equipo

En virtud de lo anterior, se llevó a cabo una estimación del alcance perceptible del ruido mediante un esquema de propagación de fuente puntual, usando niveles de referencia a 15 m, corrección geométrica por diferencia de altura entre la azotea y el receptor, atenuación por distancia conforme a la relación (Stokes, 2009):

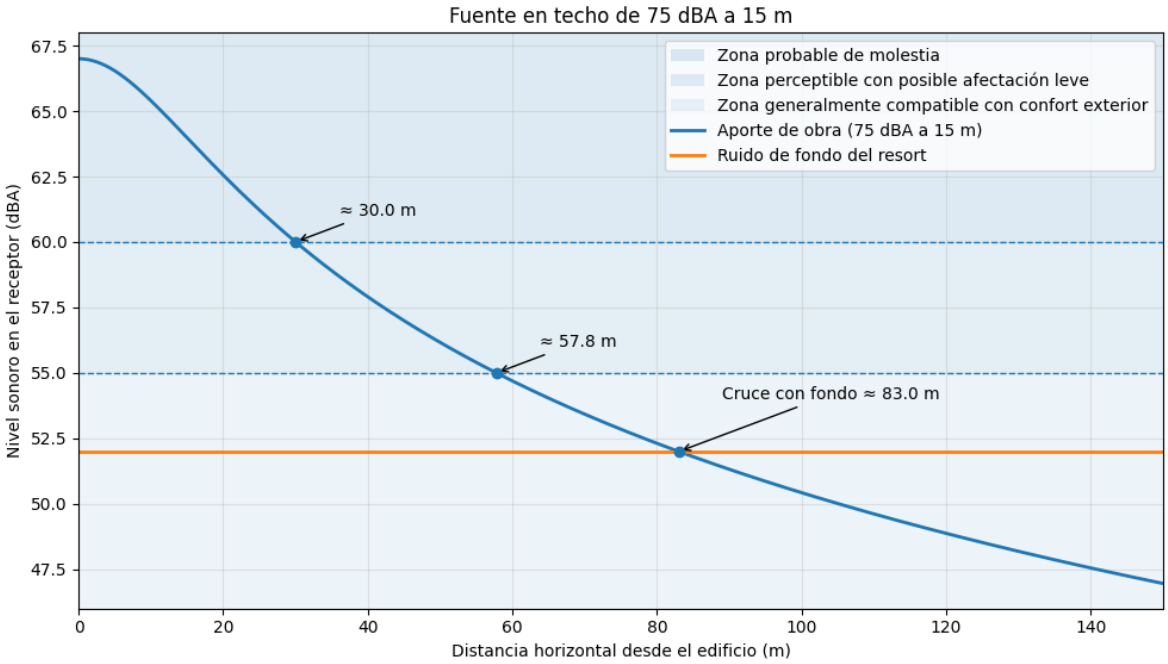
$$L_r = L_{ref} - 20log_{10}\left(\frac{r}{r_{ref}}\right)$$

donde:

L_r= nivel sonoro en el receptor,
L_{ref}= nivel sonoro conocido a la distancia de referencia,
r= distancia real fuente–receptor,
r_{ref}= distancia de referencia.

Se comparó con el ruido de fondo mediante suma logarítmica de niveles. Se consideró que el ruido tiende a perderse en el fondo cuando su contribución genera incrementos menores a 3 dB(A) sobre el ambiente base. Bajo ese criterio, el ruido de instalación puede ser perceptible de manera local en las inmediaciones del edificio intervenido, pero ello no implica necesariamente molestia. En términos de confort exterior, los niveles totales cercanos o inferiores a 55 dBA son, en general, compatibles con actividades recreativas y de estancia; por encima de ese intervalo, y particularmente durante eventos impulsivos o repetitivos, la probabilidad de molestia aumenta de forma localizada (Figura 3-3).

Figura 3-3. Umbrales de percepción del confort por ruido



Fuente: elaboración propia con base en la estimación de fuente de emisión de ruido.

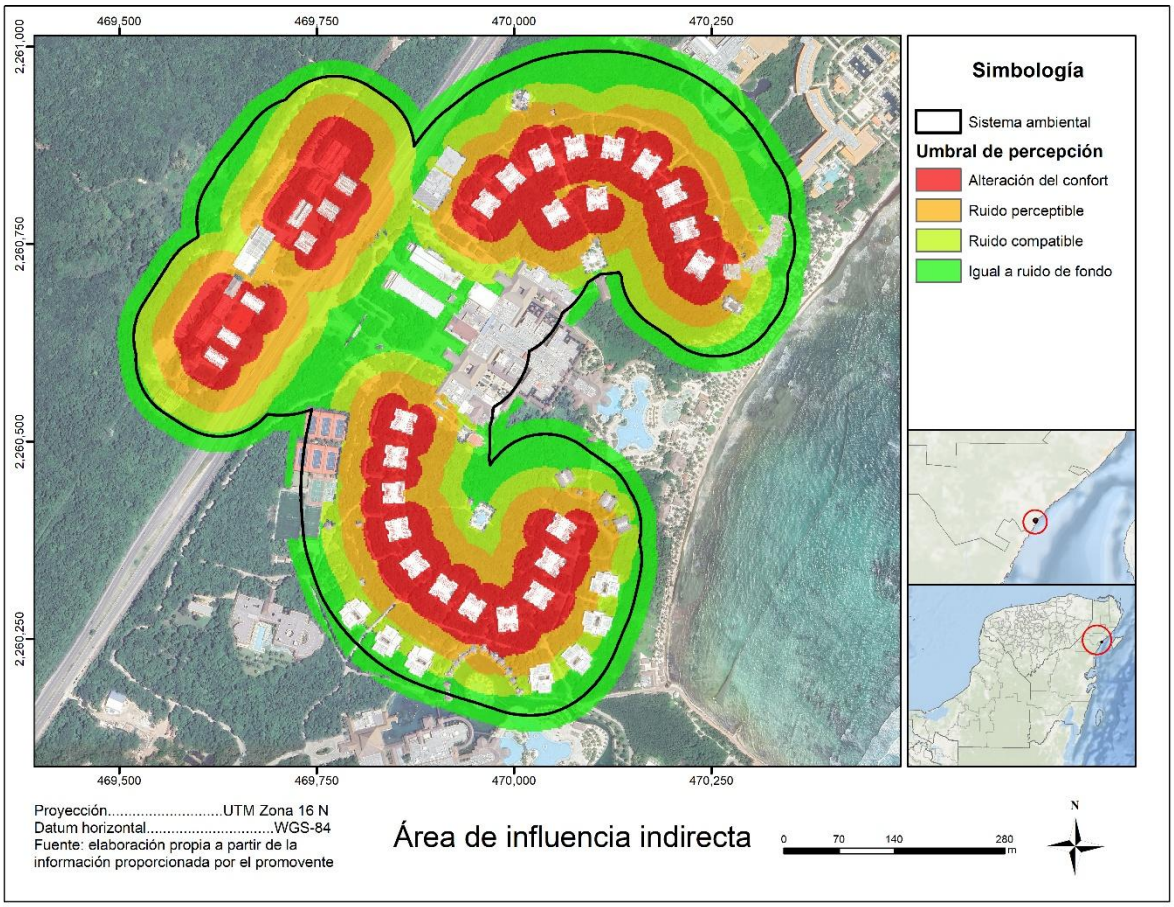
A partir del análisis de fuentes de emisión de ruido del PROYECTO esquematizado en la figura anterior se identifican los umbrales señalados en la Tabla 3-1.

Tabla 3-1. Umbrales de ruido derivados de las acciones de instalación del PROYECTO.

Umbral (nivel de ruido)	Distancia del punto de emisión	Efecto	Descripción
> 60 dBA	≈ 0 a 30 m	Alteración del confort	Puede haber molestia o intrusión perceptible.
55 – 60 dBA	≈ 30 a 58 m	Ruido perceptible	Donde el ruido sería perceptible y podría generar una afectación leve del confort.
< 55 dBA	> 58 m	Ruido compatible	En principio sería más compatible con el confort exterior.
< 52 dBA	≈ 83 m	Igual al ruido de fondo	Punto donde el aporte de la obra se iguala con el ruido de fondo del resort.

Con base en los rangos anteriores se logró estimar el área de influencia indirecta del PROYECTO, utilizando como base el gradiente sonoro que pueden alcanzar las acciones con un periodo de ejecución más continuo (etapa de instalación). En la Figura 3-4 se presenta de formar espacial el alcance de cada uno de los umbrales, siendo posible visualizar que el umbral con nivel de ruido superior a 60 dBA (0-30 metros – Alteración del confort) y el de 55 – 60 dBA (30 – 58 metros – ruido perceptible)

Figura 3-4. Área de influencia indirecta con base en estimación de alcance del ruido.



Fuente: Elaboración propia con base en información proporcionada por el promovente.

La delimitación propuesta resulta congruente con la realidad física y funcional del PROYECTO. A diferencia del proyecto hotelero original (complejo GPRM), cuya huella implicó transformación del terreno y ocupación de unidades de vegetación, el sistema fotovoltaico se incorpora a un sitio donde la alteración principal del medio ya ocurrió en una etapa previa y autorizada.

Por ello, la Región Ecológica relevante para efectos de la presente MIA debe entenderse como un sistema ambiental antropizado, en el que subsisten elementos del entorno natural regional, pero donde las interacciones del PROYECTO fotovoltaico se concentran sobre todo en el medio construido y en sus interfaces con el medio físico, biológico y paisajístico circundante. Esta delimitación evita sobredimensionar artificialmente los impactos del PROYECTO y, al mismo tiempo, permite valorar con mayor precisión aquellos aspectos

que sí son ambientalmente significativos para una instalación fotovoltaica en un complejo turístico existente.

3.2 Caracterización y análisis de la región ecológica

3.2.1 Medio abiótico

3.2.1.1 Clima

De acuerdo con el conjunto de datos vectoriales de unidades climáticas INEGI (2008) la RE cuenta con un clima tipo Aw2(x'), que corresponde a un **clima cálido subhúmedo con lluvias predominantes en verano**, dentro del grupo de mayor humedad relativa de los climas cálidos subhúmedos (García, 1981). La notación **Aw** indica condiciones tropicales cálidas, con temperatura media anual elevada y sin una estación fría marcada; el subíndice **2** señala que se trata de la variante más húmeda dentro de los climas cálidos subhúmedos; y la expresión **(x')** indica que, aunque la lluvia se concentra principalmente en verano, existe una contribución apreciable de precipitación fuera de la temporada estrictamente estival, asociada normalmente a frentes fríos, nortes y eventos de humedad invernal propios del Caribe mexicano, alcanzando una precipitación media anual de 1,337 mm (Figura 3-5).

La temperatura media normal muestra una baja oscilación térmica anual, característica de ambientes tropicales costeros. Las temperaturas se mantienen aproximadamente entre 24 °C y 29 °C durante todo el año. Los valores más bajos se presentan entre enero y febrero, mientras que el periodo más cálido ocurre de mayo a septiembre, con máximos medios cercanos a 29 °C. Esta estabilidad térmica indica que el sitio no presenta restricciones climáticas relevantes por frío y que las condiciones cálidas son persistentes durante prácticamente todo el año. En cuanto a la precipitación, presenta una marcada estacionalidad hídrica. La temporada relativamente seca se extiende de enero a abril, con precipitaciones mensuales bajas a moderadas. A partir de mayo se observa un incremento importante de la lluvia, que se intensifica durante junio y se mantiene con valores altos entre agosto y octubre. El mes de octubre destaca como el de mayor precipitación, seguido por junio y septiembre, lo cual es consistente con la influencia de ondas tropicales, tormentas convectivas, sistemas de baja presión y ciclones tropicales que afectan al Caribe mexicano durante la temporada lluviosa.

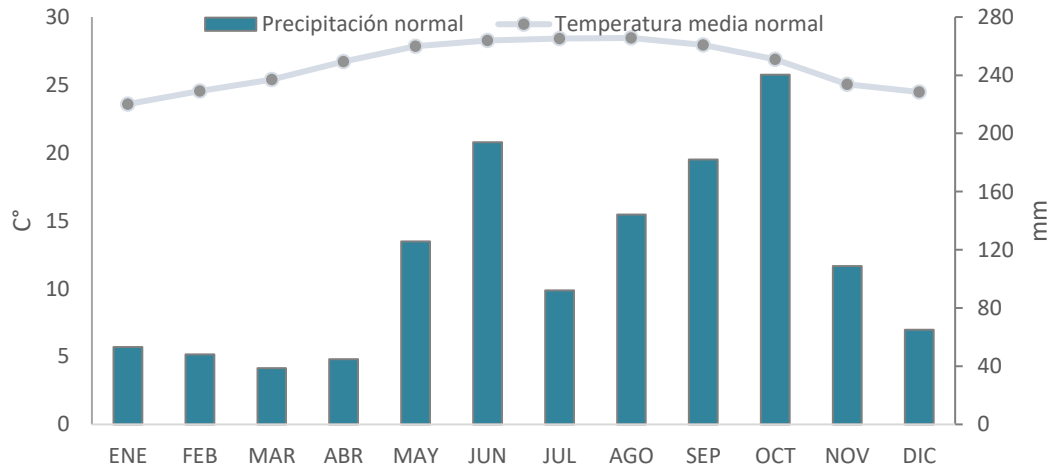
Desde el punto de vista ambiental, las condiciones climáticas del área implican que durante la temporada de lluvias existe mayor probabilidad de escurrimientos superficiales temporales, saturación de suelos, arrastre de sedimentos y movilización de residuos o contaminantes si no se aplican medidas preventivas adecuadas. En el caso específico del PROYECTO, al tratarse de una instalación fotovoltaica sobre cubiertas existentes, no se prevén modificaciones sustantivas al régimen natural de infiltración o escurrimiento; sin embargo, durante la instalación, mantenimiento y eventual retiro de componentes será importante evitar la disposición de materiales, empaques, residuos, aceites, grasas o sustancias potencialmente contaminantes en zonas expuestas a lluvia.

Asimismo, el clima cálido y húmedo tiene implicaciones operativas para el sistema fotovoltaico. Las temperaturas elevadas pueden reducir ligeramente la eficiencia instantánea de los módulos durante las horas de mayor calor, mientras que la nubosidad y la precipitación durante la temporada húmeda pueden disminuir temporalmente la radiación solar incidente. No obstante, la región mantiene una alta disponibilidad de radiación solar

anual, por lo que el sistema fotovoltaico resulta compatible con las condiciones climáticas locales, especialmente como fuente complementaria de energía para un complejo hotelero en operación.

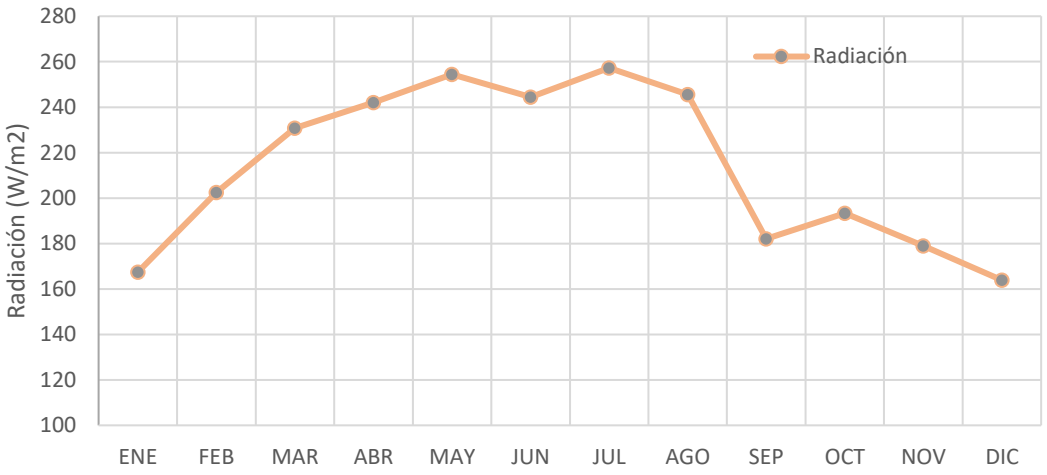
En este contexto, un parámetro climático que se encuentra en total relación con el desempeño y eficiencia de los paneles fotovoltaicos que se pretenden instalar con EL PROYECTO es la radiación solar incidente, la cual si presenta una estacionalidad estrechamente ligada a las estaciones del año y la coincidencia con la mayor época de lluvias, observándose un mayor potencial radiativo en los meses de mayo a julio, siendo los meses de octubre a enero los de menor intensidad (Figura 3-6).

Figura 3-5. Climograma del área de estudio



Fuente: Elaboración propia con datos del sensor TerraClimate: Monthly Climate and Climatic Water Balance for Global Terrestrial Surfaces, University of Idaho procesados en la plataforma Google Earth Engine (registro temporal 2000-2025).

Figura 3-6. Radiación solar incidente en el SA



Fuente: Elaboración propia con datos del sensor TerraClimate: Monthly Climate and Climatic Water Balance for Global Terrestrial Surfaces, University of Idaho procesados en la plataforma Google Earth Engine (registro temporal 2000-2025).

3.2.1.1.1 Fenómenos meteorológicos

Los fenómenos meteorológicos que históricamente han afectado al Caribe mexicano son los ciclones tropicales. La clasificación de los ciclones tropicales se realiza con base en la intensidad de la tormenta, siendo la escala Saffir y Simpson (1971), la más utilizada. Los huracanes son uno de los ciclones tropicales de mayor riesgo en la región. La temporada de huracanes en México comienza del 1° de junio de cada año y se extiende hasta el 30 de noviembre. El Caribe es una de las regiones donde se presentan los primeros sistemas ciclónicos de la temporada.

Históricamente los eventos que más han causado daños son los huracanes Gilberto y Wilma, provocando 202 y 47 decesos respectivamente. Los daños materiales provocados por este tipo de fenómenos suelen ser cuantiosos y poco predecibles (se estima que Wilma alcanzó los 22,000 millones de dólares en daños), sin embargo, una buena gestión estructural aunado a un estudio ambiental, ayuda a minimizar futuros daños estructurales, pérdidas económicas y lo que ello implique. Por lo que se llevó a cabo un análisis de riesgo a ciclones tropicales a través de un estudio hidrodinámico utilizando modelos numéricos para determinar cotas de inundación con el objetivo de mitigar desastres por inundaciones debido a condiciones climáticas extremas en el área de trabajo, el cual se presenta a continuación.

3.2.1.1.1.1 Análisis de riesgo a ciclones tropicales

Para este apartado se ha analizado la base de datos del Archivo Internacional de Mejores Trayectorias para la Administración Climática (IBTrACS por sus siglas en inglés), la cual se encuentra gestionada por el NOAA (https://www.ncei.noaa.gov/products/international-best-track-archive). Para dicho análisis se estableció un buffer de 500 km alrededor de la zona de estudio con el fin de tener un enfoque de riesgo de tormentas real de riesgo local y regional (Figura 3-8).

El conjunto de datos analizados abarca un periodo histórico de 173 años (1851-2023) y registra 590 ciclones únicos que han pasado dentro del buffer de 500 km alrededor de la zona de estudio. Asimismo, se utilizó como base de análisis los vientos máximos registrados en la escala Saffir-Simpson, el sistema de clasificación estándar para ciclones tropicales en el Atlántico Norte y Pacífico Oriental. Clasifica los huracanes en cinco categorías según la velocidad del viento sostenido máximo, con implicaciones directas en el daño potencial a infraestructura, vivienda y ecosistemas costeros (Tabla 3-2).

Tabla 3-2. Escala Saffir-Simpson

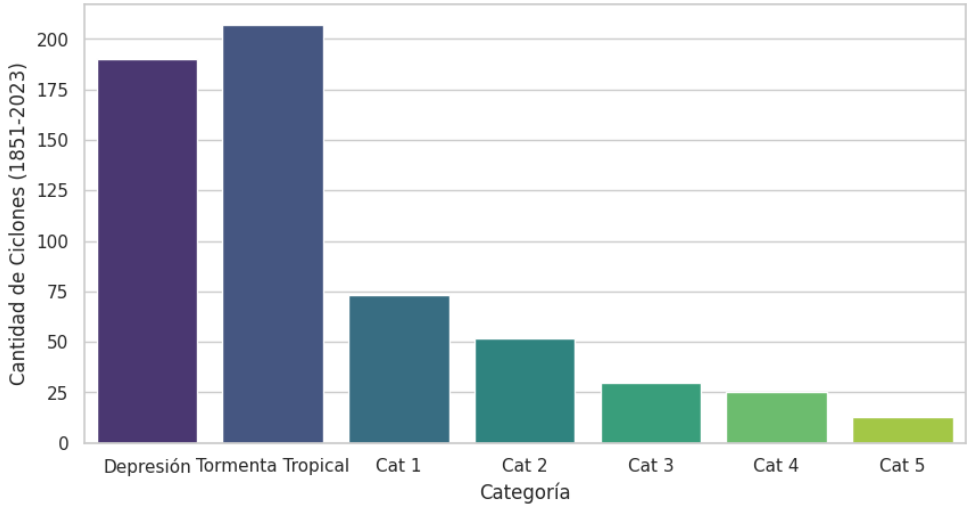
Código SSHS	Categoría	Viento (kt)	Nivel de daño
-5 a -1	Sub-depresión / Extratropical	< 25	Sin daño significativo
0	Depresión Tropical (TD)	25–33	Daño mínimo, precipitación principal amenaza
TS*	Tormenta Tropical	34–63	Daño moderado, riesgo de inundaciones
1	Huracán Categoría 1	64–82	Daño leve a estructuras
2	Huracán Categoría 2	83–95	Daño extenso a estructuras ligeras

Código SSHS	Categoría	Viento (kt)	Nivel de daño
3	Huracán Mayor Categoría 3	96–112	Daño devastador, riesgo de marejada
4	Huracán Mayor Categoría 4	113–136	Daño catastrófico, evacuaciones masivas
5	Huracán Mayor Categoría 5	≥ 137	Daño catastrófico total, zona inhabitable

Nota: Las tormentas tropicales tienen código interno variable en IBTrACS; para este análisis se clasificaron como SSHS = 0.5 implícitamente, pero se contabilizan junto con las depresiones en frecuencias generales.
Fuente: NOAA.

Del total de eventos (590), 193 han alcanzado la categoría de huracán y 68 se clasifican como "Huracanes Mayores" (Categorías 3, 4 y 5).

Figura 3-7. Distribución histórica de tormentas por categoría máxima (Saffir-Simpson).

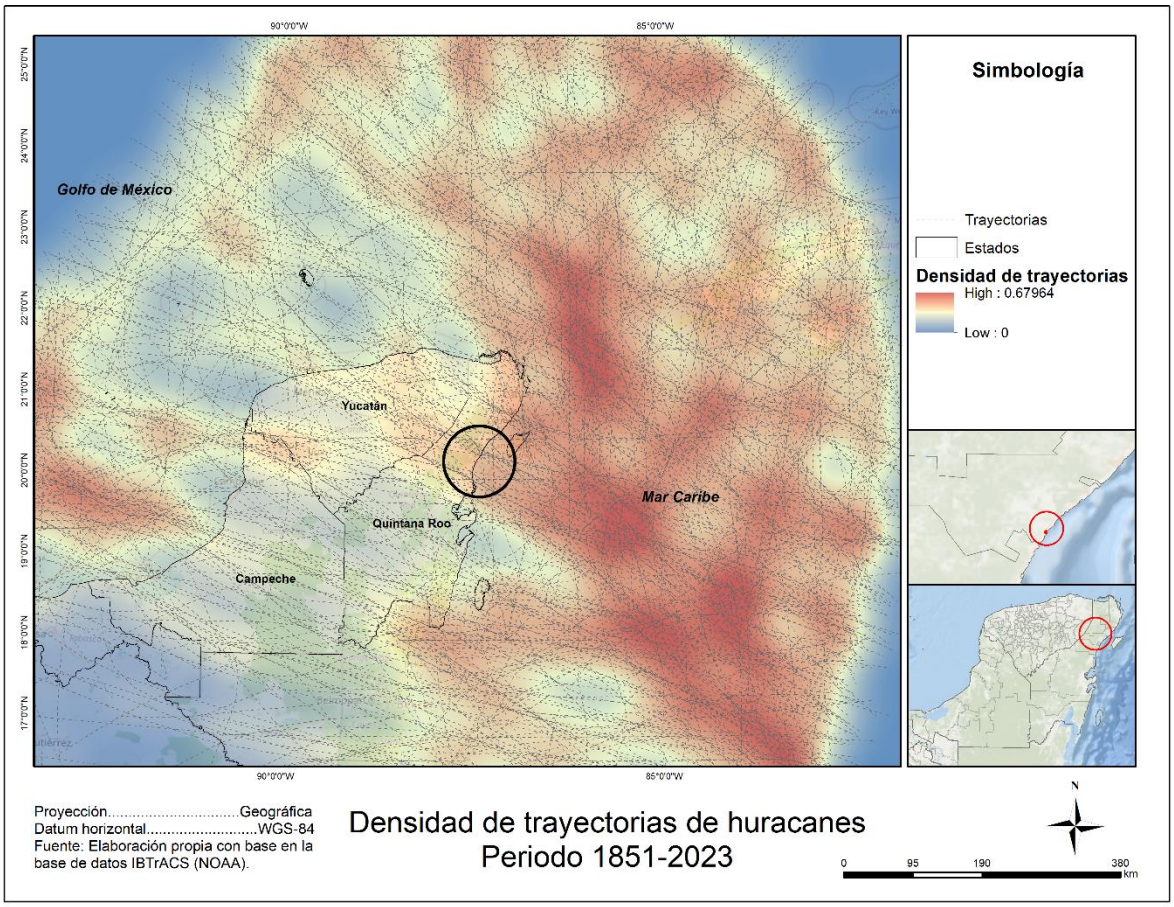


Fuente: Elaboración propia a partir de IBTrACS

En la Figura 3-8 se presentan las trayectorias de los eventos que en el periodo 1851-2023 han pasado a una distancia igual o menor de 500 kilómetros del SA. Se adoptó esta distancia de análisis ya que se considera el diámetro medio máximo que puede alcanzar un huracán y a partir del cual se pueden manifestar efectos de nubosidad en el SA.

Las trayectorias fueron utilizadas para llevar a cabo un análisis de densidad de Kernel, cuyo resultado también es visible en la Figura 3-8 y permite identificar de forma general, las zonas donde han ocurrido la mayor cantidad de trayectorias, independientemente de la categoría en la escala Safirr-Simpson.

Figura 3-8. Trayectoria de huracanes 1890-2023 en la región de análisis y densidad de Kernel.



Fuente: Elaboración propia con base en la base de datos IBTrACS del NOAA (2025).

De los 590 ciclones únicos registrados históricamente en el buffer:

Impacto Directo a Tierra (51.2%): 302 ciclones llegaron a tener una distancia de "0 km" a tierra, indicando que el ojo (o centro de baja presión) del sistema cruzó la costa (ya sea la Península de Yucatán, Cuba occidental o Belice).

Roce o Cercanía (26.9%): 159 sistemas pasaron a menos de 100 km de la costa. A esta distancia, los vientos huracanados y las marejadas ciclónicas causan daños severos a las zonas litorales, incluso sin que el ojo toque tierra.

Mar Adentro (21.9%): Sólo 129 ciclones se quedaron transitando a más de 100 km sin representar impacto directo a tierra firme.

En conclusión, un 78% de las tormentas que entran a este radio analizado terminan impactando tierra o rozando peligrosamente (a menos de 100km). Este es un índice de riesgo alto; lo cual indica que la trayectoria típica a través de este buffer está obligada a topar con la plataforma continental.

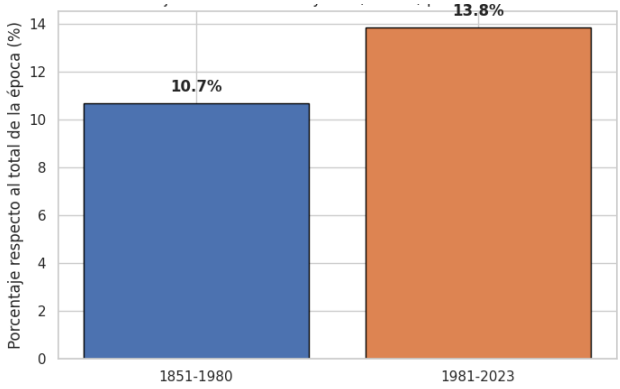
Aumento de frecuencia

Para ver si existe un cambio en el patrón de intensidad a lo largo del tiempo, se dividió el historial de 173 años en dos épocas climáticas: una era histórica (1851-1980) y la era contemporánea de mayor calentamiento oceánico (1981-2023).

