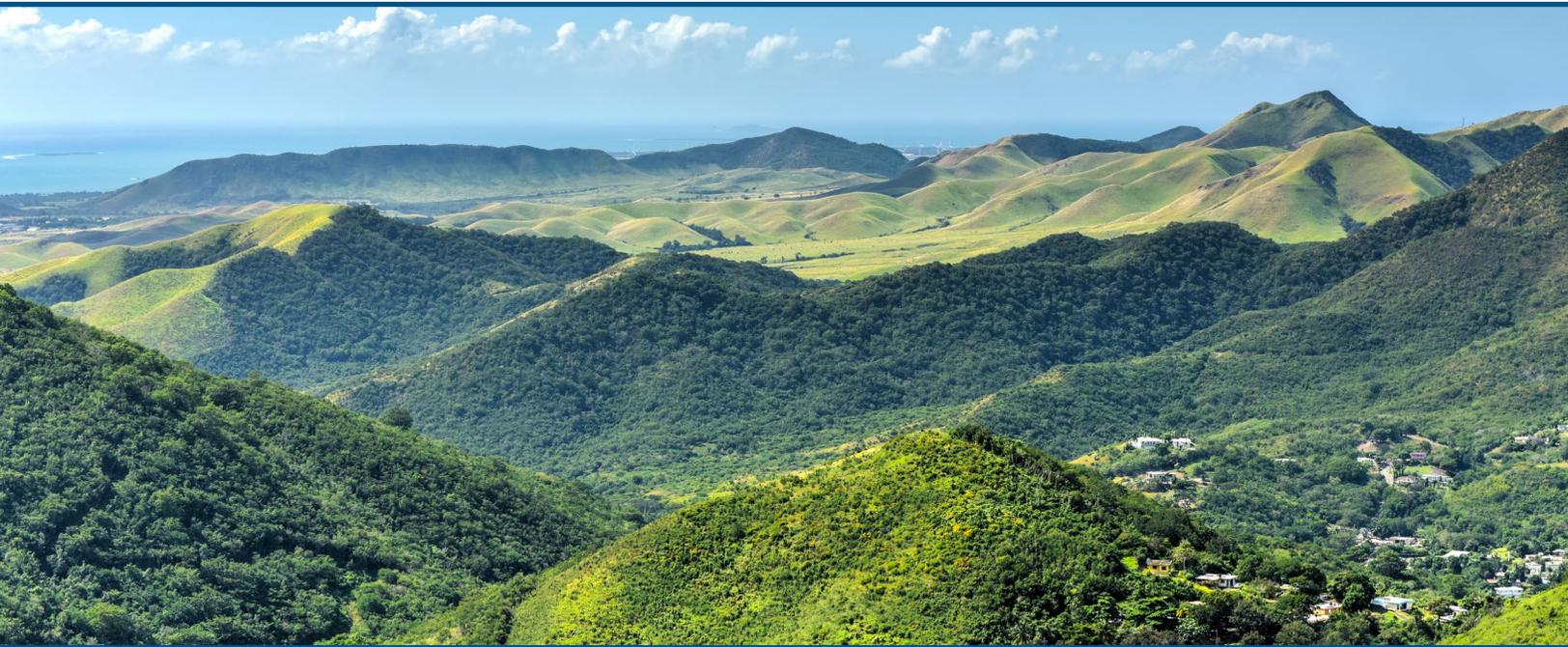




Resumen del Informe de Progreso:

Resultados Preliminares del Modelo y Conjuntos de Datos Solares y Eólica de Alta Resolución



Resumen del Informe de Progreso del PR100:

Resultados Preliminares del Modelo y Conjuntos de Datos Solares y Eólica de Alta Resolución

Enero 2023

Nate Blair, Robin Burton, Murali Baggu, Haiku Sky, Tom Harris, Clayton Barrows, Vahan Gevorgian, Jeremy Keen, Manajit Sengupta, Cameron Weiner, James Morris, Paritosh Das, James Elsworth, Prateek Joshi, Joseph McKinsey, Surya Dhulipala
National Renewable Energy Laboratory

Matthew Lave, Amanda Wachtel
Sandia National Laboratory

Marcelo Elizondo, Xiaoyuan Fan, Patrick Maloney, Vishvas Chalishazar
Pacific Northwest National Laboratory

Peter Cappers, Sydney Forrester, Jeff Deason, Margaret Pigman
Lawrence Berkeley National Lab

Lawrence Paul Lewis, John Murphy
Argonne National Laboratory

Ben Ollis, Thomaz Carvalhaes
Oak Ridge National Laboratory

Harvey Cutler, Martin Shields
Colorado State University

Michele Chait
Michele Chait LLC

Cita Sugerida

Blair, Nate, Robin Burton, Murali Baggu, Haiku Sky, Tom Harris, Clayton Barrows, Vahan Gevorgian, Jeremy Keen, Manajit Sengupta, Cameron Weiner, James Morris, Paritosh Das, James Elsworth, Prateek Joshi, Joseph McKinsey, Surya Dhulipala, Matthew Lave, Amanda Wachtel, Marcelo Elizondo, Xiaoyuan Fan, Patrick Maloney, Vishvas Chalishazar, Peter Cappers, Sydney Forrester, Jeff Deason, Margaret Pigman, Lawrence Paul Lewis, John Murphy, Ben Ollis, Thomaz Carvalhaes, Harvey Cutler, Martin Shields, and Michele Chait. *Resumen del Informe de Progreso del PR100*. 2023. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory. NREL/TP-7A40-85144. <https://www.nrel.gov/docs/fy2023/85144.pdf>.

Nota

Este trabajo es de la autoría del Argonne National Laboratory (ANL), Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL), National Renewable Energy Laboratory (NREL), Oak Ridge National Laboratory (ORNL), Pacific Northwest National Laboratory (PNNL), el Sandia National Laboratories para el Departamento de Energía de EE. UU. bajo el Contrato No. HSFE02-20-IRWA-0011. Los fondos fueron provistos por el Departamento de Emergencia Federal de los EE. UU. realizado bajo la gerencia técnica de la oficina de Movilización de la Red del Departamento de Energía. Las opiniones expresadas aquí no necesariamente representan las opiniones del Departamento de Energía, FEMA, o el Gobierno de los EE. UU. El Gobierno de los EE.UU. conserva una licencia no exclusiva, pagada, irrevocable y mundial para publicar o reproducir la forma publicada de este trabajo, o permitir que otros lo hagan, para fines del Gobierno de los EE.UU.

