



**Group Number: C2566-OG0262-3476**

**Nombre Completo**

Isabela Arenas Escudero  
Juan Pablo Tobón García  
Juan Manuel Young Hoyos

Tutor: Jose Alfredo Vasquez Paniagua

**Medellín, 9 de noviembre de 2025**

# Índice

<b>1 Título del proyecto</b>	<b>2</b>
<b>2 Resumen del proyecto</b>	<b>2</b>
<b>3 FASE 1: Preparación</b>	<b>3</b>
3.1 Identificación de impactos ambientales . . . . .	3
3.2 Uso de recursos naturales . . . . .	3
<b>4 FASE 2: Formulación y evaluación ambiental del proyecto</b>	<b>4</b>
4.1 Estudio sectorial y de mercado . . . . .	4
4.2 Estudio técnico y de localización . . . . .	5
4.3 Estudio administrativo . . . . .	6
4.4 Estudio legal . . . . .	6
4.5 Estudio económico . . . . .	7
4.6 Estudio financiero . . . . .	8
<b>5 FASE 3: Operación del proyecto</b>	<b>8</b>
5.1 1) Generales de la licencia . . . . .	8
5.2 2) Suelo y geosfera . . . . .	8
5.3 3) Agua (captación, vertimientos y escorrentía) . . . . .	9
5.4 4) Aire y ruido . . . . .	9
5.5 5) Flora y compensación forestal . . . . .	9
5.6 6) Fauna silvestre . . . . .	9
5.7 7) Patrimonio arqueológico . . . . .	9
5.8 8) Residuos (ordinarios, peligrosos, RAEE) . . . . .	10
5.9 9) Componente social y relacionamiento . . . . .	10
5.10 10) Riesgo y contingencias . . . . .	10
5.11 11) Monitoreo, reporte y auditoría . . . . .	10
5.12 12) Ordenamiento territorial y servidumbres . . . . .	10
5.13 13) Inversión ambiental del 1% . . . . .	11
5.14 14) Abandono y cierre . . . . .	11
<b>6 FASE 4: Abandono del proyecto</b>	<b>11</b>
6.1 1) Plan de abandono y desmontaje total . . . . .	11
6.2 2) Gestión de residuos del cierre (RAEE, RESPEL y ordinarios) . . . . .	11
6.3 3) Suelo y restauración morfológica/vegetal . . . . .	11
6.4 4) Agua (captación, vertimientos y escorrentía) . . . . .	12
6.5 5) Flora y fauna — obligaciones remanentes . . . . .	12
6.6 6) Patrimonio arqueológico . . . . .	12
6.7 7) Componente social y relacionamiento . . . . .	12
6.8 8) Riesgo y contingencias en el cierre . . . . .	12
6.9 9) Garantías financieras y pólizas . . . . .	13
6.10 10) Ordenamiento territorial y servidumbres . . . . .	13
6.11 11) Inversión del 1% (si aplicó) . . . . .	13
6.12 12) Informes de cumplimiento y acto final . . . . .	13
<b>7 Referencias</b>	<b>14</b>

## 1 | Título del proyecto

Parque Solar Castilla (FV ~21 MWp) — Planificación Ambiental en Preparación, Operación y Abandono

## 2 | Resumen del proyecto

El **Parque Solar Castilla** es una instalación fotovoltaica ubicada en el municipio de Castilla La Nueva (Meta, Colombia), concebida para el *autoconsumo industrial* del *Complejo Castilla* mediante un contrato bilateral de compra de energía (*PPA*) entre el ancla de demanda (Ecopetrol) y el operador (AES Colombia), con **capacidad instalada del orden de 21 MWp**. El proyecto fue puesto en operación en 2019 y se integra a la infraestructura eléctrica del complejo para reducir costos, volatilidad de mercado y huella de carbono, aprovechando la alta irradiancia del piedemonte llanero.<sup>1</sup>

**Contexto y objetivos.** Castilla es uno de los complejos de producción más relevantes de Ecopetrol. La estrategia de *electrificación limpia* busca: (i) disminuir la intensidad de emisiones corporativas, (ii) estabilizar el costo de la energía con un activo de generación *behind-the-meter* y (iii) robustecer la seguridad energética del sitio. Bajo esta lógica, el parque solar actúa como respaldo parcial de la demanda interna, con curvas de generación diurnas que calzan con consumos operativos del complejo.

**Alcance técnico (síntesis).** El diseño contempla módulos FV mono-PERC/bifaciales, estructuras a *fijo* o seguidor de un eje (según optimización de LCOE), inversores tipo *string* o *central*, celdas de media tensión, transformadores elevadores y sistema SCADA para operación y despacho seguro. Obras complementarias: cerramiento, vías internas y *drenajes perimetrales* para control de escorrentía. En operación se privilegia *limpieza en seco* o *uso eficiente del agua* con meta de **cero vertimiento** siempre que el esquema técnico lo permita.

**Dimensionamiento y desempeño esperado.** Para llanos orientales, un factor de planta de referencia entre 18–22 % permite estimar una producción anual en el rango de 33–41 GWh para ~21 MWp. Con esa magnitud, y suponiendo reemplazo marginal de generación fósil en la red interna, la reducción agregada de emisiones reportada para el proyecto es del orden de **~154,000 t de CO<sub>2</sub> en 15 años** (promedio ~10,000 t CO<sub>2</sub>/año), consistente con metas corporativas de descarbonización.[5]

**Integración y esquema comercial.** El parque opera *detrás del medidor* conectado a barras internas del complejo, bajo un **PPA intragrupo** de largo plazo. Este esquema mitiga exposición a precios de bolsa/contratos del *Sistema Interconectado Nacional*, mejora la previsibilidad del flujo de caja y habilita beneficios operacionales (menores pérdidas, control de calidad de energía y mantenimiento planificado).