- **1851 a 1980:** Se registraron 431 ciclones en el buffer, de los cuales 46 lograron ser *Huracanes Mayores* (Categoría 3+). Esto representa una tasa del **10.6%**.
- **1981 a 2023:** En las últimas cuatro décadas, de 159 sistemas, 22 alcanzaron la categoría de Huracán Mayor. Esto representa un salto al **13.8%**.

Aunque la frecuencia global no ha mostrado un aumento alarmante año con año, la **proporción de tormentas que se convierten en eventos destructivos (Cat 3, 4 y 5) ha aumentado casi un 30% relativo** (Figura 3-9). Si un ciclón entra hoy al Caribe y se acerca al estado de Quintana Roo, tiene estadísticamente mayor probabilidad de intensificarse rápido en comparación con el siglo pasado.

Figura 3-9. Porcentaje de huracanes mayores por época climática.



Fuente: Elaboración propia con base en datos del IBTrACS.

Probabilidad anual y periodo de retorno

Para evaluar el riesgo se calculó la tasa media de ocurrencia anual (λ) para determinar el Periodo de Retorno (cada cuánto tiempo se espera un evento en promedio). La probabilidad de que ocurra al menos un evento de cierta magnitud en un periodo de *t* años se define mediante la ecuación de Poisson:

$$P(X \geq 1) = 1 - e^{-\lambda t}$$

Los resultados de la estimación de probabilidades para diferentes horizontes temporales se presentan en la Tabla 3-3.

Tabla 3-3. Probabilidades de excedencia por horizonte temporal

Categoría	1 año	5 años	10 años	20 años	25 años	50 años
Sistema tropical	96.7%	~100%	~100%	~100%	~100%	~100%
Huracán (Cat 1+)	67.2%	99.7%	~100%	~100%	~100%	~100%
Huracán Mayor (Cat 3+)	32.5%	85.6%	98.2%	99.97%	~100%	~100%
Huracán Intenso (Cat 4–5)	19.7%	66.8%	89.4%	98.6%	99.5%	~100%
Huracán Categoría 5	7.2%	31.2%	53.3%	77.6%	84.5%	97.8%

Fuente: elaboración propia con base en el análisis de los datos del IBTrACS.

El periodo de retorno (TR) es el tiempo promedio que transcurre entre dos eventos consecutivos de igual o mayor magnitud. Un periodo de retorno de 2.5 años no significa que el evento ocurre exactamente cada 2.5 años, sino que la probabilidad de que ocurra en cualquier año dado es de 1/2.5 = 40%. En la Tabla 3-4 se muestran los resultados del cálculo del periodo de retorno para cada una de las categorías de huracán conforme a los datos utilizados.

Tabla 3-4. Periodo de retorno para los diferentes eventos.

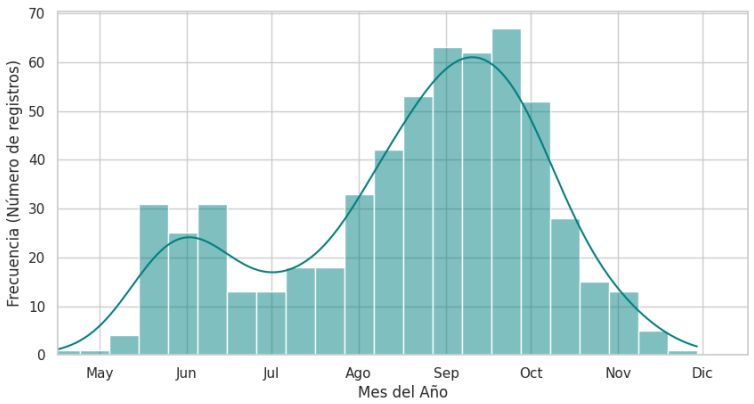
Categoría	λ (eventos/año)	TR (años)	Interpretación
Cualquier sistema tropical	3.41	0.29	Ocurre varias veces al año
Huracán (Cat 1+)	1.12	0.9	Casi cada año
Huracán Mayor (Cat 3+)	0.39	2.5	Cada 2–3 años
Huracán Intenso (Cat 4–5)	0.22	4.6	Cada 4–5 años
Huracán Categoría 5	0.075	13.3	Cada 13 años

Fuente: elaboración propia con base en el análisis de los datos del IBTrACS.

Estacionalidad

El análisis de los datos históricos permitió identificar una marcada estacionalidad en la ocurrencia de los eventos meteorológicos en la región de análisis (Figura 3-10). Se manifiesta una ocurrencia máxima anual entre los meses de septiembre y octubre.

Figura 3-10. Estacionalidad: curva de densidad de actividad ciclónica anual



Fuente: elaboración propia con base en el análisis de los datos del IBTrACS

Conclusiones

Como resultado del análisis realizado se concluye que el área proyectada presenta un nivel de riesgo hidrometeorológico crítico, al ubicarse dentro de uno de los corredores ciclónicos más activos del Atlántico. Específicamente, existe una probabilidad anual del 32.5% de que un huracán mayor (categorías 3, 4 o 5 en la escala Saffir-Simpson) incida en la zona, cifra que escala a una certeza estadística del 98% en cualquier periodo de 10 años. Adicional a lo anterior el análisis de frecuencias permitió observar que existe una tendencia al incremento en el periodo de tiempo más reciente, además de una marcada estacionalidad con pico de incidencia en el mes de septiembre. En consecuencia, estos sistemas no deben abordarse como contingencias aisladas, sino como eventos recurrentes e inevitables de la dinámica costera. Por lo tanto, la ingeniería e instalación del sistema de paneles debe integrar estrictas medidas de resistencia estructural y planes de contingencia para mitigar la vulnerabilidad de la infraestructura ante impactos directos.

Debido a que la zona de emplazamiento presenta un pico crítico de actividad ciclónica entre septiembre y octubre, la programación de las tareas de mantenimiento preventivo se ajustará de forma estricta. Las inspecciones estructurales de los paneles, el reapriete de tornillería, la limpieza de canalizaciones y la sujeción de equipos móviles se programarán como actividades prioritarias durante los meses de baja y media incidencia (mayo a julio), estableciendo el 15 de agosto como fecha límite para la preparación total del sitio. Operar bajo este esquema estacional asegurará la máxima resiliencia de los componentes ante las ráfagas de viento y reducirá el riesgo de pérdida total o parcial de los equipos durante la temporada crítica.

3.2.1.2 Geología y geomorfología

El área donde se desarrolla EL PROYECTO forma parte de la planicie costera del Caribe mexicano, caracterizada por una plataforma calcárea de bajo relieve y origen sedimentario marino con escasos metros sobre el nivel del mar, cuya altitud aumenta gradualmente hacia tierra adentro y donde se presentan depresiones de varios metros de desnivel.

En términos litológicos, el área se asocia con rocas carbonatadas del Terciario–Cuaternario, incluyendo tres unidades principales: depósitos litorales recientes de clastos de arenas calcáreas no consolidadas, arenas calcáreas semiconsolidadas y rocas carbonatadas consolidadas. Esta configuración es típica de ambientes kársticos costeros, donde la disolución de la roca caliza, la presencia de fracturas y la alta permeabilidad condicionan tanto la morfología superficial como la circulación subterránea del agua.

De forma general en la superficie que conforma el SA se pueden distinguir diversas unidades naturales, entre ellas: línea de costa rocosa, isletas, playa arenosa, cordón de dunas, terraza costera baja, planicie de inundación intermareal, planicie estructural de terrazas escalonadas y modelos kársticos como dolinas, sumideros y depresiones. Estas unidades reflejan una organización espacial en franjas paralelas al litoral, donde se distinguen ambientes infralitorales, supralitorales y tierras bajas litorales.

Para EL PROYECTO fotovoltaico, la importancia de este contexto geológico radica en reconocer la sensibilidad del sistema kárstico y costero; sin embargo, dado que los módulos se instalarán en techos de edificaciones existentes, no se prevén afectaciones directas sobre la roca caliza, formas kársticas, depresiones, terrazas, dunas, playas o unidades geomorfológicas naturales.

3.2.1.3 Suelo

En la RE, en las zonas libres de edificaciones se presenta un suelo de tipo Regosol calcárico (INEGI, 2024), caracterizado por ser un tipo de suelo carente de materia orgánica y rico en carbonatos, mayormente compuesto por arenas de color claro con alta permeabilidad y dependiendo de la ubicación puede sostener vegetación de duna o matorral costero. Este suelo se presenta en las playas y cordones de dunas recientes, así como en las semi-consolidadas de la parte posterior.

El medio edáfico de la RE está condicionado por la naturaleza calcárea del sustrato y por el bajo desarrollo del suelo. Actualmente el área presenta una **mínima cobertura de suelo residual**, con predominio de **Litosol** y presencia secundaria de **Rendzina**, ambos con textura media. Estos suelos suelen ser someros, pedregosos, con abundantes afloramientos calcáreos y limitada capacidad de retención de humedad, aunque asociados a una alta infiltración por la permeabilidad del sustrato.

A escala del predio y su entorno, también se reconocen asociaciones edáficas diferenciadas por unidad natural: Regosoles y Arenosoles en cordones de dunas; Solonchak y Gleysoles en planicies de inundación intermareal; Litosol–Rendzina en terrazas estructurales; e Histosoles ocasionales en depresiones kársticas o áreas de acumulación orgánica.

En el caso específico del PROYECTO, la instalación sobre cubiertas existentes implica que no habrá remoción, compactación, sellamiento adicional ni pérdida directa de suelo natural. Tampoco se prevén actividades de despalme o recuperación de tierra vegetal. El principal vínculo ambiental con el componente suelo se relaciona con la **prevención de impactos indirectos**, especialmente durante el traslado, acopio temporal, instalación y mantenimiento de equipos, a fin de evitar derrames de aceites, grasas, solventes, empaques, fragmentos de cableado, residuos metálicos o cualquier material que pudiera alcanzar áreas verdes, superficies permeables o puntos de infiltración.

En el área de influencia directa predominan superficies construidas o modificadas, por lo que los procesos edáficos naturales se encuentran parcial o totalmente interrumpidos. La posible interacción con el suelo se limitaría, en su caso, a:

- maniobras temporales de instalación en áreas de servicio;
- o el manejo inadecuado accidental de residuos, aceites, solventes o sustancias de mantenimiento.

Por lo anterior, el análisis de suelos se enfoca menos en la pérdida de unidades edáficas (ya ocurrida en etapas previas del desarrollo hotelero) y más en la **prevención de contaminación puntual**, la gestión de residuos y la compatibilidad de las obras menores con las condiciones actuales del sitio.

3.2.1.4 Hidrología superficial

El área se ubica en un contexto de planicie costera kárstica, donde el escurrimiento superficial es limitado debido a la alta permeabilidad del sustrato carbonatado. El documento señala que el sitio presenta una rápida infiltración del agua de lluvia y un coeficiente de escurrimiento menor a 5 mm, con escurrimiento relativamente uniforme por efecto de la permeabilidad, la cobertura vegetal y la productividad media del terreno.

Esta condición indica que, en términos naturales, el agua de lluvia tiende a infiltrarse con rapidez en lugar de formar corrientes superficiales permanentes. Por ello, la hidrología superficial en el sitio no se organiza a partir de ríos o arroyos superficiales bien definidos, sino mediante escurrimientos temporales, encharcamientos localizados, zonas inundables y conexión con depresiones o estructuras kársticas cuando existen condiciones topográficas favorables.

En el contexto del PROYECTO, al no requerirse obras en terreno natural ni modificaciones a pendientes, drenajes, vialidades, cuerpos de agua, zonas inundables o infraestructura pluvial, no se prevé alteración del patrón de escurrimiento superficial. No obstante, durante la temporada de lluvias, las actividades de instalación deberán asegurar que los materiales, residuos y herramientas no sean arrastrados hacia áreas permeables, registros pluviales, zonas ajardinadas o depresiones del terreno.

3.2.1.5 Hidrología subterránea

La hidrología subterránea constituye uno de los componentes más relevantes del medio físico regional, debido a la naturaleza kárstica de la península de Yucatán y del corredor costero de Quintana Roo. En el documento se indica que la precipitación media anual es de aproximadamente 1,050 mm/año, de la cual alrededor del 85 % retorna por evapotranspiración y el 15 % se infiltra y pasa a formar parte del acuífero.

La rápida infiltración se relaciona con la presencia de calizas fracturadas, procesos de disolución kárstica, dolinas, sumideros y depresiones, que favorecen la recarga del acuífero y la circulación subterránea del agua. Esta condición también implica una alta vulnerabilidad potencial a la contaminación, ya que cualquier sustancia depositada inadecuadamente sobre superficies permeables puede movilizarse con relativa rapidez hacia el subsuelo.

Para EL PROYECTO, la instalación sobre techos reduce de manera significativa el riesgo de interacción directa con el acuífero, ya que no se realizarán excavaciones, cimentaciones, perforaciones profundas ni obras que modifiquen la infiltración o expongan el sustrato kárstico. La principal medida ambiental debe centrarse en el manejo preventivo de residuos y sustancias durante la instalación, operación y mantenimiento, evitando que materiales contaminantes entren en contacto con superficies permeables o con el sistema pluvial existente.

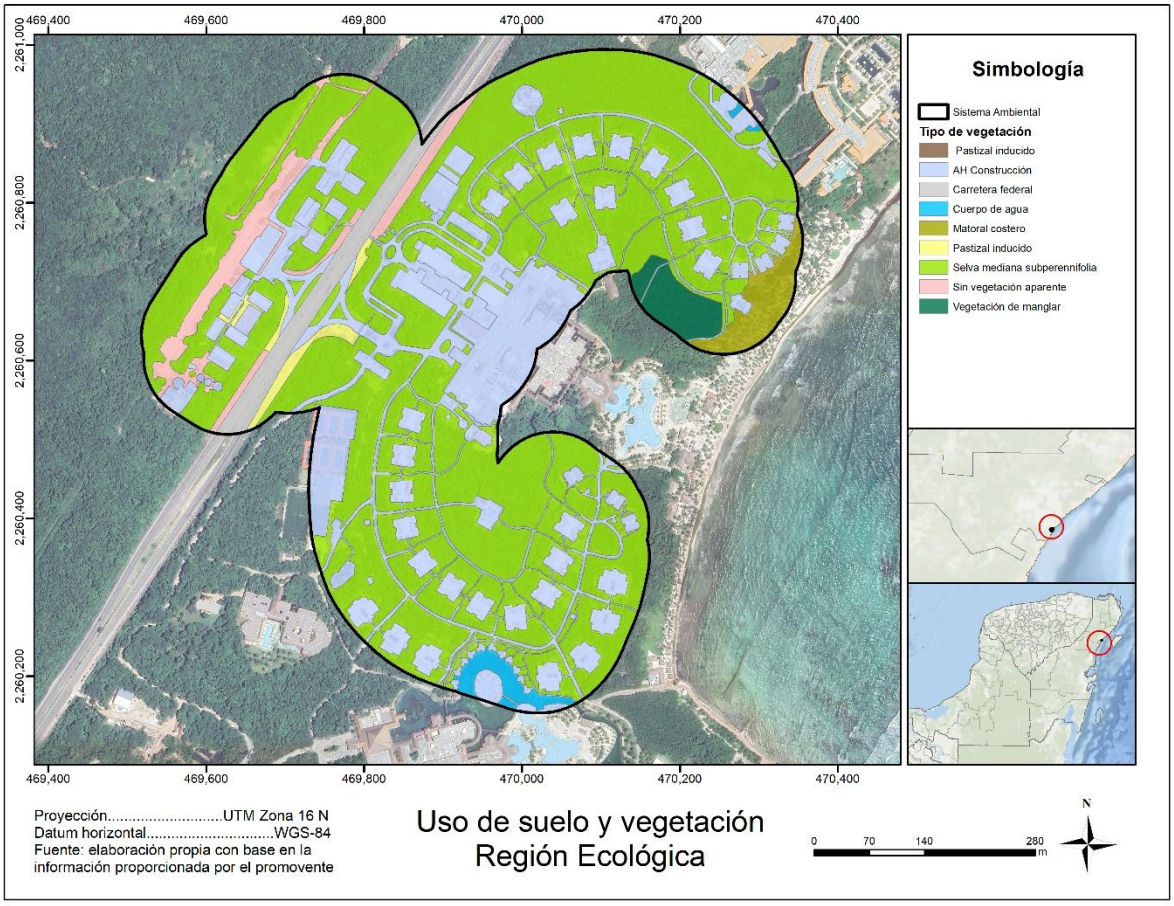
3.2.2 Medio biótico

3.2.2.1 Vegetación

Con base en el análisis Región Ecológica (RE) delimitado para el complejo GPRM, se determinó que la cobertura vegetal predominante corresponde a la unidad de selva mediana subperennifolia.

El mapa de uso de suelo y vegetación para la RE del PROYECTO se elaboró tomando como base el análisis previo del complejo GPRM. Esta información se integró con la distribución actual de infraestructura y áreas verdes identificada en los planos del promovente. El resultado es la cartografía actualizada que se presenta en la Figura 3-11, cuyo desglose de superficies se detalla en la Tabla 3-5.

Figura 3-11. Uso de suelo y vegetación en la RE.



Fuente: Elaboración propia con base en información proporcionada por el promovente.

La estructura espacial de la Región Ecológica evidencia un mosaico dominado por coberturas de vegetación de selva mediana perennifolia y elementos antrópicos propios de un complejo GPRM ya consolidado, con presencia adicional de cuerpos de agua y matorral costero-duna.

La cobertura de mayor extensión corresponde a la selva mediana subperennifolia con 243,807.46 m² (24.38 ha), lo que representa aproximadamente 59.24 % de la superficie total de la Región Ecológica. En la Tabla 3-5 se desglosa a detalle las coberturas de usos de suelo y vegetación presentes en la RE y la superficie que ocupan.

Tabla 3-5. Superficie por cobertura de uso de suelo y vegetación en la RE.

Tipo de cobertura	Superficie (m^2)	%
Asentamiento humano – Construcción	118,172.19	28.71%
Carretera federal	11,103.36	2.70%
Cuerpo de agua	4,204.96	1.02%
Matorral costero – duna	7,807.87	1.90%
Pastizal inducido	3,801.53	0.92%
Selva mediana subperennifolia	243,807.46	59.24%
Sin vegetación aparente	15,776.03	3.83%
Vegetación de manglar	6,911.97	1.68%

Fuente: Elaboración propia con base en la información proporcionada por el promovente.

Selva mediana subperennifolia

La selva mediana subperennifolia como una comunidad dominada por árboles de 12 a 14 m de altura, desarrollada sobre suelo calizo con rocas aflorantes y poca materia orgánica. Dentro de este tipo de vegetación destacan *Talisia olivaeformis, Manilkara zapota, Gymnanthes lucida, Piscidia piscipula y Pouteria campechiana* (Tabla 3-6).

Tabla 3-6. Listado de especies de flora en la RE por forma biológica.

Forma biológica	Especies señaladas en el documento
Árboles	*Coccoloba cozumelensis*, *Drypetes laterifolia*, *Eugenia axilaris*, *Buchosia glandulosa*, *Chlorophora tictoria*, *Diphysa carthagenesis*, *Esenbeckia berlandieri*, *Manilkara zapota*, *Guettarda combsi*, *Krugiodendron terreum*, *Acacia collinsii*, *Coccoloba diversifolia*, *Hampea trilobata*, *Brosimum alicastrum*, *Bursera simaruba*, *Erytroxylum confusum*, *Ficus maxima*, *Maytenus guatemalensis*, *Gliricidia sepium*, *Piscidia piscipula*, *Pithecellobium platilobum*, *Metopium brwnei*, *Myrcianthes fragans*, *Neea psychotrioides*, *Thevetia gaumeri*, *Vitex gaumeri*, *Randia aculeata*, *Sebastiana adenophora*, *Talisia alivaeformis*, *Neomillspaughia emerginata*, *Jacquinia aurantica*, *Guettarda elliptica*, *Calyptranthea pallens*, *Acacia penatula*, *Bauhinia divaricata*, *Trema micrantha*.
Arbustos	*Capparis cynophallophora*, *Croton campechianus*, *Hamelia patens*, *Bromelia karatas*, *Alternanthera ramosissima*, *Chiococca alba*, *Govania lupuloides*.
Trepadoras	*Passiflora foetida*, *Rhynchosia minima*, *Stizophyllum riparium*, *Cannavalia rosea*, *Alternanthera ramosissima*, *Gouania lupoloides*.

Forma biológica	Especies señaladas en el documento
Hierbas	*Anthurium schlechtendalii*, *Sida acuta*, *Ageratum litorale*, *Anthurium tetragonum*, *Carica papaya*, *Lasciacis divaricata*, *Rivina humilis*.
Epífitas	*Catasetum intergerrinum*, *Shomburgkia tibicinis*, *Selenicereus donkelarii*, *Selenicereus testudo*, *Encyclia belicensis*, *Tillandsia dasyllirifolia*, *Microgramma nitida*.
Rosetas	*Agave angustifolia*.

También existe evidencia antecedente de que se distribuyen palmares que forman pequeñas comunidades monoespecíficas o de baja diversidad, localizadas tanto al interior de las selvas como en dunas costeras y bordes de manglar. Las especies de palmas señaladas son: *Sabal yapa, Thrinax radiata, Chamaedorea seifrizii, Pseudophoenix sargentii* y *Coccothrinax readii.*

La presencia de especies como *Conocarpus erectus*, *Thrinax radiata* y *Coccothrinax readii* es particularmente significativa, porque son plantas frecuentemente asociadas a ambientes litorales del Caribe mexicano y pueden aportar recursos tróficos y estructura física aprovechable por aves, reptiles, insectos y otros organismos. Del mismo modo, la presencia de orquídeas y otras especies más sensibles puede interpretarse como un indicador de que, aunque modificado, el sistema no ha perdido por completo su funcionalidad ecológica. Las especies de especial interés por estar listadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 se presentan en la Tabla 3-7.

Tabla 3-7. Especies de flora en la NOM-059-SEMARNAT-2010.

FAMILIA	ESPECIE	NOM-059
Combretaceae	*Conocarpus erectus*	A
Arecaceae	*Coccothrinax readii*	A
Arecaceae	*Pseudophoenix sargentii*	A
Arecaceae	*Thrinax radiata*	A

La configuración de la RE muestra una condición intermedia entre un paisaje natural costero y un espacio intensamente modificado. Por un lado, persisten superficies apreciables de matorral costero, que en términos ecológicos representan la base de la estructura natural remanente del sitio. Por otro, existe una proporción considerable de infraestructura turística, áreas verdes inducidas y superficies impermeabilizadas, lo cual indica que gran parte del sistema ya funciona bajo dinámicas ecológicas diferentes al ecosistema original.

Este patrón tiene varias implicaciones. La primera es que el valor ambiental de la RE no descansa únicamente en la presencia de vegetación natural continua, sino en la combinación de remanentes naturales, bordes, áreas ajardinadas y elementos acuáticos que, en conjunto, permiten el uso del sitio por diferentes grupos faunísticos. La segunda es que la calidad ecológica del sistema no es homogénea: las zonas de matorral costero, selva baja inundable y cuerpo de agua concentran el mayor valor de conservación relativa, mientras que las edificaciones, accesos y alberca representan unidades de alto grado de intervención.

3.2.2.2 Fauna

Dado que el complejo GPRM donde se instalará EL PROYECTO cuenta con un SMGA, el cual, entre otras virtudes, integra y desarrolla un programa de monitoreo de fauna, gracias al cual se cuenta con un listado actualizado de la fauna que se presenta en la RE. Con base en esta información, fue posible identificar la presencia de 33 especies distribuidas en 4 clases taxonómicas, con predominio de aves (28 especies), seguidas por reptiles, anfibios y mamíferos cuyo desglose particular se presenta en la Tabla 3-8.

Tabla 3-8. Listado de fauna registrado en la RE.

Clase	Orden	Familia	Especie	Nombre Común
Amphibia	Anura	Ranidae	*Lithobates brownorum*	Rana café
Aves	Apodiformes	Trochilidae	*Amazilia rutila*	Colibrí canelo
	Cathartiformes	Cathartidae	*Cathartes aura*	Zopilote aura
	Charadriiformes	Laridae	*Leucophaeus atricilla*	Gaviota reidora
	Columbiformes	Columbidae	*Columba livia*	Paloma doméstica
			Streptopelia decaocto	Paloma de Collar Turca
			Zenaida asiatica	Paloma aliblanca
	Galliformes	Cracidae	*Ortalis vetula*	Chachalaca oriental
	Passeriformes	Corvidae	*Cyanocorax yncas*	Chara verde
		Hirundinidae	*Hirundo rustica*	Golondrina tijereta
		Icteridae	*Dives dives*	Tordo cantor
			Icterus cucullatus	Bolsero encapuchado
			Icterus gularis	Calandria dorsinegra
			Molothrus aeneus	Tordo ojos rojos
			Quiscalus mexicanus	Zanate mexicano
		Mimidae	*Mimus gilvus*	Cenzontle tropical
		Parulidae	*Setophaga petechia*	Reinita amarilla
			Setophaga ruticilla	Reinita rojiza
		Thraupidae	*Sporophila morelleti*	Semillero variable
		Tyrannidae	*Myiozetetes similis*	Atrapamoscas social
			Pitangus sulphuratus	Luis bienteveo
			Tyrannus melancholicus	Tirano pirirí

Clase	Orden	Familia	Especie	Nombre Común
		Vireonidae	*Vireo pallens*	Vireo manglero
	Pelecaniformes	Ardeidae	*Ardea alba*	Garza blanca
			Butorides virescens	Garcita verde
			Egretta thula	Garza dedos dorados
	Suliformes	Fregatidae	*Fregata magnificens*	Fragata tijera
		Phalacrocoracidae	*Nannopterum auritum*	Cormorán orejón
			Nannopterum brasilianum	Cormorán neotropical
Mammalia	Carnivora	Canidae	*Urocyon cinereoargenteus*	Zorro gris
Reptilia	Squamata	Colubridae	*Leptophis mexicanus*	Serpiente perico mexicana
		Dactyloidae	*Anolis sagrei*	Anolis pardo
		Iguanidae	*Ctenosaura similis*	Iguana rayada

Fuente: GPPA, 2025.

Especies de interés ecológico

Se reconocieron 12 especies de interés biológico, algunas de ellas con categoría de protección conforme a la NOM-059-SEMARNAT-2010 o incluidas en los apéndices de CITES (Tabla 3-9), lo que evidencia que, aun tratándose de un entorno previamente transformado y sujeto a operación turística continua, el sitio mantiene funcionalidad ecológica para diversas especies, principalmente como área de tránsito, forrajeo, descanso o aprovechamiento oportunista.

Tabla 3-9. Especies de interés ecológico (NOM-059-SEMARNAT-2010-UICN-CITES) registradas en la RE del proyecto.

Especie	Nombre Común	NOM-059	UICN	CITES	Interés biológico
Lithobates brownorum	Rana café	Pr	LC		Indicador ambiental
Leucophaeus atricilla	Gaviota reidora		LC		Colonial, sensible a disturbios
Zenaida asiatica	Paloma aliblanca		LC		Migratoria y representativa
Hirundo rustica	Golondrina tijereta		LC		Migratoria transcontinental
Icterus cucullatus	Bolsero encapuchado		LC		Indicador de matorrales
Setophaga petechia	Reinita amarilla		LC		Migratoria de importancia regional

Especie	Nombre Común	NOM-059	UICN	CITES	Interés biológico
Vireo pallens	Vireo manglero	Pr	LC		Especialista de manglar
Ardea alba	Garza blanca		LC		Indicador de humedales
Butorides virescens	Garcita verde		LC		Indicador ribereño
Fregata magnificens	Fragata tijera		LC	II	Indicador marino-costero
Leptophis mexicanus	Serpiente perico mexicana	Pr	LC		Serpiente arborícola activa, potencial bioindicadora
Ctenosaura similis	Iguana rayada	A	LC	II	Clave estructural, regulador trófico

Fuente: GPPA, 2025.

