

Evaluación del potencial solar fotovoltaico en Brownfields y embalses de Puerto Rico: análisis y modelaje

Ángela Ortega Pastor, Grant Ellwood, Maya Fein-Cole,
Jal Desai, Larson Lovdal, Evan Rosenlieb, Marie Rivers,
Ben Rakov y Gail Mosey

June 2024

Contenido

1 Introducción y descripción general

2 Análisis tecnoeconómico:

- Descripción general
- Sitios Superfund y otros lugares contaminados
- Vertederos
- Huellas de plantas eléctricas
- Derechos de paso (ROW, por sus siglas en inglés) de líneas de transmisión
- Embalses

3 Desarrollo de proyectos

- Ciclo y estrategia
- Selección del sitio
- Mejores prácticas y consideraciones
- Modelos de propiedad

4 Recursos



Vertedero de Ponce. Foto de Maya Fein-Cole, NREL 89458

Agradecimientos

Los autores deseamos expresar nuestro agradecimiento a las siguientes organizaciones por sus valiosas contribuciones e insumo: la Oficina de Implementación de Redes del Departamento de Energía (GDO, por sus siglas en inglés), la Oficina del Caribe Región 2 de la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés), la Oficina de Puerto Rico del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, la Oficina de la Secretaría de Asuntos Energéticos del Gobernador de Puerto Rico, el Departamento de Recursos Naturales de Puerto Rico, la Oficina de Gerencia y Presupuesto de Puerto Rico, AES Puerto Rico, GeneraPR y otras partes interesadas clave.

También estamos profundamente agradecidos con los municipios de Barceloneta, Cayey, Cidra, Fajardo, Guayama, Jayuya, Juncos, Mayagüez, Peñuelas, Ponce, San Juan y Toa Alta, así como con EC Waste, ConWaste y AES, por darnos la bienvenida. Sin su apoyo, nuestro estudio no estaría tan completo.

Este trabajo fue elaborado por el Laboratorio Nacional de Energía Renovable y operado por Alliance for Sustainable Energy, LLC, para el Departamento de Energía (DOE) de EE. UU. bajo el contrato número DE-AC36-08GO28308. La Agencia Federal para el Manejo de Emergencias también brindó apoyo para el trabajo en virtud del Acuerdo Interinstitucional HSFE02-23-IRWA-0003, Año 1. Las opiniones expresadas en el artículo no representan necesariamente las opiniones del DOE o del gobierno de los EE. UU. El Gobierno de los EE. UU. conserva una licencia mundial no exclusiva, pagada e irrevocable, para publicar o reproducir el formato publicado de este trabajo o permitir que otros lo hagan para fines del gobierno de EE. UU. y el editor, al aceptar el artículo para su publicación, reconoce dicha licencia.

Introducción y descripción general

El compromiso de Puerto Rico de alcanzar el 100% de energía limpia para 2050 requerirá identificar lugares adecuados para nuevos proyectos de generación.



Foto de Joe DeNero, NREL 84662

Entre las ventajas de la rehabilitación de **Brownfields**(terrenos previamente utilizados para fines industriales y comerciales que pueden estar contaminados) se incluyen:

- Ampliar la infraestructura energética sin comprometer los recursos de tierra limitados.
- Contribuyen al saneamiento y la reutilización productiva de zonas anteriormente marginadas.

Entre las ventajas de añadir **energía solar fotovoltaica flotante a los embalses** se incluyen:

- Apoyar la gestión de los recursos hídricos, incluidas la calidad y la conservación.
- Mejorar de la producción y el suministro de energía gracias a la proximidad de centrales hidroeléctricas y estaciones de tratamiento y bombeo de agua.
- Proveer un escalamiento incremental sin interrupciones.

Análisis y modelaje para evaluar el potencial de la energía solar fotovoltaica en Brownfields y embalses puertorriqueños

En este estudio, el Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL) evaluó el potencial teórico de la energía solar fotovoltaica (PV) en:

- Brownfields
 - Sitios Superfund y otros lugares contaminados
 - Vertederos
 - Huellas de plantas eléctricas
 - Derechos de paso (ROW, por sus siglas en inglés) de líneas de transmisión
- Embalses

Luego, NREL realizó un análisis tecnoeconómico detallado en ubicaciones seleccionadas.

Este informe resume los resultados de este estudio y provee una serie de consideraciones técnicas, normativas y económicas.

[Los anexos técnicos](#) proveen detalles adicionales.



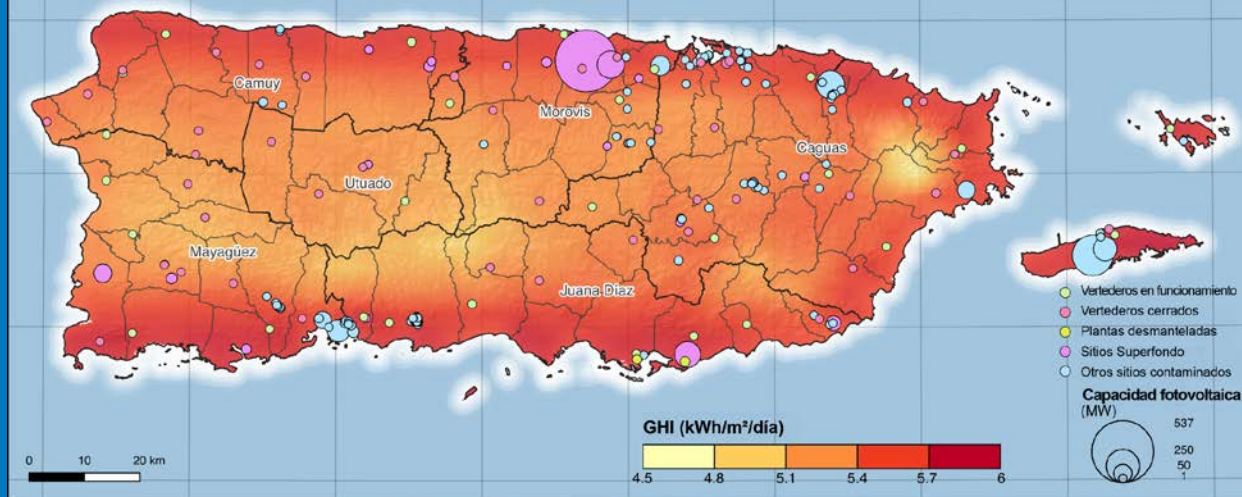
Vertedero de Cayey. Foto de Maya Fein-Cole, NREL 89452

Potencial solar fotovoltaico teórico total estimado: Hasta 3.3 gigavatios (GW) en Brownfields y embalses de Puerto Rico.

Para este estudio, los Brownfields incluyen sitios Superfund y otros lugares contaminados, vertederos, huellas de plantas eléctricas y derechos de paso de líneas de transmisión.

Puerto Rico

Vertederos en funcionamiento, vertederos cerrados, plantas desmanteladas, sitios Superfondo y otros sitios contaminados



213 MW de capacidad solar fotovoltaica estimada en **41 vertederos cerrados**

1-2.5 GW de capacidad estimada en **160 sitios contaminados**

78 MW de capacidad estimada en **la huella de dos plantas eléctricas**

21-50 MW de capacidad estimada en **los derechos de vía de dos líneas de transmisión**

636 MW de capacidad estimada de FPV en **55 masas de agua**

Todos los sitios analizados se encuentran a 1 milla o menos de las líneas de transmisión existentes que funcionan a 38 kV, 115 kV o 230 kV. El equipo no realizó ningún estudio de capacidad de alojamiento.

La rehabilitación de Brownfields y el desarrollo de proyectos nuevos plantean costos y retos distintos

Los programas Brownfields y Superfund de la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) de Estados Unidos y los préstamos y subvenciones del Programa Energía Rural para América (REAP, por sus siglas en inglés) del Departamento de Agricultura de EE. UU. (USDA, por sus siglas en inglés) pueden ayudar a preparar los terrenos para el desarrollo de proyectos de energías renovables.



Planta de GE Palmes (Foto de Ángela Ortega Pastor, NREL, noviembre de 2023)

Rehabilitación de Brownfields:

- A menudo se incurre en costos iniciales más elevados debido a la necesidad de evaluar el sitio, descontaminar y potencialmente eliminar los contaminantes, lo que puede retrasar el inicio del proyecto y aumentar el riesgo financiero.
- Sin embargo, puede ofrecer ventajas como el acceso a las infraestructuras existentes y el apoyo de la comunidad para revitalizar los terrenos industriales no utilizados.

Por el contrario, el desarrollo de proyectos nuevos:

- Suele implicar menores costos iniciales de gestión medioambiental y menos complejidades jurídicas.
- Puede enfrentar a una mayor resistencia pública y normativa debido a los cambios en el uso del terreno y a los posibles impactos ecológicos, lo que influye en las decisiones sobre la ubicación y la viabilidad de los proyectos.

El uso de Brownfields para proyectos energéticos ofrece ventajas potenciales

Entre las ventajas de utilizar Brownfields se pueden incluir las siguientes:

- **Fomento económico y comunitario:** Genera empleos locales, aumenta los ingresos fiscales y crea nuevas fuentes de ingresos gracias al ahorro en costos energéticos y a los ingresos por arrendamiento para los gobiernos.
- **Mejoramiento ambiental y eficiencia en el uso del terreno:** Reduce la presión sobre el desarrollo de hábitats naturales, disminuye los costos de limpieza y aborda la justicia ambiental en comunidades desatendidas.
- **Infraestructura y resiliencia energética:** Aprovecha la infraestructura existente para un desarrollo rentable y mejora la confiabilidad energética (especialmente cerca de infraestructuras críticas) apoyando los servicios esenciales durante las interrupciones eléctricas.
- **Justicia ambiental:** Aborda el prolongado abandono ambiental y social en zonas tradicionalmente desatendidas o marginadas, donde suelen ubicarse los Brownfields, al reducir los costos energéticos, crear empleos locales y oportunidades para programas de desarrollo de capacidades y mejorar la resiliencia energética local.

Los vertederos cerrados obligan a utilizar sistemas fotovoltaicos solares no penetrativos, con lastre y montados en el suelo, que dependen de pesos y tienen una inclinación fija para fines de estabilidad (los sistemas de inclinación fija son comunes debido a sus menores costos de mantenimiento). En otros Brownfields, los sistemas montados en postes sobre el suelo pueden ser apropiados y pueden resultar más económicos que los sistemas con lastre.



Vertedero de Mayagüez. Foto de Ángela Ortega Pastor, NREL 89451

El uso de energía fotovoltaica flotante (FPV, por sus siglas en inglés) en los embalses ofrece ventajas potenciales

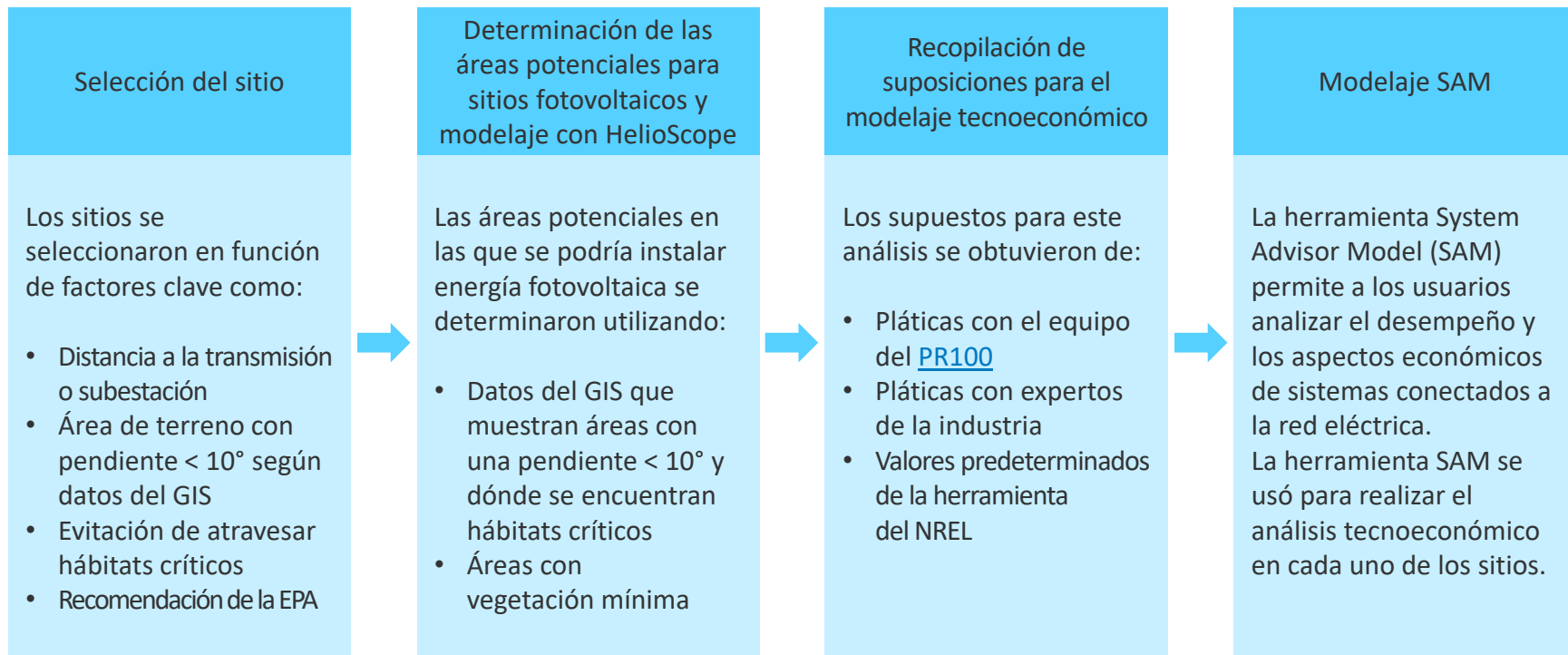
- **Gestión de los recursos hídricos:** Los paneles solares actúan como barrera, reduciendo la exposición del agua a la luz solar y al viento *y disminuyendo los índices de evaporación para mejorar la conservación del agua.*
- **Calidad del agua:** Los paneles solares pueden actuar como barrera física, interceptando los contaminantes de los terrenos adyacentes y reduciendo la escorrentía. El sombreado limita la luz solar y mantiene más bajas las temperaturas, lo que hace que *el agua sea menos propicia para el crecimiento de algas.*
- **Sinergia con plantas hidroeléctricas:** La combinación de la FPV con instalaciones hidroeléctricas mejora la producción de energía (flujo de agua sincronizado para satisfacer una demanda variable).
- **Escalamiento dinámico:** La FPV permite una expansión incremental de la capacidad, adaptándose a las cambiantes necesidades energéticas sin interrupciones significativas.
- **Fuente de energía más cercana:** La FPV puede suministrar energía a las estaciones de tratamiento y bombeo de agua, gracias a su proximidad.
- **Enfriamiento de módulos solares fotovoltaicos:** El agua situada bajo los paneles disipa el calor, evitando el sobrecalentamiento y manteniendo una temperatura óptima de funcionamiento en los módulos solares.