**Gestión ambiental por ciclo de vida.** Desde la *preparación*, el predio se selecciona evitando rondas hídricas, humedales y coberturas sensibles; el **PMA** integra programas de suelo (control de erosión/sedimentos), agua (uso eficiente; sólo captación/vertimiento si es técnicamente indispensable), aire/ruido (control de polvo; cumplimiento Res. 627/2006), flora (aprovechamiento y compensación forestal) y fauna (rescate/reubicación), además de *hallazgo arqueológico* (ICANH) y *residuos* (PGIRS, RESPEL, RAEE). En *operación*, se reportan **ICA** con indicadores de desempeño; en *abandono* se desmantelan módulos/estructuras, se gestionan RAEE/RESPEL con trazabilidad y se ejecuta restauración morfológica y revegetalización hasta el *paz y salvo* ambiental.[12, 13, 10, 14, 16, 6, 9, 15, 7]

**Riesgos críticos y mitigación (operativo-ambiental).** Variabilidad interanual de irradiancia (*mitigación*: coberturas financieras y reservas de mantenimiento), degradación de módulos (~0.5 %/año; *mitigación*: O&M preventivo y reposición planificada), *soiling* estacional (*mitigación*: limpieza racional y control de polvo), eventos extremos de lluvia (*mitigación*: drenajes, disipadores, *franjas de manejo*), y cumplimiento de compensaciones (*mitigación*: contratos de mantenimiento de siembras y monitoreo con umbrales de supervivencia ≥ 80 %).

**Valor público y encadenamientos.** Además de la reducción de GEI, el proyecto promueve empleo local, compras en territorio y *programas de educación ambiental y seguridad eléctrica*, con mecanismos de PQRS y socialización permanente, en línea con la *Ley 99 de 1993* y la participación informada en licenciamiento.[2, 12]

**Marco normativo base (síntesis).** *Ley 99 de 1993* (SINA, licenciamiento e inversión del 1 %) [2]; *Decreto 2041 de 2014* (trámite de licencias, seguimiento y cierre) [12]; *Decreto 1076 de 2015* (uso de

<sup>1</sup> Antecedente sectorial y comunicado: [5]. Marco normativo general: [2, 12, 13].

recursos; ocupación de cauce; vertimientos; fauna/flora) [13]; *Decreto 1541 de 1978* (concesiones de agua) [8]; *Decreto 3930 de 2010* y *Resolución 631 de 2015* (parámetros y límites de vertimientos) [10, 14]; *Decreto 1791 de 1996* (aprovechamiento forestal) [16]; *Decreto 1608 de 1978* (fauna) [6]; *Resolución 627 de 2006* (ruido) [9]; *Decreto 948 de 1995* (aire) [15]; *Ley 1185 de 2008/ICANH* (patrimonio arqueológico y hallazgo fortuito) [7]; *Decreto 4741 de 2005* (residuos peligrosos) y *Ley 1715 de 2014* (promoción de FNCE y autogeneración) [3]. Antecedente sectorial del proyecto: [5].

**Límites y supuestos.** Cuando se presentan cifras de desempeño anual (GWh/año) o factores de planta, se ofrecen como *referencias técnicas* coherentes con la radiación local y bibliografía del sector; las magnitudes exactas dependen del *as-built*, disponibilidad, pérdidas del *BOS*, *curtailment* y perfil de demanda interna.

**Palabras clave:** autogeneración, PPA, FNCE, licenciamiento ambiental, PMA, RAEE, RESPEL, control de erosión y sedimentos, drenajes, revegetalización, ICANH, PQRS.

### 3 | FASE 1: Preparación

#### 3.1 | Identificación de impactos ambientales

##### 3.1.1 | Identificación de impactos (Tabla A)

**Cuadro 3.1:** Tabla A. Identificación de impactos ambientales por componente

Componente	Descripción de impactos ambientales	Calif.
Biótico	Reducción puntual de cobertura vegetal por implantación de estructuras y vías internas.	—
	Desplazamiento temporal de fauna terrestre durante construcción; rescate y reubicación.	—
	Creación de micro hábitats de sombra que favorecen especies pequeñas en operación.	+
Atmosférico	Reducción de emisiones de CO <sub>2</sub> por sustitución de generación fósil. Disminución de gases de combustión locales en operación (sin chimeneas/fuentes fijas). Emisión de polvo y ruido temporal por obra y tránsito de maquinaria.	+ + —
Hidrosférico	Bajo consumo de agua frente a otras tecnologías; uso eficiente para lavado de paneles. Riesgo de arrastre de sedimentos por movimientos de tierra (fase de obra). Mejora indirecta de calidad del agua a escala regional por menor huella global de emisiones.	+ — +
Socioeconómico	Generación de empleo directo e inclusión de mano de obra local. Programas con instituciones educativas (sensibilización/energía limpia). Incremento temporal de tránsito/ruido en comunidades aledañas durante obra.	+ + —
Cultural	Sin afectación prevista a vestigios; protocolo de hallazgo fortuito. Promoción de cultura ambiental y tecnológica en la zona. Posible alteración menor por presencia de maquinaria durante obra.	+ + —
Paisaje	Estructuras visibles que modifican la escena rural. Percepción social positiva asociada a energías limpias. Integración con uso agropecuario al no generar emisiones ni olores.	— + +
Geosférico	Movimiento de tierras y compactación en frentes de obra. Protección frente a erosión por cobertura parcial y control de escorrentías. Alteración local por fundaciones y redes soterradas.	— + —

*Sustento normativo:* [12, 13, 14, 9, 16, 6, 7].