A raíz del análisis de los listados de fauna y las coberturas de vegetación presentes en la RE se identificaron tres aspectos relevantes:

- Primero, hay una fuerte representación de **aves generalistas, de borde, de áreas ajardinadas, costeras y de humedal**, lo que refleja que el complejo hotelero, aunque transformado, sigue siendo utilizado por especies con diferentes gremios ecológicos. Esto es especialmente relevante porque EL PROYECTO no se pretende desarrollar sobre vegetación natural ni sobre suelo libre, sino **sobre cubiertas de infraestructura existente**, lo que reduce fuertemente la posibilidad de afectación directa sobre hábitat terrestre.
- Segundo, la presencia de especies asociadas a **manglares, humedales, bordes ribereños y zona marino-costera** sugiere que el hotel forma parte de un paisaje funcional más amplio, en el que las áreas verdes internas y la proximidad a ecosistemas costeros permiten el uso del sitio por fauna móvil. Esto no implica necesariamente que el área del PROYECTO constituya hábitat crítico, pero sí indica que el entorno general mantiene **conectividad ecológica**.
- Tercero, la existencia de especies con categoría en **NOM-059-SEMARNAT-2010** y/o **CITES** obliga a que el análisis de impacto no se limite a la remoción de vegetación o al cambio de uso del suelo, sino que considere también **perturbaciones indirectas** tales como ruido temporal, presencia de personal, movimientos en azotea, reflejos, mantenimiento y eventuales interacciones con aves.
- Cuarto, se registró la presencia de dos especies exóticas: *Columba livia* y *Streptopelia decaocto*, lo cual también representa un indicador del grado de transformación antrópica que ha tenido la RE, pues son especies oportunistas con alta tolerancia a entornos urbanos modificados.

3.2.3 Paisaje

El paisaje actual del sitio corresponde al de un complejo turístico en operación, con presencia de edificaciones, vialidades, áreas ajardinadas, equipamiento de servicios, infraestructura eléctrica y, en su caso, elementos de integración escénica con el entorno costero o selvático.

En este marco, la incorporación del sistema fotovoltaico no representa la introducción de un elemento industrial aislado en un paisaje natural no intervenido, sino la adición de infraestructura tecnológica a un entorno ya modificado y funcionalmente urbano-turístico. Por ello, el análisis paisajístico se enfoca en:

- la visibilidad efectiva de los módulos desde áreas de uso público, habitaciones, vialidades o puntos escénicos;
- la integración formal del sistema con las cubiertas y estructuras existentes;
- el posible contraste visual por brillo, color, textura o inclinación;
- y la compatibilidad de la infraestructura con la imagen arquitectónica y turística del complejo.

En general, cuando los módulos se colocan sobre cubiertas y con alineación ordenada, la alteración visual suele ser moderada a baja, especialmente si no sobresalen significativamente del perfil de las edificaciones y si no invaden áreas naturales o paisajísticamente sensibles, lo cual aplica en el caso específico del PROYECTO, ya que al ser paneles que serán instalados en cubiertas de las edificaciones no modificarán el entorno visual más allá de lo que ya ha sido modificado con la construcción del edificio.

Desde una perspectiva ambiental, el paisaje del sitio ya expresa una condición antrópica consolidada; por ello, la fragilidad visual frente al sistema fotovoltaico es menor que la que tendría un paisaje natural conservado. No obstante, la evaluación no debe omitir que EL PROYECTO puede generar una modificación perceptual del conjunto edificado, la cual deberá ser ordenada, funcional y compatible con la vocación turística del inmueble.

3.2.3.1 Valoración del paisaje

Con el objetivo de llevar a cabo una valoración de los elementos y factores ambientales relevantes en la RE se realizó una evaluación multicriterio espacial orientada a representar la relevancia ambiental-ecológica relativa del área de estudio. Para ello se consideraron cuatro atributos: distancia a cuerpos de agua, distancia a matorral costero con individuos de *Conocarpus erectus*, distancia a matorral costero con individuos de *Thrinax radiata* - *Coccothrinax readii* y distancia a selva baja inundable.

Estos factores fueron seleccionados por su relevancia como hábitat para la fauna, en particular mamíferos y aves migratorias, así como su relevancia por las especies de interés ecológico que albergan tal como es señalado a continuación:

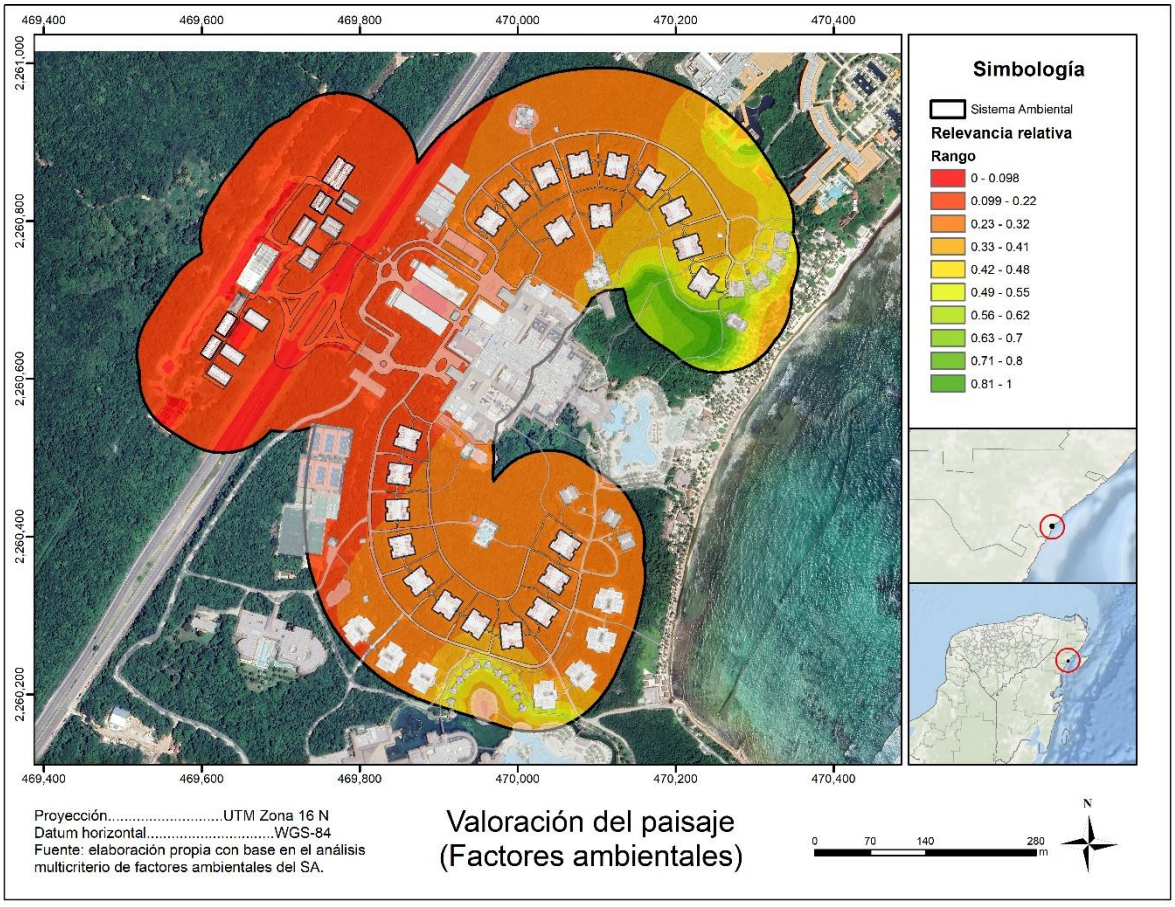
- Distancia a manglar. Seleccionado como atributo por la relevancia legal que presenta la especie e importancia ecológica reconocida de los humedales.
- Distancia a cuerpos de agua. Seleccionada como un atributo de valor ecológico por la relevancia que representan los cuerpos de agua costeros para diversas especies de aves migratorias. Si bien los cuerpos de agua del complejo GPRM fueron generados, su función ecológica se ve reflejada en el listado de especies avistadas dentro del complejo.
- Distancia a matorral costero con individuos de *Thrinax radiata* y *Coccothrinax readii*. Seleccionado como atributo por ser un ecosistema con dominancia de especies listadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010.
- Distancia a selva mediana subperenifolia. Seleccionado como atributo por ser un ecosistema de amplia distribución en el SA y porque también potencialmente alberga especies en la NOM-059-SERMANAT-2010.

Para cada atributo se elaboró un raster de distancia, el cual fue transformado mediante una función de pertenencia difusa tipo Fuzzy Small, adecuada para modelar fenómenos en los que la cercanía implica mayor relevancia. Posteriormente, cada superficie fue normalizada en una escala de 0 a 1 e integrada mediante suma lineal ponderada.

Los pesos finales asignados a cada criterio fueron 0.235 para cuerpos de agua, 0.33 para vegetación de manglar, 0.2 para matorral costero-duna y 0.235 para la selva mediana subperennifolia.

El resultado de la suma línea ponderada de las capas de cada atributo es una superficie continua (Figura 3-12) donde los valores altos, representados en verde, corresponden a zonas con mayor relevancia ambiental relativa, observándose su concentración principalmente en las áreas centrales y sectores con mayor presencia de vegetación y ambientes húmedos, mientras que los valores bajos se asocian a áreas ya transformadas o más alejadas de los atributos ambientales seleccionados. Cabe precisar que la valoración del paisaje realizada a través de la evaluación multicriterio ha sido utilizada como base para definición de zonas críticas en la valoración de impactos ambientales del PROYECTO en el capítulo correspondiente, permitiendo una representación precisa de los sitios con mayor interés para la ejecución de medidas de prevención y mitigación.

Figura 3-12. Valoración del paisaje (relevancia del paisaje)



Fuente: Elaboración propia con base análisis multicriterio de factores ambiental de la RE.

3.2.4 Medio socioeconómico

EL PROYECTO se inserta en un complejo GPRM en operación, dentro de una zona cuya dinámica socioeconómica está fuertemente vinculada a las actividades turísticas, de servicios, mantenimiento, proveeduría, transporte, energía, agua e infraestructura urbana.

Desde esta perspectiva, el sistema fotovoltaico constituye una obra complementaria que no altera el patrón de uso del suelo existente ni modifica la vocación territorial del sitio. Su relación con el medio socioeconómico se expresa principalmente en los siguientes aspectos:

- mejora de la eficiencia energética del complejo;
- fortalecimiento de la resiliencia operativa del inmueble ante variaciones del costo o disponibilidad de energía;
- posible reducción de emisiones indirectas asociadas al consumo eléctrico;
- generación temporal de empleo para instalación, supervisión y mantenimiento especializado;
- y reforzamiento de criterios de sostenibilidad en la operación hotelera.

A diferencia del desarrollo hotelero original, EL PROYECTO fotovoltaico no implica incorporación significativa de nueva población, apertura de nuevos frentes urbanos, presión relevante sobre vivienda o servicios públicos, ni transformación del mercado de uso del suelo. Se trata de una adecuación tecnológica dentro de un establecimiento ya consolidado.

Por tanto, el análisis socioeconómico debe ser proporcionado a la escala del PROYECTO. No sería metodológicamente correcto atribuirle al sistema fotovoltaico efectos demográficos o urbanos comparables a los del hotel en su conjunto. En cambio, sí resulta pertinente destacar su contribución a una operación más eficiente y ambientalmente responsable del complejo.

3.2.5 Diagnóstico ambiental

Con base en la caracterización precedente, se concluye que la Región Ecológica relevante para EL PROYECTO fotovoltaico corresponde a un entorno previamente transformado, donde la mayor parte de los procesos de cambio estructural del territorio ya ocurrieron como consecuencia del desarrollo, construcción y operación del complejo GPRM.

En consecuencia, el estado actual de la Región Ecológica puede resumirse de la siguiente manera:

- el área de instalación directa está conformada principalmente por infraestructura existente;
- el medio físico local presenta una alta antropización funcional en las superficies de intervención;
- el medio biótico persiste de forma remanente, manejada o periférica, con importancia variable según la cercanía a áreas conservadas;
- el paisaje es predominantemente turístico-urbanizado;
- y la principal interacción del PROYECTO ocurre con el medio construido y operativo más que con un sistema natural prístino.

La Región Ecológica donde se desarrollará EL PROYECTO fotovoltaico presenta una condición mixta: por una parte, existe una intervención antrópica consolidada asociada a la operación del complejo turístico y a la infraestructura ya construida; por otra, aún conserva una proporción significativa de coberturas naturales y seminaturales que mantienen valor ambiental dentro del predio y su entorno inmediato. De acuerdo con la distribución de uso de suelo y vegetación, la selva mediana subperennifolia representa la cobertura dominante, con 243,807.46 m², equivalentes al 59.24 % de la región ecológica, lo que indica que, a escala del área analizada, persisten superficies relevantes de vegetación nativa que cumplen funciones ecológicas asociadas a hábitat, conectividad, regulación microclimática, infiltración y soporte de biodiversidad.

La superficie correspondiente a asentamientos humanos (construcción) ocupa 118,172.19 m², equivalente al 28.71% de la región ecológica, y corresponde a las áreas donde se concentra la infraestructura hotelera existente. Esta condición es ambientalmente relevante, ya que EL PROYECTO se plantea precisamente sobre cubiertas de edificaciones previamente autorizadas y construidas, sin requerir nuevas superficies de desplante, remoción de vegetación, cambio de uso de suelo, excavaciones, rellenos o modificación directa del terreno natural. Por ello, la sensibilidad ambiental del área de instalación directa es sustancialmente menor que la que tendría un proyecto fotovoltaico desarrollado sobre suelo natural o vegetación conservada.

No obstante, la región ecológica no se manifiesta como un espacio homogéneamente transformado. Además de la selva mediana subperennifolia, se registran coberturas de matorral costero en duna con 7,807.87 m² (1.90 %), vegetación de manglar con 6,911.97 m² (1.68 %) y cuerpos de agua con 4,204.96 m² (1.02 %). Aunque estas superficies representan proporciones menores respecto al total, poseen alta relevancia ecológica por su función como hábitat, zonas de refugio, corredores biológicos, áreas de regulación hídrica y componentes sensibles dentro del paisaje costero-kárstico. En consecuencia, la viabilidad ambiental del PROYECTO depende de que su ejecución se mantenga estrictamente confinada a las cubiertas e infraestructura existente, evitando cualquier ocupación, tránsito innecesario, acopio, disposición de residuos o afectación indirecta sobre estas coberturas.

La presencia de carretera federal en 11,103.36 m² (2.70 %), áreas sin vegetación aparente en 15,776.03 m² (3.83 %) y pastizal inducido en 3,801.53 m² (0.92 %) evidencia procesos previos de transformación y fragmentación territorial asociados al desarrollo turístico, la infraestructura vial y el manejo operativo del sitio. Sin embargo, estas coberturas también permiten distinguir que la presión antrópica se encuentra espacialmente concentrada en áreas ya modificadas, mientras que las coberturas naturales remanentes deben ser consideradas como elementos prioritarios para evitar la expansión de impactos.

La problemática ambiental identificada se relaciona principalmente con la operación actual del complejo y con su contexto territorial: consumo energético elevado, generación de residuos, mantenimiento de infraestructura, tránsito interno, riesgo de escurrimientos contaminados durante eventos de lluvia, exposición a fenómenos hidrometeorológicos y necesidad de mantener la compatibilidad funcional del desarrollo turístico con las áreas de valor ecológico que aún persisten. En este marco, EL PROYECTO fotovoltaico resulta ambientalmente congruente con el sitio, ya que constituye una intervención de baja huella territorial, se integra funcionalmente al uso turístico existente y aprovecha superficies ya transformadas para mejorar el desempeño energético del complejo.

Desde una perspectiva de impacto ambiental, el principal atributo favorable del PROYECTO es que no incrementa la ocupación del suelo ni implica la sustitución de coberturas naturales. Por el contrario, al instalarse sobre techos existentes, permite incorporar infraestructura de generación renovable sin presionar directamente a la selva mediana subperennifolia, el matorral costero, el manglar, los cuerpos de agua o las áreas sin intervención relevante. Esta condición reduce de manera importante la probabilidad de impactos directos sobre suelo, vegetación, fauna, hidrología superficial y subterránea.

En términos estratégicos, EL PROYECTO puede interpretarse como una medida de reconversión energética dentro de un desarrollo turístico ya establecido. Su implementación contribuirá a disminuir parcialmente la dependencia de energía eléctrica convencional y, con ello, las emisiones indirectas de gases de efecto invernadero asociadas al consumo energético del complejo. Esta contribución adquiere mayor relevancia considerando que el turismo costero de gran escala presenta altos requerimientos energéticos y se localiza en una región ambientalmente sensible, expuesta además a riesgos climáticos crecientes.

En síntesis, la región ecológica conserva elementos ecológicos relevantes, particularmente por la dominancia de la selva mediana subperennifolia y la presencia de manglar, matorral costero y cuerpos de agua. Sin embargo, el diseño del PROYECTO evita incidir directamente sobre dichas coberturas al aprovechar infraestructura hotelera existente. Bajo este enfoque, la instalación fotovoltaica representa una alternativa ambientalmente pertinente para mejorar el desempeño energético del complejo sin ampliar su huella territorial ni comprometer los componentes naturales remanentes de la región ecológica.



CAPÍTULO 4

Evaluación de impactos

CONTENIDO

4. IDENTIFICACIÓN, DESCRIPCIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES Y MEDIDAS DE PREVENCIÓN, MITIGACIÓN COMPENSACIÓN Y RESTAURACIÓN. 5

4.1 IDENTIFICACIÓN DE ACCIONES CAUSANTES DE IMPACTO 5
4.2 FACTORES AMBIENTALES SUSCEPTIBLES DE RECIBIR IMPACTOS 6
4.3 IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES 8
4.4 CARACTERIZACIÓN Y VALORACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES 13
4.4.1 Etapa de preparación del sitio 16
4.4.2 Etapa de instalación 17
4.4.3 Etapa de operación 19
4.4.4 Etapa de abandono 21
4.5 ZONAS CRÍTICAS DEL PROYECTO 26
4.6 CONCLUSIÓN 28
4.7 MEDIDAS PREVENTIVAS Y DE MITIGACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES 30
4.8 PRONÓSTICOS AMBIENTALES Y EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS 36
4.8.1 Escenario sin proyecto 37
4.8.2 Escenario con proyecto sin medidas 37
4.8.3 Escenario con proyecto y con medidas 38
4.8.4 Pronóstico ambiental integrado 38
4.8.5 Análisis cuantitativo 39
4.8.6 Conclusión del pronóstico 44
4.9 INSTRUMENTOS METODOLÓGICOS Y ELEMENTOS TÉCNICOS QUE SUSTENTAN LA INFORMACIÓN 45
4.9.1 Análisis de emisión de ruido para delimitación del AII 45
4.9.2 Distancia a la que empieza a "perderse" 50
4.9.3 Método para valoración del paisaje 51
4.9.4 Metodología para la evaluación de impactos ambientales 54
4.9.5 Metodología de evaluación espacial multicriterio para la identificación de zonas críticas del proyecto 60
4.9.6 Metodología cuantitativa para el pronóstico ambiental 63

Índice de figuras

Figura 4-1. Importancia de impactos por factor ambiental. 26
Figura 4-2. Índice de incidencia del proyecto 27
Figura 4-3. Zonas críticas del proyecto 28
Figura 4-4. Categorías de exposición al ruido con base en la exposición a ruido existente. 46
Figura 4-5 Estimación de niveles sonores vs distancia. 51
Figura 4-6. Ponderación de factores ambientales para EMC 53
Figura 4-7. Factores ambientales ponderados. 54

Índice de tablas

Tabla 4-1. Acciones potencialmente causantes de impacto 6
Tabla 4-2. Factores ambientales identificados 8
Tabla 4-3. Identificación de impactos a través de la interacción acción/factor ambiental 9
Tabla 4-4. Criterios de valoración de impactos 14
Tabla 4-5. Clasificación de importancia de impactos. 15
Tabla 4-6. Valoración de impactos etapa de preparación del sitio 16
Tabla 4-7. Valoración de impactos etapa de instalación. 18
Tabla 4-8. Valoración de impactos etapa de operación 20
Tabla 4-9. Valoración de impactos etapa de abandono. 21
Tabla 4-10. Matriz general de importancia de impactos en todas las etapas del proyecto. 23
Tabla 4-11. Distribución de impactos por categoría y tipo. 24
Tabla 4-12. Impacto por etapa del proyecto. 25
Tabla 4-13. Impactos ambientales adversos 30
Tabla 4-14. Programas y subprogramas del SMGA-GPRM. 31
Tabla 4-15. Acciones de la etapa de operación del SMGA-GPRM potencialmente aplicables. 31
Tabla 4-16. Medidas en materia de seguridad. 34
Tabla 4-17. Medidas que pueden ser integradas al SMGA existente. 35
Tabla 4-18. Análisis de escenarios. 39
Tabla 4-19. Parámetros de referencia para la estimación de índices. 41
Tabla 4-20. Ponderadores para cada parámetro 42
Tabla 4-21. Umbrales de referencia esperados con la aplicación de medidas. 42
Tabla 4-22. Indicadores adversos (ICAP) 43
Tabla 4-23. Indicadores benéficos (IBAP) 43
Tabla 4-24. GEI evitadas 43
Tabla 4-25. INDA del proyecto. 44
Tabla 4-26. Escala de valoración de la Importancia del Impacto. 58

4. IDENTIFICACIÓN, DESCRIPCIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES Y MEDIDAS DE PREVENCIÓN, MITIGACIÓN COMPENSACIÓN Y RESTAURACIÓN.

De conformidad con lo establecido en el artículo 3 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, se entiende por impacto ambiental la modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o de la naturaleza. En este sentido, en el presente capítulo se identifican, describen y evalúan los impactos ambientales susceptibles de generarse con motivo de la ejecución del PROYECTO sobre la Región Ecológica (RE) y su área de influencia (AI). Para tal efecto, se empleó la metodología de evaluación de impactos ambientales propuesta por Conesa Fernández (Conesa, 1997), la cual permite reconocer las acciones del PROYECTO potencialmente generadoras de impacto, identificar los factores del medio susceptibles de ser afectados y valorar la importancia de los impactos resultantes. La descripción integral de dicha metodología se incluye en el Apartado 4.9, aunque en términos generales el proceso consistió en la desagregación del PROYECTO en acciones susceptibles de generar alteraciones ambientales, tales como las asociadas a la preparación del sitio, instalación, operación, mantenimiento y, en su caso, abandono. Posteriormente, dichas acciones fueron vinculadas con los factores ambientales potencialmente afectados, a fin de reconocer las relaciones causa-efecto que pudieran derivarse de su ejecución. Como resultado de este proceso, se identificaron los impactos ambientales potenciales, tanto adversos como benéficos, así como los factores del medio con mayor susceptibilidad de afectación. Esta identificación constituyó la base para su posterior caracterización y valoración, conforme a los criterios establecidos en la metodología adoptada.

4.1 Identificación de acciones causantes de impacto

De acuerdo con Gómez Orea (1999), de entre el conjunto de acciones que intervienen en la relación causa-efecto que define un impacto ambiental, y que pueden presentarse en cualquiera de las etapas del PROYECTO, es necesario seleccionar aquellas que resulten ambientalmente relevantes, así como mutuamente excluyentes o independientes, claramente identificables, espacialmente localizables y, en la medida de lo posible, cuantificables.

Por otra parte, para la identificación sistemática de las acciones del PROYECTO, Conesa-Fernández (1997) señala la necesidad de desagregar sus elementos de manera estructurada, considerando, entre otros, los siguientes tipos de acciones:

- acciones que modifican el uso del suelo;
- acciones que implican emisión de contaminantes;
- acciones derivadas del almacenamiento o manejo de residuos;
- acciones que implican sobreexplotación de recursos;
- acciones que implican subexplotación de recursos;
- acciones que actúan sobre el medio biótico;
- acciones que dan lugar al deterioro del paisaje;
- acciones que repercuten sobre las infraestructuras;
- acciones que modifican el entorno social, económico y cultural; y
- acciones derivadas del incumplimiento de la normatividad ambiental vigente

En virtud de lo anterior y derivado del análisis de las actividades desarrolladas en cada una de las etapas del PROYECTO se han identificado las posibles acciones impactantes en la Tabla 4-1.

Tabla 4-1. Acciones potencialmente causantes de impacto

ETAPA	ACCIÓN
Preparación del sitio	A1. Ingreso y movilización interna de personal, herramientas y materiales
	A2. Acopio temporal y resguardo de materiales/equipos en áreas de apoyo
	A3. Limpieza puntual y acondicionamiento superficial de áreas de instalación
Instalación	A4. Traslado interno y elevación de materiales a cubiertas
	A5. Montaje de estructuras y colocación de módulos fotovoltaicos
	A6. Instalación de inversores, protecciones y tableros
Operación	A7. Operación continua del sistema fotovoltaico
	A8. Limpieza periódica de módulos
	A9. Inspección y mantenimiento preventivo/correctivo
Abandono	A10. Desmontaje de módulos, estructuras y cableado
	A11. Retiro, segregación y disposición de componentes

4.2 Factores ambientales susceptibles de recibir impactos

El entorno se constituye por sistemas, subsistemas, componentes y factores interrelacionados. Los sistemas son el medio físico y medio sociocultural-económico, con los subsistemas medio inerte, medio biótico y perceptual, medio sociocultural y medio económico (Conesa, 1997). A cada uno de estos subsistemas pertenecen una serie de componentes ambientales susceptibles de recibir impactos, entendidos como los elementos, cualidades y procesos del entorno que pueden ser afectados por EL PROYECTO, es decir por las acciones impactantes consecuencia del PROYECTO; las cuales se presentan en el punto anterior.

En esta fase se identifican los factores ambientales con la finalidad de detectar aspectos del Medio Ambiente que propician modificaciones positivas o negativas por las distintas acciones del PROYECTO. La metodología de Conesa-Fernández recomienda cinco criterios de los factores ambientales: 1. Representativos del entorno afectado, del impacto total producido por la ejecución del PROYECTO sobre el Medio. 2. Relevantes, portadores de información significativa sobre la magnitud e importancia del impacto. 3. Excluyentes, sin solapamientos ni redundancias. 4. De fácil identificación en su concepto y en su apreciación sobre información estadística, cartográfica o trabajos de campo. 5. De fácil cuantificación, dentro de lo posible, ya que muchos de ellos serán intangibles o inconmensurables.

Para determinar los sistemas ambientales, subsistemas, componentes y factores ambientales susceptibles de recibir impactos por EL PROYECTO, se realizó una búsqueda bibliográfica sobre los principales impactos ambientales detectados por el desarrollo de plantas fotovoltaicas.

Mladen et al. (2023) señalan que la instalación de plantas fotovoltaicas en suelo natural para la generación de electricidad tiene un impacto muy positivo en el ambiente y que las emisiones contaminantes, el ruido y el consumo de agua asociados a su desarrollo son significativamente menores que los resultantes del desarrollo de otros métodos para generar energía eléctrica.

Acerca del efecto de las plantas fotovoltaicas en las aves, Golawski et al. (2025) encontraron que cuando estas plantas son pequeñas y se encuentran en zonas agrícolas, aumentan la diversidad avifaunística ya que proveen de sitios seguros para anidar, de áreas de forrajeo y de puntos de percha. Sin embargo, Smallwood (2022) señala que cuando se instalan en área naturales tienen un efecto negativo significativo sobre la avifauna debido a pérdida de hábitat y colisiones.

Hang et al. (2025) realizaron un meta análisis de 42 estudios sobre los efectos en el suelo, el clima, la flora y la fauna de las plantas fotovoltaicas instaladas en suelo natural, y encontraron que los principales impactos ambientales que generan consisten en la reducción de la velocidad del viento y de la temperatura del suelo. Como impactos moderados encontraron un aumento en la humedad edáfica y en la productividad primaria bruta. Sin embargo, encontraron que las plantas fotovoltaicas tienen efectos despreciables sobre otros factores ambientales, incluyendo la flora y la fauna.