Sandia National Laboratories es un laboratorio de misiones múltiples, manejado y operado por la National Technology & Engineering Solutions of Sandia, LLC, mayormente conocida como una subsidiaria de Honeywell International Inc., para la Administración Nacional de Seguridad Nuclear del Departamento de Energía bajo el DE-NA0003525.

Este reporte está disponible sin costo a través del Laboratorio Nacional de Energía Renovable en www.nrel.gov/publications.

Los reportes reproducidos por el Departamento de Energía de los EE. UU. luego de 1991 y una cantidad de documentos previos a 1991, que sigue en aumento, están disponibles de forma gratuita a través de vía www.OSTI.gov.

Foto de portada de iStock #1131876010.

NREL imprime en papel con contenido reciclado.

Reconocimientos

Docenas de investigadores talentosos de los seis laboratorios nacionales participantes contribuyen al estudio PR100. Se incluyen como colaboradores adicionales: National Renewable Energy Laboratory (NREL): David Greene, Elena Baca, Elena Smith, Gabriel Zuckerman, Greg Bolla, Heidi McKenna, Jaemo Yang, Jeremy Stefek, Jianli Gu, Marcos Netto, Matt Shields, Mike Campton, Patrick Duffy, Sarah Hauck, Sherry Stout, Sushmita Jena, Travis Williams, Wenbo Wang

- Sandia National Laboratories: Brooke Marshall Garcia, Christian “Birk” Jones, Cody Newlun, Cynthia Bresloff, Emily Moog, James Ellison, Olga Epshtein Hart, Rachid Darbali, Ray Byrne, Robert Broderick, Summer Ferreira
- Pacific Northwest National Laboratory (PNNL): Ahmad Tbaileh, Bharat Vyakaranam, Fernando Bereta Dos Reis, Jeffery Dagle, Juan Carlos Bedoya, Kaveri Mahapatra, Michell Li, Patrick Maloney, Patrick Royer, Tycko Franklin, Xinda Ke, Xue Li
- Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL): Jeff Deason, Margaret Pigman, Sydney Forrester
- Argonne National Laboratory (ANL): Carlos Lopez-Salgado, Frederic Petit, Leslie-Anne "LA" Levy, Mark Petri, Todd Levin, Zhi Zhou
- Oak Ridge National Laboratory (ORNL): Bandana Kar, Carly Hansen, Melanie Bennett, Samuel Okhuegbe, Scott DeNeale, Shih-Chieh Kao, Tom King, Yilu Liu.

Gracias al equipo de Recuperación de Energía de Puerto Rico del Departamento de Energía de EE. UU. —Marisol Bonnet, Eric Britton, and Ernesto Rivera-Umpierre—y a Agustín Carbó, director del recientemente establecido equipo de Modernización y Recuperación de la Red de Puerto Rico

Gracias también a Adam Warren, Jaquelin Cochran, Dan Bilello, Mark Ruth, Gian Porro, Doug Arent, Martha Symko-Davies, y Juan Torres with NREL por proveer la reseña técnica de este documento.

Reconocemos la continua participación y valiosa colaboración al estudio PR100 realizada por los miembros del Grupo Asesor para la Resiliencia y Recuperación Energética de Puerto Rico, que fue convocado por NREL para brindar insumo dentro del porfolio de apoyo de planificación energética y resiliencia. Los miembros del grupo asesor que nos han dado su autorización para reconocer públicamente su participación están listados en el Apéndice A.

Introducción

El estudio de Resiliencia y Transiciones a 100% Energía Renovable de Puerto Rico ([PR100](#)) es un estudio de 2 años de la Oficina de Movilización de la Red del Departamento de Energía y seis laboratorios nacionales para analizar exhaustivamente las rutas dirigidas por las personas interesadas hacia un futuro de energía limpia en Puerto Rico.¹ En el Año 1 del estudio, el equipo PR100, creó y analizó los modelos que alcanzan las metas de energía renovable para Puerto Rico y los objetivos de resiliencia energética a corto y largo plazo.

Este informe, que resume el progreso en el Año 1, proporciona las consideraciones que pueden informar posibles decisiones de fondos e implementación potenciales por parte de las agencias federales y locales clave y partes interesadas. El resumen de este informe sigue a la publicación en julio 2022 de un *Informe de Seis Meses de Progreso* de PR100. (en inglés y español), así como webinarios públicos en febrero 2022 para lanzar el estudio y julio 2022 para presentar la actualización a 6 meses.² Un informe final por escrito y visuales por la web serán publicados a finales del 2023. Todas las publicaciones y eventos públicos asociados con el estudio estarán disponibles en inglés y español.

Trasfondo

PR100 es principalmente financiado por un acuerdo interinstitucional con la Agencia Federal de Manejo de Emergencias, y el estudio es parte de un porfolio mayor de apoyo para la planificación energética de Puerto Rico, según articulado en un Memorando en Entendimiento entre el Departamento de Energía (DOE), el Departamento de Seguridad Nacional, el Departamento de la Vivienda y Desarrollo Urbano (HUD), y el Estado Libre Asociado de Puerto Rico.

El estudio PR100 depende de insumo extensivo para asegurar que el equipo del proyecto provea asistencia técnica relevante y efectiva. El DOE ha convocado un comité timón de financiamiento (ej: FEMA, HUD) y los implementadores locales (ej.: La Autoridad de Energía Eléctrica de PR, LUMA Energy, la Agencia de Energía de Puerto Rico, El Programa de Política Energética del Departamento de Desarrollo Económico de Puerto Rico, El Departamento de la Vivienda y la Oficina Central De Recuperación, Reconstrucción y Resiliencia (COR3) para para ayudar a guiar el porfolio de proyectos de asistencia técnica al porfolio de proyectos de asistencia técnica del Departamento de Energía.