#### 3.2 | Uso de recursos naturales

### 3.2.1 | Permisos, concesiones y autorizaciones (Tabla B)

**Cuadro 3.2:** Tabla B. Uso de recursos naturales

Componente ambiental	Permiso, concesión o autorización	Restricción
Hidrosférico (extracción)	Permiso de uso de aguas superficiales o subterráneas otorgado por la autoridad ambiental ( <b>Corporinoquia [4]</b> , en el Meta).	Solo se autoriza si el uso del agua no afecta el abastecimiento local ni los ecosistemas hídricos; se deben respetar los caudales ecológicos.
Hidrosférico (disposición de agua residual)	Permiso de vertimientos si se generan aguas residuales durante la fase de construcción (lavado de maquinaria o paneles).	Las aguas residuales deben cumplir con los límites de calidad establecidos en la <b>Resolución 0631 de 2015</b> antes de ser vertidas.
Hidrosférico (retiros a fuentes de agua)	Autorización para captación o desvío temporal de cauces (en caso de requerirse para obras).	No se permite alterar el cauce natural ni afectar la fauna acuática; debe garantizarse la restitución del terreno al finalizar las obras.
Atmosférico	Permiso de emisiones atmosféricas para maquinaria o generadores usados en la construcción.	Se deben cumplir los estándares de emisión y ruido del <b>Decreto 1076 de 2015</b> ; las emisiones deben ser temporales y controladas.
Biótico (Fauna)	Plan de manejo de fauna silvestre aprobado por la autoridad ambiental.	No se puede cazar, capturar ni desplazar fauna sin autorización; se debe realizar rescate y reubicación de especies antes de intervenir el terreno.
Biótico (Flora: árboles y arbustos)	Permiso de aprovechamiento forestal para retirar vegetación o árboles en el área del proyecto.	Se debe compensar con reforestación equivalente o superior a lo talado, cumpliendo la normatividad ambiental vigente.
Vestigios prehistóricos	Autorización del <b>ICANH</b> (Instituto Colombiano de Antropología e Historia) en caso de hallazgos arqueológicos.	Las obras deben detenerse de inmediato si se encuentran restos arqueológicos hasta obtener la evaluación del ICANH.
Socioeconómico	Licencia ambiental general del proyecto (gestionada por <b>Ecopetrol</b> ante la autoridad ambiental).	Se deben cumplir compromisos de empleo local, manejo de residuos, programas sociales y mitigación de impactos comunitarios.

*Sustento normativo:* [8, 10, 14, 13, 15, 16, 6, 7].

## 4 | FASE 2: Formulación y evaluación ambiental del proyecto

### 4.1 | Estudio sectorial y de mercado

- **Qué vende el proyecto y a quién.** El Parque Solar Castilla es una instalación fotovoltaica de aproximadamente 21 MWp destinada a la autogeneración a gran escala, suministrando energía al propio consumo del complejo industrial Castilla mediante un contrato PPA interno Ecopetrol-AES. El objetivo principal es reducir el costo energético, la exposición a la volatilidad del mercado eléctrico y la huella de carbono de las operaciones.
- **Demandas y competencia.** En Colombia, la penetración de fuentes no convencionales de energía renovable (FNCE) como la solar y eólica ha crecido sostenidamente. La energía fotovoltaica presenta un costo nivelado de generación (LCOE) altamente competitivo y tiempos de construcción reducidos, lo que la posiciona como una alternativa atractiva, especialmente para proyectos con demanda anclada (autoconsumo industrial).
- **Ingresos y esquema comercial.** El proyecto opera bajo un esquema bilateral (PPA) de largo plazo, sin depender de subastas públicas. El flujo de ingresos es estable y predecible, con bajo riesgo frente a fluctuaciones del mercado eléctrico, al tratarse de un modelo *behind-the-meter*.

- **Riesgos sectoriales.** Se consideran la variabilidad de irradiancia, degradación de módulos (aprox. 0.5 % anual), posibles restricciones operativas (*curtailment*) por red interna y cambios regulatorios asociados a medición, acceso o autogeneración.
- **Fuentes técnicas típicas.** Atlas de Radiación Solar (IDEAM/UPME), bases de datos horarios de irradiancia, curvas de producción fotovoltaica, disponibilidad y capacidad de red interna, Plan de Ordenamiento Territorial (POT) municipal y planes energéticos corporativos.
- **Base normativa.** [3, 1, 12] Ley 1715 de 2014 (promoción de FNCE y autogeneración), CREG 030 de 2018 (autogeneración), Ley 142 de 1994 (servicios públicos), y Decreto 2041 de 2014 (licenciamiento ambiental).

## 4.2 | Estudio técnico y de localización

### Criterios de localización.

- Alta irradiancia y baja nubosidad estacional.
- Predio ubicado dentro del complejo industrial existente, minimizando conflictos de uso del suelo.
- Topografía suave y suelos con adecuada capacidad portante (según estudios geotécnicos).
- Conectividad eléctrica cercana (barra/subestación interna) con pérdidas mínimas.
- Evitar rutas hídricas, humedales y fragmentos de bosque; establecer franjas de manejo y pasos de fauna.

### Diseño y tecnología.

- Módulos fotovoltaicos mono-PERC o bifaciales con estructuras fijas o seguidores de un eje (según evaluación LCOE).
- Inversores tipo string o central, transformadores elevadores y sistema SCADA para control y despacho.
- Drenajes perimetrales, control de escorrentía, manejo de polvo y vías internas en recebo.
- Cerramiento perimetral, control de acceso y plan de prevención de incendios (eléctricos y vegetativos).

### Construcción (metodología).

- Desbroce controlado del terreno y rescate de epífitas o individuos protegidos.
- Rescate y reubicación de fauna antes del hincado de estructuras.
- Zonas de acopio temporal impermeabilizadas y manejo de residuos bajo PGIRS y RESPEL (si aplica).
- Implementación del programa de manejo arqueológico y protocolo de hallazgo fortuito.