Por su parte, Han et al. (2025) encontraron que las plantas fotovoltaicas contribuyen a la regulación de los microclimas ya que aumentan la superficie de albedo de 0.22 a 0.24 y reducen la temperatura media anual alrededor de 0.32º C/TWh de electricidad generada. En el suelo aumentan el fósforo disponible y el pH, y promueven indirectamente la fijación de carbono debido a la restauración de la vegetación y la optimización del uso del suelo. Debido a que disminuyen la velocidad del viento, interceptan el agua de lluvia y aumentan la superficie de escurrimiento, alteran los ciclos hidrológicos a nivel local. En términos de diversidad, encontraron que las plantas fotovoltaicas aumentan la diversidad de aves y la riqueza de plantas, así como aumentan la resiliencia microbiana.

En cuanto a los impactos ambientales de la instalación de paneles fotovoltaicos en techos de edificaciones, Schindler et al. (2018) encontraron que la presencia de estas estructuras promueve una mayor heterogeneidad ambiental en la superficie del techo debido a variaciones en los niveles de humedad, aunque no tienen efecto en la diversidad de la vegetación que se desarrolla de forma natural sobre las techumbres.

La instalación de plantas fotovoltaicas sobre los techos de las edificaciones es particularmente benéfica para el ambiente ya que no requiere ocupar terreno adicional y provee de energía de forma local que no requiere de instalaciones para su transmisión (Jacobson et al. 2011).

En la Tabla 4-2 se indican los sistemas ambientales, subsistemas, componentes y factores para cada una de las acciones que podrían resultar impactados.

Tabla 4-2. Factores ambientales identificados

SISTEMA	SUBSITEMA	COMPONENTE AMBIENTAL	FACTOR
MEDIO FISICO	Abiótico	Agua	F1. Consumo de agua
		Aire	F2. Calidad del aire
			F3. Ambiente sonoro
		Atmósfera	F4. Emisiones indirectas de GEI / desempeño climático
	Biótico	Fauna	F5. Movilidad de fauna terrestre
			F6. Movilidad de aves
MEDIO SOCIOECONOMICO	Socioeconómico	Económico	F7. Eficiencia energética
			F8. Empleo
		Social	F9. Manejo de residuos
			F10. Seguridad y salud del personal
			F11. Confort de huéspedes y trabajadores
			F12. Imagen ambiental y sustentabilidad del complejo

4.3 Identificación de impactos ambientales

La identificación de impactos se llevó a cabo a través de la metodología de Conesa (1997), la cual consiste en matrices de interacción de causa-efecto; es decir, cuadros de doble entrada, donde se disponen las acciones del PROYECTO que causan impactos y se contraponen con los elementos o factores ambientales relevantes receptores de los efectos. Asimismo, son señaladas las casillas donde se puede producir una interacción, las cuales identifican impactos potenciales, cuya significancia habrá de evaluarse posteriormente.

De acuerdo con Conesa (1997) la identificación tiene el objetivo de detectar cuáles de las actividades asociadas al PROYECTO, producen alteraciones a las características de los factores ambientales; por lo que esta etapa es una visión preliminar de la relación PROYECTO-entorno, el cual servirá como marco de referencia para proceder con las siguientes fases de la evaluación. En la Tabla 4-3 se muestran el tipo de acción por etapa y actividad del PROYECTO.

Tabla 4-3. Identificación de impactos a través de la interacción acción/factor ambiental

ETAPA	ACCIÓN	FACTOR	IMPACTO IDENTIFICADO	NATURALEZA
Preparación del sitio	**A1. Ingreso y movilización interna de personal, herramientas y materiales**	F2. Calidad del aire	I-1. Emisión temporal de gases y partículas por tránsito interno de vehículos y maniobras	Adverso
		F3. Ambiente sonoro	I-2 Incremento temporal del ruido por movilización y maniobras internas	Adverso
		F8. Empleo	I-3 Generación temporal de empleo y ocupación de mano de obra	Benéfico
		F10. Seguridad y salud del personal	I-4 Riesgo de incidentes menores durante carga, descarga y tránsito interno	Adverso
		F5. Movilidad de fauna terrestre	I-5. Molestia temporal por presencia y movimiento de personal/vehículos en entorno ya intervenido	Adverso
	A2. Acopio temporal y resguardo de materiales/equipos en áreas de apoyo	F9. Manejo de residuos	I-6. Riesgo de generación dispersa de empaques y sobrantes si no hay control	Adverso
		F11. Confort de huéspedes y trabajadores	I-7. Posible interferencia puntual con áreas de servicio o percepción de orden	Adverso
	A3. Limpieza puntual y acondicionamiento	F2. Calidad del aire	I-8. Emisión menor de polvo o partículas por	Adverso

ETAPA	ACCIÓN	FACTOR	IMPACTO IDENTIFICADO	NATURALEZA
	superficial de áreas de instalación		limpieza y acondicionamiento	
		F3. Ambiente sonoro	I-9. Ruido puntual por uso de herramientas manuales o eléctricas ligeras	Adverso
		F10. Seguridad y salud del personal	I10. Riesgo menor asociado al uso de herramientas y acondicionamiento superficial	Adverso
Instalación	**A4. Traslado interno y elevación de materiales a cubiertas**	F3. Ambiente sonoro	I-11. Incremento temporal del ruido por maniobras de izaje y traslado	Adverso
		F10. Seguridad y salud del personal	I-12. Riesgo por maniobras de elevación, movimiento de cargas y trabajo en altura	Adverso
		F11. Confort de huéspedes y trabajadores	I-13. Molestias temporales por maniobras visibles y ruido puntual	Adverso
		F5. Movilidad de fauna terrestre	I-14. Interrupción de tránsito de fauna	Adverso
	A5. Montaje de estructuras y colocación de módulos fotovoltaicos	F3. Ambiente sonoro	I-15. Incremento temporal del ruido por fijaciones, perforaciones y montaje	Adverso
		F9. Manejo de residuos	I-16. Generación de empaques, recortes y sobrantes de instalación	Adverso
		F10. Seguridad y salud del personal	I-17. Riesgo relevante por trabajos en altura, herramientas y	Adverso

ETAPA	ACCIÓN	FACTOR	IMPACTO IDENTIFICADO	NATURALEZA
			maniobras de montaje	
		F11. Confort de huéspedes y trabajadores	I-18. Molestias temporales por ruido y actividad visible sobre cubiertas	Adverso
	A6. Instalación de inversores, protecciones y tableros	F3. Ambiente sonoro	I-19. Ruido temporal por conexiones, fijaciones y ajustes de equipos	Adverso
		F10. Seguridad y salud del personal	I-20. Riesgo por trabajos eléctricos y montaje de equipos	Adverso
		F11. Confort de huéspedes y trabajadores	I-21. Molestias temporales por actividades técnicas en áreas de servicio o cubiertas	Adverso
Operación	**A7. Operación continua del sistema fotovoltaico**	F4. Emisiones indirectas de GEI / desempeño climático	I-22. Reducción indirecta de emisiones de GEI por sustitución parcial de electricidad convencional	Benéfico
		F7. Eficiencia energética	I-23. Mejora estructural del desempeño energético del complejo	Benéfico
		F12. Imagen ambiental y sustentabilidad del complejo	I-24. Fortalecimiento de la imagen ambiental y del perfil de sustentabilidad del complejo	Benéfico
		F6. Movilidad de aves	I-25. Disminución de albedo de	Benéfico

ETAPA	ACCIÓN	FACTOR	IMPACTO IDENTIFICADO	NATURALEZA
			cubiertas de edificios	
	A8. Limpieza periódica de módulos	F1. Consumo de agua	I-26. Consumo puntual de agua para limpieza de paneles	Adverso
		F11. Confort de huéspedes y trabajadores	I-27. Molestias menores y esporádicas por actividades de limpieza	Adverso
	A9. Inspección y mantenimiento preventivo/correctivo	F9. Manejo de residuos	I-28. Generación ocasional de residuos por reemplazo de piezas o componentes menores	Adverso
		F10. Seguridad y salud del personal	I-29. Riesgo de accidentes por trabajos de revisión y mantenimiento	Adverso
		F11. Confort de huéspedes y trabajadores	I-30. Molestias puntuales y temporales durante actividades de mantenimiento	Adverso
		F8. Empleo	I-31. Conservación de empleo especializado	Benéfico
Abandono	**A10. Desmontaje de módulos, estructuras y cableado**	F3. Ambiente sonoro	I-32. Incremento temporal del ruido por actividades de retiro y desmontaje	Adverso
		F9. Manejo de residuos	I-33. Generación de residuos de manejo especial por retiro de módulos y estructuras	Adverso

ETAPA	ACCIÓN	FACTOR	IMPACTO IDENTIFICADO	NATURALEZA
		F10. Seguridad y salud del personal	I-34. Riesgo de accidentes por desmontaje en altura y retiro de componentes	Adverso
		F11. Confort de huéspedes y trabajadores	I-35. Molestias temporales por ruido y maniobras de desinstalación	Adverso
		F5. Movilidad de fauna terrestre	I-36. Interrupción del tránsito de fauna	Adverso
	A11. Retiro, segregación y disposición de componentes	F9. Manejo de residuos	I-37. Generación de residuos	Adverso
		F2. Calidad del aire	I-38. Emisiones menores por maniobras de retiro y transporte de componentes	Adverso
		F10. Seguridad y salud del personal	I-39. Riesgo por manejo, carga y retiro de componentes	Adverso
		F12. Imagen ambiental y sustentabilidad del complejo	I-40. Refuerzo de la gestión responsable de fin de vida, si se documenta adecuada disposición	Benéfico

4.4 Caracterización y valoración de impactos ambientales

Una vez identificadas las posibles alteraciones se llevó a cabo su valoración; la cual se integra a través de una matriz de impactos, en la que se mide el grado de manifestación cualitativa del efecto que se define como importancia del impacto. La importancia del impacto está en función del grado de incidencia o intensidad de alteración, como de las características del efecto, que responde a una serie de atributos cualitativos como naturaleza (NA), intensidad (I), extensión (EX), momento (MO), persistencia (PE), reversibilidad (RV), sinergia (SI), acumulación (AC), efecto (EF), periodicidad (PR) y recuperabilidad (RC). Por lo que el valor de importancia esta dado por la siguiente función:

$$\mathbf{I} = \pm[\mathbf{3I} + \mathbf{2EX} + \mathbf{MO} + \mathbf{PE} + \mathbf{RV} + \mathbf{SI} + \mathbf{AC} + \mathbf{EF} + \mathbf{PR} + \mathbf{MC}]$$

Cabe indicar que la naturaleza del efecto puede ser perjudicial (negativa) o benéfico (positiva) el cual se expresa con un signo, + (benéfico) o - (perjudicial). En la Tabla 4-4 se muestra el atributo y la escala del valor que se le pueden otorgar.

Tabla 4-4. Criterios de valoración de impactos

ATRIBUTO	DEFINCIÓN	ESCALA	Valor
Naturaleza (±)	Indica el sentido del impacto, es decir, si genera una alteración adversa o un efecto benéfico sobre el componente ambiental.	Adverso/Benéfico	±
Intensidad (I)	Expresa el grado de incidencia o severidad de la alteración sobre el factor ambiental afectado.	Baja Media Alta Muy Alta	1 2 4 8
Extensión (EX)	Se refiere al alcance espacial del impacto dentro del área del PROYECTO o más allá de ésta.	Puntual Parcial Extenso Total *Crítica	1 2 4 8 +4
Momento (MO)	Corresponde al tiempo que transcurre entre la ejecución de la acción y la manifestación del impacto.	Largo plazo (> 5 años) Mediano plazo (1-5 años) Corto plazo (Inmediato) *Crítico	1 2 4 +4
Persistencia (PE)	Señala el tiempo durante el cual permanece el efecto una vez que se ha manifestado.	Fugaz (< 1 año) Temporal (1-10 años) Permanente (t_p= t_r-t_j> 10 años)	1 2 4
Reversibilidad (RV)	Indica la capacidad del medio para retornar por sí mismo a sus condiciones originales al cesar la acción impactante.	Corto plazo Mediano plazo Irreversible	1 2 4
Recuperabilidad (MC)	Se refiere a la posibilidad de restituir las condiciones del componente afectado, ya sea de forma natural o mediante intervención.	Recuperable (inmediato) Recuperable (medio plazo) Mitigable Irrecuperable	1 2 4 8
Sinergia (SI)	Se refiere a la posibilidad de restituir las condiciones del componente afectado, ya sea de forma natural o mediante intervención.	Sin sinergia (simple) Sinergia media Alta sinergia	1 2 4
Acumulación (AC)	Evalúa si el impacto se potencia por la interacción con otros impactos o acciones concurrentes.	Sin efectos (acumulación simple) Acumulativo	1 4
Efecto (EF)	Define la relación entre la acción y la alteración generada, distinguiendo si ésta ocurre de manera directa o indirecta.	Directo (primario) Indirecto (secundario)	4 1

ATRIBUTO	DEFINCIÓN	ESCALA	Valor
Periodicidad (PR)	Describe la frecuencia con que se manifiesta el impacto.	Irregular, discontinuo Cíclica, recurrente (efecto periódico) Continuo	1 2 4

A partir del valor obtenido, los impactos pueden clasificarse en categorías generales de importancia, lo que permite facilitar su interpretación, comparación y jerarquización dentro del proceso de evaluación ambiental. Conforme a la metodología de Conesa Fernández (1997), dicha clasificación se establece en función del valor resultante de la evaluación de cada impacto, de acuerdo con los rangos y categorías de referencia presentados en la Tabla 4-5. Esta clasificación permite distinguir aquellos impactos cuya incidencia ambiental es reducida, de aquellos que por su magnitud, duración, extensión o dificultad de recuperación requieren medidas de prevención, mitigación o compensación más rigurosas.

Tabla 4-5. Clasificación de importancia de impactos.

INTERVALO DE IMPORTANCIA	CLASIFICACIÓN
Menor de 25	Irrelevante
25 a 50	Moderado
50 a 75	Severo
Mayor de 75	Crítico

En virtud de los criterios descritos y la escala de valoración que deriva de los mismo se procedió a evaluar cada una de las interacciones entre las acciones del PROYECTO y los factores con susceptibilidad de ser impactados. La valoración precisa de cada interacción se muestra y describe a continuación para cada una de las etapas del PROYECTO.

4.4.1 Etapa de preparación del sitio

Durante la etapa de preparación del sitio se identificaron impactos predominantemente irrelevantes, asociados principalmente al ingreso y movilización interna de personal, herramientas y materiales, al acopio temporal de equipos y al acondicionamiento superficial de las áreas de instalación. Los efectos sobre la calidad del aire, el ambiente sonoro, el manejo de residuos, la seguridad y salud del personal y el confort de huéspedes y trabajadores presentan baja magnitud, debido a que corresponden a actividades de corta duración, alcance espacial limitado y alta reversibilidad.

En esta etapa destacan, por un lado, un impacto moderado benéfico relacionado con la generación temporal de empleo, derivado de la participación de mano de obra durante las actividades preliminares; y por otro, un impacto moderado adverso sobre la movilidad de fauna terrestre, atribuible a la perturbación temporal ocasionada por el tránsito de personal y materiales en un entorno previamente intervenido. En términos generales, se trata de una etapa de afectación ambiental baja y controlable (Tabla 4-6).

Tabla 4-6. Valoración de impactos etapa de preparación del sitio

Acción del PROYECTO	Factor ambiental	Impacto identificado		IN	EX	MO	PE	RV	MC	SI	AC	EF	PR	I	Clasificación
A1. Ingreso y movilización interna de personal, herramientas y materiales	F2. Calidad del aire	I1. Emisión temporal de gases y partículas por tránsito interno de vehículos y maniobras	-	1	1	4	1	1	1	1	1	4	1	-19	Irrelevante
	F3. Ambiente sonoro	I2. Incremento temporal del ruido por movilización y maniobras internas	-	1	1	4	1	1	1	1	1	4	1	-19	Irrelevante
	F5. Movilidad de fauna terrestre	I5. Molestia temporal por presencia y movimiento de personal/vehículos en entorno ya intervenido	-	2	2	4	1	1	2	1	1	4	1	-25	Moderado
	F8. Empleo	I3. Generación temporal de empleo y ocupación de mano de obra	+	1	1	4	2	4	4	1	1	4	1	26	Moderado

Acción del PROYECTO	Factor ambiental	Impacto identificado		IN	EX	MO	PE	RV	MC	SI	AC	EF	PR	I	Clasificación
	F10. Seguridad y salud del personal	I4. Riesgo de incidentes menores durante carga, descarga y tránsito interno	-	1	1	4	1	4	2	1	1	4	1	-23	Irrelevante
A2. Acopio temporal y resguardo de materiales/equipos en áreas de apoyo	F9. Manejo de residuos	I6. Riesgo de generación dispersa de empaques y sobrantes si no hay control	-	1	1	4	4	2	1	1	1	4	1	-23	Irrelevante
	F11. Confort de huéspedes y trabajadores	I7. Posible interferencia puntual con áreas de servicio o percepción de orden	-	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	-14	Irrelevante
A3. Limpieza puntual y acondicionamiento superficial de áreas de instalación	F2. Calidad del aire	I8. Emisión menor de polvo o partículas por limpieza y acondicionamiento	-	1	1	4	1	1	1	1	1	1	1	-16	Irrelevante
	F3. Ambiente sonoro	I9. Ruido puntual por uso de herramientas manuales o eléctricas ligeras	-	1	1	4	1	1	1	1	1	1	1	-16	Irrelevante
	F10. Seguridad y salud del personal	I10. Riesgo menor asociado al uso de herramientas y acondicionamiento superficial	-	1	1	4	1	4	2	1	1	4	1	-23	Irrelevante

4.4.2 Etapa de instalación

La etapa de instalación concentra una parte importante de los impactos adversos del PROYECTO, aunque éstos se mantienen en su mayoría entre las categorías de irrelevante y moderado. Los principales efectos se asocian al traslado y elevación de materiales, al montaje de estructuras y módulos fotovoltaicos, y a la instalación de inversores, protecciones y tableros.

Los impactos más relevantes de esta etapa se relacionan con la seguridad y salud del personal, debido a la realización de trabajos en altura, maniobras de elevación y actividades eléctricas, así como con el ambiente sonoro, particularmente durante el montaje de estructuras y módulos. Asimismo, se identifican afectaciones moderadas sobre la movilidad de fauna terrestre, vinculadas a la perturbación temporal del espacio por incremento en la actividad humana y operativa. En contraste, los efectos sobre el manejo de residuos y el confort de huéspedes y trabajadores se mantienen en niveles bajos o poco significativos. En conjunto, esta etapa

representa la fase de mayor interacción operativa del PROYECTO, aunque sin generar impactos adversos severos tal como demuestra el desglose de valores de impacto en la Tabla 4-7.

Tabla 4-7. Valoración de impactos etapa de instalación.

Acción del PROYECTO	Factor ambiental	Impacto identificado	N	IN	EX	MO	PE	RV	MC	SI	AC	EF	PR	I	Clasificación
Etapa de instalación															
A4. Traslado interno y elevación de materiales a cubiertas	F3. Ambiente sonoro	I12. Incremento temporal del ruido por maniobras de izaje y traslado	-	1	2	4	1	1	1	1	1	4	1	-21	Irrelevante
	F5. Movilidad de fauna terrestre	I15. Interrupción de tránsito de fauna	-	2	2	4	1	1	1	1	4	4	1	-27	Moderado
	F10. Seguridad y salud del personal	I13. Riesgo por maniobras de elevación, movimiento de cargas y trabajo en altura	-	2	1	4	1	4	2	1	1	4	1	-26	Moderado
	F11. Confort de huéspedes y trabajadores	I14. Molestias temporales por maniobras visibles y ruido puntual	-	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	-14	Irrelevante
A5. Montaje de estructuras y colocación de módulos fotovoltaicos	F3. Ambiente sonoro	I16. Incremento temporal del ruido por fijaciones, perforaciones y montaje	-	4	1	4	1	1	1	1	1	4	1	-28	Moderado
	F9. Manejo de residuos	I17. Generación de empaques, recortes y sobrantes de instalación	-	1	1	4	1	1	1	1	1	4	1	-19	Irrelevante
	F10. Seguridad y salud del personal	I18. Riesgo relevante por trabajos en altura, herramientas y maniobras de montaje	-	2	1	4	1	4	2	1	1	4	1	-26	Moderado
	F11. Confort de huéspedes y trabajadores	I19. Molestias temporales por ruido y actividad visible sobre cubiertas	-	1	1	4	1	1	1	1	1	1	1	-16	Irrelevante

Acción del PROYECTO	Factor ambiental	Impacto identificado	N	IN	EX	MO	PE	RV	MC	SI	AC	EF	PR	I	Clasificación
A6. Instalación de inversores, protecciones y tableros	F3. Ambiente sonoro	I20. Ruido temporal por conexiones, fijaciones y ajustes de equipos	-	1	1	4	1	1	1	1	1	4	1	-19	Irrelevante
	F10. Seguridad y salud del personal	I21. Riesgo por trabajos eléctricos y montaje de equipos	-	1	1	4	1	4	2	1	1	4	1	-23	Irrelevante
	F11. Confort de huéspedes y trabajadores	I22. Molestias temporales por actividades técnicas en áreas de servicio o cubiertas	-	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	-14	Irrelevante

4.4.3 Etapa de operación

La etapa de operación presenta el balance ambiental más favorable del PROYECTO, ya que concentra los principales impactos benéficos. Destacan como impactos de mayor relevancia la reducción indirecta de emisiones de gases de efecto invernadero y la mejora en la eficiencia energética del complejo, ambos clasificados como severos benéficos, debido a su carácter directo, continuo y persistente durante la vida útil del sistema.

Adicionalmente, se identifica un impacto moderado benéfico relacionado con el fortalecimiento de la imagen ambiental y sustentabilidad del complejo, derivado de la incorporación de infraestructura de generación con fuente renovable. Los principales impactos adversos de esta etapa corresponden al consumo de agua para la limpieza periódica de módulos y al riesgo asociado a labores de inspección y mantenimiento, ambos con importancia moderada. No obstante, dichos efectos son controlables y no contrarrestan los beneficios ambientales globales de la operación del sistema. En la Tabla 4-8 se presenta la valoración de impactos para esta etapa con el desglose de valores en cada uno de los criterios evaluados.

Tabla 4-8. Valoración de impactos etapa de operación

Acción del PROYECTO	Factor ambiental	Impacto identificado	N	IN	EX	MO	PE	RV	MC	SI	AC	EF	PR	I	Clasificación
A7. Operación continua del sistema fotovoltaico	F4. Emisiones indirectas de GEI / desempeño climático	I23. Reducción indirecta de emisiones de GEI por sustitución parcial de electricidad convencional	+	4	8	12	4	1	1	1	1	4	4	56	Severo
	F6. Movilidad de aves	I26. Disminución de albedo en cubiertas de edificios	+	1	2	4	4	1	1	1	1	4	4	27	Moderado
	F7. Eficiencia energética	I24. Mejora estructural del desempeño energético del complejo	+	4	8	12	4	1	1	1	1	4	4	56	Severo
	F12. Imagen ambiental y sustentabilidad del complejo	I25. Fortalecimiento de la imagen ambiental y del perfil de sustentabilidad del complejo	+	4	2	4	4	4	2	2	4	4	4	44	Moderado
A8. Limpieza periódica de módulos	F1. Consumo de agua	I-27. Consumo puntual de agua para limpieza de paneles	-	1	4	4	4	1	1	1	4	4	4	-34	Moderado
	F11. Confort de huéspedes y trabajadores	I-28. Molestias menores y esporádicas por actividades de limpieza	-	1	1	2	1	1	1	1	1	1	4	-17	Irrelevante
A9. Inspección y mantenimiento preventivo/correctivo	F8. Empleo	I-32. Conservación de empleo especializado	+	1	1	4	1	1	1	1	1	4	4	22	Irrelevante
	F9. Manejo de residuos	I-29. Generación ocasional de residuos por reemplazo de piezas o componentes menores	-	1	1	4	1	1	1	1	1	4	4	-22	Irrelevante
	F10. Seguridad y salud del personal	I-30. Riesgo de accidentes por trabajos de revisión y mantenimiento	-	1	1	4	1	4	2	1	1	4	4	-26	Moderado
	F11. Confort de huéspedes y trabajadores	I-31. Molestias puntuales y temporales durante actividades de mantenimiento	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	-16	Irrelevante

4.4.4 Etapa de abandono

En la etapa de abandono se identifican impactos adversos asociados principalmente al desmontaje de módulos, estructuras y cableado, así como al retiro, segregación y disposición de componentes. Los efectos más relevantes corresponden al incremento temporal del ambiente sonoro, al riesgo sobre la seguridad y salud del personal durante las maniobras de retiro, y al manejo de residuos, particularmente por la generación de componentes de manejo especial y la necesidad de una disposición final adecuada. En todos los casos, estos impactos fueron valorados como moderados, debido a que, aunque pueden presentar una intensidad operativa relevante, son temporales, localizados y susceptibles de control.

De manera complementaria, se identificó un impacto moderado benéfico relacionado con el fortalecimiento de la imagen ambiental y sustentabilidad del complejo, condicionado a que el retiro y disposición final de los componentes se lleve a cabo de manera ordenada, trazable y ambientalmente responsable. En términos generales, esta etapa presenta impactos negativos acotados, asociados más al manejo operativo del retiro que a alteraciones permanentes del medio (Tabla 4-9).

Tabla 4-9. Valoración de impactos etapa de abandono.

Acción del PROYECTO	Factor ambiental	Impacto identificado	N	IN	EX	MO	PE	RV	MC	SI	AC	EF	PR	I	Clasificación
A10. Desmontaje de módulos, estructuras y cableado	F3. Ambiente sonoro	I-33. Incremento temporal del ruido por actividades de retiro y desmontaje	-	4	1	4	1	1	1	1	1	4	1	-28	Moderado
	F5. Movilidad de fauna terrestre	I-37. Interrupción del tránsito de fauna	-	1	1	4	1	1	1	1	1	4	1	-19	Irrelevante
	F9. Manejo de residuos	I-34. Generación de residuos de manejo especial por retiro de módulos y estructuras	-	4	2	4	4	1	1	1	1	4	1	-33	Moderado
	F10. Seguridad y salud del personal	I-35. Riesgo de accidentes por desmontaje en altura y retiro de componentes	-	2	1	4	1	4	2	1	1	4	1	-26	Moderado
	F11. Confort de huéspedes y trabajadores	I-36. Molestias temporales por ruido y maniobras de desinstalación	-	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	-14	Irrelevante

Acción del PROYECTO	Factor ambiental	Impacto identificado	N	IN	EX	MO	PE	RV	MC	SI	AC	EF	PR	I	Clasificación
A11. Retiro, segregación y disposición de componentes	F2. Calidad del aire	I-38. Emisiones menores por maniobras de retiro y transporte de componentes	-	1	1	4	1	1	1	1	1	4	1	-19	Irrelevante
	F9. Manejo de residuos	I-37. Generación de residuos	-	4	2	4	4	1	1	1	1	4	1	-33	Moderado
	F10. Seguridad y salud del personal	I-39. Riesgo por manejo, carga y retiro de componentes	-	1	1	4	1	4	2	1	1	4	1	-23	Irrelevante
	F12. Imagen ambiental y sustentabilidad del complejo	I-40. Refuerzo de la gestión responsable de fin de vida, si se documenta adecuada disposición	+	4	2	4	4	4	2	2	4	4	4	44	Moderado

En la Tabla 4-10 se presenta la matriz general de importancia de impactos en donde se puede apreciar de forma general el valor de importancia de cada uno de los impactos evaluados en las diferentes etapas del PROYECTO. Dicha matriz permite visualizar la relevancia de los impactos positivos con respecto al resto de impactos negativos.

Si bien los impactos ambientales positivos son menores en cantidad, su relevancia radica principalmente en que serán continuos y constantes a lo largo de la vida útil del PROYECTO. Una cuantificación y valoración más precisa de este aspecto es abordado en el capítulo VII.

Tabla 4-10. Matriz general de importancia de impactos en todas las etapas del proyecto.