Foto de Dennis Schroeder, NREL 53264

Análisis tecnoeconómico: descripción general

Descripción general del análisis



El Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL, por sus siglas en inglés) realizó análisis sobre energía solar fotovoltaica para Brownfields y embalses en Puerto Rico

	Sitios Superfund y otros lugares contaminados	Vertederos	Huellas de plantas eléctricas	Derechos de paso (ROW, por sus siglas en inglés) de líneas de transmisión	Embalses
Descripción general del análisis	- Se evaluó la viabilidad fotovoltaica a alto nivel de 18 sitios Superfund y 142 sitios contaminados. - Un análisis tecnoeconómico en profundidad de 6 sitios Superfund evaluó cuánto dinero de subvención se necesita para cumplir los objetivos económicos según los modelos de propiedad municipal y de propiedad de terceros.	- Análisis tecnoeconómico en profundidad de 9 vertederos. - Análisis de dos modelos de propiedad (propiedad municipal y propiedad de terceros) para determinar cuánto dinero de subvención se necesita para cumplir los objetivos económicos.	- Análisis tecnoeconómico a profundidad para la huella de 2 plantas eléctricas. - Se realizó un análisis paramétrico para determinar la sensibilidad de los distintos parámetros.	Estudio de caso: análisis de alto nivel de la capacidad potencial de desarrollo solar fotovoltaico a lo largo del derecho de paso de la línea de transmisión de Mayagüez a Arecibo.	Se evaluaron 55 masas de agua para determinar la conveniencia de añadir FPV y cuánta capacidad podría añadirse.
Suposiciones clave	- Tipo de sistema fotovoltaico: sistema fotovoltaico con lastre y montado en poste. - Costo de arrendamiento del terreno: \$2,400/acre. - Se suponen 4 acres/megavatio de CC (MWcc) para la capacidad de la superficie fotovoltaica.	- Tipo de sistema fotovoltaico: sistema fotovoltaico con lastre. - Costo de arrendamiento del terreno: \$2,400/acre. - Se utilizó HelioScope para determinar la superficie y la capacidad fotovoltaica.	- Tipo de sistema fotovoltaico: sistema fotovoltaico montado en poste. - Costo mínimo del terreno: \$1,200/acre (sitio Superfund de Chevron Phillips). - Se utilizó HelioScope para determinar la superficie y la capacidad fotovoltaica.	Se supone una capacidad fotovoltaica de entre 3 y 6.9 acres/MWcc.	Se suponen aproximadamente 2.5 acres/MWcc de capacidad de la superficie fotovoltaica.

Consideraciones económicas para el desarrollo de energías limpias en Brownfields

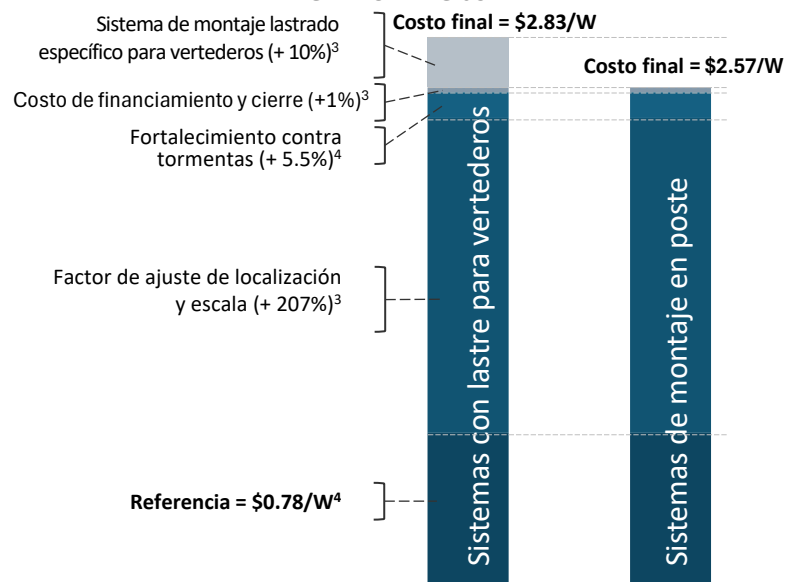
- **Costos iniciales elevados y normas de interconexión estrictas**, que limitan los proyectos de mediana escala. Estas normas crean dificultades económicas para los proyectos de más de 250 kW que no son lo suficientemente grandes como para amortizar los costos adicionales de interconexión a la red eléctrica¹.
- Para cubrir los gastos de desarrollo, para proyectos de menos de 5 MW, se calcula que **los precios de los PPA deben oscilar entre \$120 y \$140 por megavatio-hora (MWh), en comparación con una referencia de \$108 dólares porMWh⁶**. Dado que los Brownfields no requieren una gran cantidad de energía, el ahorro potencial derivado del autoconsumo de la energía generada es limitado.
- Los **proyectos que son propiedad de entidades con sede en Puerto Rico no suelen ser elegibles para el Crédito Fiscal a la Inversión** (ITC, por sus siglas en inglés), pero pueden beneficiarse del Crédito Fiscal a la Producción (PTC, por sus siglas en inglés), incluidas las opciones de pago directo ([consulte más detalles en la diapositiva 22](#)).

¹ Consideramos que todos los costos comerciales clave adicionales (es decir, seguro complementario y requisitos de interconexión) se representaron en los datos de los PPA del Tramo 1 y, por lo tanto, se toman en cuenta en nuestros costos de capital a través de los factores de ajuste de PR100.

² El precio contractual promedio ponderado por capacidad en los datos de PPA del Tramo 1 [presentados al NEPR](#).

Nota: Los costos de operación y mantenimiento se calcularon restando el componente de arrendamiento de terrenos del 13% a la Línea de Base Tecnológica Anual (ATB, por sus siglas en inglés) [ya que los costos del terreno se incluyen explícitamente por separado en el modelo] y aplicando después los mismos ajustes que a los costos de capital.

Costos de capital de la energía solar fotovoltaica en Brownfields



³ Punto de referencia del sector

⁴ [RMI - Solar Under Storm \(La energía solar bajo tormenta\)](#)

⁵ Para sistemas < 5MW. Estudio de Resiliencia de la Red Eléctrica de Puerto Rico y Transiciones a Energía 100% Renovable (PR100), 2024

⁶ Se supuso la referencia de caso de tecnología moderada de 2023 de la ATB del NREL.

Incentivos fiscales disponibles para el desarrollo de energías limpias en Puerto Rico

Incentivos federales:

- Dependiendo de la propiedad, los proyectos construidos en Puerto Rico son elegibles para el Crédito Fiscal a la Inversión (ITC) y el Crédito Fiscal a la Producción (PTC), así como para bonificaciones acumulables.¹
- Las entidades sujetas a impuestos de EE. UU. pueden ser elegibles para recibir el conjunto completo de bonificaciones y créditos fiscales para energías limpias. Los créditos elegibles dependerán de la ubicación del proyecto, el tamaño del sistema, las tasas salariales y el empleo de aprendices de programas de aprendizaje registrados.² Visite la página web [Federal Solar Tax Credits for Businesses](#) (Créditos Fiscales Federales de Energía Solar para Empresas) para obtener una descripción general del ITC, el PTC y las bonificaciones.
- Las entidades gubernamentales y exentas de impuestos con sede en los territorios ahora pueden beneficiarse de ciertos créditos de inversión y producción de energías limpias utilizando las nuevas opciones habilitadas por la Ley de Reducción de la Inflación de 2022. Visite la página web [Clean Energy Tax Credits in the U.S. Territories Using Elective Pay](#) (Créditos Fiscales para Energías Limpias en los Territorios de EE. UU. Mediante Pago Electivo) para obtener más información sobre cómo las entidades con sede en los territorios pueden acceder a los créditos fiscales para energía limpia.

Incentivos locales:

- La [Ley de Incentivos de Energía Verde de Puerto Rico](#) ofrece una exención del 100% del impuesto estatal sobre el consumo y de los impuestos sobre ventas y uso para las materias primas y la maquinaria utilizadas en la producción de energía verde.

¹Los proyectos propiedad de entidades con sede en Puerto Rico no suelen ser elegibles para el ITC, pero pueden utilizar el PTC, incluido el pago directo.

²Los costos de mejora/interconexión del sistema son elegibles para el ITC para proyectos de menos de 5 MW. Para ser elegibles para la tasa completa, los proyectos deben ser inferiores a 1 MW o cumplir los requisitos de salarios y aprendizaje laboral vigentes.

Nota: Para tener en cuenta el costo de transferir los créditos fiscales, se ha aplicado una reducción del 10% al crédito fiscal total (por ejemplo, el 40% del ITC se redujo al 36%). Los valores del PTC permanecen sin cambios.

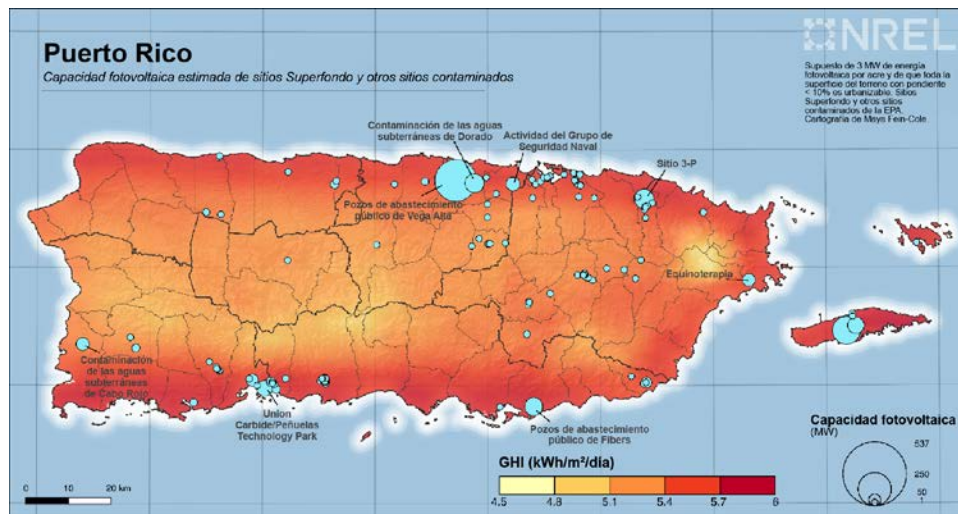
		2023 a 2033
ITC	Tasa completa (si el proyecto cumple con los requisitos laborales ^b)	Crédito base 30%
		Bonificación por contenido nacional 10%
		Bonificación de comunidad energética 10%
	Bonificación por bajos ingresos (límite de 1.8 GW/año)	Proyectos < 5 MW en comunidades de ingresos bajos y moderados (LMI, por sus siglas en inglés) o tierras indígenas 10%
		Proyecto calificado de edificación residencial para personas de bajos ingresos/Proyecto calificado de beneficio económico para personas de bajos ingresos 20%
PTC por 10 años (\$2022)	Tasa completa (si el proyecto cumple con los requisitos laborales ^b)	Crédito base 2.75 ¢
		Bonificación por contenido nacional 0.3 ¢
		Bonificación de comunidad energética 0.3 ¢

Adaptado de [Federal Solar Tax Credits for Businesses](#) (Créditos Fiscales Federales de Energía Solar para Empresas), DOE, agosto de 2023.

Análisis tecnoeconómico: Sitios Superfund y otros lugares contaminados

Brownfields: 160 sitios Superfund y contaminados ofrecen una capacidad fotovoltaica estimada de 1-2.5 GW

Tipo de sitio	Número evaluado	≥ 10 acres urbanizables Potencial de 1-3 MW de generación solar fotovoltaica cada uno	≥ 25 acres urbanizables Potencial de 3-8 MW de generación solar fotovoltaica cada uno	Capacidad total
Superfunds	18	13	9	0.56-1.28 GW
Otros sitios contaminados	142	20	14	0.52-1.19 GW
	160	33	23	1-2.5 GW



Planta de GE Palmer. Foto de Ángela Ortega Pastor, NREL 89449

En 160 sitios contaminados, los de más de 10 acres presentan un potencial solar fotovoltaico significativo, de hasta 2.5 GW

Nombre del sitio	Programa	Ciudad	Superficie <= 10% (acres)	Potencial fotovoltaico (MW), Suponiendo 6.9 acres por MW	Potencial PV (MW) Suponiendo 3 acres por MW
Pozos de abastecimiento público de Vega Alta	Superfund	Vega Alta	1,611	233	537
Propiedad industrial abandonada	Brownfields	Vieques	977	141	325
Casa utilizada como vertedero (Sitio 3-P)	Brownfields	Canóvanas	596	86	199
Contaminación de las aguas subterráneas de Dorado	Superfund	Dorado	571	82	190
Pozos de abastecimiento público Fibers	Superfund	Jobos	534	77	178
Polideportivo	Brownfields	Vieques	463	67	155
Haz107-Union Carbide (Peñuelas Technology Park)	Brownfields	Peñuelas	424	61	141
Actividad del Grupo de Seguridad Naval	Brownfields	Toa Baja	337	48	112
Contaminación de las aguas subterráneas de Cabo Rojo	Superfund	Cabo Rojo	299	43	100
Equinoterapia	Brownfields	Naguabo	285	41	95
Haz105-Ppg Industries + Ppg Canal	Brownfields	Guayanilla	263	38	88
Contaminación de las aguas subterráneas de la zona de Maunabo	Superfund	Maunabo	198	28	66
Pet029 Ponce Salts Industries	Brownfields	Peñuelas	99	14	33
Instalaciones de Upjohn	Superfund	Barceloneta	93	13	31
Contaminación de las aguas subterráneas de San Germán	Superfund	San Germán	78	11	26
Ochoa Fertilizer Co.	Superfund	Guánica	58	8	20
Eliminación de residuos sólidos en Vega Baja	Superfund	Rio Abajo Ward	50	7	17
Pet007-Hercor (Ippe/Upe)	Brownfields	Peñuelas	44	6	15
Pet009 -PR Olefins	Brownfields	Peñuelas	36	5	12
GE Palmer	Brownfields	Río Grande	29	4	10
Soller Sugar Company	Brownfields	Camuy	29	4	10
Antiguo Hospital Menonita	Brownfields	Cayey	27	3	9
Pet006 - Gulf Chemicals	Brownfields	Peñuelas	25	3	8
Instalaciones de PRIDCO T-12440-79	Brownfields	Yauco	24	3	8
La Playita	Brownfields	San Juan	20	3	7
Haz106-Rico Chemicals Corporation	Brownfields	Guayanilla	19	3	6
Proteco	Superfund	Peñuelas	17	2	6
Jassen Inc.	Superfund	Gurabo	16	2	5
The Battery Recycling Company	Superfund	Arecibo	15	2	5
Pesticide Warehouse I	Superfund	Arecibo	14	2	5
Millipore Cidra Inc.	Brownfields	Cidra	11	2	4
Antigua planta de tratamiento de aguas residuales de PRIDCO	Brownfields	Caguas	10	1	3
Gasolinera Gulf	Brownfields	Cataño	10	1	3

Siete sitios Superfund seleccionados para un análisis detallado

El NREL evaluó **18 sitios Superfund** y **142 sitios contaminados** a alto nivel (sitios proporcionados por la EPA).