### Operación.

- Limpieza de paneles con consumo racional de agua o técnicas en seco (preferencia: *cero vertimiento*).
- Monitoreo de generación e indisponibilidades.
- Mantenimiento preventivo y control periódico de vegetación.

**Base normativa.** [13, 14, 16, 6, 7, 11]. Decreto 1076 de 2015 (ocupación de cauce, vertimientos, aprovechamiento forestal, fauna), Resolución 631 de 2015 (parámetros de vertimiento), Decreto 1791 de 1996 (aprovechamiento forestal), Decreto 1608 de 1978 (fauna), Ley 1185 de 2008 e ICANH (patrimonio arqueológico), Norma NSR-10 (diseño estructural), POT municipal (uso del suelo).

## 4.3 | Estudio administrativo

### Gobernanza del proyecto.

- **Estructura:** Propietario/ancla de demanda (Ecopetrol) y desarrollador/operador (AES).
- **Roles ambientales:** Titular de la licencia o permisos, interventoría ambiental, coordinación HSE en obra y operación, y gestores autorizados de residuos.
- **Stakeholders:** Alcaldía, comunidad local, inspectores de trabajo, autoridad ambiental (ANLA o CORMACARENA), ICANH, bomberos y gestores de residuos.

### Plan de relación con grupos de interés.

- Socialización previa del proyecto y mecanismos de atención de quejas y reclamos.
- Priorización de mano de obra y compras locales.
- Programas de educación ambiental y seguridad eléctrica comunitaria.

### Cronograma administrativo típico.

- Prefactibilidad: 6-9 meses (recurso solar, terreno, conexión, línea base ambiental).
- Factibilidad y licenciamiento: 6-12+ meses (EIA/EMAS, permisos específicos, concertaciones).
- Construcción: 6-12 meses.
- Operación: 15-30 años.
- Cierre/abandono: 3-12 meses.

**Base normativa.** [2, 12] Ley 99 de 1993 (SINA y competencias), Decreto 2041 de 2014 (trámite de licencias), Ley 80 de 1993 (contratación pública, si aplica), Decreto 1072 de 2015 (Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo).

## 4.4 | Estudio legal

**Requerimiento de licencia ambiental.** Dado que la capacidad del parque supera los 10 MW, se modela bajo el régimen de **Licencia Ambiental Global**, de conformidad con el Decreto 2041 de 2014 y su incorporación al Decreto 1076 de 2015. Este instrumento integra los permisos asociados y facilita la gestión unificada del Plan de Manejo Ambiental (PMA).

### Permisos integrados o asociados (según diseño final).

- **Aprovechamiento forestal:** Decreto 1791 de 1996.
- **Fauna (rescate y reubicación):** Decreto 1608 de 1978.
- **Vertimientos:** Decreto 3930 de 2010 y Resolución 631 de 2015 (si hay descargas a cuerpos de agua o suelo).
- **Concesión de aguas:** Decreto 1541 de 1978 (si se capta agua para limpieza).
- **Ocupación de cauce:** Decreto 1076 de 2015, Art. 2.2.3.2.9.1.
- **Ruido:** cumplimiento de Resolución 627 de 2006.
- **Aire:** Permisos sólo si hay fuentes fijas (p. ej., generadores diésel permanentes); Decreto 948 de 1995.
- **Patrimonio arqueológico:** PMA-ICANH y protocolo de hallazgo fortuito; Ley 1185 de 2008.
- **Residuos:** PGIRS y, si aplica, registro RESPEL (Decreto 4741 de 2005).

**Autoridad competente.** Por su alcance y tipología, la autoridad principal sería la ANLA; si se determina competencia regional, aplicaría CORMACARENA (Meta).

### Obligaciones típicas en la resolución.

- Ejecución integral del PMA (suelo, agua, aire, flora, fauna, social, arqueología y residuos).
- Reportes de monitoreo y cumplimiento según la frecuencia establecida (ICA, parámetros, etc.).
- Cumplimiento de compensaciones (forestal, biodiversidad o social).
- Aprobación y ejecución del Plan de Abandono antes del cierre definitivo.

**Norma base.** [12, 13, 8, 10, 14, 16, 6, 9, 15, 7] D. 2041/2014; D. 1076/2015; D. 1541/1978; D. 3930/2010; Res. 631/2015; D. 1791/1996; D. 1608/1978; Res. 627/2006; D. 948/1995; Ley 1185/2008; D. 4741/2005.

#### 4.5 | Estudio económico

Los costos ambientales del **Parque Solar Castilla** se estructuran en función del ciclo de vida del proyecto (preparación, construcción, operación y cierre) y de lo que exige la normatividad colombiana para proyectos que requieren licencia ambiental (Ley 99 de 1993, Decreto 2041 de 2014 y Decreto 1076 de 2015). A continuación se detallan los costos estimados reportados en el ejercicio:

