# RESUMEN EJECUTIVO

## MANIFESTACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL MODALIDA REGIONAL DEL PROYECTO “PLANTA SOLAR FOTOVOLTAICA BALAM SOLAR”

**MAYO 2026**

El presente capítulo fue integrado conforme a la estructura y contenido recomendado en la “Guía para la elaboración de la Manifestación del Impacto Ambiental Modalidad Regional”, publicada por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales[I]

## ÍNDICE DE CONTENIDO


**I RESUMEN EJECUTIVO "PLANTA SOLAR FOTOVOLTAICA BALAM SOLAR" ..... I-1**

**I.1 Introducción ..... I-1**

**I.2 Datos generales, promovente y ubicación del proyecto ..... I-1**

**I.3 Naturaleza, justificación y características técnicas de BALAM SOLAR ..... I-3**

**I.4 Superficies, componentes y programa de trabajo ..... I-4**

I.4.1 Componentes técnicos principales ..... I-6

I.4.2 Programa de trabajo y personal ..... I-7

I.4.3 Actividades por etapa y consideraciones ambientales ..... I-8

I.4.4 Residuos, emisiones y cierre ..... I-8

**I.5 Contexto normativo y territorial aplicable ..... I-9**

**I.6 Sistema ambiental regional y línea base ambiental ..... I-9**

I.6.1 Medio abiótico ..... I-10

**I.7 Medio biótico, vegetación, fauna y paisaje ..... I-11**

I.7.1 Fauna potencial y sensibilidad por grupo ..... I-13

I.7.2 Paisaje ..... I-14

**I.8 Identificación y valoración de impactos ambientales ..... I-14**

I.8.1 Impactos por factor ambiental ..... I-15

I.8.2 Impactos residuales, acumulativos y sinérgicos ..... I-16

**I.9 Medidas, estrategias y programas ambientales ..... I-17**

I.9.1 Programas de Plan de Vigilancia Ambiental ..... I-18

**I.10 Pronóstico ambiental, alternativas y viabilidad regional ..... I-19**

**I.11 Condiciones relevantes de manejo ambiental ..... I-20**

**I.12 Conclusión ejecutiva integrada ..... I-21**


## ÍNDICE DE TABLAS


Tabla 1 Síntesis ejecutiva del proyecto ..... I-1
Tabla 2 Datos generales y ubicación del proyecto ..... I-2
Tabla 3 Superficies temporales y permanentes por componente del proyecto ..... I-4
Tabla 4 Relación de superficies del proyecto respecto al Sistema Ambiental Regional ..... I-5
Tabla 5 Componentes técnicos principales de la PSFv Balam Solar ..... I-6
Tabla 6 Programa general de trabajo del proyecto ..... I-7
Tabla 7 Condiciones relevantes del medio abiótico en el SAR ..... I-10
Tabla 8 Síntesis de fauna potencial por grupo taxonómico ..... I-13
Tabla 9 Impactos ambientales negativos evaluados y categoría de importancia ..... I-14
Tabla 10 Impactos ambientales residuales identificados ..... I-16

Tabla 11 Estrategias ambientales de prevención, mitigación y control ..... I-17
Tabla 12 Programas del Plan de Vigilancia Ambiental..... I-18
Tabla 13 Pronóstico ambiental por escenario de evaluación..... I-19

**ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1 Ubicación regional y local de la Planta Solar Fotovoltaica Balam Solar ..... I-2
Figura 2 Área del proyecto y distribución general de componentes de la PSFv Balam Solar ..... I-5
Figura 3 Ubicación local de la subestación elevadora, BESS e infraestructura de evacuación..... I-6
Figura 4 Sistema Ambiental Regional y ubicación del área del proyecto..... I-10
Figura 5 Uso de suelo y vegetación en el SAR y área del proyecto ..... I-12

# I RESUMEN EJECUTIVO “PLANTA SOLAR FOTOVOLTAICA BALAM SOLAR”

## I.1 INTRODUCCIÓN

La Manifestación de Impacto Ambiental en modalidad Regional integra la descripción técnica del proyecto, la caracterización del Sistema Ambiental Regional, la vinculación con el marco jurídico aplicable, la identificación y valoración de impactos ambientales, así como las medidas de prevención, mitigación, restauración, compensación y seguimiento ambiental necesarias para su ejecución.

El proyecto Planta Solar Fotovoltaica Balam Solar corresponde a una central de generación eléctrica mediante tecnología solar fotovoltaica, integrada con infraestructura de almacenamiento por baterías, transformación, maniobra e interconexión al Sistema Eléctrico Nacional. Su desarrollo se plantea en el municipio de Bacalar, Quintana Roo, dentro de terrenos del Ejido Manuel Ávila Camacho, en un entorno regional donde coexisten vegetación natural, vegetación secundaria, usos agropecuarios, caminos rurales e infraestructura eléctrica existente.

**Tabla 1 Síntesis ejecutiva del proyecto**

| Dato | Síntesis ejecutiva |
|---|---|
| Proyecto | Planta Solar Fotovoltaica Balam Solar (PSFv Balam Solar / BALAM SOLAR). |
| Promovente | BALAM SOLAR, S. de R.L. de C.V. |
| Ubicación | Ejido Manuel Ávila Camacho, municipio de Bacalar, Quintana Roo. |
| Tipo de obra | Central de generación eléctrica mediante tecnología solar fotovoltaica, sistema de almacenamiento por baterías e infraestructura de transformación, maniobra e interconexión en 230 kV. |
| Capacidad | 202.2 MWac; 235.21 MWdc; BESS de 60 MW / 240 MWh. |

## I.2 DATOS GENERALES, PROMOVENTE Y UBICACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto se denomina Planta Solar Fotovoltaica Balam Solar, en adelante PSFv Balam Solar o BALAM SOLAR. Corresponde a una obra del sector eléctrico, subsector energía solar fotovoltaica, orientada a la generación de energía eléctrica mediante aprovechamiento de radiación solar, con apoyo de un sistema de almacenamiento de energía por baterías y con infraestructura de transformación, maniobra e interconexión al Sistema Eléctrico Nacional.

El promovente es BALAM SOLAR, S. de R.L. de C.V. El proyecto se tramita ante la autoridad ambiental federal mediante una Manifestación de Impacto Ambiental en modalidad Regional. El responsable técnico del estudio es Juan Javier Pineda Tovar, con participación de un equipo interdisciplinario encargado de la integración técnica, ambiental, jurídica y cartográfica de la MIA-R.

La totalidad del proyecto se localiza en el municipio de Bacalar, estado de Quintana Roo, dentro de terrenos del Ejido Manuel Ávila Camacho. El área se ubica en ambos bordes de la Carretera Federal 293, tramo Chunhuhub-Buenavista, aproximadamente 5 km al sureste de la localidad Los Divorciados, 7 km al norte de Kuchumatán y 13 km al sureste de La Pantera. Los componentes de subestación elevadora, BESS e infraestructura de evacuación se sitúan al borde izquierdo de la carretera y al este del camino de acceso a la localidad de Manuel Ávila Camacho.

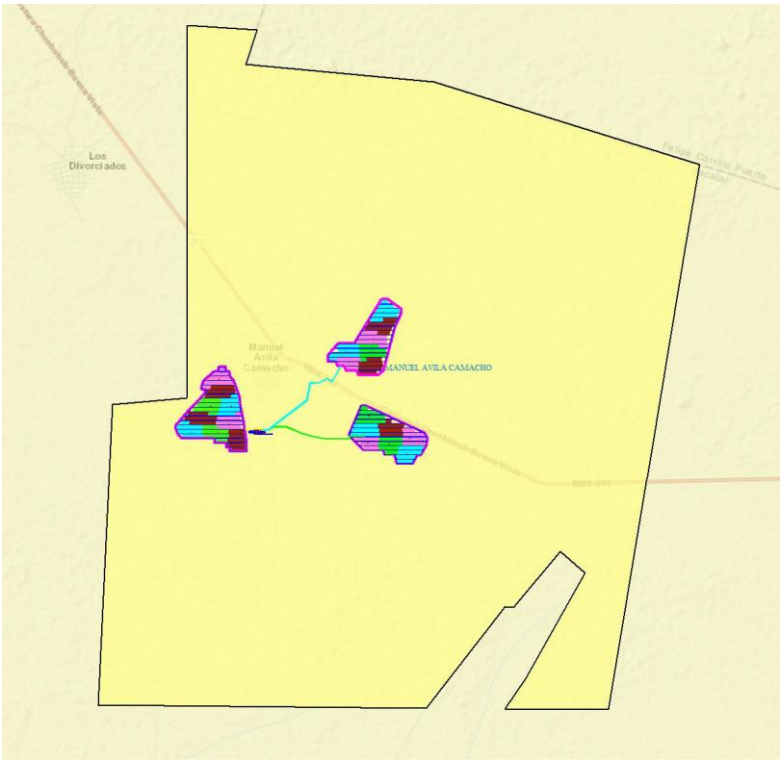


**Figura 1 Ubicación regional y local de la Planta Solar Fotovoltaica Balam Solar**

El Área del Proyecto comprende 817.19 ha, inscritas dentro de una poligonal de influencia aproximada de 2,040 ha. A nivel regional, el Sistema Ambiental Regional delimitado para la MIA-R cubre 19,958.6168 ha y comprende porciones de los municipios de Bacalar y Felipe Carrillo Puerto. Esta escala permite evaluar la inserción del proyecto no solo en el predio de obra, sino en el contexto territorial donde interactúan vegetación, fauna, caminos, asentamientos, usos agropecuarios, escurrimientos y dinámica de transformación regional.