El NREL realizó un **análisis tecnoeconómico en profundidad de 7 sitios** elegidos en función de:

- Superficie con pendientes inferiores al 10%
- Cubierta vegetal existente
- Estructuras y urbanización existentes
- Proximidad a la subestación y la transmisión
- Participación de la comunidad y el gobierno local
- Evaluación preliminar por Puerto Rico Industrial Development Company (PRIDCO)¹
- Comentarios de la EPA

Dos sitios Superfund (**Barceloneta y Juncos**) también están clasificados como vertederos.

Juncos

Barceloneta

GE Palmer

Millipore Cidra

The Battery Recycling Company

Peñuelas Technology Park

Haz105-Ppg Industries + Ppg Canal



¹ La evaluación preliminar realizada por PRIDCO identificó 46 sitios en función de su potencial de generación, su estado de mitigación/medidas correctivas y/o su proximidad a líneas de transmisión.

Sitios Superfund: la rehabilitación es económicamente viable

Aproximadamente 192 MW de energía solar fotovoltaica pueden añadirse en 765 acres de terreno en 7 sitios Superfund¹.

Ubicación del sitio Superfund/contaminado	Superficie (acres) ¹	Capacidad fotovoltaica (MW)	Generación del Año 1 e incertidumbre (GWh)	Costos de operación y mantenimiento del Año 1 (\$M)	Costos de capital totales (\$M)	Tasa Interna de Rendimiento (TIR) independiente con estructura de propiedad municipal	TIR con estructura de propiedad de terceros
Juncos	10	3	5 (P70)	0.1	9	0.4%	3.4%
Barceloneta – 5 MW ²	20	5	7 (P67)	0.2	14	-0.1%	2.3%
GE Palmer – 5 MW ²	20	5	8 (P61)	0.2	13	2.4%	7%
Millipore Cidra	11	3	4 (P69)	0.1	7	1.2%	4.6%
The Battery Recycling Company	16	4	6 (P66)	0.2	10	1.9%	5.9%
Peñuelas Technology Park	424	106	170 (P72)	3	203	11%	20.6%
Haz105-Ppg Industries + Ppg Canal	264	66	107 (P64)	2	133	8.8%	15.5%

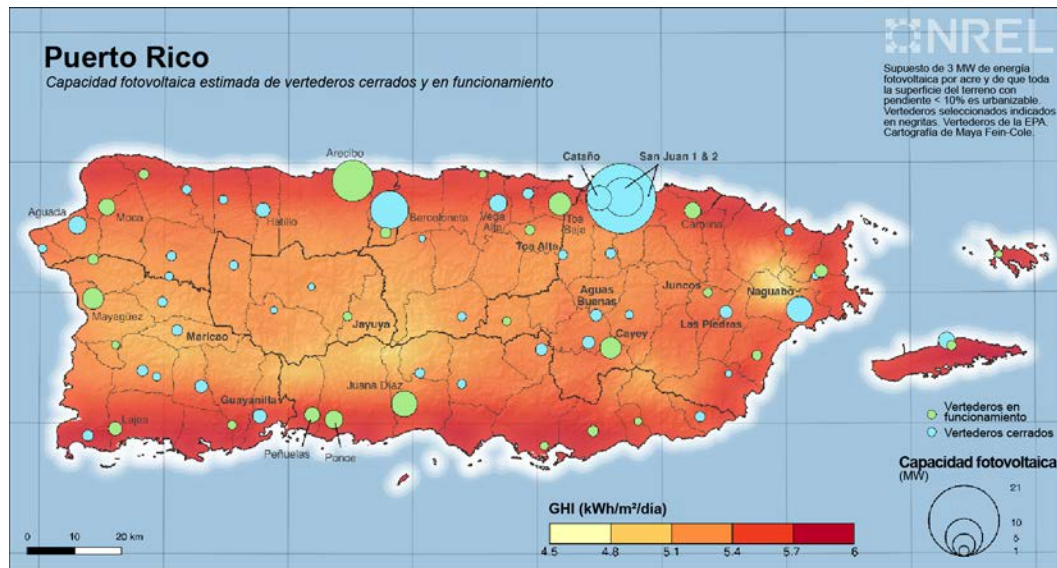
¹ Se suprime el sumador del 10% de los costos de capital de los sistemas con lastre, que se aplicaba a los vertederos, ya que se supone que en los vertederos clausurados no hay recubrimiento del terreno; por lo tanto, es viable la instalación de sistemas fotovoltaicos estándar en postes en lugar de la instalación con lastre.

² En los modelos de propiedad de terceros, la capacidad fotovoltaica de los sitios de Barceloneta y GE Palmer se redujo a 5 MW para aprovechar la bonificación por bajos ingresos del ITC, que **sólo** está disponible para proyectos de < 5 MW.

Análisis tecnológico: Vertederos

Brownfields: 41 vertederos cerrados representan una capacidad fotovoltaica solar estimada de 213 MW

La instalación de energía solar fotovoltaica en vertederos cerrados (que suelen estar cerca de cargas elevadas) evita alterar la cubierta de los vertederos y puede aliviar la presión de instalarla en proyectos nuevos.



Vista desde el vertedero de San Juan (Foto de Gail Mosey, NREL, 2023)

Vertederos:

Inversiones estratégicas necesarias para lograr el potencial

Se pueden añadir aproximadamente 27 MW de energía solar fotovoltaica en 75 acres de terreno repartidos en 9 vertederos¹.

Ubicación del vertedero	Superficie (acres) ¹	Capacidad fotovoltaica (MW)	Generación del Año 1 e incertidumbre (GWh)	Costos de operación y mantenimiento del Año 1 (\$M)	Costos de capital totales (\$M)	TIR autónoma con estructura de propiedad municipal	TIR autónoma con estructura de propiedad de terceros
Aguas Buenas	6	2	3.3 (P60)	0.1	6.0	0.4%	3.3%
Cataño – 5 MW ²	14	5	8.2 (P56)	0.2	14.3	1.3%	5.0%
Cayey	11	4	5.6 (P69)	0.1	10.1	0.7%	3.8%
Guayanilla	5	2	2.8 (P67)	0.1	4.9	1.1%	4.7%
Las Piedras	6	2	3.2 (P70)	0.1	5.8	0.5%	3.6%
Maricao	3	1	1.5 (P60)	0.1	3.0	-1.0%	1.0%
Naguabo – 5 MW ²	14	5	7.8 (P71)	0.2	14.3	0.4%	3.4%
San Juan 1 - 5 MW ²	14	5	8.1 (P58)	0.2	14.3	1.1%	4.7%
Toa Alta	2	1	1.0 (P69)	0.1	2.0	-0.3%	2.1%

¹ La superficie del terreno se ajusta para incluir un amortiguador (+10%) a la superficie total del terreno que podría albergar únicamente energía fotovoltaica.

² En los modelos de propiedad de terceros, la capacidad solar fotovoltaica de los sitios de Cataño, Naguabo y San Juan 1 se redujo a 5 MW para aprovechar la bonificación por bajos ingresos del ITC, que **sólo** está disponible para proyectos de < 5 MW.

Vertederos activos: Potencial

Según la normativa de la EPA, las celdas de los vertederos suelen cerrarse con una pendiente de 3:1 (33.5%), con una pequeña zona de pendiente baja en la parte superior de la celda. Las pendientes < 10% son las más adecuadas para el desarrollo de energía fotovoltaica, por lo que los **vertederos cerrados con pendientes elevadas tendrán una capacidad limitada**.

Vertedero	Disponible actualmente		Potencialmente disponible tras el cierre total o parcial		Notas
	Superficie (acres)	Capacidad fotovoltaica estimada ¹	Superficie (acres)	Capacidad fotovoltaica estimada	
Fajardo	4	0.6–1.3 MW	8	1.2–2.7 MW	• Una celda cerrada con ~ 4 acres de baja pendiente en la parte superior. • La segunda celda se cerrará pronto; ~ 8 acres de baja pendiente en la parte superior dependiendo de cómo se cierre la celda. • Se abrirá una tercera celda más pequeña.
Guayama	0	0 MW	5	0.7–1.7 MW	• Se planea aumentar la altura ~ 20 metros (m) y cerrar 17 acres. • Actualmente, ~ 5 acres de baja pendiente en la parte superior de la celda.
Mayagüez	0	0 MW	3.4	0.5–1.1 MW	• Se prevé aumentar la altura de la celda activa en ~ 15-20 m y cerrar. • Actualmente, ~ 3.4 acres de baja pendiente en la parte superior de la celda activa. • Se planea abrir nuevas celdas.
Peñuelas Valley	0	0 MW	N/A	N/A	• 170 acres en total; ~ 39 acres en uso actualmente. • El terreno disponible ahora tiene pendiente y está orientado al norte. • Tras el cierre, se espera una zona de pendiente baja mínima.
Ponce	0	0 MW	3.2	0.5–1.1 MW	• 146 acres en total; sin cobertura final en ningún sitio. • Con el cierre se espera un área de pendiente baja mínima , ~ 3.2 acres planos en la parte superior de la celda activa más grande.

¹Capacidad estimada suponiendo 3–6.9 acres por MW.

Vertederos: consideraciones financieras para el desarrollo de proyectos

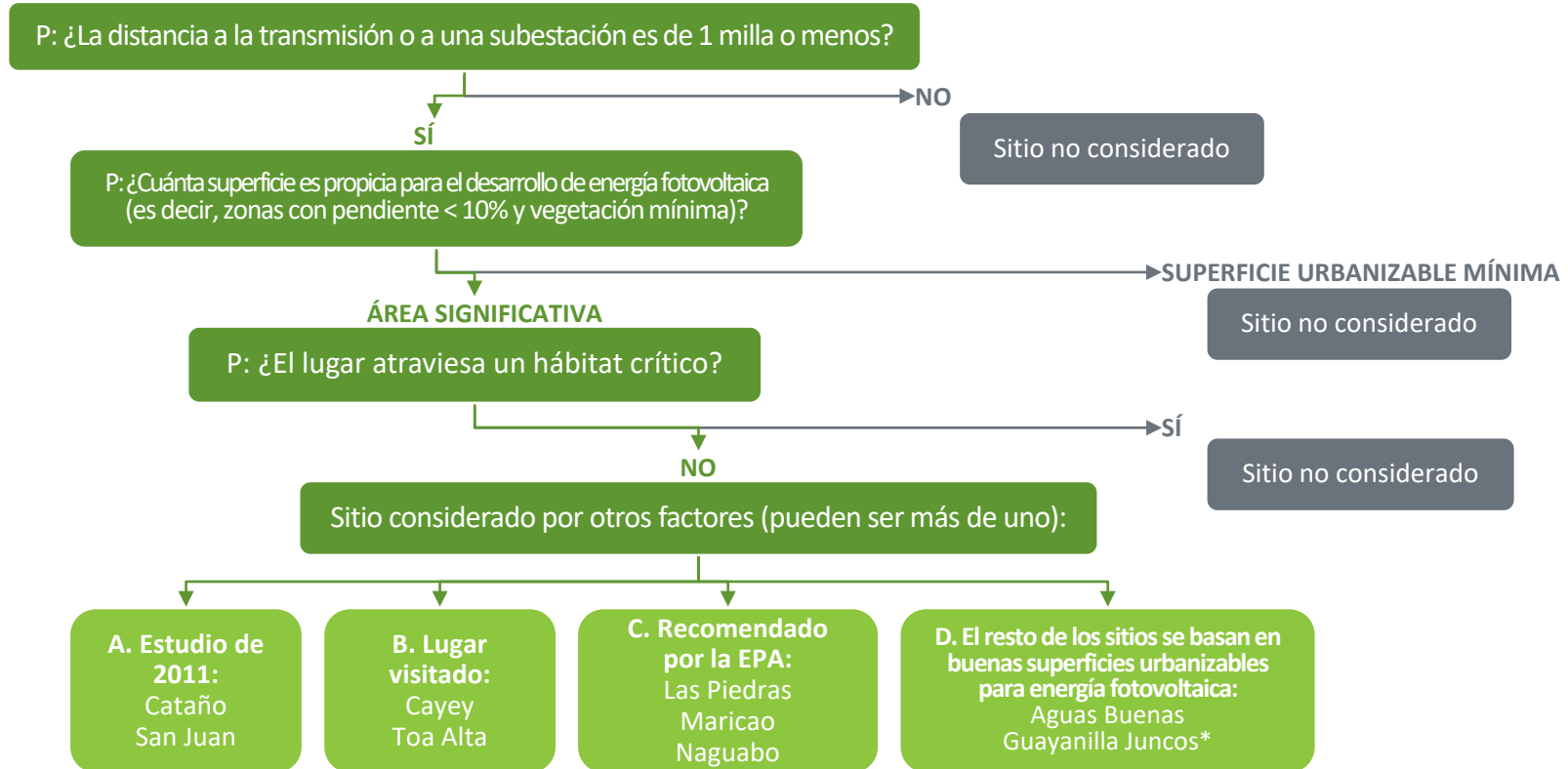
- El análisis subraya la necesidad de **inversiones estratégicas para garantizar la viabilidad económica**. Se prevé que los proyectos de propiedad municipal necesitarán que alrededor del 16% de los costos de capital totales se financien mediante incentivos o subsidios. Por otro lado, es probable que los proyectos propiedad de terceros requieran que alrededor del 11% de los costos de capital totales se cubran mediante mecanismos de apoyo financiero.
- Proyectos como Cataño, Guayanilla y San Juan¹ muestran un fuerte potencial económico, alcanzando tasas internas de rendimiento (TIR) del 6%-7% bajo un modelo de propiedad de terceros.
- Este análisis también demostró que los sitios con un mayor apalancamiento inicial de la deuda podrían beneficiarse de una reducción de los costos de capital, lo que aumentaría su atractivo. Los modelos de propiedad de terceros, debido al ITC y a los incentivos, también presentan atractivas oportunidades de desarrollo.
- **Los retos para la viabilidad de los proyectos en ambos modelos incluyen los altos costos de instalación, los bajos precios de los PPA y la elegibilidad para los créditos fiscales.**

¹ Dado que **sólo** los proyectos < 5 MW son elegibles para la bonificación por bajos ingresos del ITC, del 10%, si San Juan 1 se reduce a 5 MW de energía fotovoltaica, en lugar de la capacidad total de 8.88 MW, muestra un mayor potencial económico.