FACTOR	ACCIONES DEL PROYECTO POR ETAPA										
	PREPARACIÓN DEL SITIO			INSTALACIÓN			OPERACIÓN			ABANDONO	
	A1*	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11
F1. Consumo de agua								-34			
F2. Calidad del aire	-19		-16								-19
F3. Ambiente sonoro	-19		-16	-21	-28	-19				-28	
F4. Emisiones indirectas de GEI / desempeño climático							56				
F5. Movilidad de fauna terrestre	-25			-27						-19	
F6. Movilidad de aves							27				
F7. Eficiencia energética							56				
F8. Empleo	26								22		
F9. Manejo de residuos		-23			-19				-22	-33	-33
F10. Seguridad y salud del personal	-23		-23	-26	-26	-23			-26	-26	-23
F11. Confort de huéspedes y trabajadores		-14		-14	-16	-14		-17	-16	-14	
F12. Imagen ambiental y sustentabilidad del complejo							44				44

*A1 a la A11 corresponden a las acciones del PROYECTO susceptibles de causar impactos y que han sido señaladas en las Tablas 27 a la 30.

La evaluación de impactos ambientales del PROYECTO identificó 40 interacciones entre 11 acciones del proyecto y 12 factores ambientales, distribuidas en cuatro etapas del ciclo de vida. El análisis revela un patrón claro y coherente con la naturaleza del proyecto: la gran mayoría de los impactos adversos son de categoría irrelevante y se concentran en las etapas transitorias (preparación, instalación y abandono), mientras que la etapa de operación —que representa el 97% del horizonte temporal del proyecto— genera el único balance positivo y concentra los dos únicos impactos de categoría severa, ambos benéficos.

La distribución por categoría revela que el 55% de los impactos son adversos irrelevantes (efectos de baja magnitud, corta duración y alta reversibilidad) y que ningún impacto adverso supera el umbral de severo (Tabla 4-11). Esta distribución es consistente con la naturaleza del proyecto: una instalación sobre infraestructura existente que no requiere desmonte, excavación ni cambio de uso de suelo.

Tabla 4-11. Distribución de impactos por categoría y tipo.

CATEGORÍA	N	%	INTERPRETACIÓN
Benéfico Severo	**2**	5.0%	Impacto benéfico con valor I entre 51 y 75. Efecto positivo significativo y persistente sobre el factor.
Benéfico Moderado	**4**	10.0%	Impacto benéfico con valor I entre 25 y 50. Efecto positivo claramente perceptible.
Benéfico Irrelevante	**1**	2.5%	Impacto benéfico con valor I < 25. Efecto positivo de baja magnitud.
Adverso Moderado	**11**	27.5%	Impacto adverso con valor |I| entre 25 y 50. Requiere medidas de mitigación.
Adverso Irrelevante	**22**	55.0%	Impacto adverso con valor |I| < 25. Efectos de baja magnitud, generalmente temporales.
TOTAL	**40**	100%	Ningún impacto alcanza la categoría severo adverso o crítico.

Fuente: Elaboración propia con base en la valoración de impactos por el método de Conesa Fernández (1997)

El contraste entre la etapa de operación (ΣI = +90) y las etapas de obra (rango de ΣI de -233 a -151) es el hallazgo más relevante desde la perspectiva de la gestión ambiental del ciclo de vida (Tabla 4-12).

Tabla 4-12. Impacto por etapa del proyecto.

Etapa	N	Benéfico	Adverso	ΣI	Irrelevante	Modera.	Severo	Interpretación
Preparación	10	1	9	-152	8	2	0	*Impactos predominantemente irrelevantes. Único impacto moderado positivo: generación de empleo (I=+26).*
Instalación	11	0	11	-233	7	4	0	*Etapa de mayor concentración de adversos. Sin impactos benéficos. Moderados en seguridad y ruido.*
Operación	10	5	5	+90	4	4	2	*Única etapa con balance positivo (ΣI=+90). Concentra los dos únicos impactos severos benéficos del PROYECTO.*
Abandono	9	1	8	-151	4	5	0	*Balance negativo con un impacto benéfico moderado (imagen/sustentabilidad). RAEE representa el mayor reto.*
TOTAL / PROYECTO	40	7	33	-446	23	15	2	*El balance global es adverso leve (ΣI=-446), impulsado por las etapas de preparación, instalación y abandono, que las medidas de mitigación compensan.*

F12 (Imagen ambiental) es el factor con mayor Σlj positivo (+88), resultado de dos impactos benéficos moderados de igual magnitud en operación (A7, I=+44) y en abandono (A11, I=+44). Esto revela que el valor estratégico de la gestión ambiental responsable se materializa tanto durante la vida útil del sistema como en su desmantelamiento.

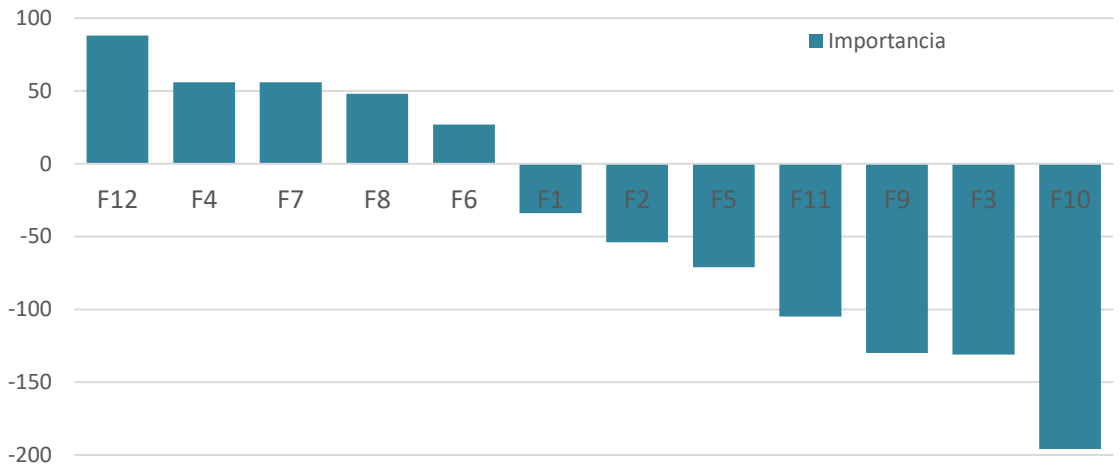
F4 y F7 (GEI y eficiencia energética) comparten el segundo lugar con Σlj = +56 cada uno, generados exclusivamente por A7. La concentración de estos dos impactos severos benéficos en una sola acción confirma que la operación continua del sistema fotovoltaico es el núcleo de la justificación ambiental del PROYECTO.

Factores con mayor exposición adversa

F10 (Seguridad y salud del personal) es el factor más frecuentemente impactado (n=8, 100% adversos), presente en todas las etapas, sin embargo, todos se encuentran en la categoría de irrelevantes, debido a que no representan actividades altamente riesgosas, como lo serían actividades industriales. Su Σlj = -196 es el valor más negativo del análisis, aunque todos los impactos se ubican en el rango irrelevante-moderado (media: -24.5). Esto no refleja alta severidad sino alta recurrencia en acciones de trabajo físico. No obstante, es necesario mantener un estricto apego a protocolos de seguridad por ser acciones que se llevan a cabo a 15 metros de altura.

F9 (Manejo de residuos) presenta el mayor impacto adverso individual dentro de la etapa de abandono (dos impactos de I=-33 en A10 y A11). Su ΣIj = -130 y media de -26.0 lo posicionan como el segundo factor adverso en importancia absoluta, y el que requiere atención técnica más específica en la planificación del desmantelamiento.

Figura 4-1. Importancia de impactos por factor ambiental.



Fuente: Elaboración propia con base en la valoración de impactos por el método de Conesa Fernández (1997). F12. Imagen ambiental y sustentabilidad del complejo. F4. Emisiones indirectas de GEI / desempeño climático. F7. Eficiencia energética. F8. Empleo. F6. Movilidad de aves. F1. Consumo de agua. F2. Calidad del aire. F5. Movilidad de fauna terrestre. F11. Confort de huéspedes y trabajadores. F9. Manejo de residuos. F3. Ambiente sonoro. F10. Seguridad y salud del personal.

4.5 Zonas críticas del proyecto

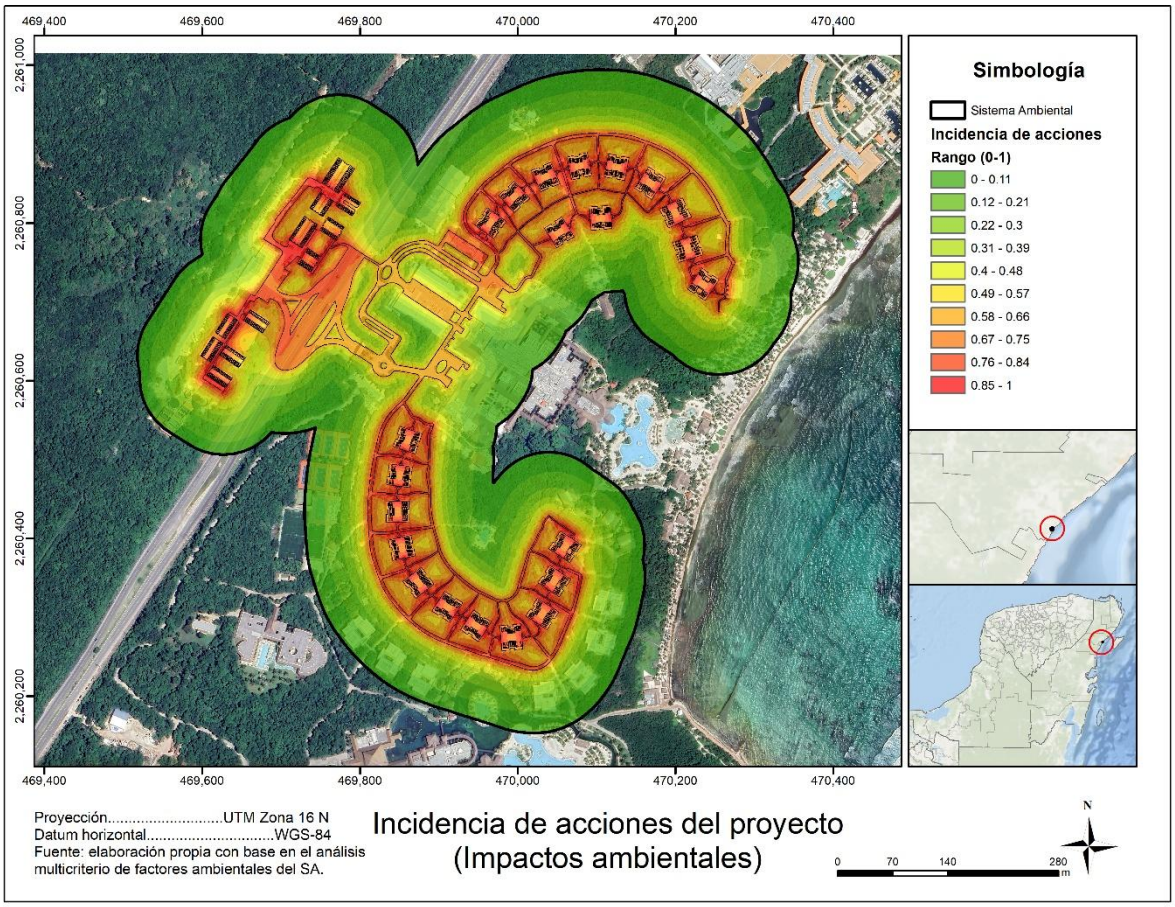
En proyectos como la instalación de paneles fotovoltaicos sobre infraestructura existente, los efectos ambientales potenciales no se distribuyen homogéneamente en el espacio, sino que dependen de dos componentes distintos pero complementarios: por un lado, la incidencia espacial potencial de las acciones del PROYECTO; y por otro, la susceptibilidad o relevancia ambiental del territorio receptor.

Bajo esta lógica, se procedió a llevar a cabo una análisis multicriterio espacial y lógica difusa para construir un índice espacial relativo de relevancia ambiental, útil para identificar dónde coinciden, con mayor intensidad, las zonas de influencia potencial del PROYECTO y las zonas de mayor sensibilidad ecológica. Este uso de índices compuestos espaciales es plenamente aceptado en la literatura de evaluación multicriterio en SIG cuando el objetivo es apoyar decisiones de planificación, localización, priorización o gestión territorial en contextos con múltiples variables y diferentes escalas de medición (Malczewski, 2000).

La metodología empleada consistió en una evaluación multicriterio espacial apoyada en sistemas de información geográfica, orientada a identificar las zonas de la RE donde existe mayor coincidencia entre la incidencia espacial potencial de las actividades del PROYECTO y la vulnerabilidad relativa del medio receptor. Para ello, se construyeron dos grupos de superficies raster: uno asociado a la proximidad respecto de elementos operativos del PROYECTO y otro relacionado con la proximidad a componentes ambientales de relevancia ecológica. Cada criterio fue transformado mediante funciones de pertenencia

difusa tipo Small, adecuadas para representar situaciones en las que la mayor proximidad implica mayor pertenencia al conjunto evaluado, ya sea de incidencia potencial o de sensibilidad ambiental. Posteriormente, las capas fueron normalizadas y agregadas mediante suma lineal ponderada, obteniendo de forma independiente un índice de incidencia del PROYECTO (Figura 4-2) y un índice de “vulnerabilidad” ambiental.

Figura 4-2. Índice de incidencia del proyecto



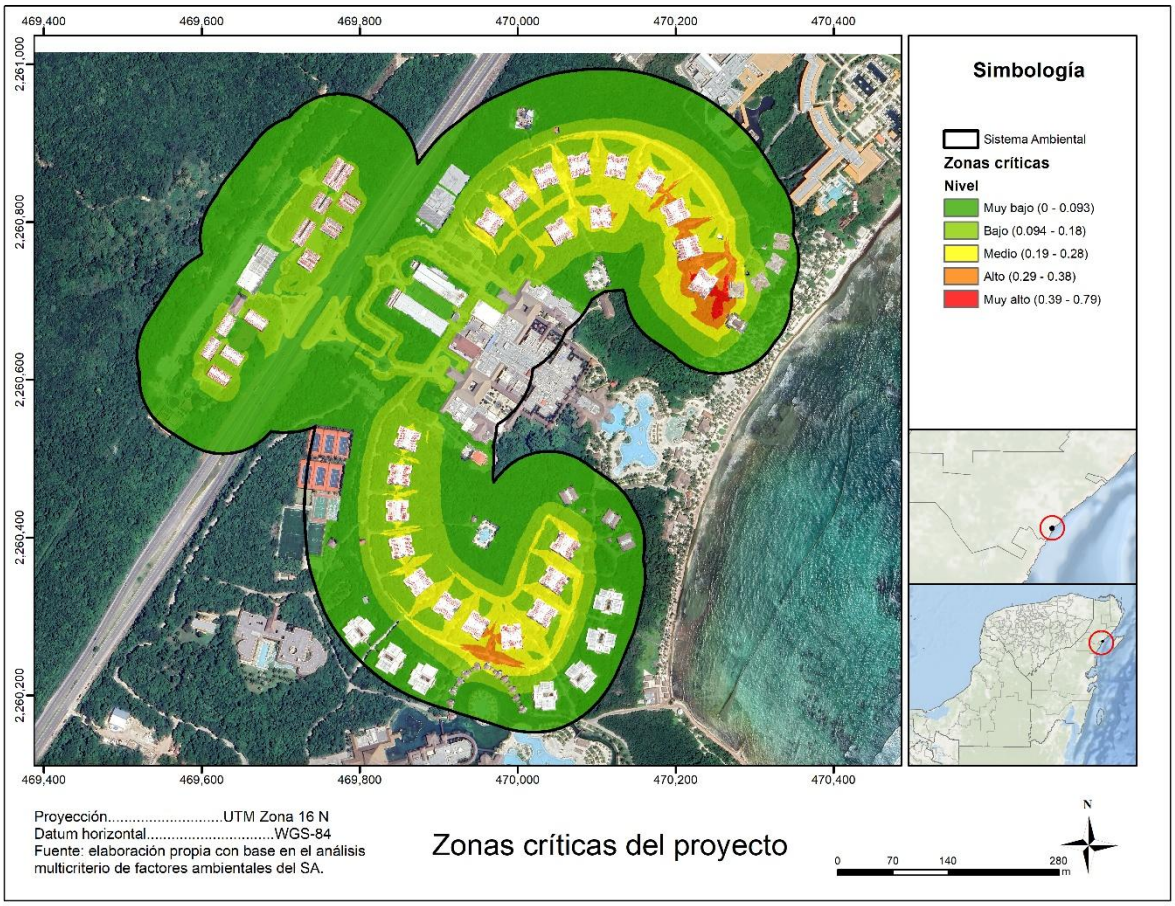
Fuente: Elaboración propia con base análisis multicriterio de las acciones del proyecto y área de incidencia.

Ambos índices fueron finalmente combinados mediante multiplicación, generando una superficie de zonas críticas que resalta las áreas donde coinciden, con mayor intensidad, la presencia potencial de interacciones derivadas del PROYECTO y la relevancia ambiental del entorno. Este enfoque es consistente con la literatura especializada en análisis multicriterio espacial y lógica difusa, particularmente en contextos donde los fenómenos presentan transiciones graduales y donde la finalidad del análisis es apoyar la jerarquización territorial, la prevención y la definición focalizada de medidas de manejo ambiental.

El mapa resultante debe interpretarse como un índice relativo de zonas ambientalmente críticas (Figura 4-3). Esto significa que expresa, dentro del universo analizado y bajo los supuestos del modelo, cuáles son las áreas donde la coincidencia entre la incidencia espacial potencial del PROYECTO y la relevancia ecológico-ambiental del medio receptor

es mayor. En este sentido es necesario señalar que no expresa, por sí mismo, magnitudes de impacto observadas, probabilidades formales de daño, ni la totalidad de variables ecológicas y operativas posibles. Su valor principal radica en su capacidad para jerarquizar espacialmente el territorio y orientar tanto la interpretación del estudio como la eventual focalización de medidas preventivas, de manejo y de seguimiento, especialmente aquellas medidas enfocadas en la protección de la fauna, su hábitat crítico y las zonas con presencia de especies en la NOM-059-SEMARNAT-2010.

Figura 4-3. Zonas críticas del proyecto



Fuente: Elaboración propia con base en análisis multicriterio.

4.6 Conclusión

Con base en la identificación, descripción y valoración de los impactos ambientales asociados a las distintas etapas del PROYECTO, se concluye que la instalación, operación y, en su caso, abandono del sistema fotovoltaico sobre infraestructura hotelera existente genera un conjunto de efectos ambientales cuya magnitud y relevancia son, en términos generales, compatibles con el entorno intervenido en el que se desarrollará el PROYECTO. La valoración realizada muestra que los impactos adversos se concentran principalmente en las etapas de preparación del sitio, instalación y abandono, y se relacionan, sobre todo, con el incremento temporal del ruido, la movilización de personal y materiales, la seguridad y salud del personal, el manejo de residuos y ciertas perturbaciones operativas sobre el

funcionamiento cotidiano del complejo. No obstante, estos impactos fueron valorados en su mayoría como irrelevantes o moderados, lo cual responde a que se trata de efectos de alcance espacial limitado, duración temporal, alta reversibilidad y susceptibilidad de control mediante la aplicación de medidas preventivas y de manejo.

En contraste, la etapa de operación continua del sistema fotovoltaico concentra los impactos benéficos de mayor relevancia ambiental, particularmente aquellos asociados a la reducción indirecta de emisiones de gases de efecto invernadero, la mejora de la eficiencia energética del complejo y el fortalecimiento de su imagen ambiental y perfil de sustentabilidad. La importancia asignada a estos impactos positivos resulta consistente con la naturaleza misma del PROYECTO, ya que sus beneficios se manifiestan de forma directa, continua y acumulativa durante la vida útil del sistema, superando claramente la temporalidad y magnitud de los efectos adversos identificados en las etapas constructivas y de retiro.

Un aspecto metodológicamente relevante es que EL PROYECTO no implica cambio de uso del suelo, remoción de vegetación, afectación directa de ecosistemas naturales ni ocupación adicional de áreas no previamente intervenidas, por lo que la evaluación de impactos debe entenderse en términos de la carga ambiental incremental que introduce la instalación del sistema fotovoltaico sobre una infraestructura ya existente. Bajo esta lógica, los resultados obtenidos son consistentes con un PROYECTO de baja huella territorial y con una alteración ambiental adicional acotada, en la que los principales factores de atención no recaen en transformaciones irreversibles del medio físico o biótico, sino en aspectos operativos, logísticos y de seguridad asociados a su ejecución.

Asimismo, la valoración refleja que los factores más sensibles del PROYECTO corresponden a la seguridad y salud del personal y al manejo de residuos, especialmente durante las etapas de instalación y abandono, lo que confirma la necesidad de implementar medidas específicas de control para trabajos en altura, maniobras de elevación, actividades eléctricas, desmontaje de componentes y segregación adecuada de materiales al final de su vida útil. Del mismo modo, los impactos asociados al confort de huéspedes y trabajadores, al ambiente sonoro y al consumo de agua durante la operación, aun cuando no alcanzan niveles críticos, deben ser atendidos mediante procedimientos de programación, control operativo y mantenimiento eficiente, a fin de mantenerlos en rangos compatibles con la operación del complejo GPRM.

En virtud de lo anterior, puede concluirse que EL PROYECTO presenta un balance ambiental global favorable, en tanto que los impactos adversos identificados son mayoritariamente temporales, localizados, reversibles y mitigables, mientras que los beneficios ambientales esperados son de mayor permanencia, alcance funcional y contribución estratégica. En particular, la incorporación del sistema fotovoltaico representa una medida concreta de transición hacia un esquema de operación más eficiente y con menor dependencia de fuentes convencionales de energía, lo cual otorga al PROYECTO una contribución positiva en términos de desempeño climático y sustentabilidad.

4.7 Medidas preventivas y de mitigación de los impactos ambientales

De acuerdo con la identificación y valoración de impactos ambientales, EL PROYECTO generará 11 impactos en la categoría de Adverso Moderado, para los cuales han sido requeridas medidas de mitigación (Tabla 4-13).

Tabla 4-13. Impactos ambientales adversos

ETAPA	ACTIVIDAD	FACTOR	IMPACTO
Preparación	A1. Ingreso y movilización interna de personal, herramientas y materiales	F5. Movilidad de fauna terrestre	I5. Molestia temporal a fauna por presencia y movimiento de personal/vehículos en entorno ya intervenido
Instalación	A4. Traslado interno y elevación de materiales a cubiertas	F5. Movilidad de fauna terrestre	I15. Interrupción de tránsito de fauna
		F10. Seguridad y salud del personal	I13. Riesgo por maniobras de elevación, movimiento de cargas y trabajo en altura
	A5. Montaje de estructuras y colocación de módulos fotovoltaicos	F3. Ambiente sonoro	I16. Incremento temporal del ruido por fijaciones, perforaciones y montaje
		F10. Seguridad y salud del personal	I18. Riesgo relevante por trabajos en altura, herramientas y maniobras de montaje
Operación	A8. Limpieza periódica de módulos	F1. Consumo de agua	I-27. Consumo puntual de agua para limpieza de paneles
	A9. Inspección y mantenimiento preventivo/correctivo	F10. Seguridad y salud del personal	I-30. Riesgo de accidentes por trabajos de revisión y mantenimiento
Abandono	A10. Desmontaje de módulos, estructuras y cableado	F3. Ambiente sonoro	I-33. Incremento temporal del ruido por actividades de retiro y desmontaje
		F9. Manejo de residuos	I-34. Generación de residuos de manejo especial por retiro de módulos y estructuras
		F10. Seguridad y salud del personal	I-35. Riesgo de accidentes por desmontaje en altura y retiro de componentes
	A11. Retiro, segregación y disposición de componentes	F9. Manejo de residuos	I-37. Generación de residuos

Fuente: Elaboración propia con base en el análisis de impactos bajo metodología CONESA.

Sin embargo, resulta relevante precisar que EL PROYECTO se pretende establecer en el marco del complejo GPRM aprobado en materia de impacto ambiental cuenta con un SMGA autorizado que se integra por los programas y subprogramas señalados en la Tabla 4-14.

Tabla 4-14. Programas y subprogramas del SMGA-GPRM.

PROGRAMA	CLAVE	SUBPROGRAMA	CLAVE
Supervisión Ambiental	SA		
Manejo Integral de Residuos	MIR	Manejo Integral de Residuos Sólidos	MIRS
		Manejo Integral de Residuos Líquidos y Sanitarios	MIRL
		Manejo integral de Residuos Peligrosos	MIRP
Conservación y Manejo de Ecosistemas	CME	Conservación de Hábitat	CH
		Restauración de Hábitat	RH
Biodiversidad	BD	Conservación de Especies	CE
		Control de Fauna Nociva	CFN
Monitoreo ambiental	MA	Monitoreo de Agua Continental y Marina	MCA
		Monitoreo de Vegetación	MV
		Monitoreo de Fauna	MF
		Monitoreo de Residuos	MR
Prevención y Atención a Contingencias	CA		
Manejo Integral del Agua	MIA		
Manejo Integral de Emisiones a la Atmósfera	MIE		

Cada uno de los subprogramas señalados en la tabla anterior están integrados, a su vez, de acciones específicas que se han llevado a cabo de acuerdo al avance de las etapas del PROYECTO complejo GPRM. En la Tabla 4-15 son señaladas las acciones aplicables a la operación del complejo GPRM y que potencialmente pueden albergar y mitigar los impactos del PROYECTO.

Tabla 4-15. Acciones de la etapa de operación del SMGA-GPRM potencialmente aplicables.

PROGRAMA	SUB PROGRAMA	ACCIONES	IMPACTOS QUE POTENCIALMENTE PUEDE MITIGAR
BD	CE	Instalación de reductores de velocidad en vialidades	I5. Molestia temporal a fauna por presencia y movimiento de personal/vehículos en entorno ya intervenido. I15. Interrupción de tránsito de fauna.
		Instalación de pasos de fauna en vialidades	
		Colocación de señalamientos con medidas para protección de ecosistemas	
CA		Contar con personal capacitado en el manejo de contingencias	

PROGRAMA	SUB PROGRAMA	ACCIONES	IMPACTOS QUE POTENCIALMENTE PUEDE MITIGAR
		Contar con material y equipo adecuado y suficiente para la atención de contingencias ambientales	I13. Riesgo por maniobras de elevación, movimiento de cargas y trabajo en altura. I18. Riesgo relevante por trabajos en altura, herramientas y maniobras de montaje. I-30. Riesgo de accidentes por trabajos de revisión y mantenimiento. I-35. Riesgo de accidentes por desmontaje en altura y retiro de componentes.
		Verificación periódica del mantenimiento de instalaciones riesgosas dentro del proyecto	
		Creación de comité de atención a contingencias ambientales.	
		Señalización	
CME	CH	Colocación de señalamientos de tipo informativo y restrictivo sobre las medidas de protección al ambiente implementadas en el PROYECTO.	I5. Molestia temporal a fauna por presencia y movimiento de personal/vehículos en entorno ya intervenido
		Divulgación de las medidas de conservación de los ecosistemas presentes en el predio y su zona de influencia a empleados y usuarios del PROYECTO.	I5. Molestia temporal a fauna por presencia y movimiento de personal/vehículos en entorno ya intervenido
	MRP	Confinamiento temporal de los residuos peligrosos en un almacén con las características requeridas por las autoridades competentes.	I-34. Generación de residuos de manejo especial por retiro de módulos y estructuras. I-37. Generación de residuos.
		Establecimiento de lineamientos claros para la disposición temporal de los residuos peligrosos de acuerdo a su tipo y para su registro en bitácora.	
		Embalaje y etiquetado adecuado de los contenedores con residuos peligrosos previo a su almacenamiento y registro en bitácora.	
	MRS	Separación en contenedores específicos por tipo de residuos (inorgánicos reciclables, inorgánicos no reciclables y orgánicos).	
		Transporte y disposición final de los residuos sólidos por empresas acreditadas.	
		Acopio de residuos inorgánicos en instalaciones que cumplen con los requerimientos de las autoridades competentes.	
		Colocación de señalamientos que indiquen los procedimientos y áreas adecuadas para la separación de residuos.	