**Cuadro 4.1:** Costos ambientales estimados del proyecto

Costo ambiental	Precio estimado (COP)
Elaboración del Estudio de Impacto Ambiental (EIA)	\$ 250,000,000
Gestión de permisos ambientales (ANLA, CORMACARENA, ICA, ICANH, etc.)	\$ 80,000,000
Consultorías técnicas (suelo, biodiversidad, uso del territorio)	\$ 120,000,000
Capacitaciones ambientales iniciales al personal de obra	\$ 20,000,000
Medidas de prevención y mitigación (control de polvo, ruido, vertimientos, residuos)	\$ 1,700,000,000
Adecuación de zonas verdes y revegetalización	\$ 250,000,000
Sistemas de drenaje y control de escorrentías	\$ 180,000,000
Equipos para monitoreo de agua, aire y suelo	\$ 150,000,000
Monitoreo ambiental continuo (ruido, aire, agua, suelo)	\$ 900,000,000
Personal ambiental (ingeniero ambiental y técnico de planta)	\$ 300,000,000
Gestión integral de residuos y mantenimiento sostenible	\$ 200,000,000
Reportes y auditorías ambientales	\$ 50,000,000
Siembra de árboles / revegetalización compensatoria	\$ 100,000,000
Programas comunitarios y educativos	\$ 50,000,000
Contribuciones a fondos ambientales regionales	\$ 30,000,000
Desmontaje y disposición final de paneles y estructuras	\$ 600,000,000
Gestión de residuos electrónicos	\$ 100,000,000
Restauración del terreno	\$ 200,000,000
Evaluación final ambiental	<i>Sin información</i>
<b>Total estimado de costos ambientales</b>	<b>\$ 5,280,000,000</b>

En conclusión, el estudio económico nos muestra los costos ambientales asociados a cada etapa del ciclo de vida del Parque Solar Castilla, evidenciando que la gestión ambiental representa una inversión significativa para asegurar el cumplimiento normativo, la mitigación de impactos y la sostenibilidad del proyecto. Estos costos son aproximadamente de \$5,280 millones de pesos, reflejan el compromiso del proyecto con la protección de los recursos naturales, el manejo responsable de los residuos, la compensación ecológica y el fortalecimiento del relacionamiento con las comunidades locales. En conjunto, este análisis económico confirma que la viabilidad ambiental del proyecto depende directamente de una adecuada planeación y ejecución de las medidas de control, seguimiento y restauración ambiental.

**Relación con la norma.** Estos rubros aparecen porque:

- el EIA y las consultorías técnicas son requisito del **Decreto 2041 de 2014**;
- las medidas de prevención, monitoreo y reportes se derivan del **Plan de Manejo Ambiental** que forma parte de la resolución de licencia (Ley 99 de 1993, art. 57);

- las compensaciones forestales y los programas comunitarios responden al principio de participación y al deber de compensar la afectación de cobertura (Decreto 1791 de 1996 y Ley 99 de 1993);
- los costos de desmontaje y restauración son coherentes con la obligación de incluir el *plan de abandono* en el trámite de licencia (Decreto 2041 de 2014, art. 12).

## 4.6 | Estudio financiero

El estudio financiero del Parque Solar Castilla permite analizar el valor total a del proyecto y la proporción de los costos ambientales dentro de la inversión total. De acuerdo con la información técnica, la inversión estimada asciende a USD 20 millones, lo que equivale aproximadamente a \$77,495,600,000 COP, aplicando una tasa de cambio promedio de 1 USD = 3,910 85 COP. Este valor contempla los gastos de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre del proyecto, incluyendo todos los componentes técnicos, administrativos y ambientales necesarios para su ejecución.

Dentro de esta inversión total, los costos ambientales alcanzan un valor aproximado de \$5,280 millones de pesos, los cuales se ven más afondo en el estudio económico que vimos anteriormente. Esta cifra refleja el compromiso del Parque Solar Castilla con la sostenibilidad, la responsabilidad ambiental y el cumplimiento de los requisitos legales establecidos en la Ley 99 de 1993, el Decreto 2041 de 2014 y el Decreto 1076 de 2015, que regulan la gestión ambiental en proyectos con licencia.

Al dividir ambos valores:

$$\frac{5,280,000,000}{77,495,600,000} \approx 0,068 \Rightarrow 6.8\%$$

Se evidencia que la participación de los costos ambientales dentro del costo total del proyecto equivale aproximadamente al 7 %. Este porcentaje se encuentra dentro del rango promedio que se observa en los proyectos con estas características, el cual suele estar entre el 4 % y el 11 %.

## 5 | FASE 3: Operación del proyecto

En caso de que se obtenga la licencia ambiental, durante la fase de operación del **Parque Solar Castilla** el titular deberá cumplir todas las obligaciones que queden consignadas en la resolución de licencia ambiental y en los permisos, concesiones o autorizaciones asociadas. A continuación se listan las obligaciones típicas para este tipo de proyecto en Colombia.

### 5.1 | 1) Generales de la licencia

- Ejecutar el **Plan de Manejo Ambiental (PMA)** aprobado, incluyendo programas, metas, indicadores y presupuesto, tanto para construcción como para operación y abandono.
- Actualizar el PMA cuando haya cambios en el diseño, en la huella intervenida o en el cronograma, y solicitar modificación de la licencia cuando corresponda.
- Constituir y mantener vigentes las garantías o pólizas de cumplimiento ambiental exigidas en la resolución.
- Llevar archivo y trazabilidad de permisos, actas de visita, monitoreos, reportes e informes de cumplimiento ambiental (ICA).

**Base legal [12, 2]:** Decreto 2041 de 2014 (procedimiento y obligaciones de la licencia); Ley 99 de 1993.

### 5.2 | 2) Suelo y geosfera

- Delimitar y señalizar áreas de obra, vías internas y zonas de acopio; prohibir disposición de escombros o RCD por fuera de las áreas autorizadas.
- Aplicar medidas de control de erosión y sedimentación (cunetas, filtros, revegetalización inmediata de taludes).
- Restaurar o descompactar suelos afectados al cierre de frentes de obra o en el desmantelamiento.

**Base legal [13]:** Decreto 1076 de 2015 (gestión de suelos y protección); PMA aprobado.

### 5.3 | 3) Agua (captación, vertimientos y escorrentía)

- Si se capta agua para limpieza de paneles u operación: contar con **concesión de aguas**, instalar macromedidor y respetar el caudal ecológico; implementar uso eficiente y, de ser posible, recirculación.
- Si se generan descargas: tramitar **permiso de vertimientos**, implementar tratamiento y cumplir con la Resolución 631 de 2015 (DBO, DQO, SST, aceites y grasas, pH, caudal).
- Manejar la escorrentía superficial con zanjas perimetrales, disipadores y estructuras de retención para evitar que llegue turbia a los drenajes naturales.
- Presentar los informes de monitoreo con la periodicidad que fije la autoridad (trimestral o semestral).