Vertedero de San Juan (Foto de Gail Mosey, NREL, noviembre de 2023)

Vertederos: Metodología de selección de sitios



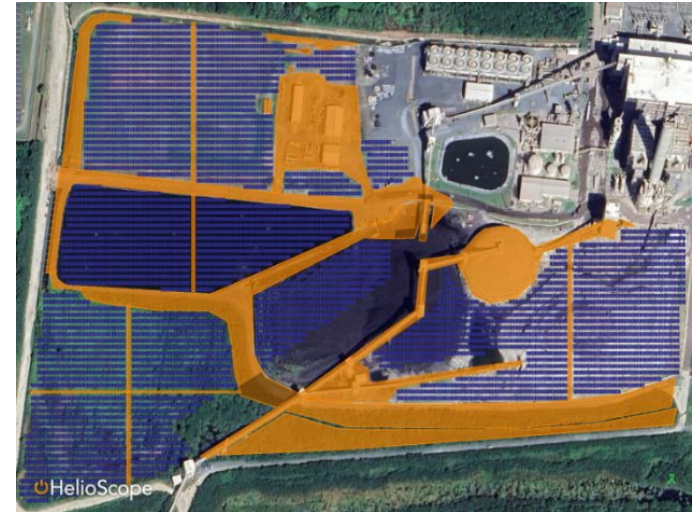
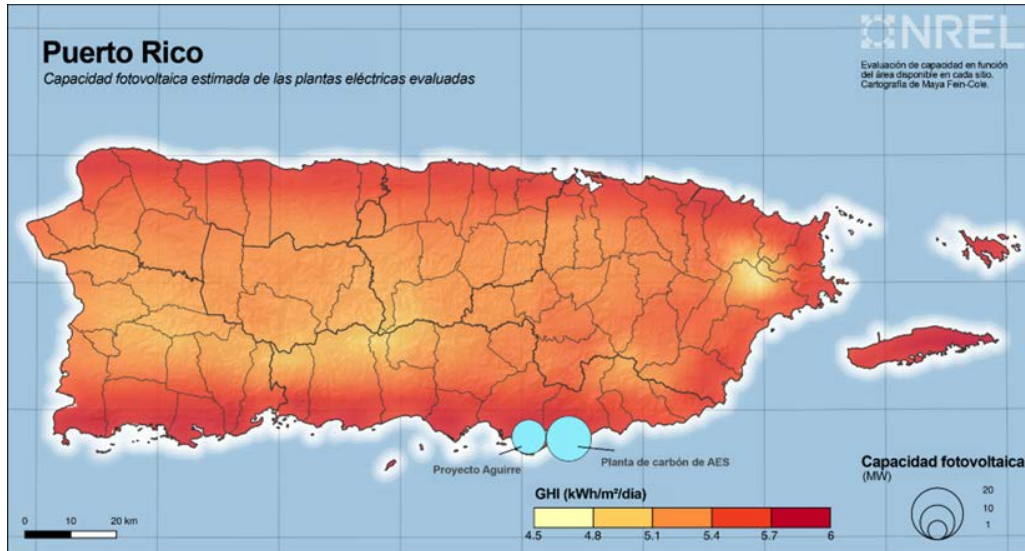
* También un sitio Superfund.

Análisis tecnoeconómico: Huellas de plantas eléctricas

Brownfields: Las huellas de dos centrales eléctricas examinadas representan una capacidad solar fotovoltaica estimada de 78 MW

La huella de las centrales eléctricas ofrece grandes cantidades de terreno, lo que permite economías de escala y aprovecha el uso de energía solar fotovoltaica montada en postes para reducir los costos de capital y mejorar la viabilidad del proyecto.

Se evaluó el potencial de la energía solar fotovoltaica en la **central eléctrica de Aguirre** y la **planta de carbón de Guayama**. Si bien estas plantas están actualmente en funcionamiento, sirven para ilustrar las oportunidades de reutilizar el sitio para el desarrollo de energía solar fotovoltaica.



Planta de carbón de Guayama. Foto del GIS

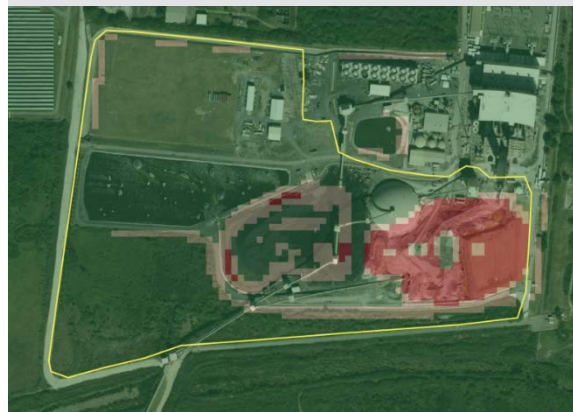
Huellas de plantas eléctricas: Áreas disponibles evaluadas y potencial tecnoeconómico para añadir energía solar fotovoltaica

Se analizaron cuatro estudios de casos: (1) áreas combinadas 1, 2 y 3 de Aguirre, (2) área 3 de Aguirre, (3) planta de carbón de Guayama¹ y (4) áreas de Chevron Phillips².

Aguirre



Planta de carbón de Guayama



¹Está previsto que la planta de carbón de Guayama cierre en 2027, por lo que la superficie no estará disponible para su rehabilitación sino hasta 2028.

²Se consideró la posibilidad de ampliar el sitio Superfund de Chevron Phillips, adyacente a la planta de carbón de Guayama.

Sitio Superfund
Chevron Phillips



Fotos del GIS

Huellas de plantas eléctricas: la rehabilitación es económicamente viable

Las huellas de plantas eléctricas ofrecen proyectos económicamente favorables, ya que se benefician de economías de escala y del reducido costo de capital de los sistemas de montaje en poste¹.

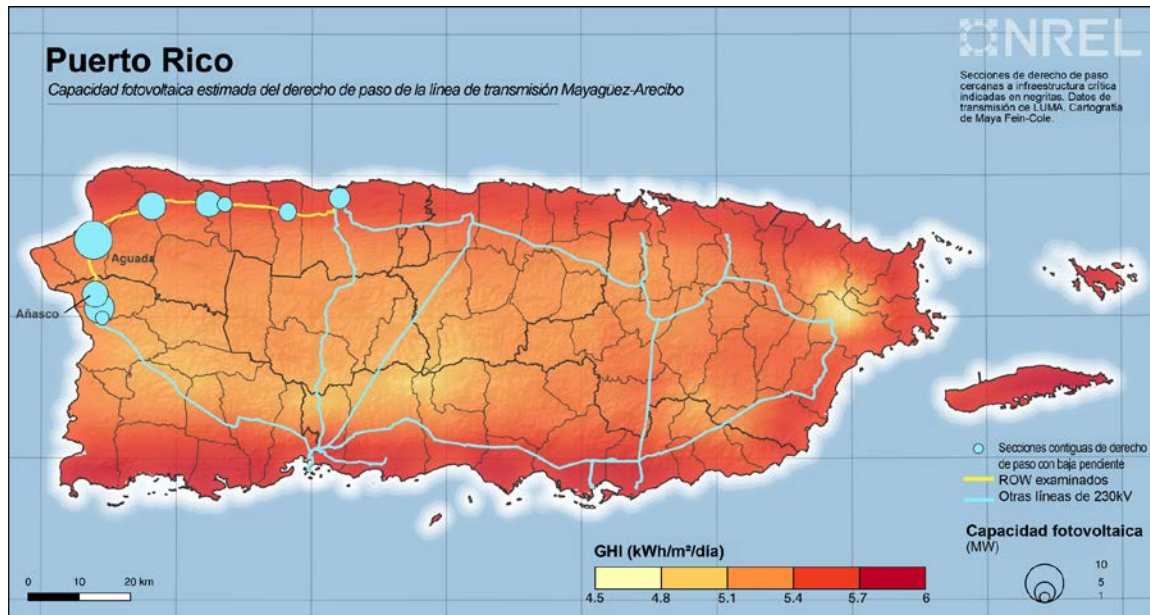
				Datos de entrada variados					Resultados		
Ubicación	Incertidumbre de generación	Superficie del terreno	Capacidad FV	Costo de capital	Tasa de descuento nominal	Precio del PPA	Tasa de interés anual	Costo de arrendamiento del terreno	Costo de capital neto	TIR al final del análisis	Valor actual neto
Unidades	%	acres	MW	\$/W _{cc}	%/año	\$/kWh	%	\$/acre	\$	%	\$
Aguirre 1, 2, 3	P67	33	9.7	2.45	8%	0.108	7%	\$0	24,144,000	8.9%	330,694
Aguirre 3	P67	5	0.7	2.57	8%	0.108	7%	\$0	1,710,260	11.8%	88,583
Planta de carbón de Guayama	P67	65	14.9	2.33	8%	0.108	7%	\$0	35,168,700	12.3%	2,083,360
Chevron Phillips	P67	175	53.5	2.06	8%	0.108	7%	\$1,200	112,237,000	22%	15,714,300

¹ Se ha eliminado el sumador del 10% de los costos de capital de los sistemas con lastre, que se aplicaba a los vertederos, ya que se supone que en los vertederos clausurados **no hay recubrimiento del terreno**; por lo tanto, es viable la instalación de sistemas fotovoltaicos estándar en postes en lugar de la instalación con lastre.

Análisis tecnoeconómico: derechos de paso de líneas de transmisión

Brownfields: capacidad fotovoltaica solar estimada de 21-50 MW en los ROW de las líneas de transmisión examinadas

La instalación de energía solar fotovoltaica en terrenos de derecho de paso (ROW) bajo líneas de transmisión de 230 kilovoltios (kV) ofrece una oportunidad estratégica de utilizar espacios infrautilizados para la generación de energía, teniendo en cuenta las normas técnicas y de seguridad, la sombra y la gestión de la vegetación.



Proyecto de suministro de los pozos Fiber (Foto de Ángela Ortega Pastor, NREL, noviembre de 2023)

Consideraciones para el desarrollo de derechos de paso (ROW) de líneas de transmisión

- **Cumplir la normativa relativa a las distancias mínimas** (pueden variar en función de la clase de voltaje) entre los paneles solares y la infraestructura de transmisión para evitar riesgos eléctricos.
- **Evaluar y mitigar la interferencia electromagnética** de los componentes fotovoltaicos solares para mantener la funcionalidad de las líneas de transmisión.
- **Diseñar rutas de acceso** para garantizar que el mantenimiento de las líneas de transmisión y las reparaciones de emergencia puedan realizarse sin obstrucciones.
- **Coordinar los calendarios de mantenimiento** de la instalación solar fotovoltaica y la infraestructura de transmisión para evitar interrupciones.
- Evitar que las nuevas estructuras o las modificaciones en las instalaciones solares comprometan la **estabilidad de las infraestructuras de transmisión existentes**.
- **Implantar estrategias integrales de conexión a tierra y protección**, tanto de los sistemas solares como de transmisión, para gestionar las fallas eléctricas y las descargas de rayos.
- **Considerar los efectos de sombreado** de las torres de transmisión y los cables sobre la insolación solar en el diseño del módulo solar.
- **Ajustar las prácticas habituales de gestión de la vegetación** bajo las líneas de transmisión según sea necesario para apoyar las operaciones de energía solar fotovoltaica.
- **Colaborar con las comunidades locales** y realizar **evaluaciones ambientales** para abordar los cambios en el uso del terreno, sobre todo en zonas ecológicamente sensibles.



Foto de Dennis Schroeder, NREL 62201

ROW: Se evaluó el potencial de desarrollo de energía solar fotovoltaica de la línea de transmisión de Mayagüez a Arecibo

- El terreno ubicado a entre 50 y 200 pies de las líneas de transmisión de alto voltaje se consideró como ROW de la línea de transmisión .
- Se evaluaron **1,671 acres** de ROW a lo largo de la línea de transmisión de Mayagüez a Arecibo para el desarrollo de energía solar fotovoltaica.
- **El 87%** de este terreno está clasificado como suelo rústico especialmente protegido, suelo urbano o vial¹ y no es urbanizable para la energía fotovoltaica según el plano de uso de terrenos actual.



¹Datos de uso del terreno y protecciones del Plano de Uso de Terrenos de Puerto Rico de 2015 (Junta de Planificación de Puerto Rico).

Nueve secciones son potencialmente urbanizables para la energía solar fotovoltaica.

Se excluyen zonas:

- Pendientes > 10%¹
- Zonas protegidas²
- Hábitat crítico³
- Subestaciones⁴
- Vial⁵
- Suelo urbano⁵
- Todos los tipos de suelo rústico específicamente protegidos excepto los agrícolas⁵.
- Superficie contigua mínima de 1 acre.
- Cobertura vegetal y estructuras existentes mostradas en imágenes satelitales.