Además, PR100 involucra un grupo de asesoría de cerca de 100 individuos de 60 organizaciones representando los sectores públicos y privados incluyendo académicos de base comunitaria, organizaciones ambientales, grupos de venta y manufactura; financieros, legales y de otras áreas de experiencia; vea el Apéndice A para una lista del Grupo de Asesoría de Resiliencia y Recuperación Energética de Puerto Rico, sus miembros y afiliaciones. De esta forma, PR100

¹ El estudio PR100 es dirigido por el National Renewable Energy Laboratory (NREL) con colaboración del Argonne National Laboratory, Lawrence Berkeley National Laboratory, Oak Ridge National Laboratory, Pacific Northwest National Laboratory, y Sandia National Laboratories.

² Acceso a todas las publicaciones del proyecto y pasados eventos de las páginas web de [Puerto Rico Energy Recovery and Resilience](#) (DOE) and [Multilab Energy Planning Support for Puerto Rico](#) (NREL).

refleja y responde a la amplitud de las perspectivas y prioridades de las partes interesadas y apoya el progreso hacia la justicia energética para todos los puertorriqueños.

Resumen del Primer Año de Progreso

Este resumen del informe del Año 1 provee los resultados de la modelización y análisis e inicia y describe el conjunto de datos de alta resolución para los recursos eólicos y solares en Puerto Rico, así como otros grupos de datos disponibles públicamente, desarrollados durante el primer año del PR100.

Un gran logro hasta la fecha que brinda el marco para el resto del estudio es nuestro desarrollo de escenarios posibles para que Puerto Rico alcance sus metas de 100% energía renovable para el 2050, con metas intermedias de 40%, para el 2025, 60% para el 2040, la eliminación gradual de generación por quema de carbón para el 2028, y un 30% de mejora en la eficiencia de energía para el 2040, según codificado en la Ley de Políticas Energéticas de Puerto Rico de 2019 ([Ley 17](#)).

Desarrollamos cuatro escenarios iniciales para análisis seguido del amplio compromiso con los miembros del Grupo Asesor, quienes expresaron interés en estudiar los diferentes niveles y aplicaciones de la movilización de los recursos de distribución de energía, como techos solares y baterías. Por lo tanto, las primeras distinciones entre los cuatro escenarios se refieren a la cantidad requerida y localización de los recursos de distribución de energía, según se muestra en la Tabla 1. Para todos los escenarios de la modelización, cualquier carga sobrante no cubierta por los recursos distribuidos se logrará por la movilización económica de los recursos a escala comercial.

Table 1. Cuatro Definiciones de Escenarios Iniciales

Escenario Número	Nombre del Escenario	Descripción	Nombre Corto (basado en el recurso adoptado de distribución de energía)
1	Adopción Económica de los recursos de energía distribuidos.	La adopción económica de los recursos de energía distribuidos se basa en ahorros financieros para los dueños de edificios.	Económico
2	Movilización de los recursos de energía distribuida para servicios críticos.	La instalación de los recursos de energía distribuidos es priorizada más allá del Escenario 1 para servicios críticos como hospitales, estaciones de bomberos y supermercados.	Crítico
3	Movilización equitativa de los recursos de energía distribuida	La instalación de los recursos de energía distribuida es priorizada más allá del Escenario 2 para hogares remotos y de moderados y bajos recursos.	Equitativo

Escenario Número	Nombre del Escenario	Descripción	Nombre Corto (basado en el recurso adoptado de distribución de energía)
4	Máxima (prescrita) movilización de los recursos de distribución de energía distribuida	Los recursos de energía distribuida son instalados en todos los techos adecuados	Máximo

Para cada uno de estos escenarios, variamos parámetros que pudieran impactar la movilización de la energía distribuida. Incluimos dos variaciones de carga eléctrica y disponibilidad de tierras, resultando en un total de 16 combinaciones de modelo posibles (ver. Apéndice B). Una vez se definieron los escenarios, conducimos la modelización inicial de adopción y desarrollo de recursos de energía distribuida hasta el 2050.

Todos los escenarios dependen de un aumento en fotovoltaicos solares de techo y los sistemas asociados de baterías para almacenamiento de energía. Los modelos preliminares del muestran que el Escenario 1 requiere un aumento de 6x en los sistemas de almacenaje y distribución solares entre el 2022 y 2050, mientras que el Escenarios 4 muestra un aumento de 16x. Este escenario "máximo" puede lograrse aumentando la tasa de movilización por aproximadamente 4x. A través de todos los escenarios, la capacidad de distribución de fotovoltaicos debe oscilar entre 3 GW a 57 GW.

Basado en estos resultados de las definiciones de los cuatro escenarios iniciales, hemos identificado 3 escenarios posibles para modelos refinados y análisis en el Año 2. Encontramos que los escenarios 1 y 2 resultan en aproximadamente el mismo nivel de adopción de recursos de energía distribuida porque los servicios críticos se incluyen en el método que entrega el máximo de los ahorros financieros a los dueños de edificios.³ Estos dos escenarios se combinarán, como muestra la Figura 1, en modelos y análisis refinados de los tres posibles escenarios en el Año 2.

³ Seis tipos de facilidades críticas fueron incluidos en este análisis y en el modelo de transmisión de resiliencia puertos, plantas de tratamiento, aeropuertos, hospitales, estaciones de policía y bomberos y refugios. Nótese que, en el Año 2, nuestra intención es revisar y alinear definiciones de facilidades críticas, y considerar aquella utilizadas en al análisis de carga social.



Figura 1. Los Tres posibles escenarios para análisis en in PR100. Gráficos por NREL.

Los Escenarios 1 y 2 se unen porque el escenario económico incluye al escenario crítico.

Hallazgos Iniciales

En este informe de resumen, presentamos la selección de hallazgos preliminares de las actividades del estudio hasta la fecha. En el Año 2 continuaremos refinando y repitiendo las actividades de modelización y realizaremos análisis adicionales para comprender como cada escenario impacta la transmisión, distribución, justicia energética, y resiliencia. Nuestros análisis dependen de una serie de supuestos e incertidumbres acerca del panorama energético de Puerto Rico, que se describen en el Apéndice C y serán refinados en el Año 2. A continuación presentamos y discutimos los hallazgos de alto nivel del Año 1.