**Base legal [8, 10, 14, 13]:** Decreto 1541 de 1978 (concesiones), Decreto 3930 de 2010 y Resolución 631 de 2015 (vertimientos), Decreto 1076 de 2015.

### 5.4 | 4) Aire y ruido

- Si existen fuentes fijas (grupo electrógeno permanente, compresores): contar con permiso de emisiones y darle mantenimiento preventivo.
- Controlar el polvo en vías internas (humectación, velocidad máxima, cubrimiento de acopios).
- Cumplir los niveles de ruido de la Resolución 627 de 2006 (diurno/nocturno) y ajustar horarios si hay receptores sensibles cercanos.
- Realizar campañas de ruido con sonómetro clase 1 cuando lo pida la autoridad.

**Base legal [15, 9, 13]:** Decreto 948 de 1995 (aire), Resolución 627 de 2006 (ruido), Decreto 1076 de 2015.

### 5.5 | 5) Flora y compensación forestal

- Realizar cualquier tala o retiro de árboles solamente con **permiso de aprovechamiento forestal** e inventario previo.
- Ejecutar la **compensación forestal** en el sitio, especie y factor que señale el acto administrativo, con mantenimiento mínimo hasta lograr el porcentaje de supervivencia (usualmente  $\geq 80\%$ ).
- Reportar a la autoridad los avances de la compensación con evidencias fotográficas y de georreferenciación.

**Base legal [16, 13]:** Decreto 1791 de 1996; Decreto 1076 de 2015.

### 5.6 | 6) Fauna silvestre

- Implementar el **Plan de Manejo de Fauna** aprobado: pre-rescate, ahuyentamiento, captura y reubicación en sitios autorizados.
- Prohibir la caza, tenencia o comercialización de fauna por parte de contratistas y trabajadores; realizar capacitaciones periódicas.
- Mantener registros de rescate y de mortalidad (meta: mortalidad cero).

**Base legal [6, 13]:** Decreto 1608 de 1978 (fauna silvestre); Decreto 1076 de 2015.

### 5.7 | 7) Patrimonio arqueológico

- Cumplir el **Programa de Manejo Arqueológico (PMA-ICANH)** y el Protocolo de Hallazgo Fortuito.
- Ante un hallazgo: parar la obra, aislar el área, informar al ICANH y sólo reanudar con su concepto.
- Capacitar a las cuadrillas para reconocer material arqueológico.

**Base legal [7]:** Ley 1185 de 2008; lineamientos del ICANH.

## 5.8 | 8) Residuos (ordinarios, peligrosos, RAEE)

- Ejecutar el **PGIRS** del proyecto: separación en la fuente, almacenamiento temporal en área impermeabilizada y entrega a gestor autorizado.
- Para **RESPEL** (aceites usados, trapos contaminados, baterías): registro como generador y disposición con gestor licenciado, con manifiestos.
- Para **RAEE** (inversores, equipos, cables al final de su vida): devolución al productor o entrega a gestor autorizado.
- Presentar reportes semestrales o anuales de generación y disposición.

**Base legal [13]:** Decreto 1076 de 2015; Decreto 4741 de 2005 (residuos peligrosos); normativa RAEE vigente; Ley 1259 de 2008 (comparando ambiental, si aplica municipio).

## 5.9 | 9) Componente social y relacionamiento

- Ejecutar el **plan de participación y relacionamiento** aprobado: socialización, mecanismo de PQRS, contratación de mano de obra local cuando sea posible, compras locales y programas de educación ambiental.
- Implementar plan de manejo de tránsito y seguridad vial durante movimientos de maquinaria o reposición de paneles.
- Mantener registros de reuniones con la comunidad y de atención a quejas.

**Base legal [2, 12]:** Ley 99 de 1993 (participación, art. 69); Decreto 2041 de 2014 (participación en licenciamiento).

## 5.10 | 10) Riesgo y contingencias

- Mantener vigente un **plan de contingencias** para incendio eléctrico, incendio de vegetación, derrames de combustibles y eventos climáticos fuertes.
- Realizar simulacros periódicos y coordinar con bomberos y autoridades municipales.
- Cumplir con el **SG-SST** durante la operación.

**Base legal [?, 2]:** Ley 1523 de 2012 (gestión del riesgo); Decreto 1072 de 2015 (SG-SST).

## 5.11 | 11) Monitoreo, reporte y auditoría

- Presentar a la autoridad los **Informes de Cumplimiento Ambiental (ICA)** con la periodicidad establecida (trimestral o semestral).
- Incluir en los informes los resultados de monitoreo de agua (si hay), ruido, polvo, residuos, flora y fauna, componente social y cumplimiento de compensaciones.
- Implementar auditorías internas o externas y planes de mejora cuando se detecten no conformidades.

**Base legal:** Decreto 2041 de 2014 (seguimiento); Decreto 1076 de 2015.

## 5.12 | 12) Ordenamiento territorial y servidumbres

- Mantener la **compatibilidad con el POT** o EOT del municipio (uso de suelo rural con actividad energética/autogeneración).
- Gestionar y formalizar las **servidumbres** que sean necesarias para accesos o líneas internas antes de intervenir los predios.