**Tabla 2 Datos generales y ubicación del proyecto**

| Concepto | Dato del proyecto |
|---|---|
| Nombre del proyecto | Planta Solar Fotovoltaica Balam Solar. |
| Promovente | BALAM SOLAR, S. de R.L. de C.V. |
| Entidad federativa | Quintana Roo. |
| Municipio de ubicación | Bacalar. |
| Localidad / ejido de referencia | Ejido Manuel Ávila Camacho. |
| Vía de referencia | Carretera Federal 293 Chunhuhub-Buenavista. |
| Sistema Ambiental Regional | 19,958.6168 ha, en Bacalar y Felipe Carrillo Puerto. |
| Área del Proyecto | 817.19 ha. |
| Poligonal de influencia | Aproximadamente 2,040 ha. |
| Vida útil considerada | 30 años de operación, con posibilidad de extensión sujeta a autorizaciones y condiciones técnicas. |

La ubicación del proyecto es relevante desde el punto de vista técnico por tres razones principales. La primera es la disponibilidad de una superficie suficiente para el desarrollo de una central fotovoltaica de escala industrial. La segunda es la existencia de accesibilidad mediante carretera y

caminos de apoyo, lo que permite reducir la necesidad de nuevas aperturas. La tercera es la cercanía a infraestructura eléctrica existente, específicamente la LT Chunhuhub-Xul Ha 230 kV, que permite plantear la interconexión mediante una línea aérea de corta longitud, subestación de maniobras y apertura de la línea existente.

Desde el punto de vista ambiental, la ubicación exige especial atención porque el proyecto se inserta en un mosaico regional con vegetación natural, vegetación secundaria, usos agropecuarios, caminos rurales y asentamientos. En consecuencia, aunque se trata de infraestructura de generación renovable, el proyecto implica intervención territorial y posible cambio de uso de suelo en terrenos forestales, por lo que deberá sujetarse a la autorización ambiental y forestal que resulte aplicable.

La localización del proyecto sobre ambos bordes de la Carretera Federal 293 permite aprovechar una vía existente para acceso, logística y transporte de materiales, reduciendo la necesidad de abrir nuevos caminos externos. No obstante, durante la construcción se deberá controlar el tránsito de maquinaria, el arrastre de sedimentos, la generación de polvo y la interacción con caminos rurales vinculados al ejido y a localidades cercanas.

La concentración de la infraestructura permanente en polígonos definidos permite separar con claridad las áreas de intervención directa de las zonas de reserva y de las superficies que deberán mantenerse sin ocupación. Esta organización territorial es relevante para la supervisión ambiental, porque facilita delimitar frentes de obra, controlar accesos, evitar afectaciones fuera de áreas autorizadas y dar seguimiento a las medidas de restauración y conservación.

## I.3 Naturaleza, justificación y características técnicas de BALAM SOLAR

BALAM SOLAR consiste en el desarrollo, construcción, operación, mantenimiento y eventual cierre de una central de generación de energía eléctrica mediante tecnología solar fotovoltaica. La electricidad generada por los módulos en corriente continua será conducida hacia inversores, transformada a corriente alterna, elevada a media tensión en centros de transformación, conducida hacia la Subestación Elevadora BALAM en 34.5 kV y finalmente elevada a 230 kV para su evacuación hacia la red eléctrica existente.

El proyecto está integrado por la planta fotovoltaica, el sistema de almacenamiento BESS BALAM, la Subestación Elevadora BALAM 34.5/230 kV, una línea aérea de alta tensión de 230 kV entre la subestación elevadora y la subestación de maniobras, la Subestación de Maniobras BALAM 230 kV y la apertura de la línea existente LT Chunhuhub-Xul Ha 230 kV. De manera complementaria, considera caminos internos, accesos, edificio de control, cercado perimetral, estaciones meteorológicas, sistema de seguridad, canalizaciones eléctricas, obras de drenaje y obras temporales de construcción.

La planta fotovoltaica se divide en tres subplantas: BALAM SOLAR I, BALAM SOLAR II y BALAM SOLAR III. En conjunto, la instalación considera 326,700 módulos fotovoltaicos RISEN ENERGY modelo RSM132-8-720BNDG de 720 Wp, 10,890 seguidores solares de un eje y 605 inversores HUAWEI SUN2000-330KTL-H1 de 330 kW. La capacidad instalada fotovoltaica será de 202.2 MWac y la capacidad nominal de 235.21 MWdc.

La incorporación del sistema BESS constituye un componente relevante del proyecto. BESS BALAM contará con 60 MW de potencia instalada, cuatro horas de acumulación y 240 MWh de capacidad de almacenamiento. Estará conformado por 12 bloques de 5 MW, 48 contenedores de baterías ST5015UX-4H y 12 centros de transformación MVS5140. Su función será almacenar energía y descargarla conforme a las necesidades operativas, incrementando la flexibilidad del proyecto y fortaleciendo la gestión de la energía generada.

El sistema de almacenamiento permite administrar la energía generada por la planta fotovoltaica, aportar flexibilidad operativa y mejorar el aprovechamiento de la infraestructura de interconexión. Desde el punto de vista ambiental, su presencia exige medidas de seguridad adicionales respecto a temperatura, incendios, fugas, manejo de componentes, residuos peligrosos y atención de contingencias.

La justificación ambiental del proyecto se relaciona con la generación eléctrica a partir de una fuente renovable que no implica combustión directa de hidrocarburos durante la operación ordinaria. Esto permite reducir la dependencia de tecnologías convencionales de generación eléctrica. Sin embargo, la naturaleza renovable no elimina los impactos de ocupación territorial, remoción de vegetación, modificación de hábitat, generación de residuos, tránsito de maquinaria, instalación de infraestructura eléctrica y manejo de baterías. Por ello, la viabilidad del proyecto debe sustentarse en medidas ambientales verificables y en la correcta delimitación de las superficies autorizadas.

Desde la perspectiva económica y social, la etapa de preparación del sitio y construcción generará demanda temporal de mano de obra, transporte, hospedaje, alimentación, suministro de agua, vigilancia, servicios especializados, insumos y gestión de residuos. Durante la operación el número de empleos directos será menor, pero especializado, orientado a supervisión, mantenimiento preventivo, mantenimiento correctivo, seguridad, limpieza, monitoreo y operación del BESS y la infraestructura eléctrica. El proyecto también deberá mantener canales de comunicación social y atención a quejas para prevenir conflictos por tránsito, ruido, polvo, uso de caminos o acceso a predios.

Desde la perspectiva técnica, la selección del sitio considera condiciones de radiación solar aprovechables, topografía relativamente favorable, acceso por infraestructura carretera existente, disponibilidad de superficie y cercanía a la línea de transmisión existente. La interconexión mediante una línea aérea de 66 m entre subestaciones y una apertura de aproximadamente 120 m en la LT Chunhuhub-Xul Ha reduce la necesidad de infraestructura lineal extensa y, por tanto, disminuye la presión ambiental asociada a líneas de transmisión largas.

## I.4 SUPERFICIES, COMPONENTES Y PROGRAMA DE TRABAJO

La organización de superficies es uno de los datos más importantes para la lectura ambiental del proyecto, porque permite distinguir entre ocupación permanente, ocupación temporal y áreas de reserva. La afectación permanente corresponde a las superficies que serán ocupadas por la planta fotovoltaica, caminos de acceso, BESS, subestaciones, líneas de media tensión y línea de evacuación. La afectación temporal corresponde a superficies utilizadas durante actividades constructivas, especialmente asociadas a accesos, líneas MT y línea de evacuación. Las zonas de reserva representan superficies dentro de la poligonal del proyecto que no forman parte de la intervención directa en esta etapa y que funcionan como elemento de reducción de presión ambiental.

**Tabla 3 Superficies temporales y permanentes por componente del proyecto**

| Elemento | Superficie temporal (ha) | Superficie permanente (ha) |
|---|---|---|
| FV BALAM SOLAR I | 0.00 | 107.20 |
| FV BALAM SOLAR II | 0.00 | 110.06 |
| FV BALAM SOLAR III | 0.00 | 138.60 |
| Caminos de acceso | 0.36 | 0.75 |
| BESS BALAM | 0.00 | 0.58 |
| Subestación BALAM | 0.00 | 0.25 |
| Subestación de Maniobras | 0.00 | 0.25 |
| Líneas MT | 0.89 | 0.79 |

| | | |
|---|---|---|
| Línea de evacuación | 0.93 | 0.93 |
| TOTAL | 2.18 | 359.41 |

Adicionalmente, el proyecto prevé 455.60 ha de zonas de reserva dentro de la poligonal. Estas áreas equivalen aproximadamente al 55.75% del Área del Proyecto y al 2.28% del SAR. Su permanencia es ambientalmente relevante, porque permite conservar superficies sin intervención directa, mantener refugio potencial para fauna, reducir el efecto de fragmentación y servir como base para medidas de conectividad, rescate, reubicación y restauración

**Tabla 4 Relación de superficies del proyecto respecto al Sistema Ambiental Regional**

| Concepto | Superficie | Relación territorial |
|---|---|---|
| Sistema Ambiental Regional | 19,958.6168 ha | 100.00% del SAR |
| Área del Proyecto | 817.19 ha | 4.09% del SAR |
| Afectación permanente | 359.41 ha | 1.80% del SAR |
| Afectación temporal | 2.18 ha | 0.01% del SAR |
| Zonas de reserva | 455.60 ha | 2.28% del SAR / 55.75% del Área del Proyecto |