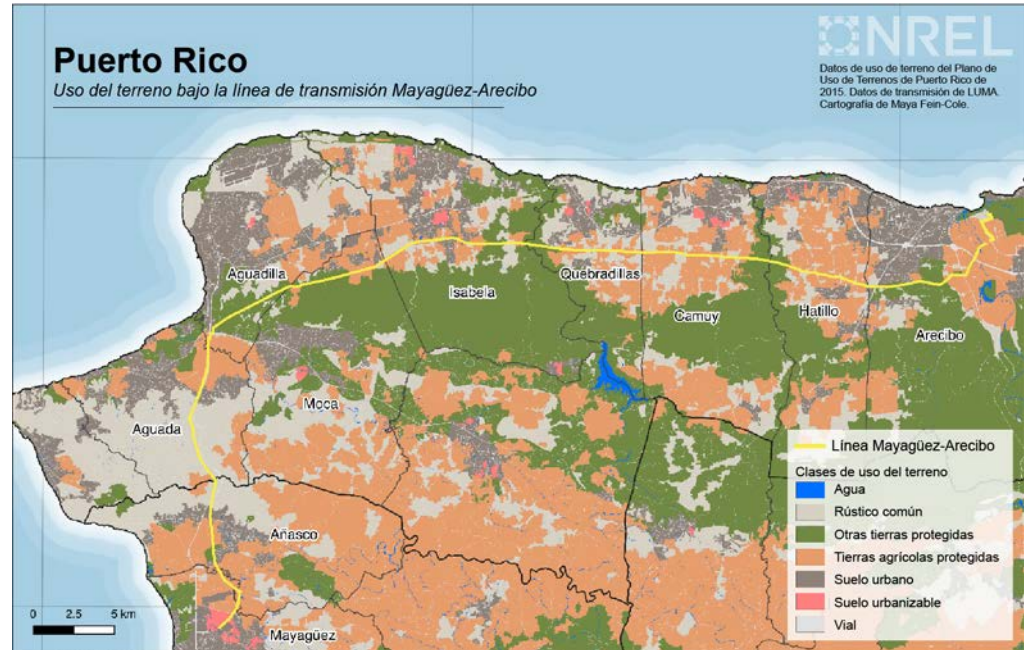
Dos tramos de **Aguada y Añasco** estaban próximos a subestaciones e infraestructuras críticas.



¹USGS, ²WDPA, ³USFWS, ⁴LUMA, ⁵Junta de Planificación de Puerto Rico

ROW: Uso del terreno

- Las nueve **secciones de ROW seleccionadas se encuentran total o parcialmente dentro de terrenos agrícolas protegidos** designados por el Plano de Uso de Terrenos de Puerto Rico de 2015.
- Los cambios en las prioridades de uso del terreno a lo largo del tiempo pueden modificar la protección del terreno y su disponibilidad para el desarrollo.
- Dada la escasa disponibilidad de terrenos en los ROW tras las exclusiones de ubicación, los terrenos agrícolas protegidos se consideraron potencialmente urbanizables con la advertencia de que **requerirían cambios en la planificación del uso de terreno y un amplio proceso de participación de las partes interesadas y la comunidad.**

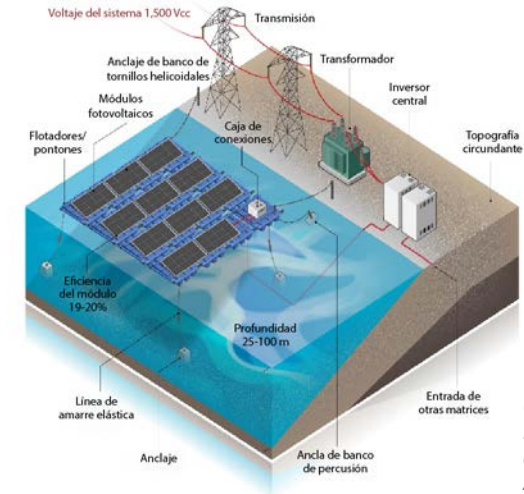
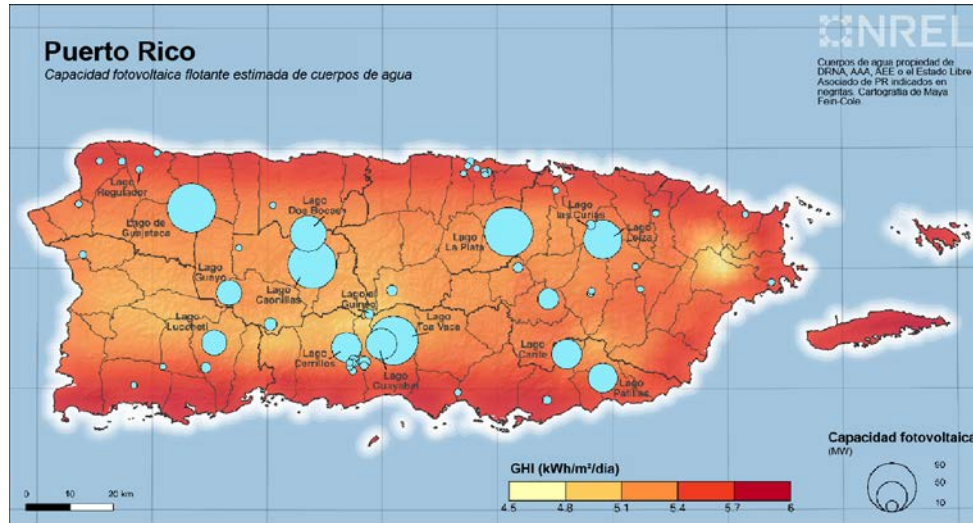


Sólo el suelo rústico común (gris claro) y el urbanizable (rosa) son urbanizables según el plano de uso de terrenos actual.

Análisis tecnoeconómico: energía fotovoltaica flotante en embalses

FPV: 55 masas de agua examinadas representan una capacidad solar fotovoltaica estimada de 636 MW

Los embalses en Puerto Rico ofrecen condiciones favorables para el desarrollo de la FPV debido a la ausencia de nieve, hielo y variaciones extremas del nivel del agua, la falta de transporte de mercancías por tierra que reduce los problemas de estela de los barcos, y menos problemas de corrientes de agua inducidas por la entrada de ríos más pequeños.



Configuración representativa de FPV autónoma (Ilustración de Alfred Hicks, NREL 65944)

Utilizando el modelo reV del NREL y suponiendo el 70% de cobertura del suelo; 11 grados de inclinación del panel; densidad del panel de 1 MW/hectárea; 25% de superficie de masas de agua adecuadas; multiplicador de 1.03 para incorporar el beneficio de enfriamiento por evaporación.

Embalses: abundante superficie urbanizable

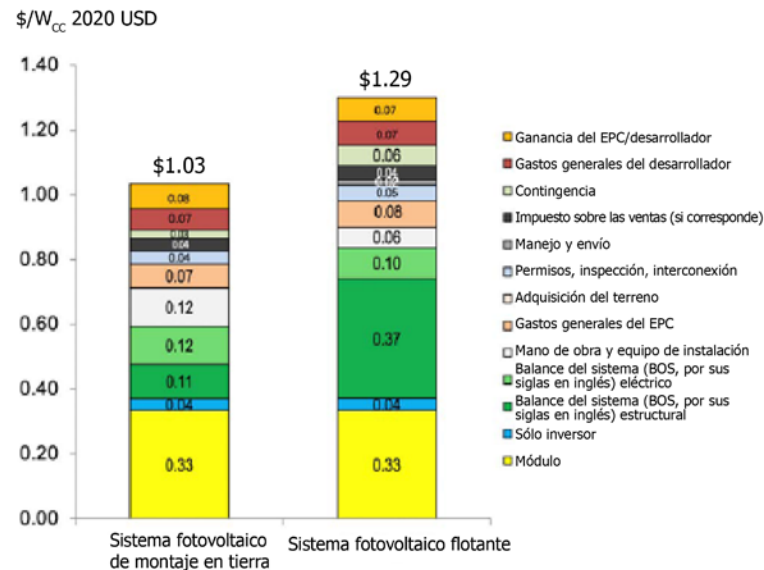
Se evaluó la idoneidad de los cuerpos de agua para FPV, considerando un área de uso conservador del 25%, similar al de las normas de EE. UU., y centrándose en los embalses con presas de la Autoridad de Energía Eléctrica de Puerto Rico (AEE) o de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados de Puerto Rico (AAA). Se utilizaron datos batimétricos para calibrar la profundidad y la pendiente de los posibles sitios para FPV → que probablemente representen el 75% de la capacidad de FPV de Puerto Rico.

- **Abundante superficie urbanizable:** La superficie urbanizable estimada en los seis embalses examinados supera la hipótesis inicial del 25%. En cinco de estos embalses, la superficie estimada es significativamente superior al doble de este valor supuesto.
- **Diversas oportunidades de desarrollo:** La mayoría de los embalses ofrecen múltiples sitios atractivos para el desarrollo de FPV, cada uno de ellos con diferentes impactos potenciales. Estas opciones van desde sistemas más grandes situados en el centro hasta sistemas más pequeños enclavados en ensenadas.
- **Variación moderada del nivel del agua:** En general, estos embalses presentan variaciones moderadas del nivel del agua, especialmente en comparación con los embalses más grandes de las regiones más secas del territorio continental de Estados Unidos, que presentan mayores fluctuaciones estacionales de las precipitaciones.
- **Infraestructura de transmisión accesible:** La distancia a la infraestructura de transmisión, al menos en este subconjunto de embalses, no parece ser un obstáculo importante para el desarrollo.

Número de masas de agua	Factor de capacidad promedio	Superficie adecuada total (acres)	Capacidad total (MW)	Generación total (GWh/año)
55	17.6%	1,572	636	1,010

Consideraciones económicas para el desarrollo de FPV

- Un modelo de costos para 2021 publicado por el Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL) muestra que los gastos de capital (**CapEx**) de la FPV son ~ **25% superiores a los de los sistemas fotovoltaicos montados en tierra** para condiciones ambientales medias (profundidad media del agua, variación media de la profundidad, etc.).
- Si se mantienen las demás variables, los costos de capital **aumentan en 15% cuando se diseñan para la máxima velocidad del viento**, por arriba del 5.5% necesario para el fortalecimiento de los sistemas de montaje en el suelo para protección contra tormentas, pero similar al aumento de los costos de capital del fortalecimiento contra tormentas más el montaje lastrado necesario para los sistemas de energía solar en vertederos.
- Aún no se han definido por completo los costos de operación y mantenimiento a lo largo de toda la vida útil de los parques de FPV a gran escala. Sin embargo, a corto y mediano plazo, **los costos de la FPV a gran escala parecen ser similares a los de los sistemas de montaje en tierra** y no se espera que sean un factor significativo en la asequibilidad relativa de la FPV en comparación con las diferencias de CapEx.



Costos de instalación en EE. UU. de un sistema FPV de 10 MW_{cc} en un escenario base y de un sistema fotovoltaico montado en el suelo (Ramasamy y Margolis 2021).

Embalses: 15 masas de agua evaluadas para la idoneidad de la energía solar fotovoltaica

Nombre de la masa de agua	Nombre de la presa	Identificación en el Inventario Nacional de Presas	Propietario de la presa	Superficie (acres)	Potencial para FPV (GWh/año)
Lago Regulador	Lago Regulador	PR00076	Autoridad de Acueductos y Alcantarillados de Puerto Rico	13.3	2.2
Lago Las Curias	Embalse Las Curias	PR00022	Autoridad de Acueductos y Alcantarillados de Puerto Rico	42.7	6.6
Lago El Guineo	Embalse Guineo	PR00012	Autoridad de Energía Eléctrica de Puerto Rico	45.6	6.8
Lago Guayo	Embalse Guayo	PR00005	Autoridad de Energía Eléctrica de Puerto Rico	258.4	40.4
Lago Lucchetti	Embalse Lucchetti	PR00003	Autoridad de Energía Eléctrica de Puerto Rico	265.5	40.5
Lago Patillas	Embalse Patillas	PR00023	Autoridad de Energía Eléctrica de Puerto Rico	297.2	49.2
Lago Carite	Embalse Carite	PR00021	Autoridad de Energía Eléctrica de Puerto Rico	309.2	49.8
Lago Cerrillos	Embalse Cerrillos	PR82201	Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente	334.5	50.0
Lago Guayabal	Embalse Guayabal	PR00013	Autoridad de Energía Eléctrica de Puerto Rico	347.1	51.7
Lago Dos Bocas	Embalse Dos Bocas	PR00009	Autoridad de Energía Eléctrica de Puerto Rico	412.8	63.0
Lago Loíza	Embalse Loíza	PR00024	Autoridad de Acueductos y Alcantarillados de Puerto Rico	437.0	68.3
Lago Caonillas	Embalse Caonillas	PR00011	Autoridad de Energía Eléctrica de Puerto Rico	579.1	89.0
Lago Toa Vaca	Embalse Toa Vaca	PR00014	Autoridad de Acueductos y Alcantarillados de Puerto Rico	585.8	91.0
Lago La Plata	Embalse La Plata	PR00017	Autoridad de Acueductos y Alcantarillados de Puerto Rico	633.9	97.4
Lago de Guajataca	Presa de Guajataca	PR00001	Autoridad de Energía Eléctrica de Puerto Rico	860.2	136.0

Azul: Análisis más detallado de los embalses destacados gracias a los datos batimétricos disponibles.

Embalses: seis masas de agua con datos batimétricos permiten calcular estimados explícitos de la superficie disponible.

Para que una zona se considere disponible para el desarrollo, debe:

- **Estar a más de 100 m de las presas** para permitir el mantenimiento de estas y limitar el efecto de las corrientes causadas por la descarga.
- Llenarse con agua a **volúmenes de llenado bajos** o estar en un lugar en el que el suelo subyacente sea plano (por debajo del umbral de **pendiente del 2%**).
- **Tener al menos un metro de profundidad en el nivel máximo de llenado** (percentil 5 del nivel de operación típico basado en los datos disponibles del Servicio Geológico de EE. UU. [USGS, por sus siglas en inglés]).

Se excluyen las zonas que se ajustan a estos criterios pero que no forman un área contigua suficientemente grande como para permitir la FPV a gran escala (~ 1 MW).