En razón de lo anterior, ocho de los once impactos catalogados como adversos en la valoración del PROYECTO pueden tener cabida en el SMGA del complejo GPRM, ya que pueden ser mitigados a través de las acciones que se realizan de manera operativa en el marco del sistema.

En este contexto el SGMA autorizado del hotel ofrece una plataforma operativa útil para absorber la mayor parte de las medidas operativas del sistema fotovoltaico, especialmente las relacionadas con residuos, seguimiento ambiental, contingencias y control operativo. Sin embargo, no todas las medidas quedan automáticamente cubiertas por el SMGA existente, algunas de ellas pueden instrumentarse dentro de programas ya autorizados, mientras que otras son medidas complementarias específicas del sistema fotovoltaico que pueden integrarse como anexos, criterios internos o apartados de reporte dentro de esos mismos programas, sin sustituir la necesidad de establecer procedimientos propios del sistema.

Los impactos restantes pueden ser atendidos a través de las medidas que se describen a continuación, que a su vez pueden ser enmarcadas en los programas ya existentes:

Para el I16. Incremento temporal del ruido por fijaciones, perforaciones y montaje.

- Restringir las actividades ruidosas a horarios diurnos; utilizar herramientas y equipos en buen estado; evitar trabajos simultáneos innecesarios en varios frentes; coordinar las maniobras de mayor ruido con la operación del hotel para reducir molestias.
- Programar las maniobras más visibles o ruidosas en horarios de menor sensibilidad operativa; informar previamente a la administración del complejo sobre actividades especiales; mantener orden visual en cubiertas y áreas de apoyo; minimizar tiempos de exposición de materiales y equipos.

Para el I-27. Consumo puntual de agua para limpieza de paneles.

Si bien no se trata de un consumo de agua totalmente continuo si será periódico durante la vida útil del PROYECTO, por lo cual:

- Se realizará la limpieza de paneles únicamente cuando sea técnicamente necesaria para conservar el rendimiento del sistema; optimizar frecuencias con base en inspección visual o monitoreo de desempeño; emplear métodos de bajo consumo de agua y se evitarán lavados innecesarios.

Para el I-33. Incremento temporal del ruido por actividades de retiro y desmontaje

- Se programarán inspecciones, limpiezas y mantenimientos en horarios de menor interferencia con la operación del hotel; evitar intervenciones simultáneas en múltiples cubiertas; reducir tiempos de permanencia del personal de mantenimiento en zonas sensibles.

Si bien el complejo GPRM cuenta con un programa de atención a contingencias ambientales, se garantizará la adopción de protocolos de medidas de seguridad para proveedores externos para prevenir los impactos ambientales relacionados con sus actividades, así como los riesgos de seguridad identificados para EL PROYECTO.

Tabla 4-16. Medidas en materia de seguridad.

Etapa	Impactos que mitiga / controla	Medida de manejo ambiental
Preparación del sitio	Riesgos menores a la seguridad y salud del personal durante movilización, carga, descarga y acondicionamiento superficial	Aplicar un procedimiento de seguridad para carga, descarga y manipulación manual de materiales; dotar al personal de equipo de protección personal; señalizar áreas de maniobra y acceso restringido; supervisar el cumplimiento de condiciones seguras de trabajo. En caso de que la actividad corra a cargo de un contratista o tercer se asegurará que cuente con protocolos y medidas de seguridad documentadas.
Instalación	Riesgo de accidentes por maniobras de elevación, movimiento de cargas, trabajos en altura y actividades eléctricas	Implementar procedimientos específicos de seguridad para trabajos en altura, izaje de materiales y montaje eléctrico; utilizar líneas de vida, arneses, puntos de anclaje certificados y equipo de protección personal; capacitar al personal; delimitar áreas de riesgo y restringir el acceso a terceros. En caso de que la actividad corra a cargo de un contratista o tercer se asegurará que cuente con protocolos y medidas de seguridad documentadas.
Operación y mantenimiento	Riesgo asociado a inspección y mantenimiento preventivo/correctivo en cubiertas y equipos eléctricos	Establecer un programa formal de mantenimiento preventivo; aplicar procedimientos seguros para trabajos en altura y revisión eléctrica; utilizar equipo de protección personal; registrar y atender oportunamente hallazgos o anomalías del sistema. En caso de que la actividad corra a cargo de un contratista o tercer se asegurará que cuente con protocolos y medidas de seguridad documentadas.
Abandono	Riesgo de accidentes por desmontaje en altura, retiro de componentes y maniobras de carga	Implementar procedimientos específicos para desmontaje seguro, trabajos en altura y retiro de componentes; emplear líneas de vida, arneses y equipo de protección personal; delimitar áreas de maniobra y restringir acceso a personal ajeno. En caso de que la actividad corra a cargo de un contratista o tercer se asegurará que cuente con protocolos y medidas de seguridad documentadas.

Algunas medidas complementarias que pueden ser integradas al SMGA se presentan en la Tabla 4-17.

Tabla 4-17. Medidas que pueden ser integradas al SMGA existente.

Medida para PROYECTO	Programa / subprograma del SMGA autorizado donde puede integrarse	Justificación técnica
Realizar la limpieza de módulos únicamente cuando sea técnicamente necesaria; optimizar frecuencias; emplear métodos de bajo consumo de agua; evitar lavados innecesarios.	**Programa de Manejo Integral del Agua**	La medida regula directamente el consumo de agua durante la operación del sistema, por lo que su incorporación es congruente con el programa del hotel destinado a administrar el uso del recurso hídrico.
Establecer un programa formal de mantenimiento preventivo; aplicar procedimientos seguros para trabajos en altura y revisión eléctrica; utilizar EPP; registrar y atender hallazgos o anomalías.	**Programa de Supervisión Ambiental** y **Programa de Prevención y Atención a Contingencias Ambientales**	La medida implica control operativo, seguimiento, registro de condiciones del sistema y prevención de incidentes con posible repercusión ambiental u operativa.
Clasificar piezas reemplazadas, empaques y consumibles; resguardarlos temporalmente en áreas seguras; canalizar a reciclaje, valorización o disposición final mediante gestores autorizados.	**Programa de Manejo Integral de Residuos**	La medida corresponde de forma expresa al manejo de residuos generados durante mantenimiento, incluyendo segregación, almacenamiento temporal y disposición o valorización.
Programar inspecciones, limpiezas y mantenimientos en horarios de menor interferencia con la operación del hotel; evitar intervenciones simultáneas en múltiples cubiertas; reducir tiempos de permanencia del personal en zonas sensibles.	**Programa de Supervisión Ambiental**	Aunque la medida está más orientada al control operativo y al confort de usuarios, puede incorporarse como criterio de coordinación ambiental y operativa dentro de la supervisión de actividades de mantenimiento.
Mantener en operación eficiente el sistema mediante monitoreo continuo de generación eléctrica, detección temprana de fallas y mantenimiento preventivo; registrar la energía producida para documentar el aporte climático del PROYECTO.	**Programa de Supervisión Ambiental** y, complementariamente, **Programa de Monitoreo Ambiental**	La medida exige seguimiento, verificación del desempeño y registro periódico de resultados, lo cual es consistente con instrumentos de supervisión y monitoreo ambiental durante la operación.

Medida para PROYECTO	Programa / subprograma del SMGA autorizado donde puede integrarse	Justificación técnica
Integrar la información del sistema fotovoltaico a indicadores de desempeño energético; dar seguimiento periódico a la energía generada y a la cobertura de demanda eléctrica; corregir oportunamente pérdidas de eficiencia.	**Programa de Supervisión Ambiental**	Esta medida fortalece el seguimiento del desempeño ambiental del complejo y permite demostrar la contribución del sistema fotovoltaico a la eficiencia operativa.
Documentar la operación del sistema, sus beneficios energéticos y climáticos, y la adecuada gestión de mantenimiento; integrar estos resultados a los esquemas internos de sustentabilidad y comunicación ambiental del complejo.	**Programa de Supervisión Ambiental** y reportes de cumplimiento en operación	Puede servir como evidencia documental del adecuado manejo ambiental y del desempeño del sistema durante la operación.
Documentar el aporte climático del PROYECTO mediante el registro de energía producida.	**Programa de Manejo Integral de Emisiones a la Atmósfera**	Existe afinidad temática porque la medida se relaciona con reducción indirecta de emisiones asociadas al consumo de energía convencional.

4.8 Pronósticos ambientales y evaluación de alternativas

El pronóstico ambiental del PROYECTO se formuló a partir del análisis comparativo de tres escenarios: sin proyecto, con proyecto sin medidas y con proyecto con medidas de prevención, mitigación y manejo ambiental. Este ejercicio prospectivo permite estimar la evolución previsible de las condiciones ambientales del área de influencia, considerando tanto la situación actual del sitio como las modificaciones atribuibles a la instalación, operación, mantenimiento y, en su caso, abandono del sistema fotovoltaico propuesto.

Dado que EL PROYECTO consiste en la instalación de paneles fotovoltaicos sobre infraestructura hotelera previamente autorizada, construida y actualmente en operación, el pronóstico ambiental se centra en la variación incremental asociada al sistema fotovoltaico, y no en los efectos históricos o acumulados inherentes al desarrollo turístico existente. En consecuencia, el análisis se enfoca en los componentes del medio que efectivamente podrían experimentar modificaciones atribuibles al proyecto, principalmente la calidad del aire, el ambiente sonoro, la generación de residuos, la infraestructura existente, el paisaje inmediato, la operación del complejo y los indicadores de desempeño energético y ambiental.

4.8.1 Escenario sin proyecto

En el escenario sin proyecto, el complejo hotelero continuaría operando bajo sus condiciones actuales, manteniendo el consumo energético convencional requerido para abastecer sus instalaciones, equipos y servicios. Bajo este supuesto, no se generarían los impactos temporales asociados a la preparación del sitio, instalación o eventual desmantelamiento del sistema fotovoltaico; sin embargo, tampoco se materializarían los beneficios ambientales vinculados al aprovechamiento de energía solar.

En términos prospectivos, este escenario implica la permanencia de la demanda energética actual del inmueble y, por tanto, la continuidad de su dependencia parcial o total de fuentes externas de suministro eléctrico. En consecuencia, persistiría el patrón actual de consumo de electricidad de origen convencional, así como la correspondiente contribución indirecta a emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a la generación eléctrica del sistema interconectado. Desde el punto de vista ambiental, el escenario sin proyecto representa una condición de estabilidad operativa, pero sin mejora en el desempeño energético ni avance en la incorporación de medidas de transición hacia fuentes renovables.

Asimismo, la cubierta de los edificios permanecería sin modificación adicional, por lo que no existirían cambios en la imagen visual de las techumbres ni generación de residuos derivados de la instalación o reposición futura de componentes fotovoltaicos. No obstante, esta ausencia de modificación también supone que el inmueble continuaría desaprovechando superficies previamente intervenidas con potencial para la generación distribuida de energía limpia.

4.8.2 Escenario con proyecto sin medidas

En el escenario con proyecto sin la aplicación de medidas de prevención, mitigación y manejo, se prevé la ocurrencia de impactos adversos principalmente durante las etapas de preparación del sitio e instalación. Entre éstos destacan el incremento temporal del ruido por maniobras, perforaciones y uso de herramientas; la emisión menor de gases y partículas por el ingreso y traslado de materiales; la interferencia temporal con ciertas actividades operativas del hotel; la generación de residuos sólidos urbanos y de manejo especial; y el riesgo de afectaciones puntuales a la techumbre o a instalaciones asociadas por maniobras de fijación y conexión.

Durante la operación, en ausencia de medidas, podrían presentarse consumos no optimizados de agua para limpieza de paneles, manejo inadecuado de residuos derivados del mantenimiento y una integración paisajística menos ordenada del sistema sobre las cubiertas. De igual forma, al término de la vida útil del sistema, la falta de medidas específicas podría incrementar el riesgo de manejo inadecuado de residuos eléctricos, electrónicos y metálicos durante el abandono o desmantelamiento.

No obstante, aun en este escenario, los impactos previsibles seguirían siendo en su mayoría localizados, de baja extensión y acotados al entorno ya intervenido del complejo hotelero, debido a que EL PROYECTO no implica remoción de vegetación, cambio de uso del suelo, excavaciones mayores ni ocupación adicional de áreas naturales. Paralelamente, desde la entrada en operación del sistema comenzarían a manifestarse impactos benéficos relacionados con la reducción del consumo de energía convencional y la disminución indirecta de emisiones de gases de efecto invernadero, aunque su potencial positivo podría verse parcialmente limitado por una gestión no optimizada del sistema.

4.8.3 Escenario con proyecto y con medidas

En el escenario con proyecto y con la aplicación de las medidas de prevención, mitigación y manejo propuestas, se prevé que los impactos adversos temporales asociados a la preparación del sitio, instalación, mantenimiento y abandono sean reducidos a niveles compatibles con la operación del complejo y con las condiciones actuales del entorno intervenido. La programación de actividades, el control logístico del ingreso de materiales, la delimitación de áreas de trabajo, el manejo adecuado de residuos, la protección de la infraestructura existente, la aplicación de medidas de seguridad para trabajos en altura y el seguimiento del mantenimiento permitirán disminuir de manera importante la magnitud, duración y probabilidad de ocurrencia de los efectos negativos identificados.

Bajo este escenario, los impactos adversos residuales se limitarían principalmente a molestias temporales por ruido durante la instalación y el eventual desmantelamiento, a la modificación permanente de la imagen de las cubiertas y a la generación ocasional de residuos por mantenimiento o sustitución de componentes. Sin embargo, dichos efectos se consideran de baja significancia ambiental, al ser controlables, reversibles en su mayoría o compatibles con el carácter previamente transformado del sitio.

En contraste, los impactos benéficos adquirirían mayor relevancia durante la operación del sistema, particularmente los vinculados con la generación de electricidad a partir de una fuente renovable, la reducción del consumo de energía convencional, el aprovechamiento ambientalmente eficiente de superficies ya construidas y la disminución indirecta de emisiones asociadas al suministro eléctrico externo. En consecuencia, el pronóstico ambiental en este escenario es favorable, ya que el balance entre impactos adversos y benéficos resulta positivo, siempre que las medidas propuestas sean efectivamente implementadas y supervisadas.

4.8.4 Pronóstico ambiental integrado

Con base en el análisis comparativo de los escenarios descritos, se concluye que el escenario ambiental más favorable corresponde al desarrollo del PROYECTO con aplicación integral de medidas de prevención, mitigación y manejo ambiental. Ello se debe a que, en dichas condiciones, los impactos adversos previstos se mantienen dentro de márgenes reducidos y manejables, mientras que los beneficios ambientales derivados de la incorporación de energía solar se sostienen a mediano y largo plazo.

El escenario sin proyecto mantiene las condiciones actuales del sitio, pero no representa una mejora en el desempeño ambiental del complejo ni en la reducción de su dependencia de energía convencional. Por su parte, el escenario con proyecto sin medidas incrementa innecesariamente la probabilidad y magnitud de afectaciones temporales y operativas que pueden ser razonablemente evitadas o atenuadas. En cambio, el escenario con medidas permite compatibilizar la ejecución del PROYECTO con la operación del hotel, minimizar las afectaciones sobre el entorno inmediato y maximizar los beneficios asociados a la transición energética.

En este sentido, el pronóstico ambiental del PROYECTO indica que su ejecución no comprometerá la funcionalidad ambiental del sistema intervenido ni generará transformaciones adversas relevantes en el área de influencia, siempre que se mantenga el cumplimiento de las medidas de manejo ambiental, de seguridad y de seguimiento propuestas en la presente manifestación. Por el contrario, se prevé una contribución

ambiental positiva derivada del uso de una fuente renovable de energía y del aprovechamiento de infraestructura ya existente, lo que refuerza la viabilidad ambiental del PROYECTO en los términos planteados.

Tabla 4-18. Análisis de escenarios.

COMPONENTE	SIN PROYECTO	CON PROYECTO SIN MEDIDAS	CON PROYECTO CON MEDIDAS
Consumo energético	Se mantiene demanda convencional	Disminuye por aporte fotovoltaico	Disminuye y se optimiza
GEI indirectos	Se mantienen	Se reducen	Se reducen de manera sostenida
Ruido	Sin cambio atribuible	Incremento temporal	Incremento temporal controlado
Residuos	Sin residuos del sistema	Generación por instalación/mantenimiento	Generación controlada y manejada
Infraestructura existente	Sin cambio	Riesgo de afectación puntual	Riesgo minimizado por control técnico
Paisaje de cubiertas	Sin cambio	Cambio permanente	Cambio ordenado y compatible
Operación hotelera	Continúa igual	Posibles interferencias temporales	Interferencias mínimas y programadas

4.8.5 Análisis cuantitativo

El pronóstico ambiental del PROYECTO se desarrolló mediante una metodología cuantitativa híbrida, basada en indicadores ambientales, funciones de normalización, ponderación explícita de variables y comparación de escenarios. Este enfoque permite reducir la subjetividad de los métodos exclusivamente cualitativos y fortalecer la trazabilidad técnica de la evaluación prospectiva. Dado que EL PROYECTO consiste en la instalación de un sistema fotovoltaico sobre infraestructura hotelera previamente construida y en operación, el pronóstico se formuló sobre la variación incremental atribuible al sistema fotovoltaico, y no sobre los efectos integrales del complejo turístico existente. En consecuencia, el análisis se enfocó en los componentes del medio que pueden experimentar modificaciones efectivamente atribuibles al proyecto, principalmente: ambiente sonoro, generación y manejo de residuos, consumo de agua para limpieza, integridad de la infraestructura existente, desempeño energético y reducción indirecta de emisiones de gases de efecto invernadero. Este enfoque es consistente con la literatura técnica sobre evaluación ambiental de sistemas fotovoltaicos, que da especial relevancia a indicadores de energía generada y emisiones de GEI.

4.8.5.1 Escenarios evaluados

Para la elaboración del pronóstico ambiental se evaluaron tres escenarios:

Escenario sin proyecto

Corresponde a la permanencia de las condiciones actuales del inmueble, sin instalación del sistema fotovoltaico. Bajo este escenario no existirían cargas ambientales adicionales atribuibles al proyecto, pero tampoco se materializarían beneficios en términos de generación de energía solar, reducción del consumo de electricidad convencional ni disminución indirecta de emisiones de gases de efecto invernadero.

Escenario con proyecto sin medidas

Considera la instalación, operación y, en su caso, abandono del sistema fotovoltaico sin la aplicación de medidas de prevención, mitigación, seguridad y manejo ambiental. Este escenario permite estimar la magnitud potencial de las cargas ambientales y de los beneficios del sistema en ausencia de control.

Escenario con proyecto con medidas

Considera la implementación integral de las medidas de prevención, mitigación, seguridad, manejo y seguimiento propuestas en la presente manifestación, con el fin de estimar el comportamiento ambiental esperable bajo condiciones adecuadas de ejecución del PROYECTO.

4.8.5.2 Metodología cuantitativa aplicada

La metodología se integró a partir de las siguientes etapas:

- Definición de indicadores cuantificables de carga ambiental y beneficio ambiental.
- Normalización de los indicadores en una escala adimensional común.
- Asignación de pesos relativos conforme a la relevancia de cada variable para este tipo de proyecto.
- Cálculo de índices integradores para comparar objetivamente los escenarios.

Sistema de indicadores

Para la aplicación del método se definieron dos grupos de indicadores:

Indicadores de carga ambiental

Representan las presiones o afectaciones potenciales generadas por EL PROYECTO:

- ruido máximo temporal durante instalación, en dB(A);
- proporción de residuos mal gestionados, en porcentaje;
- consumo de agua para limpieza de paneles, en L/año;
- número de incidencias sobre cubiertas o instalaciones.

Indicadores de beneficio ambiental

Representan el aporte positivo del sistema:

- energía anual generada, en kWh/año;
- reducción indirecta de emisiones de GEI, en tCO_2e/año;
- disponibilidad operativa del sistema, en porcentaje;
- trazabilidad documental de disposición final de componentes al final de vida, en porcentaje.

Los indicadores descritos anteriormente fueron utilizados para definir el Índice de Carga Ambiental del PROYECTO (ICAP) y el Índice de Beneficio Ambiental del PROYECTO (IBAP), de tal forma que el balance entre ambos permite la determinación del Índice Neto de Desempeño Ambiental (INDA) del PROYECTO. El proceso metodológico detallado para el cálculo de dichos índices se desarrolla a detalle en el apartado 4.9.6 Metodología cuantitativa para el pronóstico ambiental. La inclusión de energía generada y GEI evitadas como indicadores centrales responde a criterios metodológicos ampliamente reconocidos para la evaluación ambiental de sistemas fotovoltaicos. Los parámetros de referencia utilizados para el cálculo de los índices se presentan en la Tabla 4-19 y los ponderadores para cada parámetro en la Tabla 4-20, cabe precisar que dicho ponderadores se obtuvieron a través de los resultados de la matriz de importancia de impactos donde la mayor ponderación corresponde a los impactos de mayor relevancia.

Tabla 4-19. Parámetros de referencia para la estimación de índices.

Clave	Parámetro	Unidad	Valor preliminar	Observaciones
P1	Factor de emisión de la red eléctrica	tCO_2e/MWh	0.444	Sustituir sólo si existe una referencia oficial más actual
P2	Energía objetivo del sistema	kWh/año	2,967,000	Meta técnica de referencia para normalización
P3	GEI objetivo	tCO_2e/año	1,317.35	Derivado de P1 × P2/1000
P4	Disponibilidad objetivo	%	95	Valor meta de desempeño
P5	Trazabilidad objetivo de disposición final	%	100	Valor meta
P6	Ruido mínimo de referencia	dB(A)	65	Condición favorable
P7	Ruido máximo de referencia	dB(A)	85	Condición desfavorable
P8	Residuos mal gestionados mínimos	%	0	Condición favorable
P9	Residuos mal gestionados máximos	%	20	Condición desfavorable
P10	Agua mínima de referencia	L/año	0	Condición favorable
P11	Agua máxima de referencia	L/año	39,000	Condición desfavorable
P12	Incidencias mínimas	eventos	0	Condición favorable
P13	Incidencias máximas	eventos	4	Condición desfavorable

Tabla 4-20. Ponderadores para cada parámetro

Clave	Indicador	Tipo	Peso
W1	Ruido	Adverso	0.30
W2	Residuos mal gestionados	Adverso	0.25
W3	Agua para limpieza	Adverso	0.15
W4	Incidencias en cubierta	Adverso	0.30
W5	Energía generada	Benéfico	0.40
W6	GEI evitadas	Benéfico	0.40
W7	Disponibilidad del sistema	Benéfico	0.10
W8	Trazabilidad de disposición final	Benéfico	0.10

Asimismo, para la generación de escenarios se establecieron umbrales de referencia esperados de los valores ‘de cada parámetro, considerando los valores estándar considerados para fuentes de ruido, porcentaje de residuos mal gestionados máximo admisible, estimación de consumo de agua en mantenimiento de paneles, incidencias en cubiertas, entre otros. Los valores estimados se presentan en la Tabla 4-21.

Tabla 4-21. Umbrales de referencia esperados con la aplicación de medidas.

Indicador	Unidad	Sin proyecto	Con proyecto sin medidas	Con proyecto con medidas
Ruido máximo temporal	dB(A)	0	78	72
Residuos mal gestionados	%	0	10	2
Agua para limpieza	L/año	0	39,000	22000
Incidencias en cubierta	eventos	0	2	1
Energía generada	kWh/año	0	2,936,342	3,109,068
Disponibilidad del sistema	%	0	90	97
Trazabilidad de disposición final	%	0	60	95

La estimación del ICAP e IBAP fue estimado a partir de los valores normalizados de la Tabla 4-21 y la aplicación de una suma lineal ponderada con los valores de la Tabla 4-20. Dando como resultado los índices que se muestran en la Tabla 4-22 y Tabla 4-23

Tabla 4-22. Indicadores adversos (ICAP)

Indicador	Sin proyecto	Con proyecto sin medidas	Con proyecto con medidas
Ruido	0.000	0.650	0.350
Residuos mal gestionados	0.000	0.500	0.100
Agua para limpieza	0.000	1.000	0.564
Incidencias en cubierta	0.000	0.500	0.250

Tabla 4-23. Indicadores benéficos (IBAP)

Indicador	Sin proyecto	Con proyecto sin medidas	Con proyecto con medidas
Energía generada	0.000	0.990	1.000
GEI evitadas	0.000	0.990	1.000
Disponibilidad	0.000	0.947	1.000
Trazabilidad de disposición final	0.000	0.600	0.950

Por otro lado, el resultado de la estimación de los GEI evitados se presenta en la Tabla 4-24.

Tabla 4-24. GEI evitadas

Escenario	Energía generada (kWh/año)	GEI evitadas (tCO2e/año)
Sin proyecto	0	0.00
Con proyecto sin medidas	2,936,342	1,303.74
Con proyecto con medidas	3,109,068	1,380.43

Resultados por escenario

Índice Neto de Desempeño Ambiental (INDA) del PROYECTO fue estimado a través de la siguiente expresión y los resultados se muestran en la Tabla 4-25.

$$INDA = IBAP - ICAP$$

Tabla 4-25. INDA del proyecto.

Escenario	ICAP	IBAP	INDA	Interpretación
Sin proyecto	0.000	0.000	0.000	Sin cambio incremental
Con proyecto sin medidas	0.620	0.946	0.326	Favorable moderado
Con proyecto con medidas	0.290	0.995	0.705	Favorable alto

4.8.6 Conclusión del pronóstico

Con base en la aplicación preliminar de la metodología cuantitativa propuesta, se concluye que el escenario ambientalmente más favorable corresponde al desarrollo del PROYECTO con aplicación integral de medidas de prevención, mitigación, seguridad, manejo y seguimiento ambiental. Bajo este supuesto, las cargas ambientales incrementales se mantienen en niveles reducidos y controlables, mientras que los beneficios asociados a la generación de energía solar y a la reducción indirecta de emisiones de gases de efecto invernadero se conservan y fortalecen.

En consecuencia, el pronóstico ambiental indica que la ejecución del PROYECTO no comprometerá la funcionalidad ambiental del entorno intervenido ni la operación del complejo hotelero, siempre que se mantenga la aplicación de las medidas propuestas. Por el contrario, se prevé una contribución ambiental positiva y sostenida, derivada del uso de una fuente renovable de energía sobre infraestructura ya existente, lo que refuerza la viabilidad ambiental del PROYECTO en los términos planteados. Los resultados aquí expuestos deberán actualizarse y afinarse con los valores definitivos del diseño ejecutivo, a fin de consolidar la versión final del pronóstico ambiental.

4.9 Instrumentos metodológicos y elementos técnicos que sustentan la información

Este apartado tiene como finalidad exponer, de manera sintética y estructurada, las estrategias metodológicas, criterios de análisis y técnicas especializadas empleadas en el desarrollo del estudio. Su finalidad es aportar claridad sobre los procedimientos utilizados para la obtención, sistematización, análisis e interpretación de la información, así como sobre los métodos que sustentan la evaluación de los distintos componentes del PROYECTO y su interacción con el entorno.

En este sentido, constituye el soporte técnico de los resultados presentados en el documento principal, al exponer los enfoques, herramientas y supuestos de trabajo que dieron sustento a la caracterización, valoración, interpretación de hallazgos, evaluación de impactos y formulación de conclusiones. De esta manera, se busca fortalecer la trazabilidad, consistencia y solidez técnica del estudio, permitiendo comprender con mayor precisión el fundamento metodológico de los resultados obtenidos.

4.9.1 Análisis de emisión de ruido para delimitación del AII

Considerando que para una instalación fotovoltaica como la requerida en EL PROYECTO, el uso predominante de fuentes extremas como piloteo, martillos neumáticos, demoledores o excavación pesada continua. En ese sentido, asumir un escenario base de obra pesada sería sobreestimar el impacto acústico del PROYECTO. Por ejemplo, manuales técnicos de ruido de construcción reportan a 50 pies (15.2 m) valores típicos como:

- grúa: ~79–88 dBA,
- generador: ~68–82 dBA,
- camión: ~84 dBA,
- herramientas neumáticas / impactantes: ~85–95 dBA,
- jackhammer: ~88–95 dBA (FTA, 2018).