Potencial de Energía Renovable en Puerto Rico

Uno de los asuntos más importantes para alcanzar el 100% de energía renovable, es si el potencial de recursos renovables de Puerto Rico es suficiente - si hay suficiente sol, viento, hydro y otras fuentes de energía renovable. Para responder a esta pregunta se condujeron evaluaciones del potencial técnico de una variedad de recursos de energía renovable en Puerto Rico,⁴ y generamos conjuntos de datos multi-año, de alta resolución para energía de viento basada en tierra, en el mar y solar, así como datos predictivos de viento y solares. Encontramos que *el recurso técnico en Puerto Rico excede significativamente las cargas actuales y proyectadas anuales hasta el 2050.*

Incluimos en nuestros modelos solamente las tecnologías de generación que cumplen con la definición de energía renovable de la Ley de Política Pública de Diversificación de Medios de Energía Renovable y Alterna en Puerto Rico ([Ley 82 of 2010](#), según enmendada). Consistente con esta política, las tecnologías consideradas en PR100 incluyen energía solar, energía eólica,

⁴ Los datos de recursos son utilizados para determinar el potencial técnico de una tecnología para definir la generación de energía alcanzable dada la ejecución del sistema, y las restricciones topográficas, ambientales, y el uso de tierras. El potencial técnico es la cantidad total de un recurso que puede ser movilizad, es solamente limitado por restricciones físicas (ej.: área del techo, terreno disponible y eficiencia técnica) El beneficio de evaluar el potencial técnico es que establece un límite superior del potencial de desarrollo. (López et al. 2012).

energía hidráulica, marina y hidro cinética renovable, energía termal del océano, combustión o biocombustible derivado exclusivamente de biomasa renovable.

Los datos de recursos solares de 1998–2021 están disponibles al público en <https://nsrdb.nrel.gov>, y los datos de recursos de viento de 2000–2021 están disponibles al público en <https://www.nrel.gov/grid/wind-toolkit.html>. Los pronósticos de datos de viento y solares generados durante la fase temprana del proyecto están disponibles a petición. Las evaluaciones de marina, hidráulica, y almacenaje de hidroenergía están en curso y serán disponibles públicamente una vez completados. Otros recursos serán considerados (sea para producción local o el costo de importación) mientras surjan en el estudio.

Disponibilidad de Tierras

A través de las discusiones con el Grupo Asesor, una de las prioridades clave de muchos de sus miembros era asegurar la preservación de tierras para la agricultura y otras áreas de valor ambiental, histórico y social. Como respuesta, integramos esta retroalimentación en exclusiones de tierras para las evaluaciones de viento y energía solar fotovoltaica a nivel comercial. Las exclusiones para los proyectos tanto para la energía solar fotovoltaica como energía eólica incluyen cuerpos de agua, ríos, carreteras, áreas de hábitat, áreas protegidas, áreas urbanas y restricciones de áreas contiguas. Adicionalmente, para energía fotovoltaica a nivel comercial, las tierras deben tener menos de un 5% de pendiente, mientras que, para energía eólica, menos de un 13%. Para áreas protegidas y las dedicadas a la agricultura, se utilizaron datos de la Junta de Planificación (PRPB 2015).

Una vez todas las exclusiones son aplicadas, los resultados muestran las áreas que se asume que son apropiadas para energía fotovoltaica a nivel comercial y movilización de energía eólica. La Figura 2 muestra las tierras disponibles para energía fotovoltaica solar a nivel comercial excluyendo tierras para agricultura (izquierda) e incluyéndolas (derecha), los espacios en blanco indican áreas excluidas en verdes áreas que pueden ser desarrolladas.

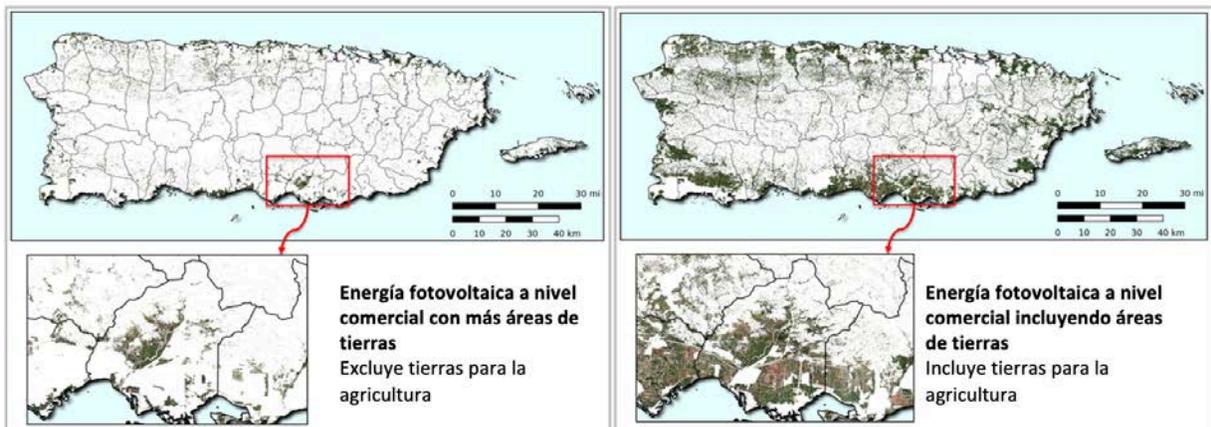


Figura 2. Tierras disponibles para desarrollo solar fotovoltaico a nivel comercial con las tierras para la agricultura (izquierda) y excluyéndolas (derecha), con detalles. Gráficos por NREL.