Nombre de la masa de agua	Propietario de la presa	% urbanizable	Potencial de FPV, cobertura calculada (GWh/año)	Potencial de FPV, cobertura supuesta del 25% (GWh/año)
Lago Lucchetti	AEE	27%	44	40.5
Lago Patillas	AEE	81%	159	49.2
Lago Carite	AEE	83%	165	49.8
Lago Guayabal	AEE	76%	157	51.7
Lago Caonillas	AEE	48%	299	89.0
Lago La Plata	AAA	66%	257	97.4



Lagos Caonillas, Carite, Guayabal, La Plata, Lucchetti y Patillas (Imagen GIS, NREL, 2023)

Consideraciones técnicas para FPV en embalses

- El diseño de sistemas para las **corrientes de agua** y la **variación del nivel del agua**¹ afectan principalmente al anclaje/amarre y los cables, como la capacidad de carga y el número de líneas de anclaje/amarre necesarias. Estas son consideraciones de ingeniería comunes para cualquier sistema FPV y no son exclusivas de Puerto Rico.
- Se han realizado tareas de ingeniería para **vientos de nivel de huracán** de Clase V (porque la FPV se ha desarrollado en otros lugares sujetos a huracanes o tifones, como Florida, el sur de Japón y el sudeste asiático). Sin embargo, **los sistemas de Puerto Rico pueden requerir más de lo que se ha visto habitualmente** en esas zonas.
 - La carga del viento afecta la tensión de los sistemas de anclaje/amarre y las conexiones de flotador a flotador, además de las consideraciones pertinentes para los paneles y bastidores de los sistemas energía solar montados en el suelo.
 - Las repercusiones en la capacidad de carga y el número de líneas de anclaje/amarre son las más importantes; sin embargo, es probable que también se requieran geometrías y diseños de flotador y conexiones de flotador a flotador menos comunes.
 - Los flotadores FPV triangulares pueden ser más resilientes a las cargas del viento y las olas.

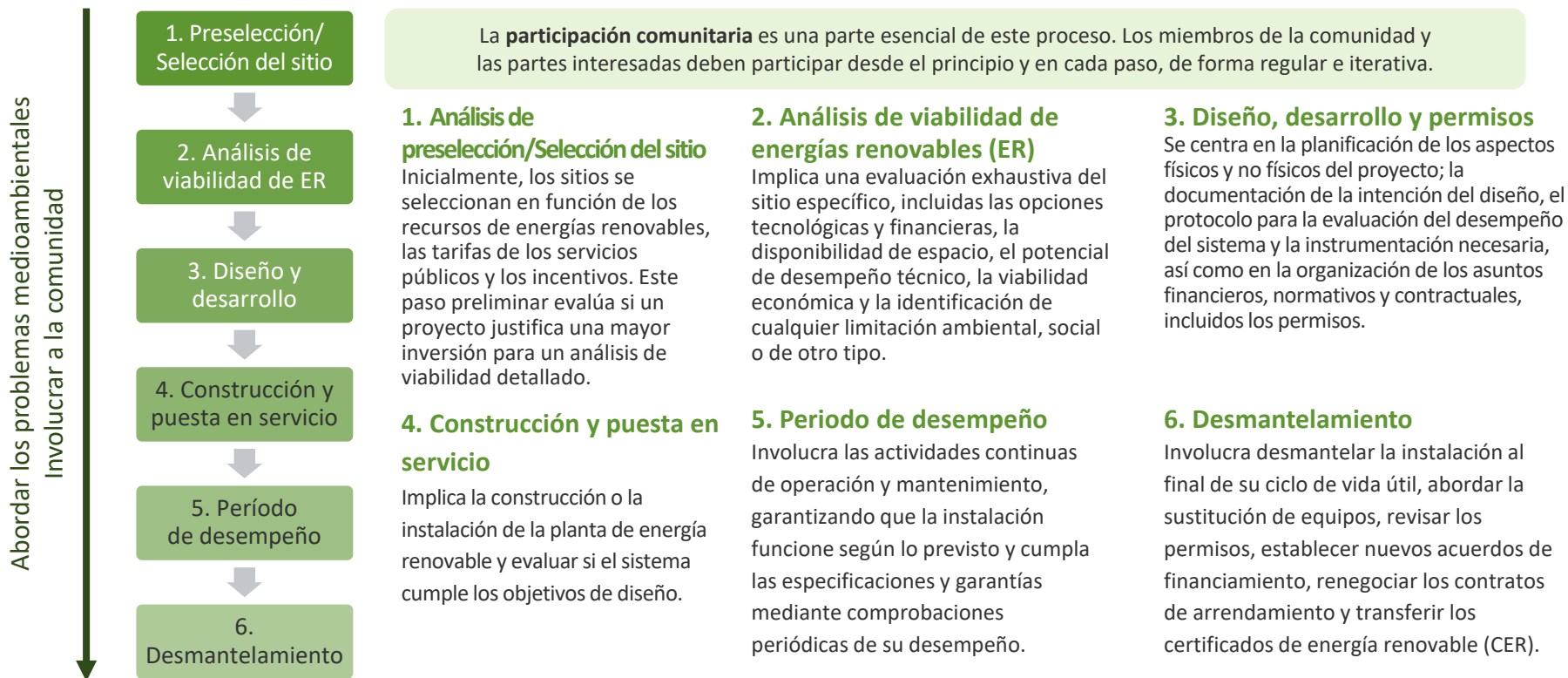


Foto de Dennis Schroeder, NREL 53254

¹ Ausencia de cargas de nieve y hielo y de estelas de buques grandes.

Desarrollo del proyecto: Ciclo y estrategia

Ciclo de desarrollo típico de un proyecto de energía limpia

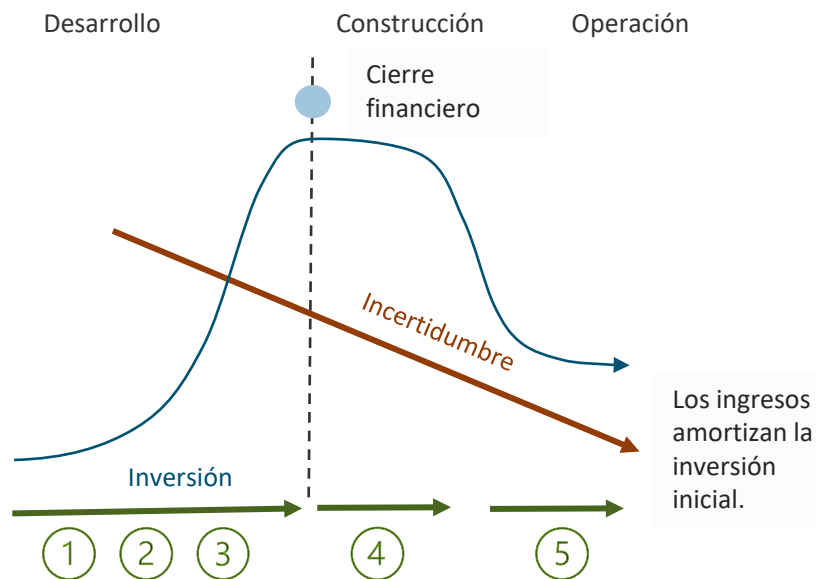
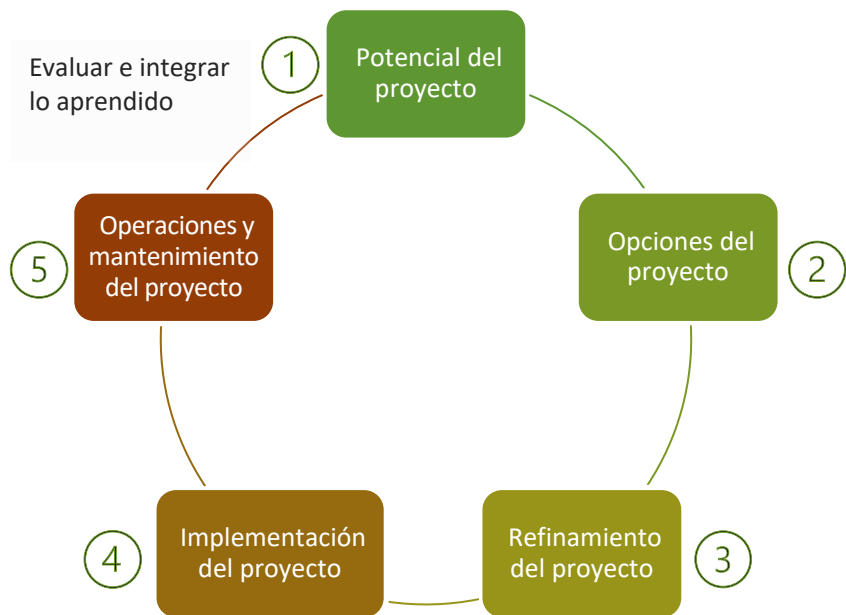


Desarrollar un proyecto y una estrategia de financiamiento

El desarrollo de proyectos es un proceso iterativo cuyo potencial de éxito se mejora centrándose en los puntos cruciales de decisión de inversión, optimizando la asignación de recursos y mejorando la toma de decisiones. Un proceso estructurado ayuda a identificar e implementar las soluciones tecnoeconómicas más viables para cumplir los requisitos específicos del proyecto.

Al adoptar una estrategia de inversión incremental se pueden mitigar los riesgos al principio del ciclo de vida útil.

La clave a lo largo de todo el proceso es abordar y reducir los riesgos que se vayan encontrando.



Desarrollo del proyecto: Selección del sitio

Selección de sitios: muchos sitios tienen potencial para energía solar fotovoltaica, pero no todos son igualmente adecuados.

Los exámenes iniciales ayudan a determinar si se justifica un análisis de viabilidad detallado.

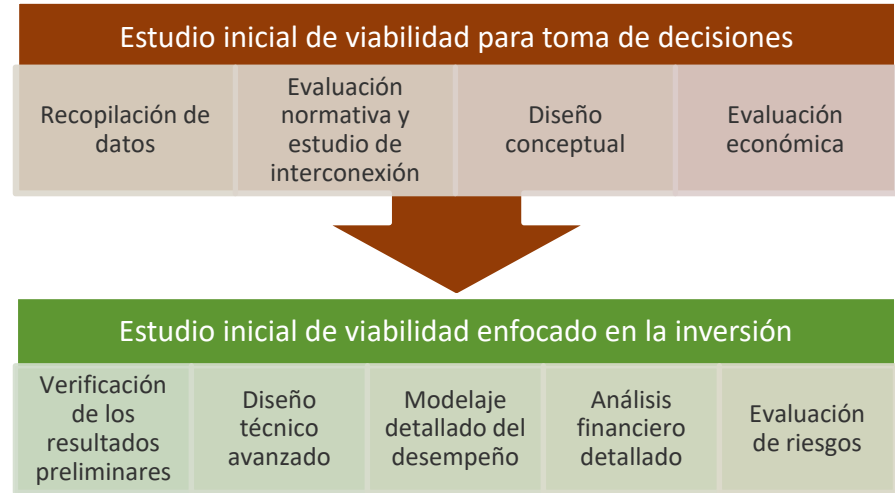


Selección de sitios: estudio inicial de viabilidad para toma de decisiones y después un estudio detallado para la inversión

1. Estudio de viabilidad para la toma de decisiones:

Consiste en recopilar información básica sobre el sitio, las características de la zona industrial abandonada, las tecnologías fotovoltaicas y los requisitos normativos. Esta fase tiene por objeto decidir si se procede con un análisis más detallado.

- ## 2. Estudio inicial de viabilidad enfocado en la inversión:
- Se realiza en sitios prometedores para confirmar los supuestos del estudio para la toma de decisiones, recopilar más datos y desarrollar un diseño de ingeniería preliminar. Este estudio incluye modelos detallados de desempeño y análisis financieros, que a menudo conducen al financiamiento del proyecto.



Evaluar la viabilidad de una zona industrial abandonada para un proyecto solar implica **comprender sus requisitos funcionales**, como la gestión de residuos, la prevención de infiltraciones de agua y la gestión de las aguas pluviales. La evaluación de la viabilidad debe tener en cuenta la integración del sistema fotovoltaico con estos sistemas existentes en la zona industrial abandonada.

Los estudios de viabilidad deben tener en cuenta el entorno físico general, las consideraciones técnicas de los sitios en Brownfields, las opciones de tecnología fotovoltaica y el apoyo de la comunidad.

Desarrollo del proyecto: Mejores prácticas y consideraciones

A menudo, el desarrollo de proyectos de energía limpia puede comenzar antes de la limpieza o simultáneamente con ella

Muchos lugares posiblemente contaminados deben someterse primero a una evaluación ambiental. Algunos lugares pueden necesitar poca o ninguna limpieza, mientras que otros pueden requerir un saneamiento mínimo o significativo antes de poder reutilizarse.

1. Integración con planes de limpieza

Coordinarse estrechamente con las agencias ambientales y los equipos de limpieza para garantizar que el proyecto solar se alinee con los esfuerzos de saneamiento en curso. Ajustar la planificación del proyecto solar para adaptarla a los calendarios y actividades de limpieza.

2. Seguridad y protecciones ambientales

Aplicar protocolos de seguridad estrictos para la construcción y el funcionamiento en las zonas sometidas a saneamiento. Utilizar medidas de protección para evitar interferencias con los procesos de limpieza y para salvaguardar a los trabajadores y al equipo.

3. Diseño y fases flexibles

Diseñar la instalación solar por fases, permitiendo un despliegue flexible a medida que diferentes zonas del sitio estén disponibles tras la limpieza. Utilizar infraestructuras solares modulares y móviles siempre que sea posible para adaptarse a las condiciones cambiantes del sitio.

4. Monitoreo y comunicación

Establecer un monitoreo continuo y canales de comunicación entre el equipo del proyecto solar y el equipo de limpieza. De este modo se garantiza la respuesta oportuna a cualquier problema que surja y se alinean los esfuerzos de ambas partes en cuanto a la seguridad de las instalaciones y el cumplimiento normativo.

El [Handbook on Siting Renewable Energy Projects While Addressing Environmental Issues](#) (Manual sobre la Ubicación de Proyectos de Energías Renovables con Atención a Aspectos Ambientales) presenta los procesos típicos de limpieza y reutilización y el proceso de desarrollo de proyectos de energías renovables, incluidas las oportunidades únicas de ubicación y los beneficios potenciales asociados a esta reutilización.