**Base legal [2]:** Ley 388 de 1997 (ordenamiento territorial); Código Civil (servidumbres).

### 5.13 | 13) Inversión ambiental del 1 %

- Si el proyecto resulta ser **usuario de agua de fuente natural** mediante concesión y construye obras de captación, deberá invertir no menos del 1 % del costo del proyecto en la cuenca abastecedora, conforme lo apruebe la autoridad ambiental.

Base legal [2]: Ley 99 de 1993, art. 43.

### 5.14 | 14) Abandono y cierre

- Presentar y ejecutar el **Plan de Abandono** antes del cese definitivo: desmantelar módulos y estructuras, gestionar RAEE y residuos peligrosos, restaurar el terreno y hacer monitoreo post-cierre.
- Obtener el acto de terminación o paz y salvo ambiental de la autoridad.

Base legal: Decreto 2041 de 2014 (la licencia incluye abandono); Decreto 1076 de 2015.

## 6 | FASE 4: Abandono del proyecto

En Colombia el abandono no es automático: la licencia ambiental incluye la fase de cierre y el titular sigue obligado hasta que la autoridad expida el acto de terminación o paz y salvo ambiental.

### 6.1 | 1) Plan de abandono y desmontaje total

- Ejecutar el **Plan de Abandono** aprobado: retiro de paneles/módulos, estructuras de soporte, inversores, cableado, cerramientos, cuartos eléctricos y obras temporales.
- Retirar o tratar las fundaciones según lo defina la autoridad (retirar, seccionar o cubrir si no representan riesgo).
- Entregar a la autoridad un **informe de cierre** con memoria fotográfica, planos “as-left” y relación de equipos efectivamente desmontados.

Por qué + norma [12, 13]: la licencia ambiental comprende construcción, operación y abandono; el cierre es una obligación expresa. Decreto 2041 de 2014 (licencias, seguimiento y cierre); Decreto 1076 de 2015.

### 6.2 | 2) Gestión de residuos del cierre (RAEE, RESPEL y ordinarios)

- Gestionar los **RAEE** del proyecto (paneles, inversores, tableros, cableado) con productor o gestor autorizado, con certificados de valorización o reciclaje y trazabilidad completa.
- Gestionar los **RESPEL** que queden al final (aceites, trapos contaminados, baterías, solventes) manteniendo activo el registro como generador hasta agotar inventarios y presentando el informe final con manifiestos.
- Disponer los residuos ordinarios y los RCD en sitios autorizados por la autoridad ambiental o el municipio.

Por qué + norma [13]: el titular responde hasta la disposición final acreditada. Decreto 4741 de 2005 (residuos peligrosos); lineamientos RAEE; Decreto 1076 de 2015 (PGIRS).

### 6.3 | 3) Suelo y restauración morfológica/vegetal

- Descompactar y reconformar los suelos donde hubo tránsito, fundaciones o acopios.
- Restituir los microdrenajes o canales que se hubieran modificado durante la operación.
- Realizar **revegetalización** con especies nativas y mantenerlas hasta alcanzar la cobertura y la supervivencia que exija la resolución.
- Ejecutar monitoreo post-cierre de erosión y estabilidad y remitir los reportes hasta que la autoridad dé por cumplidas las metas.

Por qué + norma [13, 12]: el PMA se mantiene hasta que la autoridad verifique que el área quedó en condiciones aceptables. Decreto 1076 de 2015; Decreto 2041 de 2014.

## 6.4 | 4) Agua (captación, vertimientos y escorrentía)

- Si el proyecto tenía **concesión de aguas**, debe solicitar el **acto de terminación** de la concesión, presentar las lecturas finales y retirar o asegurar los puntos de captación.
- Si tenía **permiso de vertimientos**, debe hacer un muestreo final de cumplimiento, desmontar las estructuras asociadas y declarar **cero descarga** a partir del cese.
- Mantener el control de escorrentías en el predio mientras duren las obras de restauración.

**Por qué + norma [8, 10, 14, 13]:** el uso del agua y el vertimiento sólo terminan con acto expreso de la autoridad. Decreto 1541 de 1978 (concesiones); Decreto 3930 de 2010 y Resolución 631 de 2015 (vertimientos); Decreto 1076 de 2015.

## 6.5 | 5) Flora y fauna — obligaciones remanentes

- Cumplir la **compensación forestal** y su mantenimiento hasta lograr el porcentaje de supervivencia exigido (usualmente  $\geq 80\%$ ) y obtener el certificado de cumplimiento.
- Cerrar el **Plan de Manejo de Fauna**: última evaluación de hábitat, consolidación de registros de rescate/avistamientos y entrega del informe final a la autoridad.

**Por qué + norma [16, 6, 13]:** las compensaciones y planes de fauna no se extinguen con el cierre operativo; se cierran por verificación de metas. Decreto 1791 de 1996 (forestal); Decreto 1608 de 1978 (fauna); Decreto 1076 de 2015.

## 6.6 | 6) Patrimonio arqueológico

- Mantener vigente el **protocolo de hallazgo fortuito** durante todo el desmontaje.
- Si aparece material arqueológico, aplicar el PMA arqueológico y remitir al ICANH el informe de cierre.

**Por qué + norma [7]:** el patrimonio arqueológico se protege en todas las fases del proyecto. Ley 1185 de 2008; lineamientos del ICANH.

## 6.7 | 7) Componente social y relacionamiento

- Mantener el mecanismo de **quejas y reclamos** y la divulgación del cronograma de cierre hasta terminar las obras.
- Realizar una **socialización de cierre** con la comunidad y con las autoridades locales, dejando acta de los compromisos.

**Por qué + norma [2, 12]:** la participación y el acceso a la información son obligaciones hasta el archivo del expediente. Ley 99 de 1993; Decreto 2041 de 2014.