Leyenda: blanco = área excluida; verde = área desarrollable

También desarrollamos mapas de exclusión para la movilización viento con base en la tierra que incluyen y excluyen terrenos de la agricultura (Figura 3), y conducimos análisis en las exclusiones marinas para uso tecnología de viento en el mar. Excluyendo las consideraciones para movilización en el mar para energía eólica, son las áreas protegidas, áreas peligrosas, áreas restringidas, cables submarinos, lugares para desechos en el océano y áreas de artefactos explosivos sin detonar. (Figura 4)

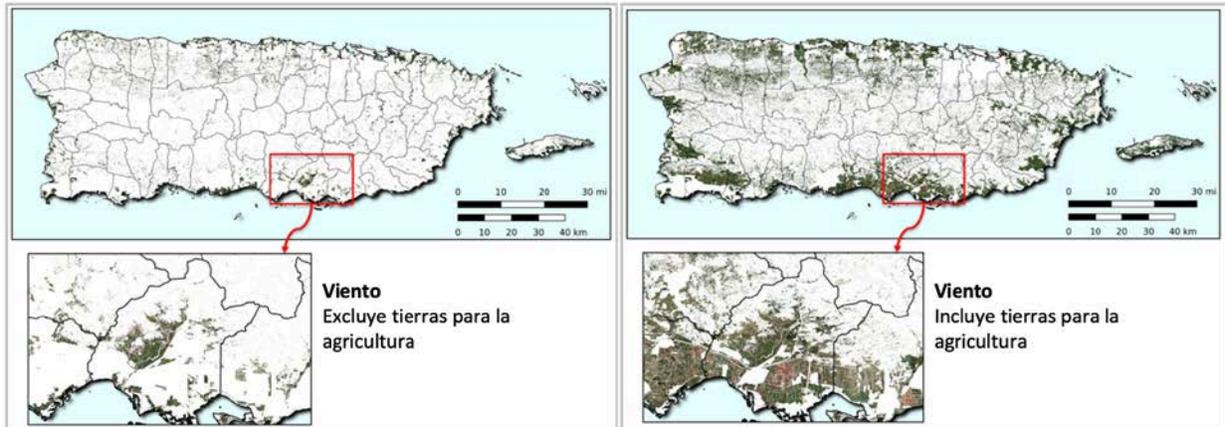


Figure 3. Tierras disponibles para desarrollo de energía eólica con base en tierra con tierras para la agricultura (izquierda) y excluyéndolas (derecha), con detalles Gráficos por NREL.

Leyenda: blanco = área excluida; verde = área desarrollable

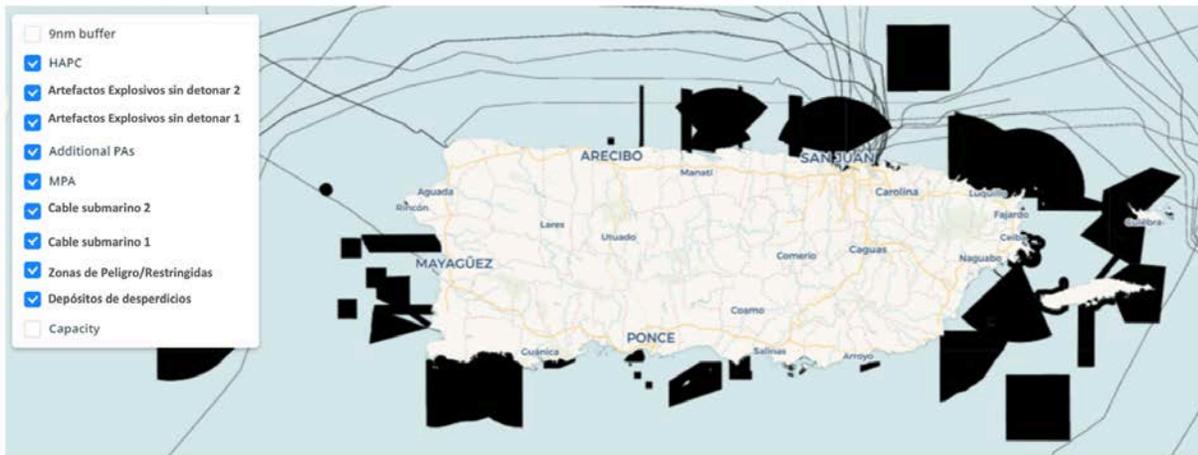


Figura 4. Exclusiones para tecnología de viento en el mar. Gráficos por NREL.

HAPC =área de hábitat de interés particular; PA = área protegida; MPA = área marina protegida

Basado en nuestro modelo inicial de potencial de energía renovable y tierras disponibles, un hallazgo importante es que, si *solamente se movilizaran recursos para energía solar a nivel comercial y de viento con base en tierra, Puerto Rico no podría alcanzar las metas de energía renovable dado a la cantidad de tierras disponibles cuando se excluyen las tierras para la agricultura. Por lo tanto, identificar un sistema de configuraciones alternativo para la movilización*

en áreas más pequeñas o especializadas, puede aumentar el área desarrollable para proyectos de energía a pequeña y moderada escala. Por ejemplo, movilización solar comunitaria, fotovoltaicos flotantes o agro voltaicos en localidades como aeropuertos o zonas industriales, puede aumentar el potencial de utilización comercial.

Además, estimamos el costo nivelado de la electricidad para las localidades que son aptas para energía renovable, que es un impulsor de la economía de opciones de energía renovable, y encontramos que *la implementación de nueva tecnología solar a nivel comercial, de viento con base en tierra y su almacenaje, es más costo efectivo que mantener la generación existente - basado en los costos operativos solamente, ya es resulta más costo efectivo para el 2025.*

Carga Eléctrica

Otra consideración importante para el futuro sistema de energía de Puerto Rico es la carga eléctrica. Se proyectaron cambios en los modelos para los parámetros de uso final como el tamaño de la población, empleos en manufactura, producto interno bruto, y clima. Luego, consideramos el impacto a la carga con la adopción de vehículos eléctricos y eficiencia de energía. Encontramos que cuando estos factores de carga se combinan, *la carga net, o la combinación de la carga proyectada aumenta y desciende, es probable que disminuya hacia el 2050.*

En adición, incluimos una variación de escenario donde la carga aumenta para explorar una gama de incertidumbre hacia el futuro. Subsecuentemente, cuando se construye la capacidad de generación distribuida, el requerimiento de energía que debe lograr el sistema central disminuye aún más.