**Figura 2 Área del proyecto y distribución general de componentes de la PSFv Balam Solar**

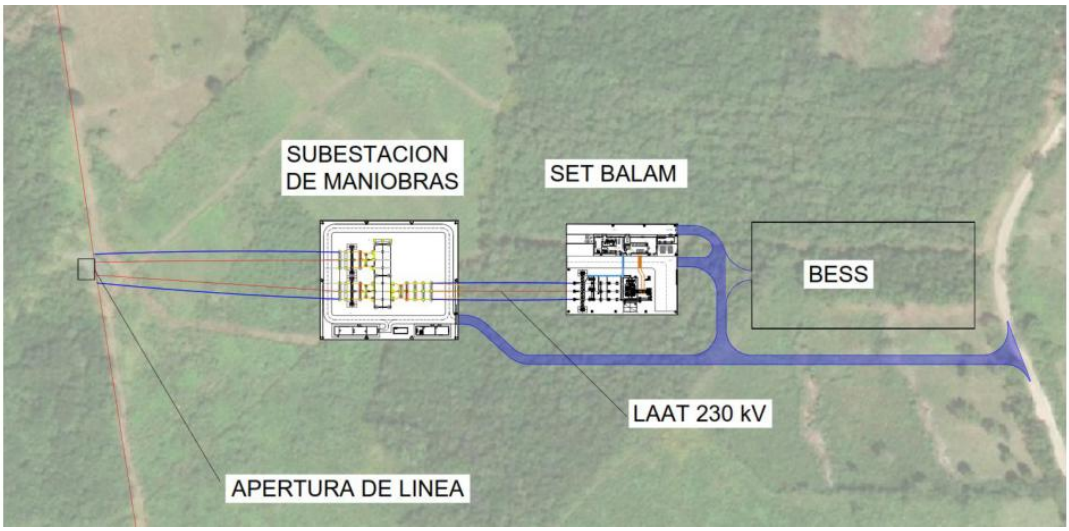


**Figura 3 Ubicación local de la subestación elevadora, BESS e infraestructura de evacuación**

### I.4.1 Componentes técnicos principales

**Tabla 5 Componentes técnicos principales de la PSFv Balam Solar**

| Componente | Descripción ejecutiva |
|---|---|
| Planta fotovoltaica | Tres subplantas: BALAM SOLAR I, II y III; 326,700 módulos; 10,890 seguidores; 605 inversores. |
| BALAM SOLAR I | 97,740 módulos; 181 inversores; 60.6 MWac; superficie permanente aproximada 107.20 ha. |
| BALAM SOLAR II | 97,740 módulos; 181 inversores; 60.6 MWac; superficie permanente aproximada 110.06 ha. |
| BALAM SOLAR III | 131,220 módulos; 243 inversores; 81 MWac; superficie permanente aproximada 138.60 ha. |
| BESS BALAM | 60 MW / 240 MWh; 48 contenedores; 12 centros de transformación; 5,780 m2. |
| Subestación Elevadora BALAM | 34.5/230 kV; superficie aproximada 2,477 m2; transformador principal previsto de 200 MVA. |
| Subestación de Maniobras BALAM | 230 kV; superficie aproximada 4,016 m2; punto de interconexión con la línea existente. |
| LAAT 230 kV | Línea aérea de simple circuito, longitud aproximada 66 m, dos apoyos y un vano. |
| Apertura LT existente | Apertura de la LT Chunhuhub-Xul Ha 230 kV, con derivación aproximada de 120 m. |

Los módulos fotovoltaicos captarán la radiación solar y la transformarán en energía eléctrica de corriente continua. Los seguidores solares de un eje tendrán orientación general norte-sur y seguimiento este-oeste, con el fin de incrementar la captación diaria de radiación. Los inversores convertirán la corriente continua a corriente alterna, y los centros de transformación elevarán la tensión para conducir la energía por la red interna de media tensión. Las canalizaciones eléctricas incluirán cables de corriente continua, corriente alterna, media tensión, control, comunicación y puesta a tierra.

La Subestación Elevadora BALAM recibirá la energía generada por la planta fotovoltaica y el BESS en 34.5 kV para elevarla a 230 kV. La Subestación de Maniobras BALAM tendrá por objeto establecer el punto de interconexión entre el proyecto y la línea existente. La línea aérea de alta tensión entre ambas subestaciones es de corta longitud, lo cual disminuye el grado de intervención lineal en comparación con proyectos que requieren trazos extensos de transmisión.

El BESS se instalará mediante contenedores de baterías con sistemas de refrigeración líquida, detección y extinción de incendios, iluminación, comunicaciones, BMS, inversores bidireccionales y equipos auxiliares. Por la naturaleza de este componente, se requerirá un protocolo específico de operación segura, mantenimiento preventivo, control de temperatura, manejo de módulos defectuosos, prevención de incendio, atención a fugas o incidentes y trazabilidad de residuos o componentes eléctricos.

La operación segura del BESS requiere mantener registros de inspección, alarmas, eventos térmicos, mantenimiento de sistemas de refrigeración, sustitución de módulos, gestión de residuos y capacitación del personal. Los contenedores y centros de transformación deberán contar con condiciones de acceso controlado y protocolos de respuesta para reducir riesgos al suelo, agua, personal operativo y fauna que pudiera acercarse a las instalaciones.

### I.4.2 Programa de trabajo y personal

El programa de trabajo considera una etapa de preparación del sitio y construcción con duración aproximada de 18 meses, seguida por una etapa de operación y mantenimiento de 30 años. Al término de la vida útil se prevé el cierre y abandono, que incluirá desmantelamiento, retiro de infraestructura, manejo de residuos, restauración de áreas intervenidas y estabilización de superficies.

**Tabla 6 Programa general de trabajo del proyecto**

| Periodo | Actividades principales |
|---|---|
| Meses 1 a 3 | Trabajos previos, preparación del sitio, ingeniería, licencias, acopios y avance inicial de subestación y BESS. |
| Meses 4 a 6 | Obra civil fotovoltaica, caminos, zanjas, drenajes, inicio de infraestructura de evacuación y continuidad de trabajos de subestación/BESS. |
| Meses 7 a 12 | Montaje electromecánico de planta, subestaciones, BESS, línea aérea, canalizaciones y equipos principales. |
| Meses 13 a 18 | Pruebas, puesta en marcha, energización, integración al sistema eléctrico, limpieza final y entrega a operación. |
| Operación | 30 años de generación, almacenamiento, mantenimiento preventivo, correctivo, predictivo y vigilancia ambiental. |
| Cierre | Desmantelamiento, gestión de equipos y baterías, retiro de residuos, limpieza y restauración al final de vida útil. |

La etapa de preparación del sitio y construcción podrá requerir hasta 500 personas en periodo pico, dependiendo del programa ejecutivo, número de frentes de obra y contratistas. En operación se estima un personal directo aproximado de 15 personas, además de vigilancia y servicios especializados. Durante cierre y abandono podrían requerirse hasta 100 personas en periodo pico, de acuerdo con el alcance final de desmantelamiento y restauración.

El uso de maquinaria incluirá motoniveladoras, tractores, retroexcavadoras, compactadoras, pipas, hincadoras, perforadoras, minicargadores, grúas horquilla, camiones de carga, zanjadoras, equipos de tendido, camión grúa, grúas telescópicas y equipo especializado para subestaciones, BESS y línea

aérea. Este uso de maquinaria genera impactos temporales de polvo, ruido, emisiones de combustión, compactación, riesgo de derrames y riesgo de atropellamiento de fauna, por lo que su operación deberá estar controlada por medidas ambientales específicas.

### I.4.3 Actividades por etapa y consideraciones ambientales

La preparación del sitio deberá iniciar con la delimitación física de las áreas autorizadas, la señalización de accesos, la identificación de zonas de exclusión, el rescate de flora y fauna, y la verificación de escurrimientos o depresiones susceptibles de encharcamiento. Estas actividades son indispensables para evitar que el desmonte, el despalme y el tránsito inicial de maquinaria se extiendan a zonas de reserva, áreas no autorizadas o sitios con sensibilidad hidrológica.

Durante la construcción se desarrollarán actividades de apertura y conformación de caminos internos, excavaciones, hincado o instalación de estructuras, montaje de seguidores solares, colocación de módulos, tendido de canalizaciones, instalación de inversores, centros de transformación, subestaciones, línea aérea de alta tensión, obras de drenaje, cercado perimetral y sistemas de seguridad. En esta fase se concentra la mayor presión sobre suelo, vegetación, fauna, escurrimientos y calidad atmosférica, por lo que la supervisión ambiental deberá permanecer activa en todos los frentes de trabajo.

La etapa de pruebas y puesta en servicio incluirá verificaciones eléctricas, energización gradual de equipos, revisión de protecciones, comunicaciones, sistemas de control, funcionamiento de inversores, transformadores, subestaciones, línea de evacuación y BESS. Aunque esta etapa es de menor intervención física que la construcción, requiere atención especial por el manejo de equipos energizados, la seguridad del personal, el control de residuos eléctricos, la prevención de derrames y la restricción de acceso a personal no autorizado.

Durante operación y mantenimiento, las actividades principales serán inspección de módulos, limpieza, revisión de seguidores, mantenimiento de inversores y centros de transformación, control de vegetación, vigilancia, mantenimiento de caminos, inspección del cercado, revisión de obras de drenaje, monitoreo del BESS y atención de fallas. La operación ordinaria no implica combustión para generación eléctrica, pero sí requiere mantener controles permanentes para evitar acumulación de residuos, afectación de fauna, obstrucción de escurrimientos y deterioro de áreas restauradas.

### I.4.4 Residuos, emisiones y cierre

Durante la preparación del sitio se generarán residuos derivados de desmonte, despalme, limpieza, material vegetal, suelo orgánico y residuos domésticos del personal. El manejo deberá privilegiar trituración y reincorporación de material vegetal cuando proceda, acopio temporal controlado, recolección autorizada y resguardo de suelo orgánico para usos de restauración o mejoramiento.

Durante construcción se generarán residuos como madera, cartón, plásticos, metal, concreto, empaques, residuos de cable y posibles residuos peligrosos si se realizan mantenimientos de maquinaria o manejo de materiales impregnados. La MIA-R plantea evitar mantenimiento de maquinaria en sitio; si se generan aceites, filtros, trapos contaminados o envases, deberán manejarse como residuos peligrosos mediante empresa autorizada.

Durante operación los residuos se relacionarán con mantenimiento preventivo y correctivo: módulos dañados, cable, empaques, filtros, refacciones, residuos domésticos, componentes electrónicos, baterías o módulos defectuosos del BESS. Estos últimos requerirán manejo especializado, devolución a proveedor o gestor autorizado y trazabilidad documental. En cierre se generarán acero, aluminio, vidrio, cobre, concreto, equipos eléctricos y baterías, que deberán destinarse a reciclaje, valorización, disposición final o manejo especializado según su clasificación.