Sitio Superfund Barceloneta (Foto de Maya Fein-Cole, NREL, noviembre de 2023)

Mejores prácticas* para ubicar la energía solar fotovoltaica en Brownfields

Gestión de la cubierta geosintética

Las cubiertas geosintéticas pueden reducir las necesidades de siega y proporcionar un entorno con menos polvo y daños potenciales a los paneles solares fotovoltaicos.

Protección contra rayos y conexión a tierra

Proteger contra sobretensiones eléctricas y rayos mediante una conexión a tierra adecuada que cumpla las normas de seguridad.

Sistemas de bastidores flexibles

Los sistemas de colada in situ pueden dar como resultado ahorros en costos y son adecuados para la instalación en Brownfields por su capacidad para adaptarse a terrenos irregulares y a los requisitos de penetración en el suelo.

Gestión de la cubierta

Considerar el impacto de los paneles fotovoltaicos en el crecimiento de las plantas debido a la sombra y la disponibilidad de humedad y mantener la compatibilidad con la cubierta vegetal para el control de la erosión.

Compatibilidad con sistemas de gas de Brownfields:

Diseñar de manera compatible con los sistemas existentes de recolección, monitoreo y generación de gas; permitir una funcionalidad de doble espacio: la energía solar fotovoltaica potencialmente alimenta los equipos de gestión del gas y ofrece ahorro en costos y sostenibilidad.

Gestión de las aguas pluviales

Garantizar el cumplimiento de la normativa del Sistema Nacional de Eliminación de Descargas Contaminantes (NPDES, por sus siglas en inglés) y otras normativas de gestión de aguas pluviales; adaptarse a los cambios en los patrones de escorrentía debidos a la instalación de sistemas fotovoltaicos solares.

Seguridad del sitio

Implementar medidas de seguridad como vallas perimetrales, cámaras de seguridad y, posiblemente, sensores de movimiento para protección contra robos, vandalismo y acceso no autorizado.

Consideraciones sobre operación y mantenimiento

Cumplir los planes de posteriores al cierre de Brownfields y los protocolos de seguridad laboral, gestionar el lavado de paneles y el agua, y garantizar el mantenimiento rutinario de los sistemas de aguas pluviales y la cubierta vegetal.

Monitoreo del sistema y resolución de problemas

Utilizar sistemas de supervisión remota para identificar anomalías en el desempeño del sistema y solucionar problemas.

*No todas las prácticas serán adecuadas o apropiadas para todos los sitios y cada lugar debe evaluarse caso por caso para determinar el enfoque más eficaz.

Adaptado de [Best Practices For Siting Solar Photovoltaics On Municipal Solid Waste Landfills](#) (Mejores Prácticas para la Ubicación de Sistemas Solares Fotovoltaicos en Vertederos Municipales de Residuos Sólidos).

Qué tener en cuenta al ubicar sistemas de energía solar fotovoltaica en Brownfields

Terreno estable

En el caso de los vertederos en particular, el subsuelo y la cubierta del vertedero deben ser estables. Los promotores de proyectos solares en vertederos suelen evitar los proyectos en vertederos que han estado tapados durante < 2-3 años, debido a la posibilidad de que se produzcan altas tasas de asentamiento.

Período posterior al cierre

Los sistemas de energía renovable pueden instalarse en Brownfields, lo que garantiza que no se comprometan las medidas de limpieza (como las cubiertas de los vertederos o las cláusulas restrictivas) y no plantea riesgos para la salud o ambientales.

Recursos solares

El sitio debe tener una insolación solar óptima con sombra mínima de estructuras o árboles cercanos.

Accesibilidad del sitio y proximidad a la infraestructura y la interconexión

Evaluar la accesibilidad para la construcción y el mantenimiento; garantizar la conectividad con las líneas de transmisión y las subestaciones para una conexión a la red eléctrica más fácil y rentable.

Superficie de terreno con pendiente adecuada

Espacio continuo suficiente para albergar la capacidad solar deseada, teniendo en cuenta el espacio entre los paneles solares y otras infraestructuras. Pendiente ideal de entre 0% y 10%, pero pueden instalarse sistemas de hasta 20%.

Impacto ambiental

El sitio debe presentar riesgos ambientales mínimos y niveles de contaminación manejables que no dificulten la instalación o la operación. Las instalaciones de energía limpia son viables en Brownfields con tratamiento de aguas subterráneas si no interrumpen los procesos de tratamiento o monitoreo.

Apoyo comunitario

Involucrar a las comunidades locales para abordar sus preocupaciones y destacar los beneficios del proyecto, como la creación de empleos y las mejoras ambientales.

Cumplimiento normativo

Considerar sitios en los que puedan obtenerse fácilmente los permisos necesarios para la instalación de sistemas fotovoltaicos y en los que no existan obstáculos normativos importantes, por ejemplo, si el uso permitido tras el cierre incluye la instalación y la operación de sistemas fotovoltaicos solares.

Qué tener en cuenta al situar un sistema FPV

Profundidad del agua, estabilidad y pendiente del fondo

Lo ideal es que las masas de agua tengan profundidades constantes y moderadas, ni muy poco profundas ni demasiado profundas, para garantizar la estabilidad y la seguridad de las estructuras flotantes.

Fluctuaciones del agua

Los sitios con mínimas fluctuaciones estacionales del nivel del agua son más adecuados, ya que las grandes variaciones podrían afectar el anclaje del sistema y las conexiones eléctricas.

Recursos solares

Buscar una insolación solar óptima con sombra mínima de estructuras o árboles cercanos.

Olas y viento, corrientes, anclaje y amarre

Buscar zonas protegidas o tranquilas para que las olas o los vientos fuertes no afecten la estabilidad de las estructuras flotantes. Considerar las condiciones adecuadas para anclar o amarrar de forma segura los paneles FPV sin dañar el fondo de la masa de agua.

Calidad del agua

Los sitios con menos materia orgánica pueden reducir la posible degradación o daño de las estructuras FPV.

Impacto ambiental

Buscar sitios que presenten riesgos ambientales mínimos cuando se transformen en sitios FPV, con una alteración mínima de los ecosistemas locales, la vida acuática y la calidad del agua. Monitorear los posibles cambios de temperatura en el agua que hay debajo.

Accesibilidad del sitio y proximidad de las infraestructuras

Evaluar la accesibilidad para la construcción y el mantenimiento; garantizar la conectividad con las líneas de transmisión y las subestaciones para una conexión a la red eléctrica más fácil y rentable.

Cumplimiento normativo y compatibilidad del uso del agua

Considerar lugares para los cuales sea fácil obtener permisos para la instalación de FPV y sin grandes obstáculos normativos. También hay que tener en cuenta la compatibilidad con otros usos de la masa de agua, como las actividades recreativas o la pesca.

Mejores prácticas para desarrollar el apoyo comunitario

Transparencia.

- **Organizar reuniones públicas** y talleres para compartir los detalles del proyecto con las partes interesadas. Compartir los términos de los contratos y acuerdos y asegúrese de que sean fáciles de entender.
- **Compartir los beneficios comunitario**, incluyendo cómo los ingresos generados por los proyectos apoyarán, por ejemplo, programas locales o iniciativas comunitarias.
- **Garantizar la responsabilidad de los socios para satisfacer las necesidades de la comunidad**, estableciendo mecanismos de supervisión y requisitos de información, por ejemplo, garantías de desempeño.

Involucrar a las partes interesadas desde el principio.

Solicitar opiniones, abordar las preocupaciones e incorporar los comentarios a los planes de los proyectos. Considerar la **creación de comités consultivos o grupos de trabajo comunitarios** para garantizar que las voces de la comunidad se escuchen en la planificación y la toma de decisiones.

- Involucrar a los miembros de la comunidad en los procesos de **priorización de proyectos y selección de socios**.
- Colaborar con **los medios de comunicación locales** para difundir información sobre el proyecto y sus posibles beneficios.

Demostrar el éxito y compartir los proyectos exitosos de otros municipios similares. Compartir las historias de éxito a través de los medios de comunicación locales.

Crear asociaciones locales y buscar el respaldo y el apoyo de asociaciones empresariales locales, cámaras de comercio y organizaciones comunitarias; identificar a los líderes locales.

Mitigar proactivamente el impacto visual.

Para la **energía solar fotovoltaica**, **utilice medidas prácticas**, por ejemplo, vallas no intrusivas y luces activadas por movimiento y ocultar las estructuras con terraplenes de tierra o árboles estratégicamente plantados. Los modelos de visualización pueden **mostrar el aspecto del proyecto a las partes interesadas**; compartirlos en foros y materiales públicos.

Los sistemas de FPV suelen ser menos obstructivos debido a su bajo perfil y a su ubicación en depresiones; sin embargo, los impactos visuales no pueden enmascarse con paisajismo. **Utilizar herramientas de visualización para situar los parques de FPV en lugares poco visibles**, como ensenadas aisladas.

Consideraciones normativas para el desarrollo de energías limpias en Brownfields y embalses

- Los **procesos de interconexión** tienen un efecto crítico en la escala y la tecnología de los proyectos energéticos.
 - Todos los sitios analizados se encuentran a 1 milla o menos de las líneas de transmisión existentes que funcionan a 38 kV, 115 kV o 230 kV.
 - La política limita los sistemas a 500 kW antes de exigir un examen técnico adicional y a 1 MW en total para los voltajes a nivel de distribución. Los sistemas de más de 1 MW requerirán sistemas de monitoreo adicionales y deberán conectarse a los voltajes de transmisión¹.
 - Los complejos criterios técnicos y normativos pueden ser costosos (~ 10% del costo del proyecto) y complicados, en particular para proyectos a gran escala que necesiten mejoras de la red eléctrica.
 - La limitada capacidad de alojamiento de la red eléctrica puede obstaculizar los proyectos nuevos.
 - Un extenso proceso de aprobación puede retrasar los proyectos e inflar los presupuestos.
- Los bajos **precios de los contratos de compra de energía (PPA, por sus siglas en inglés)** pueden influir directamente en la viabilidad económica y la escala de los proyectos energéticos, ya que determinan los ingresos generados a lo largo de la vida útil del proyecto, afectando a las decisiones de inversión, la rentabilidad y la viabilidad financiera.
- **La concesión de permisos ambientales y la revisión de la Ley Nacional de Política Ambiental (NEPA, por sus siglas en inglés)** dictan el cumplimiento normativo necesario para minimizar los impactos ambientales.
 - Los proyectos que impliquen financiamiento federal, permisos o terrenos situados en o cerca de entornos sensibles o de interés público, entre otros, pueden dar origen a una revisión de la NEPA.
 - Los proyectos que cumplan los requisitos para las exclusiones de la NEPA pueden evitar las exhaustivas revisiones ambientales, lo que reduce considerablemente los plazos y costos de desarrollo.

La interconexión a **nivel de transmisión** ofrece **un acceso más amplio al mercado**, pero conlleva **mayores costos y complejidad**.

La interconexión a **nivel de distribución** es **más rápida y barata**, pero **limita el tamaño de los proyectos** y se enfrenta a **limitaciones de capacidad**, lo que repercute en la escala y los aspectos económicos de los proyectos.

¹[Moción que presenta la versión completa del documento de requisitos técnicos de interconexión](#) (2022)

Opciones de ubicación compartida y uso mixto por considerar para la rehabilitación de Brownfields

Los Brownfields pueden tener potencial para sistemas solares fotovoltaicos en techos.

- Las superficies de los techos suelen ser pequeñas, pero los sitios suelen estar situados en zonas urbanizadas donde la demanda de energía es mayor.
- Existe la posibilidad de la ubicación compartida de sistemas de energía fotovoltaica con otros proyectos de desarrollo en función de las prioridades de los propietarios.
- Los desarrollos que podrían ir acompañados de sistemas de energía fotovoltaica incluyen aparcamientos, centros de respuesta a emergencias, plantas de reciclaje, cementeras y otras zonas industriales.

Varios Brownfields, Cataño (izquierda) y Ponce (centro, derecha).



Sistema fotovoltaico en techo existente observado en el Teatro/Centro Comercial Fox Delicias (Brownfields), Ponce.



Imágenes de GIS (NREL, 2023)

Terreno municipal (Brownfields), Cataño



Gasolinera Gulf (Brownfields), Cataño



Desarrollo del proyecto:
Modelos de propiedad:

Modelos de propiedad: considerar los objetivos, el compromiso, los aspectos financieros, la experiencia, el riesgo y otros factores

Los propietarios de terrenos que deseen rehabilitar Brownfields se deben preguntar:

- ¿Cuáles son nuestros objetivos en materia de energía limpia y cómo se alinean con los valores de nuestra comunidad?
- ¿Cuáles son nuestros recursos financieros y la disponibilidad de financiamiento externo?
- ¿Tenemos los conocimientos técnicos necesarios para gestionar sistemas de energía limpia o debemos buscar asociarnos con alguien más?
- ¿Cómo priorizamos la gestión de riesgos y la estabilidad financiera a largo plazo?
- ¿Cuál es nuestro calendario para la implantación de energías limpias y cómo ampliaremos nuestros esfuerzos?
- ¿Cómo podemos implicar eficazmente a nuestra comunidad y garantizar su apoyo?
- ¿Qué nivel de control y flexibilidad necesitamos sobre los proyectos de energía limpia?
- ¿Qué oportunidades de financiamiento y consideraciones jurídicas o normativas son pertinentes para nuestra jurisdicción?
- ¿Estamos preparados para compromisos a largo plazo y posibles cambios en los modelos de propiedad?



Vista desde el vertedero de Fajardo (Foto de Ángela Ortega Pastor, NREL, octubre 2023)

Modelos de propiedad típicos: ventajas y posibles retos

Modelo	Descripción general y ventajas	Posibles retos
Propiedad municipal	El municipio financia el proyecto con bonos exentos de impuestos, lo posee y vende la energía generada a una empresa de servicios públicos para su distribución. Este enfoque ofrece control directo, ahorro de costos, oportunidades de ingresos y empleo local.	Costos iniciales elevados, conocimientos técnicos limitados, obstáculos normativos y administrativos, riesgo e incertidumbre, escalabilidad limitada y restricciones de financiamiento. Los municipios deben poder acceder a los mercados de capital para emitir bonos.
Propiedad de la empresa de servicios públicos	La empresa de servicios públicos invierte en el proyecto bajo estrictas normas, encargándose del alojamiento del mismo o asociándose con un anfitrión del sitio. Entre sus ventajas figuran la inversión estable, la integración con la red eléctrica, el acceso a expertos, las economías de escala y la previsibilidad a largo plazo.	El compromiso a largo plazo implica posibles aumentos de costos, dependencia de acuerdos, control local limitado, retos de transición, implicaciones fiscales y de propiedad, aversión al riesgo y el riesgo de pasar por alto proyectos comunitarios más pequeños debido a las prioridades de inversión.
Propiedad de terceros	Un inversionista externo financia y posee el proyecto, obteniendo beneficios mediante incentivos y suscripciones con el anfitrión del sitio. Este planteamiento elimina los costos iniciales, reduce el riesgo, facilita el acceso a expertos y garantiza la previsibilidad a largo plazo.	