Adopción de Recursos de Energía Distribuida

Modelamos la adopción de energía distribuida considerando un amplio rango de indicadores predictivos sociales, tecnológicos, geográficos, y económicos. Nuestro modelo considera la demanda del cliente, la adopción a través de tipos demográficos y por políticas cambiantes⁵ y costos que afectan esta adopción. Nuestro hallazgo más destacado es que *la adopción de energía solar distribuida y su almacenamiento se proyecta que aumente considerablemente en todos los escenarios, con alrededor de 60% de los clientes residenciales adoptando estas tecnologías para el 2050 en el Escenario 1, que es un aumento significativo de la movilización actual.*

Note que este modelo mira las economías de las tarifas de electricidad y sus periodos de retorno para los clientes residenciales, comerciales e industriales y su adopción es un reflejo de esa economía del Escenario 1. El modelo no incorpora las modificaciones a la red de distribución necesarias para aumentar la capacidad de la red para apoyar estos sistemas, y tampoco modela otros factores externos que puedan limitar la movilización (ej.: asuntos de la cadena de distribución, límites de la fuerza laboral, etc.) Un análisis del impacto del sistema de distribución en relación al aumento de la adopción de recursos energéticos distribuidos, así como las implicaciones para la resiliencia, será conducido en el Año 2.

⁵ El impacto de los incentivos de la Ley de Reducción de Inflación de 2022 serán considerados en el Año 2. Ver la sección de Incertumbres para discusión adicional.

Expansión de la Capacidad, Costo de Producción y Adecuación de Recursos

Conducimos modelos de expansión de capacidad para encontrar el sistema de costo más bajo para cada escenario, mientras se cumplía con los requisitos de carga como la Ley 17 de Puerto Rico, y los planes agendados para adquisición y retiro de recursos. Verificamos los resultados de estas optimizaciones para la suficiencia de los recursos del sistema en sostener suspensiones no planificadas de los generadores consistentes con los estándares de la North American Electric Reliability Corporation (NERC) o similares. Con el actual conjunto de supuestos e incertidumbres, que continuará refinándose en el Año 2, encontramos que *la capacidad de generación adicional se necesita inmediatamente* - En la escala de miles de megavatios- para mantener los estándares de confiabilidad. De hecho, aún si todos los 6 tramos del Plan de Adquisición de Energía Renovable y Almacenaje de Energía de PREPA (PREB 2022) son exitosos, se necesitará generación adicional de energía para cumplir los estándares NERC.

Confiabilidad y Resiliencia del Sistema de Energía por Volumen

Nuestro análisis de resiliencia de las futuras expansiones del sistema energético de Puerto Rico en el Año 1 se concentró mayormente en daños a la infraestructura relacionados a huracanes y la simulación de la recuperación del sistema. Las localidades y capacidades de energía renovable se determinaron del modelo de expansión de capacidad que se describe en la sección anterior.

Nuestro análisis muestra que el escenario expandido es más resiliente y capaz de restaurar el 90% de la carga del sistema, de acuerdo con una métrica de restauración replicada en 100 simulaciones de huracán. Bajo estas simulaciones, que solamente se concentraban en el sistema de energía por volumen en el Año 1 y se expandirán a la red de distribución en el Año 2, encontramos que *el modelo del sistema futuro con recursos de energía renovable más pequeños a través de la red de electricidad por volumen tiende a recuperarse más rápido que el sistema actual, que consiste en menores y más grandes plantas de energía.*

En todas las simulaciones, las últimas cargas recuperadas tienen a ser en la región montañosa donde arriban los huracanes. También simulamos como los inversores de energía - que son componentes controlables de distribución de los recursos energéticos - pueden asistir en la recuperación, encontrando que *la capacidad de arranque desde el apagón del sistema de los inversores puede reducir significativamente el tiempo de recuperación, por hasta 3x.*

Justicia Energética

Un asunto clave del estudio PR100 es trazar los posibles caminos hacia un futuro de energía renovable que esté basado en los principios y prácticas de la justicia energética. Nos hemos asociado con la [Hispanic Federation en Puerto Rico](#) para involucrar un grupo de partes interesadas, nos adherimos a las prácticas justas para planificación energética, e hicimos una revisión de la literatura acerca de los principios claves de la justicia energética. Cuando preguntamos al Grupo Asesor acerca de su visión para una transición justa para Puerto Rico, los temas que surgieron fueron:

- Acceso a la energía, asequibilidad, confiabilidad y resiliencia
- Participación comunitaria
- Desarrollo económico y de la fuerza laboral
- Asentamiento y uso de las tierras

- Efectos a la salud y el ambiente
- Implementación del sector público

En el Año 2, continuaremos conduciendo un análisis de carga económica que mide el esfuerzo que un individuo invierte para acceder servicios críticos como alimentos, agua, medicamentos y comunicaciones durante un apagón de la red, que es natural luego de un desastre natural u otro evento de emergencia, u operaciones normales. Los hallazgos del análisis inicial indican que Puerto Rico enfrenta la *inaccesibilidad a servicios críticos a través de áreas geográficas durante operaciones normales de la red*.

Estamos también haciendo una evaluación de riesgo climático, continuando en el Año 2 para (1) evaluar los riesgos que enfrentan las comunidades y la infraestructura que pueden ser vulnerables al impacto de daños ocasionados por el clima (2) proyecta como las condiciones climáticas futuras pueden resultar en exacerbar las inequidades si estos riesgos no se toman en cuenta durante las actualizaciones de infraestructura. Hemos desarrollado un conjunto de datos de condiciones climáticas futuras que pueden afectar la operación de infraestructura crítica. Estas proyecciones ilustran el cambio potencial de mitad de siglo utilizando el modelo usual de emisiones de gases efecto invernadero. *Los resultados de la evaluación de riesgo climático ilustran un aumento en la temperatura de 1.5°–2.0°C, particularmente sobre la región costera y área metropolitana, y un descenso en la precipitación de un 20% a través de todo el archipiélago para el 2055.*

En el Año 2, haremos uso de este conjunto de datos en escala para hacer un mapa del panorama de daños a través de Puerto Rico, incluyendo cambios proyectados en temperatura, precipitación y aumento del nivel del mar. Este mapa de daños se utilizará para identificar y evaluar las vulnerabilidades potenciales de la infraestructura energética y las comunidades a las que apoya, particularmente aquellas localizadas a lo largo de las áreas costeras.