La generación fotovoltaica no implica combustión directa para producir electricidad. No obstante, se presentarán emisiones temporales por maquinaria y vehículos durante preparación, construcción, mantenimiento y cierre. También existirán emisiones indirectas asociadas a fabricación, transporte, reposición y disposición de equipos. La producción anual estimada P50 es de 479,460 MWh/año, con pérdidas eléctricas y térmicas asociadas a módulos, inversores, transformadores, cableado, líneas, sistemas auxiliares y ciclos de carga/descarga del BESS.

El cierre del proyecto deberá realizarse mediante un plan específico de desmantelamiento, con inventario de equipos, identificación de residuos, cronograma, contratistas autorizados, rutas de transporte, sitios de disposición, medidas de seguridad, medidas ambientales y criterios de restauración. El retiro será secuencial: desconexión eléctrica, aseguramiento de energía cero, retiro de módulos, estructuras, cableado, equipos de potencia, contenedores BESS, cimentaciones superficiales y obras temporales o permanentes que no deban mantenerse.

## I.5 Contexto normativo y territorial aplicable

El proyecto se encuentra sujeto a evaluación de impacto ambiental federal por tratarse de infraestructura del sector eléctrico. Además, en caso de confirmarse la afectación de terrenos forestales, selvas o vegetación forestal en las áreas de intervención, deberá tramitarse la autorización correspondiente de cambio de uso de suelo en terrenos forestales. La evaluación ambiental se justifica por la combinación de generación fotovoltaica, almacenamiento por baterías, subestaciones, líneas eléctricas, apertura de línea existente, caminos internos y obras auxiliares.

La vinculación normativa central incluye la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y su Reglamento en materia de Evaluación del Impacto Ambiental, la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable y su Reglamento, la Ley General de Vida Silvestre, la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos y su Reglamento, la Ley General de Cambio Climático, la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento, la legislación del sector eléctrico y las Normas Oficiales Mexicanas aplicables.

En el ámbito de planeación y ordenamiento, el proyecto debe ser compatible con los instrumentos federales, estatales y municipales de desarrollo, ordenamiento ecológico, desarrollo urbano, infraestructura y transición energética. También deberá gestionar autorizaciones, factibilidades, licencias, permisos de construcción, constancias de uso de suelo, compatibilidades urbanísticas o autorizaciones administrativas que resulten procedentes conforme a legislación local y municipal.

El Área del Proyecto no se localiza dentro de Áreas Naturales Protegidas de jurisdicción federal, estatal o local; no presenta coincidencia directa con Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves, Regiones Terrestres Prioritarias, Regiones Hidrológicas Prioritarias ni sitios Ramsar. Esta condición reduce restricciones territoriales asociadas a instrumentos de conservación, sin eximir al promovente del cumplimiento de medidas de protección de flora, fauna, suelo, agua y paisaje.

El proyecto es congruente con objetivos de transición energética y diversificación de la matriz eléctrica, pero dicha congruencia depende de que se cumpla la regulación ambiental y forestal. En términos ejecutivos, la viabilidad jurídica no deriva únicamente de que se trate de energía renovable, sino de que sus impactos se identifiquen, prevengan, mitiguen, restauren o compensen, y de que el promovente atienda las condiciones impuestas por SEMARNAT y demás autoridades competentes.

## I.6 Sistema ambiental regional y línea base ambiental

El Sistema Ambiental Regional se delimitó como una unidad geográfica de referencia para evaluar los procesos ambientales que interactúan con el Área del Proyecto. Su superficie es de 19,958.6168 ha y comprende porciones de los municipios de Bacalar y Felipe Carrillo Puerto. La delimitación

considera clima, fisiografía, suelos, hidrología superficial y subterránea, acuífero, uso de suelo y vegetación, asentamientos, vías de comunicación y la ubicación de los componentes del proyecto.

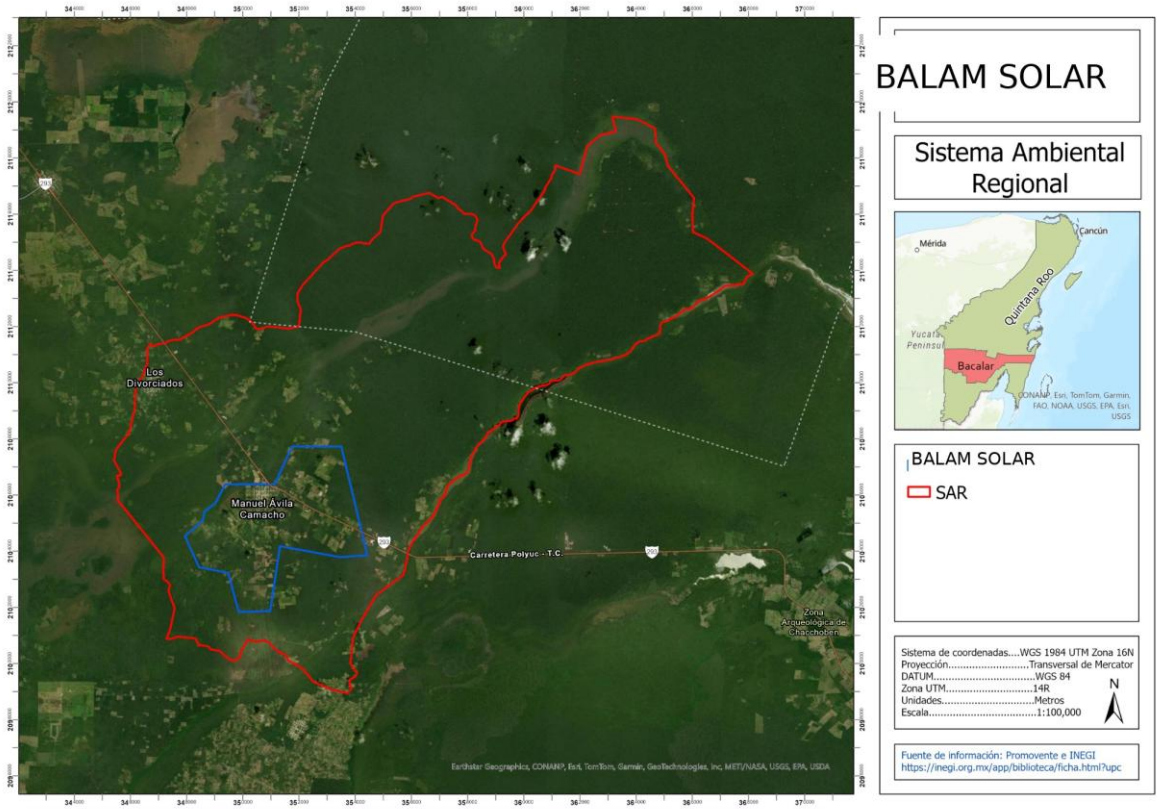


**Figura 4 Sistema Ambiental Regional y ubicación del área del proyecto**

El SAR envuelve al Área del Proyecto y se ubica en una región donde coexisten vegetación natural, vegetación secundaria, áreas agropecuarias, caminos rurales, asentamientos locales e infraestructura regional. La tendencia general del territorio corresponde a una transformación paulatina del paisaje natural hacia usos productivos y de infraestructura. Por ello, el análisis regional permite diferenciar los impactos atribuibles al proyecto de las presiones preexistentes asociadas a expansión agropecuaria, apertura de caminos, asentamientos rurales y modificación de coberturas vegetales

## I.6.1 Medio abiótico

**Tabla 7 Condiciones relevantes del medio abiótico en el SAR**

| Componente | Condición relevante |
|---|---|
| Clima | Cálido subhúmedo, con claves Aw1 y Aw1(x'); lluvias principalmente en verano e influencia de precipitación invernal en la variante Aw1(x'). |
| Precipitación | Rangos aproximados de 800 a 1,200 mm; valores raster referenciales cercanos a 1,098 y 1,279 mm. |
| Temperatura | Temperatura media anual de 24 a 26 °C. |
| Fisiografía | Provincia Península de Yucatán, con relieve bajo, planicies extensas y base calcárea kárstica. |
| Suelos | Leptosol, Vertisol, Phaeozem, Gleysol y áreas clasificadas como localidad. |
| Hidrología superficial | Escurrimientos estacionales, microcuenca Yucatán Este y necesidad de verificar concentraciones de flujo en campo. |

| Componente | Condición relevante |
|---|---|
| Hidrología subterránea | Acuífero Yucatán, componente crítico por la alta infiltración potencial del sustrato kárstico. |

El clima cálido subhúmedo condiciona la estacionalidad de los escurrimientos, la dinámica de vegetación secundaria y la programación de actividades de obra. La precipitación durante temporada de lluvias puede incrementar arrastre de sedimentos, encharcamientos temporales y riesgos de erosión en superficies expuestas. Por lo tanto, la calendarización de desmontes, terracerías, zanjas y obras de drenaje debe considerar la estacionalidad climática para reducir impactos sobre suelo y agua.

El contexto geomorfológico de la Península de Yucatán es relevante porque combina relieve bajo, materiales calcáreos, procesos kársticos y alta infiltración potencial. Aunque no se identifican grandes pendientes, sí puede haber zonas con encharcamiento temporal, cavidades, roca somera o variaciones de drenaje. Para el desarrollo ejecutivo del proyecto se recomienda mantener estudios geotécnicos y geofísicos específicos en subestaciones, BESS, centros de transformación, caminos internos, cimentaciones y bancos de ductos.

Los suelos identificados presentan distintas consideraciones ambientales. Los Leptosoles son someros y sensibles a pérdida de cobertura; los Vertisoles requieren atención por expansión y contracción vinculada a humedad; los Phaeozem pueden coincidir con áreas agropecuarias y requieren manejo de capa fértil; los Gleysoles se asocian a saturación temporal y drenaje deficiente, por lo que indican zonas donde deben evitarse rellenos o compactaciones sin diseño de drenaje. La degradación del suelo dentro del SAR se relaciona con apertura de áreas agropecuarias, tránsito de vehículos, caminos rurales, remoción de cobertura, compactación y exposición del suelo durante lluvias.