Las herramientas que potencialmente serán utilizadas en el proceso de instalación son algunas como: taladro eléctrico, sierra circular, amoladora, en varios compendios técnicos, a 50 pies (aprox. 15.2 metros) se reportan aproximadamente (WSDT, 2020):

- sierra circular: ~77 dBA,
- amoladora/grinder: ~73 dBA,
- hammer drill: ~75 dBA.

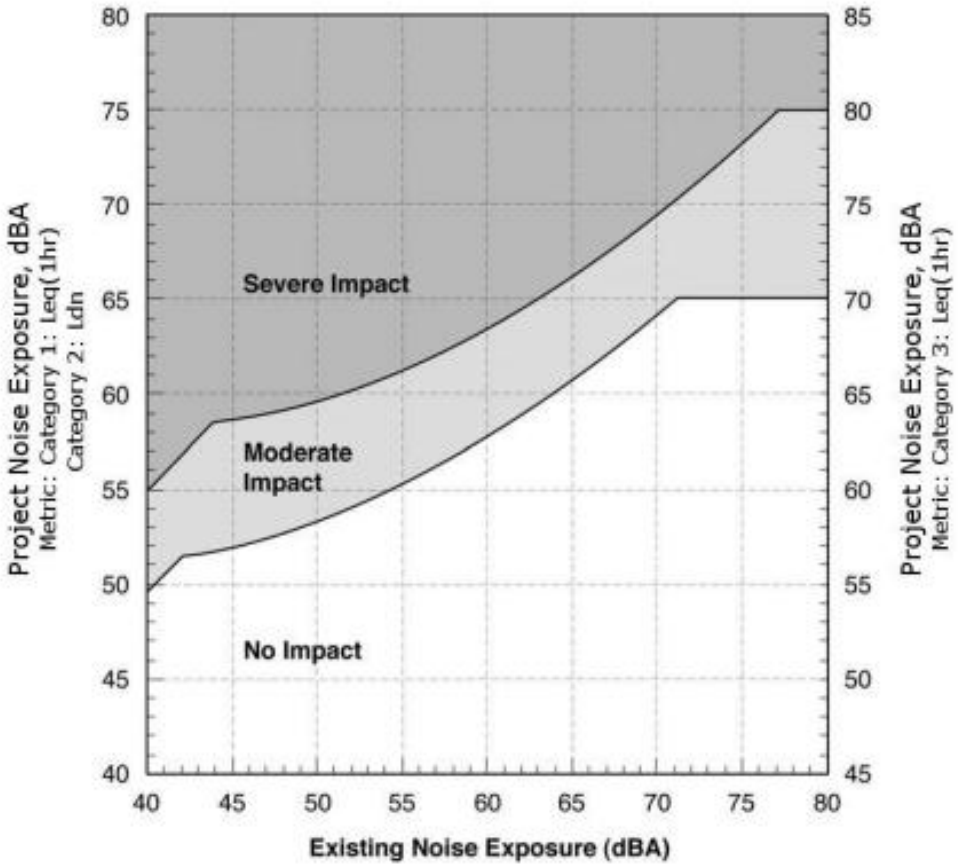
En evaluación acústica práctica, una diferencia de menos de 3 dBA respecto al fondo suele considerarse apenas perceptible; a partir de 5 dBA ya suele ser claramente perceptible (Figura 4-4 - FHWA, 2011).

En virtud de lo anterior se utilizó el siguiente criterio:

- si el ruido del trabajo en techo llega al receptor con un nivel igual o menor al ruido de fondo, o solo ~3 dB por encima, para un huésped promedio tiende a confundirse o perderse;

- si llega 5 dB o más por encima del fondo, ya es más probable que el huésped lo note con claridad.

Figura 4-4. Categorías de exposición al ruido con base en la exposición a ruido existente.



Fuente: FHWA (2011).

Considerando que la instalación del sistema fotovoltaico se realizará sobre techos de edificaciones existentes a una altura aproximada de 15 m, y que las fuentes sonoras asociadas corresponderán principalmente a herramientas portátiles, maniobras de montaje y actividades electromecánicas intermitentes, se estima que la percepción del ruido será predominantemente local. En los puntos peatonales de planta baja ubicados de manera inmediata al edificio intervenido, el ruido podría ser perceptible durante actividades específicas como barrenado, corte o esmerilado. No obstante, conforme aumenta la distancia y se interpone la propia volumetría de las edificaciones, el sonido tenderá a atenuarse y a mezclarse con el ruido de fondo característico del resort costero (oleaje, viento, operación hotelera y tránsito interno), por lo que en la mayor parte de las áreas verdes y circulaciones del conjunto su percepción sería débil, intermitente o no distinguible de manera clara. En virtud de lo anterior se realizó una estimación acústica de primer orden, útil cuando no se cuenta con una campaña de medición en sitio y para un enfoque de prevención.

4.9.1.1 Nivel de emisión de referencia

Se parte de un nivel sonoro de la fuente a una distancia conocida. En evaluación de ruido de construcción, es muy común usar niveles de referencia a 50 ft (15.2 m) para equipos y herramientas. La FTA usa precisamente ese enfoque en su manual de evaluación de ruido de construcción. Para el caso del PROYECTO, se propuso trabajar con un rango más realista para instalación fotovoltaica en techos:

- escenario base: 70–78 dBA a 15 m,
- escenario pico: 80–90 dBA a 15 m.

Eso no significa que todo el frente de trabajo emita eso de forma continua; solo que esos son valores razonables de referencia para distintos momentos de la instalación. Las guías de WSDT muestran que herramientas y actividades de construcción pueden ubicarse en rangos de ese orden a 50 ft.

Atenuación por distancia

Para una fuente puntual en campo libre, el nivel disminuye aproximadamente 6 dB por cada duplicación de la distancia. Eso equivale a usar la expresión:

$$L_r = L_{ref} - 20log_{10}\left(\frac{r}{r_{ref}}\right)$$

donde:

L_r= nivel sonoro en el receptor,

L_{ref}= nivel sonoro conocido a la distancia de referencia,

r= distancia real fuente–receptor,

r_{ref}= distancia de referencia.

Geometría real por altura del techo

Como la fuente está en techo a unos 15 m de altura, no se usa solo la distancia horizontal.

La distancia real es la distancia inclinada:

Como la fuente está en techo a unos **15 m de altura**, no se usa solo la distancia horizontal. La distancia real es la **distancia inclinada**:

$$r = \sqrt{x^2 + h^2}$$

donde:

- x= distancia horizontal del huésped al edificio,
- h= diferencia de altura entre fuente y receptor (aquí ~15 m).

Por ejemplo:

- a **20 m horizontales**,

$$r = \sqrt{20^2 + 15^2} = 25 \text{ m}$$

- a **40 m horizontales**,

$$r = \sqrt{40^2 + 15^2} = 42.7 \text{ m}$$

4.9.1.2 Corrección por apantallamiento/obstrucción

En caso particular del PROYECTO, no hay propagación libre perfecta porque la fuente de emisión del ruido está principalmente en cubierta de edificios, el receptor principal está en planta baja y la propia geometría del edificio, pretiles, parapetos y fachadas puede romper parcialmente la línea de propagación directa. Las guías FHWA reconocen que cuando se bloquea la línea de vista entre fuente y receptor, existe shielding o apantallamiento, lo cual reduce el nivel recibido. En una estimación preliminar, eso puede representarse como un término de corrección:

$$L_{r,corr} = L_{ref} - 20\log_{10}\left(\frac{r}{r_{ref}}\right) - A_{shield}$$

donde A_{shield} es una atenuación adicional por efecto del edificio. En una estimación preliminar, ese término suele tratarse como una suposición razonada, no como un valor exacto medido.

4.9.1.3 Comparación con el ruido de fondo

En este paso se estima no solo cuánto ruido llega del techo; hay que ver si ese aporte sobresale del ruido de fondo del resort. Para eso se usa la suma logarítmica de niveles:

$$L_{total} = 10\log_{10}\left(10^{L_b/10} + 10^{L_s/10}\right)$$

donde:

- L_b= ruido de fondo,
- L_s= aporte de la fuente en el receptor.

La FTA indica que los decibeles no se suman linealmente; se suman energéticamente, y además recuerda que duplicar fuentes idénticas solo aumenta 3 dB.

4.9.1.4 Criterio de perceptibilidad

Se toma:

$$\Delta = L_{total} - L_b$$

y se interpreta así:

- $\Delta < 3$**dB(A)**: cambio apenas perceptible o poco importante,
- $\Delta \approx 3$**dB(A)**: umbral de percepción promedio,
- $\Delta \geq 5$**dB(A)**: ya suele ser claramente perceptible.

Ese criterio aparece en guías de VDOT/FHWA.

Hay una consecuencia útil:

- si el ruido de la obra iguala al ruido de fondo en el receptor, el aumento total es de unos +3 dB;
- si el ruido de la obra está 5 dB por debajo del fondo, el aumento total es solo de ~+1.2 dB;
- si está 10 dB por debajo, el aumento total es ~+0.4 dB.

Es decir: para que “se pierda” en el fondo, basta con que el aporte de la obra llegue varios dB por debajo del fondo.

4.9.1.5 Proceso de cálculo

Supuestos

- fuente en techo: **75 dBA a 15 m**,
- altura del techo: **15 m**,
- huésped a **40 m horizontales**,
- ruido de fondo del resort: **52 dBA**,
- apantallamiento por edificio/pretil: **8 dB**.

1. Distancia real

$$r = \sqrt{40^2 + 15^2} = 42.7 \text{ m}$$

2. Atenuación por distancia

$$20\log_{10}(42.7/15) = 9.1 \text{ dB}$$

3. Nivel recibido antes de fondo

$$L_s = 75 - 9.1 - 8 = 57.9 \text{ dBA}$$

4. Suma con el fondo

$$L_{total} = 10\log_{10}(10^{52/10} + 10^{57.9/10}) \approx 59.3 \text{ dBA}$$

5. Incremento respecto al fondo

$$\Delta = 59.3 - 52 = 7.3 \text{ dB}$$

En ese ejemplo, sí sería perceptible con claridad.

4.9.2 Distancia a la que empieza a "perderse"

Despejando la distancia a la cual el aporte de la fuente queda igual al fondo:

$$L_b = L_{ref} - 20\log_{10}(r/r_{ref}) - A_{shield}$$

despejando:

$$r = r_{ref} \cdot 10^{(L_{ref} - A_{shield} - L_b)/20}$$

y luego:

$$x = \sqrt{r^2 - h^2}$$

donde $x$es la distancia horizontal.

- $L_{ref} = 75$dBA a 15 m,
- $A_{shield} = 8$dB,
- $L_b = 52$dBA.

Entonces:

$$r = 15 \cdot 10^{(75-8-52)/20} = 15 \cdot 10^{15/20} \approx 84.4 \text{ m}$$

Distancia horizontal:

$$x = \sqrt{84.4^2 - 15^2} \approx 83 \text{ m}$$

Bajo este escenario**,** alrededor de 80–85 m horizontales el aporte de la obra quedaría aproximadamente igual al fondo, es decir, cerca del umbral de perceptibilidad. Más allá de eso, tendería a mezclarse con el ambiente. En estas circunstancias el sonido generado por la instalación puede ser perceptible, identificable pero no necesariamente molesto.

La EPA identificó 55 dBA en exteriores como un nivel compatible con prevenir interferencia con actividades y molestia en ambientes comunitarios; y 45 dBA en interiores para actividades internas (EPA, 1974). Esto no es una norma específica para hoteles, pero sí da una referencia de confort muy útil. En áreas verdes y circulaciones exteriores de un resort:

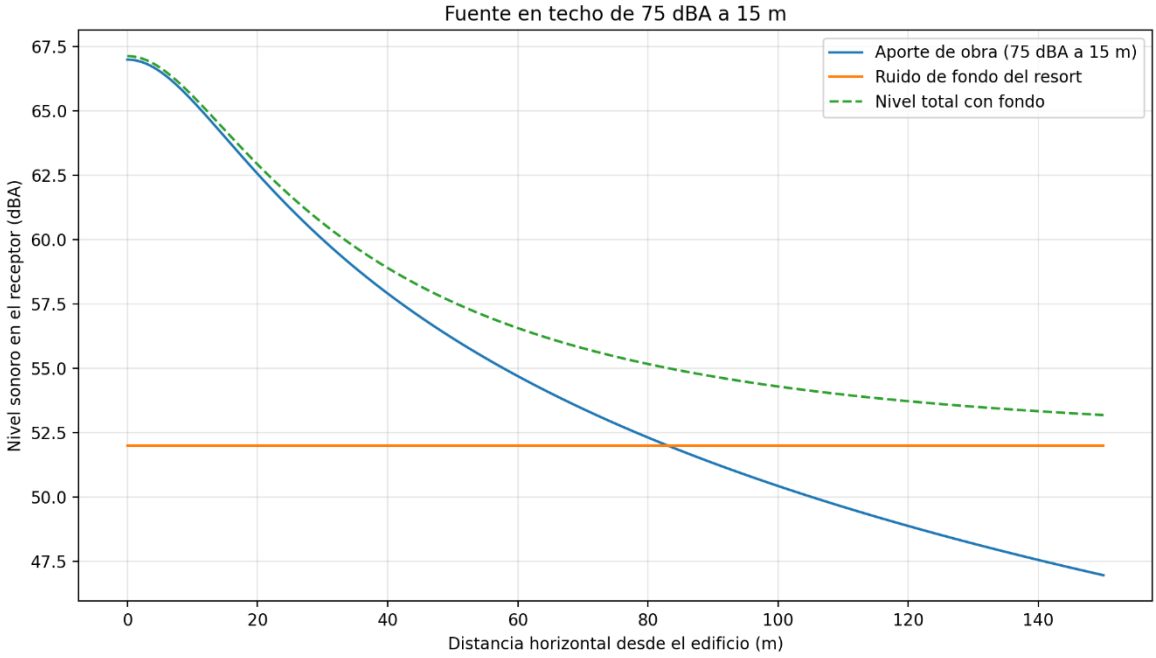
≤ 55 dBA total en el receptor: en general, el confort no debería alterarse de forma importante; el sonido puede existir, pero no necesariamente resultar molesto.

55–60 dBA: puede ser notorio, pero usualmente no será severamente molesto si es diurno, temporal e intermitente.

60–65 dBA o más: en un entorno de ocio/hospedaje, ya es más probable que el huésped lo perciba como intrusivo o molesto, sobre todo si hay corte metálico, esmerilado o barrenado repetitivo.

Los umbrales de dBA y la distancia de referencia fueron utilizados para determinar el límite del Area de Influencia Indirecta a partir de la relación señalada en la Figura 4-5.

Figura 4-5 Estimación de niveles sonores vs distancia.



Fuente: elaboración propia con base en la estimación de fuente de emisión de ruido.

4.9.3 Método para valoración del paisaje

El raster de factores ambientales se construyó como una superficie compuesta orientada a representar la **relevancia ambiental-ecológica relativa del entorno del PROYECTO**, a partir de la proximidad espacial a cuatro atributos seleccionados por su potencial importancia como receptores sensibles o como componentes ecológicos de interés dentro de la región ecológica.

Los atributos considerados fueron los siguientes:

1. **Distancia a cuerpos de agua (CA)**
2. **Distancia a manglar**

3. **Distancia a matorral costero-duna**
4. **Distancia a selva mediana subperennifolia con distribución potencial de especies protegidas.**

4.9.3.1 Construcción de superficies de distancia

Para cada uno de estos atributos se generó un raster de distancia, de tal forma que cada celda del área de análisis expresara su lejanía respecto del atributo ambiental correspondiente. La lógica de base fue que, a menor distancia de un componente ecológicamente relevante, mayor sería la **relevancia ambiental relativa** de esa celda dentro del modelo.

4.9.3.2 Transformación mediante función de pertenencia difusa

Posteriormente, cada raster de distancia fue transformado usando una función de pertenencia difusa tipo Fuzzy Small, cuya formulación en el archivo corresponde a:

$$F(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x}{m}\right)^{s}}$$

donde:

- x= distancia de cada celda al atributo analizado
- m= *midpoint* o punto medio
- s= *spread* o dispersión

Bajo esta función, los valores pequeños de distancia reciben valores altos de pertenencia, mientras que conforme la distancia aumenta, la pertenencia disminuye progresivamente. En términos ecológicos, esto significa que la cercanía a cada atributo ambiental se interpreta como una condición de mayor relevancia relativa dentro del análisis.

Parámetros usados por atributo

PARÁMETRO	Distancia cuerpos de agua	Distancia manglar	Distancia matorral costero	Distancia a SMQ
Escala	0 a 807 m	0 a 654 m	0 a 741 m	0 a 60 m
Spred	1	1	1	1
Midpoint	30 m	15 m	30 m	5 m

4.9.3.3 Normalización de cada criterio

Después de aplicar la función difusa, cada criterio fue normalizado nuevamente en una escala de 0 a 1 usando una transformación min-max. Esto permitió que todos los atributos

quedaran en una misma escala comparable antes de ser integrados en una sola superficie compuesta.

La normalización aplicada fue de la forma:

$$N_i = \frac{F_i - F_{min}}{F_{max} - F_{min}}$$

donde $N_i$es el valor normalizado de cada celda para el criterio correspondiente.

4.9.3.4 Definición de pesos

Los pesos de cada atributo no fueron asignados directamente de manera aislada, sino que se construyeron a partir de cuatro dimensiones temáticas con igual ponderación. Cada atributo fue calificado respecto de esas cuatro dimensiones y después se obtuvo un peso final integrado. Los pesos resultantes se muestran en la Tabla 4-26.

Figura 4-6. Ponderación de factores ambientales para EMC

ATRIBUTO	Fauna terrestre	Aves	Vegetación	Especies NOM	PESO
Distancia cuerpos de agua	0.25	0.46	0.05	0.18	0.235
Distancia manglar	0.25	0.28	0.44	0.35	0.330
Distancia matorral costero de duna	0.25	0.12	0.22	0.21	0.200
Distancia a SMQ	0.25	0.14	0.29	0.26	0.235

Fuente: Elaboración propia

4.9.3.5 Integración mediante suma lineal ponderada

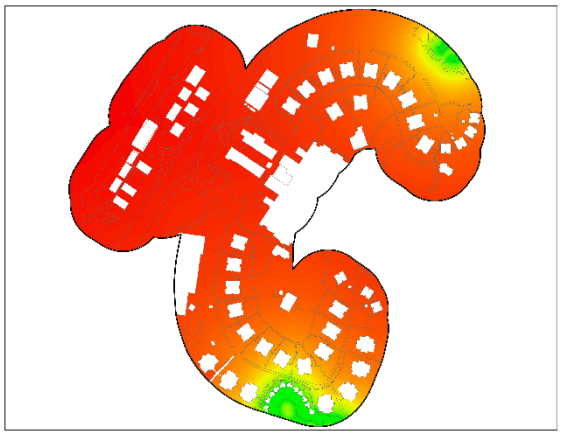
Finalmente, el raster de factores ambientales se obtuvo mediante una suma lineal ponderada de los tres criterios normalizados (Figura 4-7):

$$R_f = (0.235 \cdot CA_n) + (0.33 \cdot Manglar_n) + (0.2 \cdot Matorral_n) + (0.235 \cdot Selva_n)$$

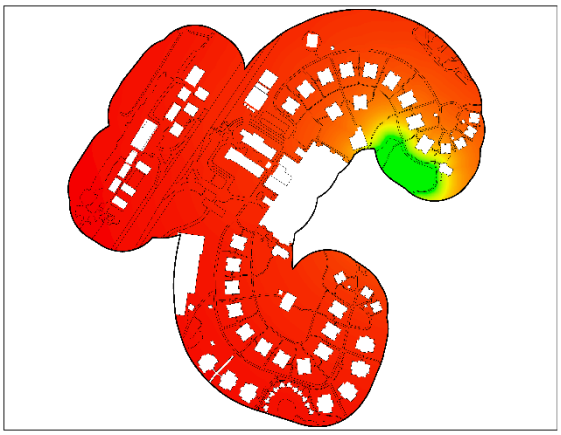
donde:

- R_f= raster final de factores ambientales
- CA_n= distancia normalizada a cuerpos de agua
- $Manglar_n$= distancia normalizada vegetación de manglar
- $Matorral_n$= distancia normalizada a matorral costero-duna
- $Selva_n$= distancia normalizada a selva mediana subperennifolia

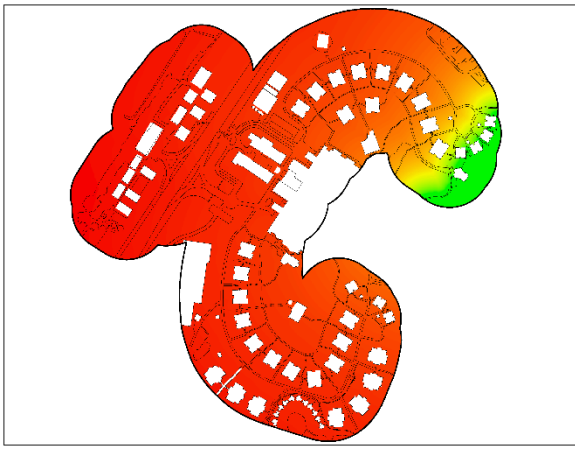
Figura 4-7. Factores ambientales ponderados.



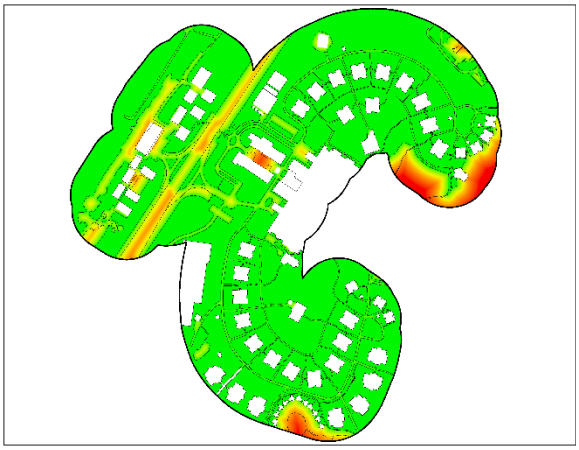
Distancia a cuerpos de agua (0-1)



Distancia a manglar (0-1)



Distancia matorral (0-1)



Distancia a selva (0-1)

Fuente: Elaboración propia con base en información proporcionada por el promovente.

En consecuencia, el raster final expresa una superficie continua de relevancia ambiental-ecológica relativa, en la que los valores altos corresponden a zonas más cercanas a los atributos seleccionados y, por tanto, a zonas consideradas más relevantes dentro del modelo.

4.9.4 Metodología para la evaluación de impactos ambientales

La valoración de los impactos ambientales se realizó con base en la metodología propuesta por Conesa Fernández (1997) y Gómez Orea (1999), la cual comprende tres etapas: identificación de las acciones del PROYECTO susceptibles de generar impactos, valoración de la importancia de dichos impactos sobre los factores ambientales receptores, y definición de medidas preventivas, correctivas y compensatorias.

Esta metodología se seleccionó por su capacidad para relacionar de manera sistemática las actividades del PROYECTO con los componentes del medio potencialmente afectados, así como por su aplicabilidad en cada una de las etapas del PROYECTO. Ello permite

evaluar la interacción recíproca entre EL PROYECTO y su entorno, considerando tanto la capacidad de acogida del medio como los efectos que la obra puede generar sobre éste.

En congruencia con el artículo 28 de la LGEEPA, la evaluación se orienta a identificar y valorar únicamente aquellas modificaciones atribuibles al PROYECTO que, por su magnitud o características, puedan generar desequilibrio ecológico, contingencia ambiental o daño ambiental significativo, a fin de establecer las medidas necesarias para prevenir, mitigar o compensar sus efectos.

4.9.4.1 Identificación de las acciones del proyecto que pueden causar impactos

De entre el conjunto de acciones que intervienen en la relación causa-efecto que define un impacto ambiental, y que pueden presentarse en cualquiera de las etapas del PROYECTO, es necesario seleccionar aquellas que resulten ambientalmente relevantes, así como mutuamente excluyentes o independientes, claramente identificables, espacialmente localizables y, en la medida de lo posible, cuantificables (Gómez Orea, 1999). Lo anterior obedece a que no todas las acciones asociadas a un PROYECTO tienen la misma capacidad de generar alteraciones significativas sobre el ambiente o los recursos naturales; algunas pueden carecer de relevancia desde el punto de vista ambiental, ya sea porque no producen modificaciones apreciables en el medio, porque sus efectos son de baja magnitud o bien porque pueden ser prevenidos, controlados o anulados mediante la aplicación oportuna de medidas de prevención o mitigación.

Por otra parte, para la identificación sistemática de las acciones del PROYECTO, Conesa-Fernández (1997) señala la necesidad de desagregar sus elementos de manera estructurada, considerando, entre otros, los siguientes tipos de acciones:

- acciones que modifican el uso del suelo;
- acciones que implican emisión de contaminantes;
- acciones derivadas del almacenamiento o manejo de residuos;
- acciones que implican sobreexplotación de recursos;
- acciones que implican subexplotación de recursos;
- acciones que actúan sobre el medio biótico;
- acciones que dan lugar al deterioro del paisaje;
- acciones que repercuten sobre las infraestructuras;
- acciones que modifican el entorno social, económico y cultural; y
- acciones derivadas del incumplimiento de la normatividad ambiental vigente

La identificación de estas acciones no debe limitarse a su simple enumeración, sino que debe permitir reconocer con claridad su naturaleza, ubicación y forma de interacción con los distintos componentes de la región ecológica. En este sentido, dichas acciones deben quedar definidas con el mayor grado de precisión posible, de modo que sus efectos puedan ser analizados posteriormente en función de atributos mínimos como su intensidad, extensión, persistencia, reversibilidad, recuperabilidad y momento de ocurrencia dentro del proceso.

Según Gómez Orea (1999), los criterios utilizados para seleccionar las acciones deben entenderse de la siguiente manera:

- **Relevantes,** en el sentido de que deben ajustarse a la realidad del PROYECTO y ser efectivamente capaces de desencadenar efectos notables;
- **Excluyentes o independientes**, para evitar solapamientos que puedan traducirse en duplicidades dentro de la valoración de impactos;
- **Fácilmente identificables**, es decir, susceptibles de una definición clara y de un reconocimiento preciso en planos, diagramas o descripciones del PROYECTO;
- **Localizables**, de forma que puedan atribuirse a un punto o zona concreta del espacio en el que se desarrollará la obra; y
- **Cuantificables**, en la medida de lo posible, mediante magnitudes físicas o descriptores objetivos que permitan precisar su alcance.

En este último caso, la cuantificación de las acciones debe procurar describirse con la mayor aproximación posible en términos de:

- **magnitud**, incluyendo superficie o volumen ocupados;
- **localización espacial**;
- **flujo**; y
- **momento en que se produce la acción**, así como el plazo temporal durante el cual opera.

4.9.4.2 Identificación de los factores ambientales del entorno susceptibles a recibir impactos

Los factores ambientales son los elementos y procesos del medio susceptibles de recibir impactos, y se agrupan, de manera general, en tres sistemas: medio físico, medio biótico y medio socioeconómico. Cada uno de ellos aporta componentes ambientales específicos que pueden ser afectados positiva o negativamente por las acciones del PROYECTO.

Gómez Orea (1999) y Conesa Fernández (1997) coinciden que para su análisis y consideración dichos componentes deben ser representativos, relevantes, excluyentes, identificables y, en la medida de lo posible, cuantificables. Y su valoración debe tomar en cuenta tanto la magnitud como la importancia ambiental de cada factor; o en su defecto recurrir a criterios cualitativos como rareza, naturalidad, diversidad, estabilidad, fragilidad, irreversibilidad, insustituibilidad e interés ecológico o sociocultural, entre otros.

No, obstante, no se llevó a cabo una valoración específica de factores ambientales, debido a que EL PROYECTO fotovoltaico se instalará sobre superficies previamente construidas dentro de un complejo GPRM en operación, por lo que no implica afectación directa sobre suelo natural, vegetación, hábitat o componentes ambientales primarios. En consecuencia, desde el punto de vista metodológico, no resulta imprescindible aplicar un esquema de ponderación de factores ambientales como el que normalmente se emplea en proyectos que transforman de manera directa el medio natural. Para el presente caso, se consideró más adecuado centrar la evaluación en la identificación y análisis de los impactos específicos y marginales asociados a las actividades de instalación, operación, mantenimiento y abandono del sistema, atendiendo a la escala real de interacción ambiental del PROYECTO.