Consideraciones Clave

En un término cercano, mientras las partes interesadas están activamente haciendo planes y decisiones de inversión para mejorar el sistema de energía de Puerto Rico, incluyendo el Plan de Recursos Integrados de 2024, proveemos las siguientes consideraciones derivadas de nuestro trabajo hasta la fecha:

Movilización Acelerada

1. Debido a la resiliencia y almacenaje que proveen los fotovoltaicos en el techo, acelerar la movilización es probable de aumente la confiabilidad y resiliencia localmente.
2. Porque los agregadores y las plantas de energía virtuales permiten a un operador de red despachar almacenaje de la batería para apoyar a todo el sistema, priorizar la movilización de más plantas de energía virtuales puede apoyar grandemente la confiabilidad y proveer resiliencia a través de todo el sistema.
3. La movilización acelerada de energía solar y de viento de escala comercial puede reducir la inversión y los costos operacionales porque la energía solar y del viento es menos costosa de construir que operar con la capacidad actual de combustible fósil dado los costos del combustible actuales y proyectados.

4. La movilización de las tecnologías de energía solar y del viento y su almacenaje tienen el potencial de proveer o contribuir a la economía, la adecuación económica, la estabilidad del sistema y beneficios de resiliencia.

Planificación de la Inversión

5. Resultados preliminares del modelo indicaron una rápida movilización de fotovoltaicos y proyectos de almacenaje aprobados en el Tramo 1 del plan de recursos integrados de PREPA del 2019 (IRP), el plan integrado de adquisición (PREB 2022) puede comenzar a abordar, pero no aliviar por completo la necesidad inmediata de capacidad adicional el sistema. Se necesita capacidad adicional, pero la movilización de esos proyectos específicos es apoyada por nuestro modelo a largo plazo.
6. Los resultados preliminares del modelo indican que los tramos planificados son insuficientes para alcanzar 40% de generación de energía renovable al 2025, asumiendo fotovoltaicos a escala comercial o similares, por lo que una revisión de actual fuente de adquisición pudiera ordenarse. Asumiendo un factor de capacidad típico de 20% para un eje los fotovoltaicos de escala comercial (los factores actuales de capacidad pueden variar a través de Puerto Rico) los tramos planificados alcanzan 36% de la generación de energía renovable, sin embargo, el volumen de los tramos necesitará también ser construido dentro de los 3 años de la fecha de este informe, lo que será una movilización muy rápida.
7. Definir los tramos en unidades de generación (MWh) en lugar de capacidad puede proveer mayor claridad en el proceso de adquisición. Factores de capacidad a través de las tecnologías de energía renovable en los tramos varían de un 20% a 90%, ilustrando que la capacidad claramente no define la generación. Expresar las propuestas en megavatios (MW) y horas-megavatio (MWh) es necesario, pero estableciendo el objetivo en MWh es más tecnológicamente agnóstico.
8. Decisiones de inversión informadas por la planificación a largo plazo son críticas porque los modelos indican una movilización rápida de como el combustible fósil y las tecnologías de energía renovable pueden llevar a la provisión significativa de activos si la generación distribuida se adopta más lentamente pero eventualmente domina los abastecimientos de energía.

Actualizaciones de la Red y Almacenaje

9. A corto plazo (próximos 5–15 años), el sistema de transmisión puede acomodar el crecimiento proyectado de energía renovable, pero a largo plazo, las actualizaciones de transmisión son necesarias para acomodar los recursos de generación a gran escala en el sistema de energía al por mayor, especialmente para energía eólica desde el mar.
10. Actualizaciones de los alimentadores de distribución son necesarios para acomodar el crecimiento que se anticipa en la producción de energía distribuida, el almacenamiento, la y la adopción de vehículos eléctricos, para permitir el aumento del flujo de energía a ciertas líneas, perfiles de voltaje variados y esquemas de control más complejos.
11. La movilización del almacenamiento de energía en baterías a gran escala, a corto plazo puede apoyar la resiliencia del sistema de energía por volumen para afrontar eventos del

clima, así como la confiabilidad del día a día, si tiene el tamaño adecuado y es provista con la capacidad de iniciar desde el apagón.

12. Un sistema de protección mejorado pudiera proveer mayor estabilidad durante fallas severas. Controles de inversores, como baterías inversores que forman redes, puede mejorar significativamente la confiabilidad de inmediato. Las mejoras continuas a los requerimientos técnicos mínimos, particularmente para los requerimientos de formación de redes de los inversores y capacidades de iniciar desde el apagón para el almacenaje de energía, pueden ser beneficiosas.

Modernización de la Red

13. La implementación de sistemas de medición de la red de alta resolución puede facilitar la validación de modelos y mejorar la confiabilidad del sistema actual.
14. El destacar la fidelidad de los modelos de regulación de generadores puede proveer conciencia situacional crítica y aumentar la estabilidad del sistema.
15. Los modelos de alta fidelidad, como aquellos en simulaciones electromagnéticas pueden ayudar a los planificadores de la red energética a ganar confianza en simular escenarios con recursos basados en inversores como renovables y sistemas de almacenamiento de baterías.

Justicia Energética

16. La justicia energética involucra priorizar el acceso a energía asequible, resiliente, empleos en energía de alta calidad, y oportunidades económicas para los consumidores de utilidades más vulnerables, como los de las zonas rurales en localidades remotas, de bajos recursos y personas con discapacidades.
17. Una forma importante de trabajar hacia la justicia energética es desarrollando un proceso para asegurar amplia y significativa participación de las partes interesadas en la planificación, toma de decisiones y la implementación de una ruta de 100% energía renovable.