En las áreas con Leptosol, el manejo deberá orientarse a reducir pérdida de suelo somero y exposición de roca, evitando movimientos de tierra innecesarios y favoreciendo la estabilidad de caminos y plataformas. En zonas con Vertisol, el diseño deberá considerar cambios volumétricos asociados a humedad, agrietamiento y deformaciones, particularmente en caminos, cunetas, plataformas y cimentaciones menores. En áreas con Phaeozem, la capa fértil deberá manejarse de manera diferenciada para facilitar su reincorporación o uso en procesos de restauración.

La condición kárstica regional vuelve prioritario el manejo preventivo de sustancias. Los combustibles, aceites, lubricantes, solventes, residuos impregnados, baterías, componentes eléctricos y aguas residuales deberán almacenarse y manejarse con barreras físicas, contención secundaria, recipientes adecuados, rutas de recolección y disposición mediante prestadores autorizados. La prevención de infiltración es más efectiva que la corrección posterior, debido a la conectividad potencial del subsuelo calcáreo con el acuífero regional.

La hidrología del SAR combina escurrimientos superficiales estacionales, infiltración y dependencia del acuífero regional. Aunque no se observa una red densa de cauces dentro del polígono del proyecto en la cartografía disponible, es necesario verificar en campo las zonas de concentración de flujo, pasos de agua y áreas susceptibles de encharcamiento para evitar obstrucciones, rellenos no autorizados o aportes de sedimentos.

## I.7 Medio biótico, vegetación, fauna y paisaje

La línea base biótica del SAR muestra un mosaico de coberturas compuesto por vegetación natural, vegetación secundaria, usos agropecuarios, asentamientos y áreas transformadas. En términos

generales, el polígono del proyecto se inserta en una matriz donde predominan coberturas de selva y vegetación secundaria, con presencia de agricultura de temporal, pastizales o áreas agropecuarias y asentamientos asociados a Manuel Ávila Camacho.

Las claves de uso de suelo y vegetación señaladas en la cartografía incluyen selva mediana, vegetación secundaria arbustiva asociada a selva mediana y selva baja, agricultura de temporal, agricultura de riego anual, pastizal cultivado, áreas desprovistas de vegetación, asentamientos humanos, cuerpos de agua y vegetación hidrófila o tular. La lectura cartográfica debe complementarse con trabajo de campo y análisis vectorial final, ya que la escala de INEGI puede diferir de la cobertura real del sitio y de los límites de intervención.

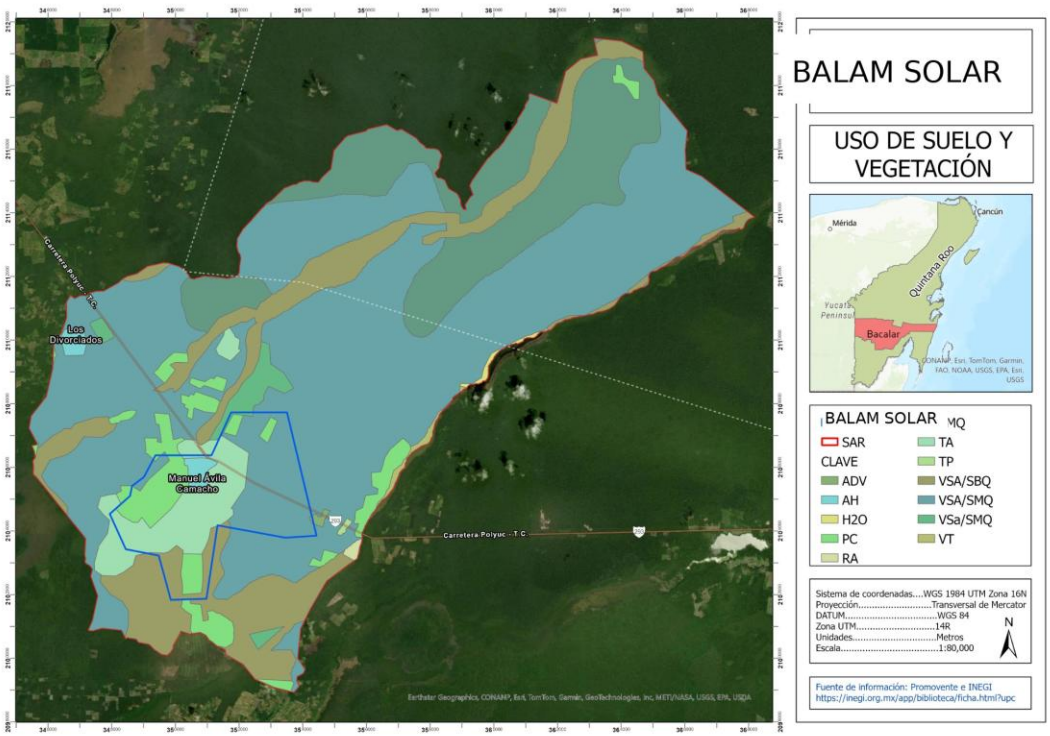


**Figura 5 Uso de suelo y vegetación en el SAR y área del proyecto**

La caracterización de vegetación constituye la base para definir comunidades vegetales, superficies por tipo de cobertura dentro del Área del Proyecto, superficies sujetas a cambio de uso de suelo en terrenos forestales, especies bajo categoría de riesgo y medidas de rescate, reubicación, conservación o compensación. Esta información es determinante para establecer la magnitud real de la intervención y para dirigir las acciones de manejo hacia los sitios ambientalmente más sensibles.

La vegetación secundaria y las áreas agropecuarias presentes en el entorno no eliminan la relevancia ambiental del sitio, ya que estas coberturas pueden funcionar como refugio, zona de alimentación, corredor de desplazamiento o área de recuperación sucesional para fauna local. Por ello, la evaluación del proyecto debe considerar no solo la cobertura arbórea madura, sino también la función ecológica de bordes, acahuales, zonas de reserva, escurrimientos y parches conectados con vegetación natural del SAR.

La reducción de cubierta vegetal forestal constituye uno de los impactos de mayor importancia ambiental para el proyecto. Su manejo dependerá de la delimitación estricta de las superficies de intervención, del rescate y reubicación de ejemplares viables, de la conservación de zonas de reserva, de la restauración de áreas temporales, de la compensación forestal que resulte procedente y del seguimiento de la recuperación vegetal durante operación.

La permanencia de 455.60 ha como zonas de reserva dentro del Área del Proyecto representa una oportunidad para mantener continuidad de hábitat, amortiguar el efecto de la infraestructura, reducir fragmentación local y sostener parte de los servicios ambientales del predio. Estas zonas deberán conservarse libres de ocupación permanente, con control de accesos, prevención de incendios, restricción de disposición de residuos y monitoreo que permita verificar su estado durante la vida útil del proyecto

### I.7.1 Fauna potencial y sensibilidad por grupo

El trabajo de gabinete identificó fauna potencial asociada al mosaico ambiental del SAR. La presencia real de especies dentro del Área del Proyecto deberá confirmarse mediante recorridos de campo, registros directos e indirectos, búsqueda de rastros, nidos, madrigueras, refugios, huellas, excretas, fototrampeo u otros métodos. No obstante, la riqueza potencial permite reconocer grupos sensibles y diseñar medidas precautorias antes del desmonte.

**Tabla 8 Síntesis de fauna potencial por grupo taxonómico**

| Grupo | Síntesis ejecutiva |
|---|---|
| Anfibios | 22 especies potenciales; 2 órdenes y 9 familias. Siete especies en NOM-059, todas sujetas a protección especial. Sensibles a humedad, microhábitats, charcas temporales, zanjas, compactación y contaminación. |
| Reptiles | 92 especies potenciales; 3 órdenes y 23 familias. 34 especies en NOM-059; 21 Pr, 10 A y 3 P. Grupo sensible por baja movilidad, hábitos crípticos o fosoriales. |
| Aves | 378 especies potenciales; 24 órdenes y 65 familias. 80 especies en NOM-059; 55 Pr, 22 A y 3 P. Debe atenderse riesgo de colisión, electrocución y posible efecto visual durante operación. |
| Mamíferos | 74 especies potenciales; 9 órdenes y 25 familias. 15 especies en NOM-059; 8 A, 4 P y 3 Pr. Relevantes por conectividad, corredores, refugio y movilidad regional. |

Los anfibios dependen de humedad estacional, charcas temporales, escurrimientos, aguadas y cobertura vegetal. Entre las especies de interés se reportan *Rhinophrynus dorsalis*, *Triprion petasatus*, *Lithobates macroglossa*, *Gastrophryne elegans*, *Bolitoglossa yucatana*, *Lithobates berlandieri* y *Craugastor yucatanensis*. *Craugastor yucatanensis* destaca por ser endémica de la península de Yucatán y por estar sujeta a protección especial. Para este grupo, las medidas deben enfocarse en recorridos previos, rescate, reubicación y protección de zonas húmedas o microhábitats favorables.

Los reptiles constituyen uno de los grupos más susceptibles durante preparación del sitio y construcción, debido a que varias especies tienen baja movilidad, hábitos de refugio bajo rocas, troncos, hojarasca o cavidades, y pueden ser afectadas por desmonte, despalme, zanjas y maquinaria. Entre las especies con categoría de riesgo destacan iguanas, boas, *cascabel yucateca*, cocodrilos y tortugas, incluyendo *Ctenosaura similis*, *Boa imperator*, *Crotalus tzabcan*, *Iguana rhinolopha, Crocodylus moreletii, Crocodylus acutus, Kinosternon creaseri, Claudius angustatus* y *Dermatemys mawii*.

Las aves presentan la mayor riqueza potencial. La heterogeneidad ambiental permite la presencia de especies de selva, vegetación secundaria, zonas abiertas, cuerpos de agua, humedales, áreas

agrícolas y bordes de caminos. Entre las especies relevantes se mencionan pato real, cigüeña jabirú, loro corona azul, tucán pico canoa, loro cachetes amarillos, loro corona blanca, pavón grande y pavo ocelado. Durante construcción, la afectación se relaciona con retiro de vegetación, pérdida temporal de sitios de refugio o anidación, ruido y presencia humana. Durante operación, los riesgos puntuales se relacionan con infraestructura eléctrica, cercados, módulos y línea de evacuación.