## 6.8 | 8) Riesgo y contingencias en el cierre

- Mantener **activo** el plan de contingencias durante el desmontaje (incendio eléctrico, manejo de combustibles, clima, seguridad de personal).
- Realizar simulacros si la autoridad lo exige y conservar los EPP y el SG-SST hasta el último frente de trabajo.

**Por qué + norma:** hay obligación de prevención y respuesta mientras existan frentes de obra. Ley 1523 de 2012 (gestión del riesgo); Decreto 1072 de 2015 (SG-SST).

## 6.9 | 9) Garantías financieras y pólizas

- Mantener vigentes las **pólizas o garantías** de cumplimiento ambiental hasta que la autoridad expida el acto de cierre.
- Ampliar la vigencia si el cierre tarda más de lo previsto.

**Por qué + norma [12]:** la autoridad puede hacer efectivas las garantías por incumplimientos en el abandono. Decreto 2041 de 2014.

## 6.10 | 10) Ordenamiento territorial y servidumbres

- Tramitar la **cancelación o actualización** de las servidumbres técnicas (vías, líneas, accesos) que ya no se requieran.
- Restituir las vías o accesos temporales que se hubieran abierto sólo para el proyecto.

**Por qué + norma:** las afectaciones al uso del suelo deben regularizarse al terminar el proyecto. Ley 388 de 1997 (ordenamiento); Código Civil (servidumbres).

## 6.11 | 11) Inversión del 1% (si aplicó)

- Si el proyecto tuvo obligación de **inversión del 1%** por uso de agua, debe cerrar y certificar esa inversión con actas de ejecución y entrega a la autoridad y al administrador de la cuenca.

**Por qué + norma [2]:** la obligación subsiste hasta su ejecución y certificación. Ley 99 de 1993, art. 43.

## 6.12 | 12) Informes de cumplimiento y acto final

- Presentar el **Informe Final de Cumplimiento Ambiental (IFCA)** integrando todos los componentes: suelo, agua, aire, flora, fauna, arqueología, social y residuos.
- Solicitar la **visita de verificación** a la autoridad ambiental.
- La autoridad expedirá el acto administrativo de terminación o *paz y salvo* ambiental; hasta ese momento el titular sigue obligado a reportar y mantener los controles.

**Por qué + norma [12]:** el cierre es un acto expreso; no aplica silencio administrativo positivo. Decreto 2041 de 2014; Ley 1437 de 2011, art. 84.

### Entregables típicos del cierre

- Plan de Abandono ejecutado e Informe Final de Cierre.
- Manifiestos y certificados de disposición/valorización de RAEE, RESPEL y RCD.
- Actas de cumplimiento de compensación forestal y de socialización de cierre.
- Actos de terminación de concesión y de permiso de vertimientos (si existían).
- Paz y salvo ambiental expedido por la autoridad.

## 7 | Referencias

- [1] Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). Resolución creg 030 de 2018: Autogeneradores y generadores distribuidos, 2018. URL: <https://www.creg.gov.co>.
- [2] Congreso de la República de Colombia. Ley 99 de 1993: Por la cual se crea el sina y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial, 1993. URL: <https://www.funcionpublica.gov.co>.
- [3] Congreso de la República de Colombia. Ley 1715 de 2014: Integración de energías renovables no convencionales al sistema energético. Diario Oficial, 2014. URL: <https://www.funcionpublica.gov.co>.
- [4] Corporinoquia. Permisos, concesiones y autorizaciones ambientales en la jurisdicción de corporinoquia, s.f. URL: <https://www.corporinoquia.gov.co>.
- [5] Ecopetrol S.A. Ecopetrol y aes pusieron en operación parque solar castilla en el meta. Comunicado de prensa, 10 2019. URL: <https://www.ecopetrol.com.co>.
- [6] INDERENA. Decreto 1608 de 1978: Reglamentación de fauna silvestre. Diario Oficial, 1978. URL: <https://www.minambiente.gov.co>.
- [7] Instituto Colombiano de Antropología e Historia (ICANH). Procedimiento para el manejo de hallazgos arqueológicos fortuitos, s.f. URL: <https://www.icanh.gov.co>.
- [8] Ministerio de Agricultura y Ganadería. Decreto 1541 de 1978: Usos de las aguas y residuos líquidos. Diario Oficial, 1978. URL: [https://www.icbf.gov.co/sites/default/files/decreto\\_1541\\_de\\_1978.pdf](https://www.icbf.gov.co/sites/default/files/decreto_1541_de_1978.pdf).
- [9] Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Resolución 627 de 2006: Norma de ruido ambiental. Diario Oficial, 2006. URL: <https://www.minambiente.gov.co>.
- [10] Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Decreto 3930 de 2010: Vertimientos y uso del recurso hídrico. Diario Oficial, 2010. URL: <https://www.minambiente.gov.co>.
- [11] Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente (nsr-10), 2010. URL: <https://www.minvivienda.gov.co>.
- [12] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Decreto 2041 de 2014: Licenciamiento ambiental. Diario Oficial, 2014. URL: <https://www.minambiente.gov.co>.
- [13] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Decreto 1076 de 2015: Decreto Único reglamentario del sector ambiente y desarrollo sostenible. Diario Oficial de la República de Colombia, 2015. URL: <https://www.minambiente.gov.co>.
- [14] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Resolución 0631 de 2015: Parámetros y valores límites máximos permisibles en vertimientos puntuales. Diario Oficial de la República de Colombia, 2015. URL: <https://www.minambiente.gov.co>.
- [15] Ministerio del Medio Ambiente. Decreto 948 de 1995: Protección y control de la calidad del aire. Diario Oficial, 1995. URL: <https://www.minambiente.gov.co>.
- [16] Ministerio del Medio Ambiente. Decreto 1791 de 1996: Régimen de aprovechamiento forestal. Diario Oficial, 1996. URL: <https://www.minambiente.gov.co>.