4.9.4.3 Identificación, descripción y valoración de impactos potenciales

El estudio de impacto ambiental constituye una herramienta analítica y prospectiva orientada a identificar y anticipar las posibles interacciones entre las acciones del PROYECTO y los factores del medio. Por ello, antes de proceder a la valoración de impactos, es indispensable definir, describir y analizar los componentes ambientales relevantes y las acciones del PROYECTO con potencial de afectarlos, justificando su inclusión en el proceso de evaluación. Una vez integradas ambas dimensiones, se realiza su cruce mediante una matriz de impactos, con el fin de identificar las incidencias ambientales derivadas tanto de la ejecución como de la operación del PROYECTO y valorar su importancia. En cada celda de la matriz se expresa la importancia del impacto generado por una acción específica sobre un factor ambiental determinado. La importancia del impacto constituye el criterio mediante el cual se mide cualitativamente su significancia, considerando tanto la intensidad de la alteración como las características del efecto. Para ello, se toman en cuenta once atributos: naturaleza del efecto (±), intensidad (IN), extensión (EX), momento (MO), persistencia (PE), reversibilidad (RV), sinergia (SI), acumulación (AC) y periodicidad (PR) y recuperabilidad (MC). A partir de la valoración de estos criterios con forme a la siguiente expresión se obtiene la Importancia del Impacto (I).

$$I = \pm (3IN + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC)$$

La importancia del impacto se representa por un número que se deduce de dicha ecuación, en función del valor asignado a los símbolos considerados, según se muestra en la Tabla 4-26.

La importancia del impacto toma valores entre 13 y 100. En términos generales puede afirmarse que los valores inferiores a 25 son irrelevantes, entre 25 y 50 moderados, entre 50 y 75 severos y superiores a 75 deben considerarse críticos.

Siguiendo el método propuesto por Conesa Fernández (1997), en aquellas casillas de cruce que correspondan a los impactos más importantes, a los que se produzcan en lugares o momentos críticos y sean de imposible corrección y que darán lugar a las mayores puntuaciones en el recuadro relativo a la importancia, se le superpondrán las llamadas Alertas o Banderas Rojas, para llamar la atención sobre el efecto y buscar alternativas en el PROYECTO que eliminen la causa y la permuten por otra de efectos menos nocivos.

Si no es posible modificar la actividad o acción impactante, deben buscarse medidas correctivas, de mitigación o de compensación que anulen, palien o mitiguen los efectos negativos.

Tabla 4-26. Escala de valoración de la Importancia del Impacto.

NATURALEZA		INTENSIDAD (IN) (grado de destrucción/beneficio)	
- Impacto Beneficioso - Impacto Perjudicial	+ -	- Baja - Media - Alta - Muy Alta - Total	1 2 4 8 12
EXTENSIÓN (EX) (Área de influencia)		MOMENTO (MO) (Plazo de la manifestación)	
- Puntual - Parcial - Extenso - Total - Crítica	1 2 4 8 (+4)	- Largo Plazo - Medio Plazo - Inmediato - Crítico	1 2 4 (+4)
PERSISTENCIA (PE) (Permanencia del efecto)		REVERSIBILIDAD (RV)	
- Fugaz - Temporal - Permanente	1 2 4	- Corto Plazo - Medio Plazo - Irreversible	1 2 4
SINERGIA (SI) (Regularidad de la manifestación)		ACUMULACIÓN (AC) (Incremento progresivo)	
- Sin sinergismo - Sinérgico - Muy sinérgico	1 2 4	- Simple - Acumulativo	1 4
EFECTO (EF) (Relación causa-efecto)		PERIODICIDAD (PR) (Regularidad de la manifestación)	
- Directo - Indirecto	1 4	- irregular o aperiódico y discontinuo - Periódico - Continuo	1 2 4
RECUPERABILIDAD (MC) (Reconstrucción por medios humanos)		IMPORTANCIA (I)	
- Recuperable de manera inmediata - Recuperable a medio plazo - Mitigable - Irrecuperable	1 2 4 8	I = ± (3IN + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC)	

A fin de clarificar el significado de las características expresadas y sus valores, se describe a continuación cada una de ellas.

Signo. El signo hace referencia al carácter benéfico (+) o perjudicial (-) de las distintas acciones que van a actuar sobre los factores considerados. Sin embargo, en ocasiones no es fácil predecir el efecto por lo que se puede incluir un tercer valor (x), que refleja efectos cambiantes difíciles de predecir.

Intensidad. Se refiere al grado de incidencia de la acción sobre el factor, en el ámbito específico en que actúa. La escala de valoración está comprendida entre 1 y 12, en el que 12 expresa una destrucción total del factor en el área en la que se produce el efecto, y 1 indica una afectación mínima.

Extensión. Se refiere al área de influencia teórica del impacto en relación con el entorno del PROYECTO, es decir, el porcentaje de área respecto al entorno en que se manifiesta el efecto. Esta característica se valora con escala entre 1 y 8 en la que 1 representa un efecto muy localizado o puntual y 8 representa una ubicación de influencia generalizada en todo el entorno del PROYECTO. Esta característica introduce un valor adicional que aplica si el impacto se produce en un lugar crítico. En este caso se deben sumar cuatro unidades al número que resultó de la valoración del porcentaje de extensión en que se manifiesta. Cuando éste es el caso, y además se trata de un impacto peligroso para el cual no es posible introducir medidas correctoras, deberá buscarse otra alternativa a la actividad.

Momento. El plazo de manifestación del impacto alude al tiempo que transcurre entre la aparición de la acción y el comienzo del efecto sobre el factor del medio considerado. Cuando el tiempo transcurrido sea nulo, el momento será inmediato, y si es inferior a un año, corto plazo, asignándole en ambos casos un valor de 4. Si el período de tiempo va de 1 a 5 años, medio plazo, se asigna el valor 2 y si el efecto tarda en manifestarse más de 5 años se califica con 1, largo plazo. Si ocurriese alguna circunstancia que hiciese crítico el momento del impacto, cabría atribuirle un valor de 1 a 4 unidades que se suman al valor obtenido previamente, según su momento de acción.

Persistencia. Se refiere al tiempo que, supuestamente, permanecería el efecto desde su aparición y, a partir del cual el factor afectado retornaría a las condiciones iniciales previas a la acción por medios naturales o mediante la introducción de medidas correctoras. Si la persistencia del efecto tiene lugar durante menos de 1 año, consideramos que la acción produce un efecto fugaz, asignándole un valor de 1. Si dura entre 1 y 10 años, se califica como temporal (2) y si el efecto tiene una duración superior a 10 años, se considera permanente y debe calificarse con un valor de 4.

Reversibilidad. Se refiere a la posibilidad de reconstrucción del factor afectado por EL PROYECTO, es decir, la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la acción, por medios naturales, una vez aquella deja de actuar sobre el medio. Siguiendo los intervalos de tiempo expresados para la característica previa, al corto plazo, se le asigna un valor de 1, si es a medio plazo 2 y si el efecto es irreversible 4.

Recuperabilidad. Se refiere a la posibilidad de reconstrucción, total o parcial, del factor afectado como consecuencia del PROYECTO, es decir, la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la actuación, por medio de la intervención humana. Si el efecto es totalmente recuperable se le asigna un valor de 1 o 2, según lo sea de manera inmediata o a medio plazo, si lo es parcialmente, el efecto es mitigable, y toma un valor de 4, que se resta al valor de importancia total. Cuando el efecto es irrecuperable se le asigna el valor de 8. Si el efecto es irrecuperable, pero existe la posibilidad de aplicar medidas compensatorias, entonces el valor que se adopta es 4.

Sinergia. Este atributo contempla el reforzamiento de dos o más efectos simples. La componente total de la manifestación de los efectos simples, provocados por acciones que actúan simultáneamente, es superior a la que cabría esperar de la manifestación de efectos cuando las acciones que las provocan actúan de manera independiente no simultánea. Cuando una acción actuando sobre un factor, no es sinérgica con otras acciones que actúan sobre el mismo factor, el atributo toma valor 1, si se presenta un sinergismo moderado 2 y si es altamente sinérgico 4.

Acumulación. Este atributo da idea del incremento progresivo de la manifestación del efecto, cuando persiste de forma continuada o reiterada la acción que lo genera. Cuando

una acción no produce efectos acumulativos, el efecto se valora como 1 y si el efecto es acumulativo se califica con 4.

Efecto. Este atributo se refiere a la relación causa-efecto, o sea a la forma de manifestación del efecto sobre un factor, como consecuencia de una acción. El efecto puede ser directo o primario, siendo en este caso la repercusión de la acción a consecuencia directa de ésta y se califica con el valor 4. En el caso de que el efecto sea indirecto o secundario, su manifestación no es consecuencia directa de la acción, sino que tiene lugar a partir de un efecto primario, actuando éste como una acción de segundo orden. En este caso se califica con 1.

Periodicidad. Se refiere a la regularidad de manifestación del efecto, bien sea de manera cíclica o recurrente (efecto periódico), de forma impredecible en el tiempo (efecto irregular), o constante en el tiempo (efecto continuo). A los efectos continuos se les asigna un valor de 4, a los periódicos 2 y a los de aparición irregular y a los discontinuos con 1.

Recuperabilidad. Se refiere a la posibilidad de reconstrucción, total o parcial, del factor afectado como consecuencia del PROYECTO, es decir, la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la actuación, por medio de la intervención humana (introducción de medidas correctoras).

4.9.5 Metodología de evaluación espacial multicriterio para la identificación de zonas críticas del proyecto

4.9.5.1 Enfoque Metodológico General

Para la identificación de zonas críticas con base en los impactos ambientales derivados de la instalación del PROYECTO fotovoltaico, se implementó un modelo de Evaluación Multicriterio Espacial (EMCE) en un entorno de Sistemas de Información Geográfica (SIG). La EMCE es un marco analítico estructurado que permite integrar datos espaciales de diversa naturaleza (ecológica, técnica y operativa) para resolver problemas de decisión complejos (Malczewski, GIS and Multicriteria Decision Analysis, 1999).

El modelo se estructuró bajo el paradigma del álgebra de mapas y se dividió en dos submodelos principales que, al interactuar, determinan la criticidad del territorio:

1. **Submodelo de (Incidencia Espacial de Impactos):** Representa la intensidad de la presión generada por las actividades del PROYECTO (distancia a cubiertas, almacén temporal, accesos y paneles).

2. **Submodelo de relevancia del paisaje (Sensibilidad de Factores Ambientales):** Representa la susceptibilidad del medio natural ante perturbaciones, considerando la relevancia ecológica de los ecosistemas adyacentes (cuerpos de agua, vegetación de manglar, selva mediana subperennifolia y matorral costero-duna.

4.9.5.2 Estandarización de Variables: Aplicación de Lógica Difusa (Fuzzy Logic)

Dado que los fenómenos ambientales y las presiones antrópicas no se delimitan mediante fronteras espaciales abruptas (Booleanas), se aplicó la Teoría de Conjuntos Difusos (Zadeh, 1965) para estandarizar las distancias de cada variable en una escala continua de 0 a 1.

Este enfoque asume que la magnitud del impacto o la vulnerabilidad ecológica decae gradualmente a medida que aumenta la distancia desde la fuente de presión o el elemento ecológico, respectivamente (Eastman, 1999). Para ello, se aplicó una función de pertenencia decreciente (tipo *Fuzzy Small*), cuya formulación matemática establece que los valores más pequeños de distancia (mayor proximidad) poseen un grado de pertenencia cercano a 1 (máxima amenaza/vulnerabilidad), decreciendo asintóticamente conforme la distancia se incrementa, hasta llegar a 0.

La estandarización difusa elimina el sesgo de la subjetividad en la definición de zonas de amortiguamiento (buffers) rígidas, permitiendo una transición suave que refleja con mayor precisión la dinámica de los ecotonos y la dispersión de impactos como ruido, polvo y tránsito humano (Geneletti, 2002).

4.9.5.3 Ponderación de Criterios (Asignación de Pesos)

Los factores dentro de cada submodelo no contribuyen de manera equitativa a la vulnerabilidad o a la amenaza total. Para reflejar la importancia relativa de cada variable espacial, se asignaron pesos de atributos mediante técnicas de toma de decisiones multicriterio, respaldados por la evaluación de matrices de comparación por pares y coeficientes de inconsistencia, un proceso derivado del Proceso de Jerarquía Analítica (AHP, por sus siglas en inglés) (Saaty, 1980).

- **Para el submodelo de Impactos:** Se otorgó mayor peso a aquellas infraestructuras o actividades que, por su naturaleza, duración o magnitud, representan una mayor presión continua sobre el entorno, evaluando criterios como la duración de la afectación temporal y la perturbación a fauna terrestre y avifauna.
- **Para el submodelo de Factores Ambientales:** Se priorizó la distancia a asociaciones vegetales con especies de alto valor de conservación o listadas en normativas (e.g., *Thrinax radiata*), así como la proximidad a cuerpos de agua, por su papel como áreas de recarga y corredores biológicos.

4.9.5.4 Agregación Espacial: Suma Lineal Ponderada (WLC)

La integración de las variables estandarizadas difusas con sus respectivos pesos se realizó mediante el método de Suma Lineal Ponderada (Weighted Linear Combination - WLC) (Malczewski, 2000). Esta técnica de agregación aditiva permite que los criterios se compensen entre sí bajo un esquema de superposición cartográfica. La ecuación fundamental aplicada píxel por píxel en el entorno raster fue:

La suma lineal ponderada aplicada en ambos bloques puede expresarse como:

$$I_A = \sum_{i=1}^{n} w_i \cdot a_i$$

$$I_V = \sum_{j=1}^{m} w_j \cdot v_j$$

donde $I_A$es el índice de incidencia espacial potencial de las actividades del PROYECTO, $a_i$son las capas de incidencia normalizadas y $w_i$sus pesos; mientras que $I_V$es el índice de relevancia ambiental, $v_j$son las capas ambientales normalizadas y $w_j$sus pesos respectivos.

Este proceso generó dos mapas sintéticos continuos: un **Mapa de Amenaza por Impactos** y un **Mapa de Vulnerabilidad Ambiental**.

4.9.5.5 Integración del Modelo de Zonas Críticas

Para la obtención del mapa final que rige la toma de decisiones en la MIA, se adoptó el enfoque clásico de la evaluación de riesgos espaciales, donde el Riesgo (o Nivel Crítico) se define como una función de la amenaza multiplicada por la vulnerabilidad (Crichton, 1999).

Previo a su integración, los mapas resultantes de la WLC fueron sometidos a una segunda normalización (escalado Min-Max [0,1]) para garantizar la comparabilidad de las magnitudes. Posteriormente, se ejecutó una multiplicación matricial (Raster Math) entre ambos:

Una vez obtenidos y normalizados ambos índices, la combinación final por multiplicación puede representarse como:

$$C = I_A^* \times I_V^*$$

donde Ces el índice de criticidad espacial, I_A^*el índice normalizado de incidencia del PROYECTO y I_V^*el índice normalizado de vulnerabilidad ambiental.

Este modelo multiplicativo asegura que las **Zonas Críticas** más altas del PROYECTO se localizan exclusivamente en aquellas áreas donde convergen de manera sinérgica una alta presión de las obras (alta amenaza) y una alta susceptibilidad ecológica (alta vulnerabilidad). Si un área presenta alta amenaza, pero nula vulnerabilidad ambiental, el valor resultante se atenúa, lo que permite enfocar las medidas de mitigación de forma precisa y costo-efectiva.

4.9.6 Metodología cuantitativa para el pronóstico ambiental

Con el propósito de reducir la subjetividad inherente a los enfoques exclusivamente cualitativos, el pronóstico ambiental del PROYECTO se desarrolló mediante una **metodología cuantitativa híbrida**, basada en indicadores ambientales, funciones de normalización, ponderación explícita de variables y comparación de escenarios.

La metodología propuesta se diseñó específicamente para un proyecto de instalación de sistema fotovoltaico sobre infraestructura hotelera existente, por lo que el análisis se centra en la **variación incremental atribuible al sistema fotovoltaico**, y no en los efectos históricos o integrales del desarrollo turístico ya autorizado y en operación. En consecuencia, el pronóstico se enfoca en aquellos componentes del medio que pueden experimentar cambios efectivamente atribuibles al proyecto, principalmente: ambiente sonoro, residuos, consumo de agua para limpieza, interferencia operativa, integridad de la infraestructura existente, desempeño energético y reducción indirecta de emisiones de gases de efecto invernadero. Esta selección también es congruente con la literatura técnica sobre evaluación ambiental de sistemas fotovoltaicos, la cual da especial relevancia a los indicadores de energía generada, emisiones de GEI, demanda energética acumulada y tiempos de recuperación energética o de carbono.

4.9.6.1 Estructura general del método

La metodología se integró a partir de cuatro etapas sucesivas:

1. **Definición de indicadores ambientales cuantificables**, diferenciando entre indicadores de carga ambiental, de desempeño operativo y de beneficio ambiental.
2. **Normalización de los indicadores** en una escala común adimensional, con el fin de hacer comparables variables expresadas en distintas unidades.
3. **Ponderación de los indicadores**, asignando pesos relativos de acuerdo con su relevancia para la naturaleza del PROYECTO.
4. **Comparación de escenarios ambientales**, mediante el cálculo de índices sintéticos que permiten estimar el comportamiento esperado del sistema bajo distintas condiciones de implementación.

4.9.6.2 Escenarios evaluados

El pronóstico ambiental se formuló con base en tres escenarios comparativos:

Escenario 1. Sin proyecto. Corresponde a la permanencia de las condiciones actuales del inmueble, sin instalación del sistema fotovoltaico, por lo que no existirían cargas ambientales adicionales atribuibles al proyecto, pero tampoco beneficios en términos de generación solar o reducción indirecta de emisiones.

Escenario 2. Con proyecto sin medidas. Considera la instalación, operación y abandono del sistema fotovoltaico sin la aplicación de medidas de prevención, mitigación y manejo, permitiendo estimar la magnitud potencial de las cargas ambientales y de los beneficios del sistema en ausencia de control.

Escenario 3. Con proyecto con medidas. Considera la implementación integral de las medidas de prevención, mitigación, seguridad, manejo y seguimiento propuestas en la presente manifestación, a fin de estimar el comportamiento ambiental esperable bajo condiciones adecuadas de ejecución del PROYECTO.

La comparación de estos tres escenarios permite identificar no sólo la magnitud de los impactos esperados, sino también la eficacia relativa de las medidas de manejo ambiental propuestas.

4.9.6.3 Sistema de indicadores

Para la aplicación del método se definieron tres grupos de indicadores:

a) Indicadores de carga ambiental

Expresan las presiones o afectaciones potenciales generadas por EL PROYECTO. Para el presente caso se consideran, entre otros:

- Nivel máximo de ruido durante actividades de preparación del sitio e instalación, en dB(A).
- Duración diaria de actividades ruidosas, en horas/día.
- Cantidad de residuos sólidos no peligrosos generados, en kg por etapa.
- Cantidad de residuos de manejo especial generados, en kg por etapa.
- Consumo de agua para limpieza de paneles, en L/año.
- Número de incidencias o afectaciones puntuales a cubiertas e instalaciones.
- Número de viajes o maniobras logísticas de suministro y retiro de materiales.
- Número de incidentes o casi-incidentes de seguridad.

b) Indicadores de desempeño ambiental y operativo

Expresan la eficiencia del PROYECTO y del manejo ambiental asociado. Se consideran, entre otros:

- Porcentaje de residuos segregados y entregados correctamente.
- Disponibilidad operativa del sistema fotovoltaico, en %.
- Cumplimiento del programa de mantenimiento, en %.
- Porcentaje de componentes retirados con trazabilidad documental en la etapa de abandono.

c) Indicadores de beneficio ambiental

Expresan los efectos positivos atribuibles al funcionamiento del sistema. Se consideran, entre otros:

- Energía eléctrica generada por el sistema, en kWh/año.

- Porcentaje de demanda eléctrica del inmueble cubierta por el sistema.
- Reducción indirecta de emisiones de GEI, en tCO_2e/año.
- Aprovechamiento de superficie previamente construida, expresado en m² o en porcentaje de cubierta útil ocupada sin expansión territorial.

La selección de indicadores energéticos y climáticos se sustenta en lineamientos metodológicos internacionales para evaluación de sistemas fotovoltaicos, los cuales recomiendan métricas como emisiones de GEI, demanda acumulada de energía, energy payback time y carbon payback time como variables clave del desempeño ambiental de estos sistemas.

4.9.6.4 Normalización de indicadores

Dado que los indicadores se expresan en diferentes unidades, se realizó su transformación a una escala adimensional entre 0 y 1, donde 0 representa la condición más favorable y 1 la condición más desfavorable para los indicadores adversos; en cambio, para los indicadores benéficos, 0 representa ausencia de beneficio y 1 el cumplimiento del valor objetivo esperado.

a) Indicadores adversos

Para los indicadores de carga ambiental se empleó la siguiente función de normalización:

$$N_i = \frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}}$$

Donde:

- N_i= valor normalizado del indicador i
- X_i= valor estimado del indicador en el escenario analizado
- X_{min}= valor mínimo o condición deseable
- X_{max}= valor máximo aceptable o condición de referencia desfavorable

En esta formulación, un valor cercano a 0 indica baja carga ambiental, mientras que un valor cercano a 1 indica una condición de mayor presión o afectación.

b) Indicadores benéficos

Para los indicadores de beneficio ambiental se aplicó la siguiente función:

$$N_i = \frac{X_i - X_{min}}{X_{obj} - X_{min}}$$

Donde:

- X_{obj}= valor objetivo o meta técnica esperada del indicador

En este caso, valores cercanos a 1 indican un mayor desempeño o beneficio ambiental del PROYECTO.

Este tipo de transformación responde a la lógica de los métodos cuantitativos de evaluación por indicadores, al permitir comparar variables heterogéneas en una base común y hacer explícita la relación entre el valor observado y un umbral técnico o meta de desempeño.

4.9.6.5 Ponderación de indicadores

Una vez normalizados, los indicadores fueron ponderados conforme a su importancia relativa para este tipo de proyecto. Dado que se trata de un sistema fotovoltaico instalado sobre superficies previamente intervenidas, sin remoción de vegetación ni ocupación adicional de áreas naturales, se otorgó mayor peso a los beneficios energéticos y climáticos de la fase de operación que a las afectaciones temporales de la fase constructiva.

La estructura de ponderación propuesta es la siguiente:

- **Carga ambiental temporal de obra:** 0.25
- **Desempeño ambiental y manejo operativo:** 0.25
- **Beneficio energético y climático:** 0.40
- **Manejo al final de vida y trazabilidad de residuos:** 0.10

La asignación de estos pesos responde al hecho de que, en proyectos fotovoltaicos sobre cubierta, los impactos adversos de la instalación suelen ser temporales y localizados, mientras que los beneficios de generación de energía y reducción de emisiones se mantienen durante gran parte de la vida útil del sistema. Esta lógica coincide con el enfoque de ciclo de vida usado en la evaluación técnica de sistemas fotovoltaicos.

4.9.6.6 Cálculo de índices sintéticos

Con el fin de facilitar la comparación entre escenarios, se calcularon tres índices integradores.

a) Índice de Carga Ambiental del Proyecto (ICAP)

El ICAP expresa la magnitud agregada de las cargas ambientales atribuibles al proyecto:

$$ICAP = \sum(w_i \cdot N_i)$$

Donde:

- w_i= peso relativo del indicador adverso i
- N_i= valor normalizado del indicador adverso i

Su interpretación es la siguiente:

- 0.00 a 0.25 = carga baja
- 0.26 a 0.50 = carga media-baja

- 0.51 a 0.75 = carga media-alta
- 0.76 a 1.00 = carga alta

b) Índice de Beneficio Ambiental del Proyecto (IBAP)

El IBAP expresa el nivel agregado de beneficios ambientales esperados:

$$IBAP = \sum(w_j \cdot N_j)$$

Donde:

- w_j= peso relativo del indicador benéfico j
- N_j= valor normalizado del indicador benéfico j

Su interpretación es la siguiente:

- 0.00 a 0.25 = beneficio bajo
- 0.26 a 0.50 = beneficio moderado
- 0.51 a 0.75 = beneficio alto
- 0.76 a 1.00 = beneficio muy alto

c) Índice Neto de Desempeño Ambiental (INDA)

Finalmente, el balance global del escenario se obtuvo mediante:

$$INDA = IBAP - ICAP$$

Su interpretación es la siguiente:

- $INDA < 0$= balance ambiental desfavorable
- $0.00 \leq INDA < 0.20$= balance favorable bajo
- $0.20 \leq INDA < 0.50$= balance favorable moderado
- $INDA \geq 0.50$= balance favorable alto

Este índice permite identificar de forma directa si el beneficio agregado del PROYECTO supera o no a la carga ambiental incremental asociada a su ejecución.

4.9.6.7 Cálculo del beneficio climático

Dentro de los indicadores de beneficio, uno de los más relevantes es la reducción indirecta de emisiones de gases de efecto invernadero. Ésta se estimó a partir de la energía eléctrica anual generada por el sistema fotovoltaico y del factor de emisión de la electricidad desplazada, conforme a la expresión:

$$GEI_{evitadas} = E_{FV} \times FE_{red}$$

Donde:

- $GEI_{evitadas}$= emisiones indirectamente evitadas, en tCO_2e/año
- E_{FV}= energía anual generada por el sistema fotovoltaico, en kWh/año
- FE_{red}= factor de emisión de la electricidad desplazada

La literatura metodológica sobre sistemas fotovoltaicos reconoce a las emisiones de GEI y a los indicadores energéticos como métricas centrales para la evaluación del desempeño ambiental de estos sistemas.

4.9.6.8 Umbrales de alerta e inadmisibles

Con el fin de fortalecer la objetividad del pronóstico y facilitar el posterior seguimiento ambiental, para cada indicador se definieron, cuando resulte procedente, tres niveles de referencia:

- **Valor base o línea de referencia**
- **Umbral de alerta**
- **Umbral inadmisible**

El umbral de alerta corresponde al valor a partir del cual se requiere aplicar medidas correctivas o reforzar las existentes, mientras que el umbral inadmisible representa un nivel de alteración o incumplimiento no aceptable. La inclusión de estos elementos es consistente con manifestaciones de impacto ambiental en las que el seguimiento se apoya en indicadores, umbrales y calendarios de comprobación.

La aplicación operativa de la metodología se sintetiza en la siguiente estructura:

Indicador	Unidad	Tipo	Sin proyecto	Con proyecto sin medidas	Con proyecto con medidas	Valor normalizado	Peso
Ruido máximo en instalación	dB(A)	Adverso	0	X	X	0–1	0.08
Residuos de instalación	kg	Adverso	0	X	X	0–1	0.08
% de residuos gestionados correctamente	%	Benéfico	0	X	X	0–1	0.07
Agua para limpieza	L/año	Adverso	0	X	X	0–1	0.05
Energía generada	kWh/año	Benéfico	0	X	X	0–1	0.20
Emisiones evitadas	tCO_2e/año	Benéfico	0	X	X	0–1	0.20

Indicador	Unidad	Tipo	Sin proyecto	Con proyecto sin medidas	Con proyecto con medidas	Valor normalizado	Peso
Disponibilidad del sistema	%	Benéfico	0	X	X	0–1	0.10
Trazabilidad de disposición final	%	Benéfico	0	X	X	0–1	0.07

A partir de esta tabla se calculan los valores de **ICAP**, **IBAP** e **INDA** para cada escenario, permitiendo una comparación objetiva del comportamiento ambiental esperado del PROYECTO.

4.9.6.9 Criterio de interpretación

Con base en el cálculo de los índices mencionados, el escenario ambientalmente más favorable será aquel que simultáneamente:

- presente el **menor valor de ICAP**,
- registre el **mayor valor de IBAP**, y
- arroje el **mayor valor positivo de INDA**.

En términos metodológicos, esta lógica permite sustentar el pronóstico ambiental no sólo mediante apreciaciones cualitativas, sino a partir de una comparación cuantificada entre escenarios.