Los mamíferos potenciales incluyen murciélagos, roedores, carnívoros, ungulados, marsupiales y primates. El orden Chiroptera es el mejor representado, con 31 especies. Entre las especies bajo categoría de riesgo destacan viejo de monte, mono aullador negro, ocelote y jaguar, todas señaladas en peligro de extinción. También se reportan especies amenazadas como puercoespín tropical, rata arborícola yucateca, grisón, yaguarundí, nutria de río y murciélagos de interés ecológico. La presencia de especies de mayor movilidad exige mantener conectividad, evitar bloqueo de corredores y diseñar cercados con permeabilidad ecológica donde sea técnicamente viable.

### I.7.2 Paisaje

El paisaje del SAR corresponde a un mosaico rural tropical donde alternan vegetación natural, vegetación secundaria, parcelas agropecuarias, caminos, asentamientos rurales y claros asociados a actividad humana. La Carretera Federal 293 y localidades como Manuel Ávila Camacho y Los Divorciados constituyen elementos de transformación y accesibilidad regional.

El relieve bajo de la Península de Yucatán genera superficies de visibilidad potencial relativamente amplias, aunque la vegetación arbórea y secundaria puede funcionar como barrera visual parcial. Las obras más visibles serán los módulos fotovoltaicos, seguidores, BESS, subestación elevadora, subestación de maniobras, caminos internos, cercado perimetral y elementos de seguridad. La línea de evacuación tendrá visibilidad puntual por su longitud reducida, pero incluirá elementos verticales asociados a apoyos y conductores.

La modificación del paisaje será un impacto residual durante la vida útil del proyecto, porque la infraestructura sustituirá coberturas vegetales o agropecuarias por un paisaje energético. Las medidas de manejo paisajístico no eliminarán este cambio, pero pueden reducir efectos visuales innecesarios mediante limpieza de frentes, ordenamiento de acopios, retiro de materiales, conservación de franjas de vegetación cuando sea viable, control de iluminación y restauración de áreas temporales.

## I.8 IDENTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

La evaluación de impactos identificó 245 interacciones entre 31 acciones del proyecto y 18 subfactores ambientales. De estas interacciones, 84 fueron positivas y 161 negativas. El subsistema abiótico concentró 112 interacciones, seguido del biótico con 75, el perceptual con 27 y el socioeconómico con 31. Esta distribución refleja que las acciones con mayor potencial de modificación se concentran en suelo, drenaje, vegetación, fauna, hábitat, paisaje y tránsito asociado a las etapas de preparación y construcción.

A partir de la matriz de interacción se identificaron 20 impactos ambientales potenciales: 18 negativos y 2 positivos. Ninguno de los impactos negativos fue clasificado como significativo bajo la interpretación estricta de los supuestos de la fracción IX del artículo 3 del REIA, debido a que ninguno satisface la totalidad de condiciones asociadas a alteración radical de ecosistemas, salud, existencia humana, existencia de seres vivos o continuidad de procesos naturales. No obstante, la MIA-R aplicó una valoración complementaria para reconocer impactos destacables por su incidencia y magnitud.

**Tabla 9 Impactos ambientales negativos evaluados y categoría de importancia**

| ID | Impacto negativo evaluado | Categoría |
|---|---|---|
| 1 | Incremento temporal de partículas suspendidas. | Despreciable |
| 2 | Incremento temporal en los niveles de ruido. | Despreciable |
| 3 | Posible formación de islas de calor y deslumbramientos fuera de los límites del proyecto. | No significativo |
| 4 | Alteración de la calidad del agua por derrames o manejo inadecuado de residuos/BESS. | No significativo |
| 5 | Disminución puntual de infiltración y modificación del escurrimiento local. | Despreciable |
| 6 | Alteración de calidad del suelo por derrames o residuos/BESS. | No significativo |
| 7 | Disminución de capacidad productiva del suelo y procesos biológicos. | Destacable |
| 8 | Incremento de susceptibilidad de erosión. | No significativo |
| 9 | Afectación puntual del curso de escorrentías. | Destacable |
| 10 | Afectación a individuos de fauna que utilizan el área del proyecto. | No significativo |
| 11 | Incremento de mortalidad de fauna por atropellamiento, colisión o electrocución. | Destacable |
| 12 | Modificación del hábitat natural en el área del proyecto. | Destacable |
| 13 | Afectación a fauna endémica o con categoría de riesgo. | Destacable |
| 14 | Disminución de abundancia y diversidad de flora. | Destacable |
| 15 | Reducción de cubierta vegetal forestal. | Destacable |
| 16 | Afectación a flora endémica o con categoría de riesgo. | Destacable |
| 17 | Alteración de patrones naturales de desplazamiento de fauna. | Destacable |
| 18 | Modificación de características del paisaje. | Destacable |

La valoración ejecutiva muestra tres impactos despreciables, cinco no significativos y diez destacables. Los impactos destacables se relacionan principalmente con suelo, drenaje superficial, fauna, hábitat, flora, cobertura vegetal, movilidad de especies y paisaje. Estos factores constituyen el núcleo de gestión ambiental del proyecto, ya que concentran los impactos que pueden persistir, acumularse o requerir medidas de compensación y seguimiento.

### I.8.1 Impactos por factor ambiental

Aire y confort sonoro. Los impactos sobre aire y ruido serán principalmente temporales, asociados a movimiento de tierras, tránsito de vehículos, maquinaria, transporte de materiales, montaje y construcción. El incremento de partículas suspendidas y ruido fue clasificado como despreciable, pero requiere humedecimiento de viales, control de velocidad, mantenimiento de maquinaria, cobertura de materiales y capacitación para evitar molestias locales y deterioro innecesario.

Microclima. La posible formación de islas de calor y deslumbramientos fuera de los límites del proyecto se considera no significativa, pero debe atenderse mediante selección de materiales, mantenimiento de vegetación herbácea donde sea viable, verificación de receptores sensibles y, de ser necesario, análisis de deslumbramiento. La presencia de módulos puede modificar condiciones térmicas locales, aunque no se prevé una alteración regional del clima.

Agua y subsuelo. La alteración de calidad del agua por derrames, lubricantes, aceites, residuos, aguas sanitarias o sustancias asociadas al BESS se clasificó como no significativa bajo aplicación de medidas preventivas, pero es ambientalmente crítica por el contexto kárstico y la presencia del acuífero Yucatán. La prioridad es evitar infiltración de contaminantes mediante manejo de residuos, sanitarios autorizados, kits antiderrames, charolas impermeables, mantenimiento controlado y protocolos específicos para BESS y equipos eléctricos.

Suelo y procesos edáficos. La disminución de capacidad productiva del suelo y procesos biológicos fue clasificada como destacable, debido a desmonte, despalme, compactación y ocupación

permanente. La pérdida de materia orgánica, microfauna y estructura reduce la capacidad de recuperación natural. Este impacto requiere resguardo de suelo orgánico, delimitación de frentes, restricción de circulación, estabilización, sucesión natural y restauración de áreas temporales.

Drenaje y escorrentías. La afectación puntual del curso de escorrentías fue considerada destacable por la sensibilidad hidrológica regional. Caminos, plataformas, zanjas, cimentaciones y nivelaciones pueden modificar flujos locales. Se requiere diseño hidráulico definitivo, conservación de escurrimientos preferentes, cunetas, alcantarillas, pasos hidráulicos, mantenimiento de obras de drenaje y revisión en campo de zonas de concentración de flujo.

Fauna. Los impactos a fauna incluyen afectación directa a individuos, mortalidad por atropellamiento, colisión o electrocución, modificación de hábitat, afectación a especies endémicas o en riesgo y alteración de movilidad. El riesgo mayor ocurre durante desmonte, despalme, apertura de zanjas y tránsito de maquinaria, especialmente para anfibios, reptiles y mamíferos pequeños. Durante operación, el riesgo se mantiene de forma residual por cercado, caminos, infraestructura eléctrica y líneas.

Flora y cobertura vegetal. La disminución de abundancia y diversidad de flora, reducción de cubierta forestal y posible afectación a especies endémicas o en riesgo son impactos destacables. Su magnitud final dependerá del inventario florístico, de las superficies definitivas por tipo de vegetación y de la autorización de cambio de uso de suelo. Las medidas centrales son rescate y reubicación, derribo direccional, protección de vegetación adyacente, manejo de material vegetal y compensación forestal.

Paisaje. La modificación de características del paisaje es destacable y residual, ya que la presencia de módulos, seguidores, BESS, subestaciones, caminos y líneas modificará la percepción local durante la vida útil del proyecto. El impacto tendrá alcance regional limitado, pero será persistente en las áreas cercanas al proyecto y vías de observación. Las medidas de limpieza, ordenamiento, restauración y conservación de vegetación periférica reducirán el deterioro visual innecesario.

### I.8.2 Impactos residuales, acumulativos y sinérgicos

Los impactos residuales son aquellos que persisten después de aplicar medidas de mitigación o que, por su naturaleza, no pueden eliminarse completamente durante la vida útil del proyecto. Para BALAM SOLAR se reconocen como residuales la disminución de capacidad productiva del suelo, el riesgo bajo de mortalidad de fauna por atropellamiento, colisión o electrocución, la modificación del hábitat, la disminución de individuos de flora, la reducción de cobertura vegetal forestal, la alteración de patrones de desplazamiento de fauna y la modificación del paisaje.