Vertedero de Guayama (Foto de Maya Fein-Cole, NREL, octubre de 2023)

Modelos de propiedad típicos: costos, mantenimiento y estrategias de salida

Modelo	Costos del ciclo de vida útil y mantenimiento	Estrategias de salida
Propiedad municipal	El municipio cubre todos los costos del ciclo de vida útil, desde los gastos de capital iniciales hasta el mantenimiento y el desmantelamiento, y controla el mantenimiento para cumplir las normas locales y los objetivos de sostenibilidad. Sin embargo, la falta de economías de escala y de conocimientos especializados podría aumentar estos costos.	El municipio conserva el control total, lo que le permite tomar decisiones sobre la venta o el arrendamiento de activos si cambian los objetivos o las necesidades financieras. Debe evaluar su capacidad para asumir compromisos a largo plazo y plantearse el arrendamiento si la gestión directa resulta insostenible.
Propiedad de la empresa de servicios públicos	La empresa de servicios públicos cubre los importantes costos del ciclo de vida útil, empleando su escala y experiencia para lograr la eficiencia de costos y gestiona el mantenimiento con procedimientos establecidos y economías de escala. Sin embargo, sus costos a largo plazo pueden verse afectados por la estabilidad financiera y los cambios normativos.	El municipio debe evaluar los planes y la estabilidad a largo plazo de la empresa de servicios públicos, ya que los cambios estratégicos podrían interrumpir la continuidad del proyecto. Necesita evaluar los riesgos derivados de los cambios normativos que podrían afectar al apoyo a largo plazo de la empresa de servicios públicos y comprender las condiciones e implicaciones de una posible transferencia del proyecto para alinearlos con sus objetivos energéticos y financieros.
Propiedad de terceros	El inversionista cubre la mayor parte de los costos del ciclo de vida útil y el mantenimiento, reduciendo el riesgo financiero del municipio con costos fijos o predecibles en virtud del acuerdo. Sin embargo, el control de los costos y la durabilidad del proyecto dependen del compromiso del inversionista con el mantenimiento y el cumplimiento del contrato.	El municipio debe comprender el horizonte de inversión del inversionista y sus planes de salida, incluidas las posibles ventas de participaciones o refinanciamiento. Es crucial aclarar los procedimientos de finalización de la inversión, como la posibilidad de que el municipio tome el control o la venta a terceros, garantizando la alineación con los objetivos energéticos de la comunidad y las necesidades de infraestructura.

Otros modelos de propiedad

Modelo	Descripción general
Energías renovables compartidas por la comunidad	La suscripción representa una parte de la generación a partir del proyecto solar comunitario y a menudo se traduce en ahorros en las facturas eléctricas de los participantes.
Detrás del medidor in situ	Un cliente de electricidad instala y posee un proyecto de energía renovable en el lado del cliente del medidor para suministrar energía in situ y desplazar la energía comprada a la compañía eléctrica.
Propiedad local cooperativa	Los propietarios de terrenos y los inversionistas locales reúnen sus recursos en una sociedad de responsabilidad limitada para poseer y operar el proyecto, al mismo tiempo que venden la producción a la empresa local de servicios públicos para que la incorpore a su combinación de red eléctrica y preste servicio a todos los clientes.
Estructura de sociedad de traspaso (Flip Structure)	Los inversionistas sin responsabilidad fiscal traen a un socio inversionista corporativo motivado por aspectos fiscales para poseer la mayor parte del proyecto durante el periodo de los créditos fiscales (6-10 años) y después "traspasa" la propiedad del proyecto al inversionista local.



Foto de Werner Slocum, NREL 81423

Recursos

RE-Powering America's Land (Energía Renovable para América)



What Is RE-Powering? (¿Qué es aprovechar la energía renovable?)

- *What Is RE-Powering?* (¿Qué es aprovechar la energía renovable?)
- *What are the Benefits of These Projects?* (¿Cuáles son los beneficios de estos proyectos?)
- *What if Cleanup Activities are Ongoing?* (¿Qué pasa si las actividades de limpieza están en curso?)



How To Identify Sites (Cómo identificar sitios)

- *Looking for a Renewable Energy Site?* (¿Busca un sitio para energías renovables?) *Find Sites in the RE-Powering Mapper.* (Encuentre sitios en el mapeador RE-Powering Mapper).
- *Is a Solar or Wind Project Feasible at My Site?* (¿Es viable un proyecto solar o eólico en mi sitio?) *Use the RE-Powering Decision Tree.* (Uso del árbol de toma de decisiones RE-Powering Decision Tree).
- *Review Sites with Feasibility Studies.* (Revisión de sitios con estudios de viabilidad).



How To Develop Sites (Cómo desarrollar sitios)

- *Does the Site have Sufficient Resource?* (¿El sitio dispone de recursos suficientes?)
- *How can I Finance a Project?* (¿Cómo puedo financiar un proyecto?)
- *Are Incentives and Policies Available?* (¿Hay incentivos y políticas disponibles?)
- *Inflation Reduction Act Information* (Información sobre la Ley de Reducción de la Inflación)
- *How Can I Get Protection from Cleanup Liability if I Buy or Lease a Property?* (¿Cómo puedo obtener protección contra la responsabilidad de limpieza si compro o alquilo una propiedad?)
- *How do you Develop Solar on Landfills?* (¿Cómo se desarrolla la energía solar en vertederos?) *Read this Best Practice.* (Lea esta mejor práctica.)
- *Does the Site Need Interconnection to the Electric Grid?* (¿El sitio necesita interconexión con la red eléctrica?)
- *Read these Success Stories.* (Lea estas historias de éxito).



Learn More (Más información)

- *Where Can You Find RE-Powering Sites?* (¿Dónde se pueden encontrar sitios para aprovechar la energía renovable?) *Check out the Tracking Matrix.* (Consulte la Matriz de Seguimiento.)
- *What are Some Benefits of Actual RE-Powering Sites?* (¿Cuáles son algunas de las ventajas de sitios reales de energía renovable?)
- *What is Community Solar?* (¿Qué es la energía solar comunitaria?)
- *Review the Critical Infrastructure Study.* (Revisar el Estudio sobre Infraestructuras Críticas).
- *Programa Superfund*

RE-Powering America's Land: ubicación de sistemas de energías renovables en terrenos, vertederos y minas potencialmente contaminados

La herramienta RE-Powering Electronic Decision Tree guía a los usuarios a través de un análisis de la idoneidad de los sitios para instalaciones solares fotovoltaicas o eólicas. La herramienta aborda los siguientes tipos de sitios:

- Zonas potencialmente contaminadas (Superfund, Brownfields, Ley de Conservación y Recuperación de Recursos [RCRA], minas)
- Vertederos (residuos sólidos urbanos; unidad de construcción y demolición o similar)
- Infrautilizadas (terrenos abandonadas, aparcamientos, zonas de seguridad)
- Techos (sólo energía solar fotovoltaica; techos comerciales e industriales).

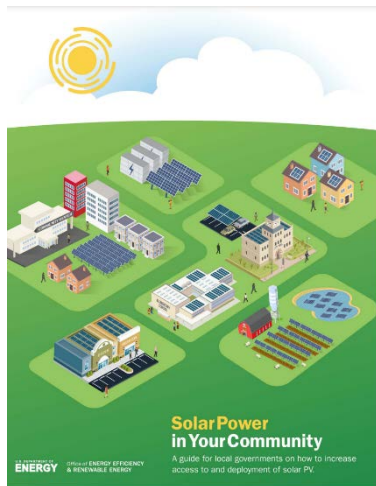
Proporciona:

- Un recorrido paso a paso por las consideraciones clave para el desarrollo de las ER en el sitio.
- Recursos sugeridos que le ayudarán a responder a las preguntas de selección para evaluar el potencial del sitio.
- Informes que resuman sus respuestas a las preguntas de selección, las conclusiones iniciales sobre la idoneidad y otros comentarios sobre el sitio.

Consulte la [documentación](#).



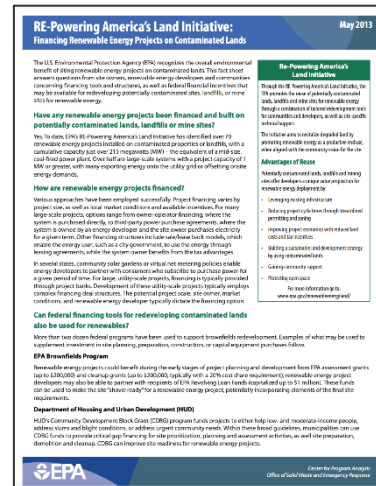
Desarrollo de energía solar y financiamiento



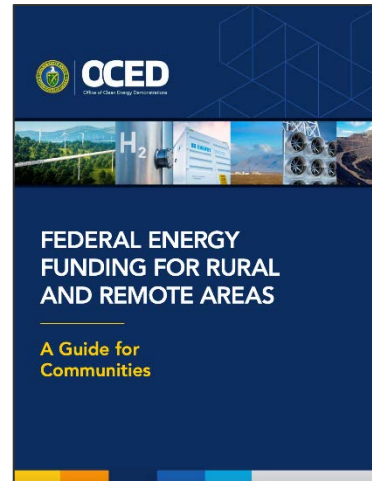
[Guía de Desarrollo de Energía Solar para Gobiernos Locales](#)



[Información sobre ubicación de sistemas de energía solar a gran escala del Departamento de Energía \(DOE, por sus siglas en inglés\) de EE. UU.](#)

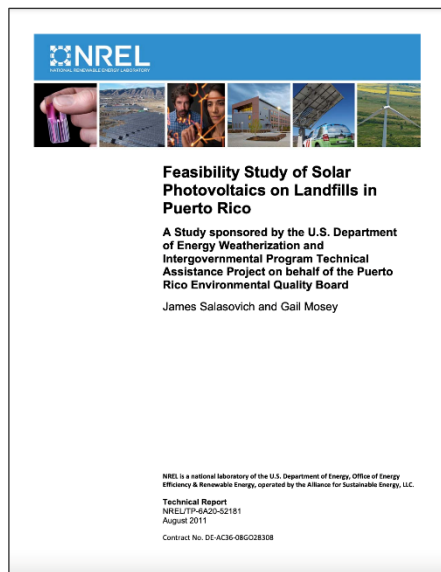


[Hoja informativa sobre Financiamiento de Proyectos de Energías Renovables en Terrenos Contaminados](#)

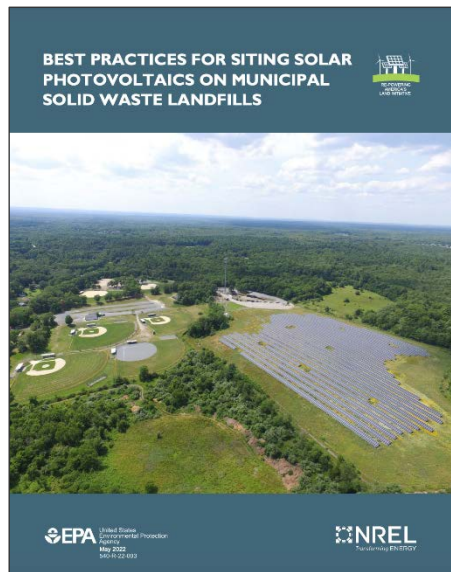


[Guía de Financiamiento Federal de la Energía para las Comunidades](#)

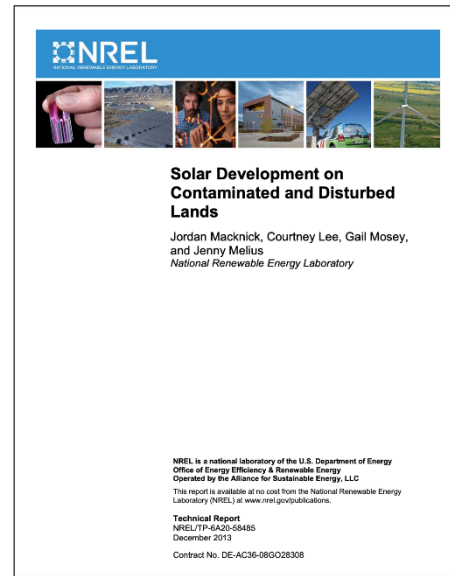
Energía Solar Fotovoltaica en Brownfields



[2011 NREL Feasibility Study on Puerto Rico Landfills \(Estudio de Viabilidad sobre los Vertederos de Puerto Rico del NREL 2011\)](#)



[Mejores Prácticas para la Instalación de Sistemas de Energía Solar Fotovoltaica en Vertederos Municipales de Residuos Sólidos](#)



[Desarrollo de Energía Solar en Terrenos Contaminados y Alterados](#)



www.nrel.gov

NREL/PR-7A40-89877

Este trabajo fue elaborado en parte por el Laboratorio Nacional de Energía Renovable y operado por Alliance for Sustainable Energy, LLC, para el Departamento de Energía (DOE) de EE. UU. bajo el contrato número DE-AC36-08GO28308. La Agencia Federal para el Manejo de Emergencias también brindó apoyo para el trabajo en virtud del Acuerdo Interinstitucional HSFE02-23-IRWA-0003, Año 1. Las opiniones expresadas en el artículo no representan necesariamente las opiniones del DOE o del gobierno de los EE. UU. El Gobierno de los EE. UU. conserva una licencia mundial no exclusiva, pagada e irrevocable, para publicar o reproducir el formato publicado de este trabajo o permitir que otros lo hagan para fines del gobierno de EE. UU. y el editor, al aceptar el artículo para su publicación, reconoce dicha licencia.

Photo from iStock-627281636