**Tabla 10 Impactos ambientales residuales identificados**

| Factor | Impacto residual | Justificación |
|---|---|---|
| Suelo | Disminución de capacidad productiva y procesos biológicos. | Persistirá en áreas compactadas u ocupadas por infraestructura permanente. |
| Fauna | Mortalidad por atropellamiento, colisión o electrocución. | Riesgo bajo pero persistente durante operación, sujeto a monitoreo. |
| Fauna | Modificación del hábitat natural. | El hábitat se transforma en las superficies ocupadas por infraestructura. |
| Flora | Disminución de abundancia y diversidad. | La pérdida de individuos no se recupera totalmente en áreas permanentes. |
| Flora | Reducción de cubierta vegetal forestal. | La cobertura removida permanecerá ausente durante la vida útil. |

| | | |
|---|---|---|
| Movilidad | Alteración de patrones de desplazamiento. | El efecto barrera del vallado e infraestructura puede persistir en operación. |
| Paisaje | Modificación visual. | La infraestructura modifica la calidad visual hasta el abandono o desmantelamiento. |

Los impactos acumulativos se relacionan con procesos regionales preexistentes: agricultura, ganadería, caminos, brechas, líneas eléctricas existentes y asentamientos rurales. Estos procesos ya generan compactación, remoción de vegetación, fragmentación, erosión, modificación del paisaje, ruido, polvo, atropellamiento de fauna y generación de residuos. BALAM SOLAR puede sumarse a estos procesos mediante reducción de cobertura vegetal, modificación de hábitat, ocupación de suelo e infraestructura eléctrica.

Se identifican impactos acumulativos asociados con incremento de susceptibilidad de erosión, desplazamiento de fauna, mortalidad por atropellamiento, colisión o electrocución, reducción y modificación de hábitat natural, reducción de cobertura vegetal forestal, alteración de patrones de movilidad y modificación del paisaje.

En cuanto a impactos sinérgicos, no se identifican impactos críticos que rebasen la capacidad de manejo ambiental si se aplican las medidas propuestas. Sin embargo, la combinación de reducción de cobertura vegetal, modificación de hábitat, efecto barrera y cambio paisajístico puede reforzar procesos de fragmentación local. Por ello, las medidas de biodiversidad, conectividad, cercado permeable, pasos de fauna, zonas de reserva y monitoreo deben aplicarse de forma integrada y no como acciones aisladas.

## I.9 MEDIDAS, ESTRATEGIAS Y PROGRAMAS AMBIENTALES

Las medidas ambientales se orientan a prevenir, mitigar, controlar, corregir, compensar o dar seguimiento a los impactos identificados. Se organizan en cinco líneas estratégicas: conservación de la calidad atmosférica, conservación de condiciones edáficas, preservación de la calidad del agua, conservación de indicadores de biodiversidad y conservación de condiciones paisajísticas. Además, se integran programas de seguimiento dentro del Plan de Vigilancia Ambiental.

**Tabla 11 Estrategias ambientales de prevención, mitigación y control**

| Estrategia | Descripción ejecutiva |
|---|---|
| Calidad atmosférica | Reduce material particulado, emisiones, ruido temporal y efectos microclimáticos mediante mantenimiento, humedecimiento, control de velocidad, cobertura de materiales, prohibición de fuego y vegetación herbácea donde sea factible. |
| Condiciones edáficas | Protege suelo orgánico, evita contaminación por hidrocarburos o residuos, reduce erosión, limita circulación fuera de áreas autorizadas y favorece sucesión natural. |
| Calidad del agua | Previene contaminación superficial o subterránea, conserva infiltración en zonas permeables y mantiene continuidad de escurrimientos con drenajes y cercado compatible. |
| Biodiversidad | Integra rescate y reubicación de flora y fauna, control de actividades, conectividad, monitoreo de aves, señalización, capacitación, delimitación y recuperación natural. |
| Paisaje | Mantiene orden y limpieza, evita acumulación de materiales, retira residuos, controla frentes de trabajo y recupera cobertura en zonas sin infraestructura. |

Las medidas principales incluyen conformación de cunetas y obras de drenaje, sucesión natural en áreas factibles, humedecimiento de viales, restauración al cierre, uso de charolas impermeables bajo maquinaria, desmonte gradual y dirigido, velocidad máxima de 40 km/h en terracerías, uso de sanitarios portátiles o sistemas autorizados, cercado con permeabilidad ecológica, manejo integral

de residuos, resguardo de suelo orgánico, materiales de baja absorción térmica donde sea posible, reparación de maquinaria con protección del suelo, ahuyentamiento y rescate de fauna, criterios antielectrocución, prohibición de herbicidas de amplio espectro, prohibición de fuego, retiro oportuno de materiales, triturado de vegetación, rescate de flora, limpieza final, cobertura de material térreo transportado, prohibición de fauna doméstica o exótica, capacitación ambiental, mantenimiento vehicular, delimitación de superficies, señalización, prohibición de circulación fuera de áreas autorizadas, monitoreo de colisiones de aves, derribo direccional y kits antiderrames.

Las medidas de suelo y drenaje deberán aplicarse desde el inicio de obra, ya que la exposición temporal del terreno durante lluvias puede generar arrastre de sedimentos, compactación, pérdida de capa superficial y modificación de flujos locales. El diseño de caminos, zanjas, cunetas, pasos hidráulicos y plataformas debe permitir continuidad de escurrimientos y reducir encharcamientos inducidos, erosión o concentración artificial de caudales.

Las medidas de biodiversidad deberán incluir rescate de flora, ahuyentamiento y rescate de fauna, restricción de velocidad, capacitación del personal, prohibición de captura o aprovechamiento de fauna, manejo adecuado de residuos, señalización de pasos de fauna y verificación de nidos, madrigueras o refugios antes del desmonte. La eficacia de estas medidas depende de que se apliquen antes de la remoción de vegetación y se documenten con coordenadas, fotografías y reportes técnicos.

Para la línea de evacuación, subestaciones y equipos asociados se consideran distancias seguras y criterios antielectrocución, tomando como referencia mínima 1.5 m entre conductores y 0.6 m entre conductor y tierra, además de dispositivos visuales cuando resulten aplicables. Este punto es especialmente importante para aves rapaces, aves de gran tamaño y especies con patrones de vuelo a baja o mediana altura.

Para el BESS, transformadores y equipos eléctricos se establecen protocolos de inspección, mantenimiento preventivo, atención a fugas, control de temperatura, prevención de incendios y manejo de módulos o componentes defectuosos como residuos de manejo especial o peligrosos, según corresponda. Esta medida es esencial para el proyecto, ya que el almacenamiento por baterías introduce riesgos específicos que no están presentes en una planta fotovoltaica convencional sin BESS.

### I.9.1 Programas de Plan de Vigilancia Ambiental

**Tabla 12 Programas del Plan de Vigilancia Ambiental**

| Programa | Indicadores y resultados esperados |
|---|---|
| Información y capacitación ambiental | Capacitar al total del personal; listas de asistencia; pláticas de inducción; reportes de no conformidad; prevención de daños por negligencia. |
| Manejo integral de residuos sólidos, líquidos y peligrosos | Bitácoras, manifiestos, volúmenes por tipo, control de BESS y equipos eléctricos, disposición con empresas autorizadas y respuesta a derrames. |
| Rescate y reubicación de flora silvestre | Número de individuos rescatados y reubicados; porcentaje de sobrevivencia a 3 y 6 meses; evidencia georreferenciada. |
| Ahuyentamiento, rescate y reubicación de fauna silvestre | Registro de individuos ahuyentados, rescatados y reubicados; bitácoras de liberación; atención a especies de lento desplazamiento o protegidas. |
| Monitoreo de colisiones y electrocución de aves | Recorridos, eventos registrados, ubicación, especie involucrada y acción correctiva durante los primeros tres años de operación. |
| Vigilancia y control del BESS y equipos eléctricos | Inspecciones, mantenimiento, pruebas contra incendio, temperatura, manejo de módulos defectuosos y seguridad operativa. |

El Plan de Vigilancia Ambiental debe operar como un sistema de verificación y corrección. No basta con enlistar medidas; será necesario registrar evidencia fotográfica, bitácoras, coordenadas, manifiestos, reportes de residuos, fichas de rescate, informes de monitoreo, incidentes, acciones correctivas y cumplimiento de condicionantes. La supervisión ambiental deberá tener capacidad para detener o corregir actividades que rebasen las áreas autorizadas, generen derrames, afecten fauna, obstruyan escurrimientos o incumplan medidas de control.

La verificación ambiental deberá vincular cada medida con un indicador, una frecuencia de revisión, un responsable y un medio de comprobación. Esto permitirá distinguir entre medidas cumplidas, medidas en proceso, incumplimientos, incidentes ambientales y acciones correctivas, evitando que el seguimiento se limite a reportes generales sin evidencia suficiente.

Durante operación, el seguimiento deberá concentrarse en mantenimiento de drenajes, integridad del cercado, control de residuos, funcionamiento del BESS, monitoreo de fauna, revegetación de áreas temporales, manejo de vegetación bajo paneles y atención de eventos extraordinarios asociados a lluvias intensas, incendios, derrames o fallas de equipos eléctricos.

El momento de ejecución de las medidas es relevante. Las medidas preventivas deberán aplicarse antes del inicio de actividades que puedan generar impacto; por ejemplo, delimitación de áreas, capacitación, recorridos de fauna, rescate de flora y verificación de escurrimientos deben implementarse antes del desmonte. Durante construcción, deberán mantenerse humedecimiento, control de velocidad, manejo de residuos, protección del suelo, señalización, supervisión de fauna, obras de drenaje y limpieza. Durante operación, deberán continuar mantenimiento, manejo de residuos, monitoreo de aves, vigilancia del BESS, control de vegetación, revisión de cercado y atención de quejas. Durante abandono, deberán aplicarse desmantelamiento, manejo de residuos, restauración, descompactación y sucesión natural.

## I.10 Pronóstico ambiental, alternativas y viabilidad regional

El pronóstico ambiental regional se construye a partir de tres escenarios: sin proyecto, con proyecto sin medidas, y con proyecto considerando medidas de mitigación, restauración, compensación y seguimiento. Este enfoque permite valorar el comportamiento probable del SAR y la eficacia esperada de las acciones ambientales propuestas.

**Tabla 13 Pronóstico ambiental por escenario de evaluación**

| Escenario | Pronóstico ejecutivo |
|---|---|
| Escenario sin proyecto | El SAR mantendría sus tendencias actuales de cambio por actividades agropecuarias, caminos, asentamientos rurales, transformación de cobertura y sucesión vegetal. No se generarían impactos directos de la planta, pero tampoco medidas de rescate, restauración, compensación o manejo asociadas al proyecto. |
| Con proyecto sin medidas | Se presentaría reducción de cobertura vegetal, modificación de hábitat, ocupación permanente y temporal, movimiento de tierras, residuos, emisiones temporales, ruido, cambio paisajístico y riesgos para flora, fauna, suelo y escurrimientos. |
| Con proyecto y medidas | Las medidas reducirían la magnitud de impactos, conservarían zonas de reserva, restaurarían áreas temporales, controlarían residuos y derrames, protegerían suelo y escurrimientos, y mantendrían funcionalidad ambiental regional. Persistirían impactos residuales manejables. |

El escenario sin proyecto no implica necesariamente mejora ambiental, ya que las presiones antrópicas preexistentes continuarían actuando. Este escenario representa la continuidad de las condiciones actuales de transformación rural, con presión sobre vegetación secundaria, caminos y

cambios de uso de suelo. En este contexto, el proyecto debe evaluarse no como una intervención en un ambiente intocado, sino como una infraestructura energética que se inserta en un mosaico regional ya sometido a modificación.

El escenario con proyecto sin medidas representa el caso de mayor presión. La ocupación del Área del Proyecto de 817.19 ha equivale a 4.09% del SAR; la afectación permanente de 359.41 ha equivale a 1.80% del SAR; y la afectación temporal de 2.18 ha equivale a 0.01% del SAR. Aunque la proporción regional es acotada, la concentración de impactos en las áreas permanentes puede reducir la calidad ambiental local si no se controlan desmonte, residuos, escurrimientos, fauna, suelo y vegetación.

El escenario con medidas es el ambientalmente más viable. La conservación de 455.60 ha como zonas de reserva dentro del Área del Proyecto es un elemento central para mantener conectividad, refugio y reducción de presión. A ello se suman rescate de flora y fauna, restauración de áreas temporales, manejo integral de residuos, control de escurrimientos, protección de suelos, compensación forestal, monitoreo de aves, vigilancia del BESS, capacitación y supervisión ambiental continua.

La evaluación de alternativas concluye que no se identifican alternativas de ubicación que ofrezcan una reducción sustantiva de impactos sin comprometer la viabilidad técnica, eléctrica y operativa. La selección del sitio responde a disponibilidad de superficie, condiciones topográficas, cercanía a infraestructura eléctrica existente, factibilidad de interconexión mediante la LT Chunhuhub-Xul Ha, disponibilidad legal de terrenos y posibilidad de integrar una planta fotovoltaica con almacenamiento. Sin embargo, sí existen alternativas de diseño y manejo ambiental que deben aplicarse, como concentración de infraestructura en superficies estrictamente necesarias, conservación de reservas, restauración de áreas temporales, ajuste de trazos a escurrimientos, cercado permeable y programas de rescate.

## I.11 CONDICIONES RELEVANTES DE MANEJO AMBIENTAL

Para mantener la congruencia técnica del proyecto y asegurar la eficacia de las medidas ambientales, la ejecución deberá atender condiciones específicas de manejo, control y seguimiento. Estas condiciones se relacionan con superficies forestales, vegetación, fauna, drenaje, seguridad del sistema BESS, permeabilidad del cercado, monitoreo de avifauna y trazabilidad documental del cumplimiento ambiental.

- La superficie de cambio de uso de suelo en terrenos forestales deberá determinarse con base en la delimitación de comunidades vegetales, inventario forestal, listado florístico, análisis de especies bajo categoría de riesgo y correspondencia entre cartografía, memoria técnica y áreas reales de intervención.
- Las superficies por tipo de vegetación dentro del Área del Proyecto y de las zonas de reserva deberán mantenerse consistentes entre planos, cartografía, tablas de superficies, programa de obra y medidas de manejo ambiental.
- Las áreas receptoras de flora rescatada deberán seleccionarse conforme a compatibilidad ecológica, accesibilidad para seguimiento, baja probabilidad de intervención futura y condiciones adecuadas de suelo, humedad y cobertura para favorecer la sobrevivencia de los individuos reubicados.
- Los recorridos previos al desmonte deberán atender anfibios, reptiles, mamíferos pequeños, nidos activos, madrigueras, refugios y especies bajo la NOM-059-SEMARNAT-2010, con protocolos de ahuyentamiento, rescate, reubicación y registro documental.

- Los escurrimientos, zonas de encharcamiento, suelos Gleysol u otras áreas de saturación temporal deberán considerarse en el diseño de caminos, zanjas, drenajes, cercado, pasos hidráulicos y plataformas, evitando obstrucciones que modifiquen de manera innecesaria la dinámica local del agua.
- El BESS deberá operar con protocolos específicos de prevención de incendios, monitoreo térmico, atención a fugas, manejo de baterías defectuosas, control de residuos peligrosos, seguridad del personal, mantenimiento preventivo y respuesta ante contingencias.
- El cercado perimetral deberá incorporar criterios de permeabilidad ecológica donde sea técnicamente viable, evitando el bloqueo de corredores, escurrimientos o zonas de desplazamiento de fauna, y manteniendo la seguridad operativa de la instalación.
- El monitoreo de colisiones y electrocución de aves durante los primeros años de operación permitirá identificar eventos de mortalidad, valorar su frecuencia y aplicar medidas correctivas como señalización, dispositivos visuales o ajustes operativos cuando resulten necesarios.
- El sistema documental de cumplimiento ambiental deberá integrar bitácoras, evidencia fotográfica, manifiestos de residuos, reportes de rescate, coordenadas, no conformidades y acciones correctivas, de manera que el cumplimiento pueda verificarse durante todas las etapas del proyecto.

Estas condiciones deben operar como criterios de control del proyecto. Su aplicación reduce riesgos ambientales, mejora la trazabilidad del cumplimiento y fortalece la viabilidad ambiental regional, particularmente en los temas de CUSF, fauna, BESS, hidrología kárstica y conservación de zonas de reserva.

## I.12 CONCLUSIÓN EJECUTIVA INTEGRADA

La Planta Solar Fotovoltaica Balam Solar es un proyecto de generación eléctrica renovable a escala industrial localizado en el municipio de Bacalar, Quintana Roo, en terrenos del Ejido Manuel Ávila Camacho. El proyecto integra una planta fotovoltaica de 202.2 MWac y 235.21 MWdc, un sistema BESS de 60 MW / 240 MWh, subestación elevadora, subestación de maniobras, línea aérea de 230 kV, apertura de la LT Chunhuhub-Xul Ha, caminos internos, accesos, canalizaciones y obras auxiliares.

El Área del Proyecto es de 817.19 ha, lo que equivale aproximadamente al 4.09% del SAR de 19,958.6168 ha. La afectación permanente asciende a 359.41 ha y representa 1.80% del SAR; la afectación temporal es de 2.18 ha y representa 0.01%; y las zonas de reserva alcanzan 455.60 ha, equivalentes a 55.75% del Área del Proyecto y 2.28% del SAR. Esta relación de superficies es relevante porque permite concentrar la intervención y mantener áreas sin ocupación directa, aunque no elimina los impactos residuales asociados a cobertura vegetal, hábitat y paisaje.

El SAR presenta clima cálido subhúmedo, relieve bajo propio de la Península de Yucatán, suelos con distintas restricciones, escurrimientos estacionales, alta infiltración potencial y dependencia del acuífero Yucatán. En el medio biótico se reconoce un mosaico de selva, vegetación secundaria, áreas agropecuarias, caminos y asentamientos. La fauna potencial incluye especies de anfibios, reptiles, aves y mamíferos con categorías de riesgo, por lo que el proyecto debe aplicar medidas precautorias desde la preparación del sitio.

La evaluación identificó 18 impactos negativos y dos positivos. Ningún impacto negativo fue clasificado como significativo bajo la interpretación estricta del REIA; sin embargo, diez impactos fueron considerados destacables, principalmente los relacionados con suelo, drenaje superficial, mortalidad y desplazamiento de fauna, modificación de hábitat, especies en riesgo, reducción de flora, cubierta vegetal forestal, movilidad de especies y paisaje. Los impactos positivos son la

generación de empleos y la producción de energía eléctrica mediante una fuente renovable con almacenamiento.

Los impactos residuales más importantes se relacionan con ocupación permanente de suelo, modificación de hábitat, reducción de cobertura vegetal forestal, pérdida localizada de individuos de flora, riesgo bajo de mortalidad de fauna durante operación, alteración de patrones de desplazamiento y modificación del paisaje. Estos impactos no se eliminan por completo, pero pueden manejarse mediante delimitación estricta, zonas de reserva, rescate, restauración, compensación forestal, cercado permeable, control de velocidad, medidas antielectrocución, monitoreo de aves, manejo de residuos y vigilancia ambiental permanente.

La principal condición de viabilidad del proyecto es la ejecución estricta de las medidas y programas ambientales. La conservación de calidad atmosférica, suelo, agua, biodiversidad y paisaje debe operar como un sistema de gestión integrado durante preparación del sitio, construcción, operación, mantenimiento y abandono. El Plan de Vigilancia Ambiental deberá convertir cada medida en indicadores verificables, con responsables, frecuencia, evidencia documental y acciones correctivas.

Con base en la información técnica de la MIA-R, el escenario ambientalmente más favorable corresponde al desarrollo del proyecto en el sitio propuesto, con implementación integral de medidas de prevención, mitigación, restauración, compensación y seguimiento ambiental. Bajo este supuesto, la Planta Solar Fotovoltaica Balam Solar puede considerarse ambientalmente viable en términos regionales, siempre que obtenga y cumpla las autorizaciones en materia de impacto ambiental, cambio de uso de suelo en terrenos forestales y demás permisos aplicables.

La viabilidad no debe entenderse como ausencia de impactos, sino como posibilidad de desarrollar el proyecto manteniendo la funcionalidad ambiental regional y controlando los efectos locales. El reto ambiental central será asegurar que la ocupación permanente, la remoción de vegetación, la protección del acuífero kárstico, el manejo del BESS, la conectividad de fauna y la restauración de áreas temporales se ejecuten conforme a la MIA-R y a las condicionantes de la autoridad ambiental.