Próximos Pasos

En el Año 2, continuaremos analizando el impacto de los escenarios de modelo del sistema de transmisión, incluyendo su resiliencia hacia futuras interrupciones. Estudiaremos el impacto en el sistema de distribución de la introducción de altos niveles de recursos energéticos distribuidos en la red, y nuestro trabajo incluirá consideraciones relacionadas como el uso de microrredes para mejorar la resiliencia. Los resultados de estos análisis serán el insumo para modelos de expansión de capacidad y modelos de costos de producción para replicar y refinar las inversiones y proyecciones operacionales. Los análisis de impacto económico darán paso a efectos potenciales de las tasas al por menor, incluyendo métricas de justicia energética como carga energética, que es el porcentaje que varios niveles de ingreso pudieran pagar por electricidad bajo cada escenario.

Nos hemos asociado con los investigadores de la Universidad de Puerto Rico Recinto de Mayagüez. El próximo año, ellos contribuirán al estudio (1) proveyendo la revisión técnica y consultoría en las definiciones de los escenarios, métricas de justicia energética y resiliencia, y

sus análisis y (2) conducir una encuesta de clientes existentes de fotovoltaicos para recopilar datos y experiencias. Conduciremos una gira PR100 para relacionarnos con las comunidades a través de Puerto Rico sobre el estudio y solicitar insumo sobre consideraciones para implementadores y prioridades de justicia energética. Los resultados de los análisis serán evaluados a través de un lente de justicia energética para entender los beneficios y cargas a varios grupos de partes interesadas a través de los escenarios.

Glosario

Término	Definición
Ley 17	La Ley de Política Pública Energética de Puerto Rico (Ley 17), aprobada en 2019, estableció el objetivo de que el territorio realice una transición para alejarse de los combustibles fósiles importados y, en su lugar, satisfacer sus necesidades de electricidad con un 100% de energía renovable para 2050, un 60% para 2040 y un 40% para 2025.
Modelo de capacidad de expansión	“El modelo de Capacidad de expansión simula y optimiza los costos de capacidad de generación y transmisión sobre la futura demanda de electricidad, los precios del combustible, el costo de la tecnología, y su desempeño, y la política y regulación (NREL n.d.).
Factor de Capacidad	“Velocidad a la que se suministra energía a las cargas y puntos de programación mediante instalaciones de generación, transmisión y distribución, medida en kilovatios (kW)". (EIA n.d.).
Carga eléctrica	El dispositivo final o cliente que recibe la energía del sistema eléctrico.
Demanda eléctrica	“La proporción en la que energía es entregada a las cargas y los puntos de planificados de generación, transmisión y distribución - medidos en kilovatios." (EIA n.d.).
Escenario viable	Un escenario mediante el cual Puerto Rico pueda alcanzar el 100% de energía renovable para 2050 que sea útil para la conversación continua sobre el futuro y para el cual no sean posibles o conocidas razones económicas o de ingeniería para descartar el escenario.
Plan de recursos integrados	Una evaluación de las necesidades eléctricas futuras y un plan para satisfacerlas. Evalúa los recursos del lado de la demanda (por ejemplo, conservación y eficiencia energética) y del lado de la oferta (por ejemplo, generadores/plantas eléctricas y líneas de transmisión) para recomendar la mejor manera de satisfacer las futuras necesidades de energía eléctrica.

Término	Definición
Costo nivelado de electricidad (o energía)	Una medida del promedio neto del costo actual de la generación de energía de un generador durante su vida. Se usa para la planificación de inversiones y para comparar diferentes métodos de generación de electricidad en una forma consistente.
Resiliencia	“La habilidad de anticipar, prepararse para y adaptarse a condiciones cambiantes y resistir, responder, y recuperarse rápidamente de las interrupciones de energía a través de planificación holística y soluciones técnicas.” (Resilient Energy Platform n.d.).
Suficiencia de Recursos	Una construcción regulatoria desarrollada para asegurar que el sistema de energía tiene los recursos suficientes para cumplir la demanda de electricidad durante todas las condiciones razonablemente posibles.
Tramo	Unidad de medida de una parte del total de energías renovables que se anticipa instalar. Puerto Rico tiene seis tramos de energía renovables planificados y acaba de expedir el Tramo 2.

Referencias

Denholm, Paul, Wesley Cole, A. Will Frazier, Kara Podkaminer, and Nate Blair. 2021. *The Challenge of Defining Long-Duration Energy Storage*. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory. NREL/TP-6A40-80583. <https://www.nrel.gov/docs/fy22osti/80583.pdf>.

EIA (U.S. Energy Information Administration). n.d. “Glossary.” Accessed December 9, 2022. <https://www.eia.gov/tools/glossary/>.

Gonzalez, Gloria. 2022. “Puerto Rico Grid Funding in Omnibus Falls Short of Biden, Legislator Requests.” *Politico Pro*. Accessed January 12, 2023. <https://subscriber.politicopro.com/article/2022/12/puerto-rico-grid-funding-in-omnibus-falls-short-of-biden-request-00074792>

Lopez, Anthony, Billy Roberts, Donna Heimiller, Nate Blair, and Gian Porro. 2012. *U.S. Renewable Energy Technical Potentials: A GIS-Based Analysis*. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory. NREL/TP-6A20-51946. <https://www.nrel.gov/docs/fy12osti/51946.pdf>.

NREL (National Renewable Energy Laboratory). n.d. “Engage Energy Modeling Tool.” Accessed December 9, 2022. <https://www.nrel.gov/state-local-tribal/engage-energy-modeling-tool.html>.

PREB (Puerto Rico Energy Bureau). 2022. *NEPR-MI-2020-0012 Renewable Energy Generation and Energy Storage Resource Procurement Plan: First Tranche Projects for Phase III Contract Negotiation and Final Interconnection Plan Approvals*. <https://energia.pr.gov/wp-content/uploads/sites/7/2022/09/20220901-MI20200012-Resolution-and-Order.pdf>

PRPB (Puerto Rico Planning Board). 2015. *Puerto Rico Land Use Plan*. U.S. Geological Survey. <https://www.sciencebase.gov/catalog/item/576bfe89e4b07657d1a26ee5>.

Resilient Energy Platform. n.d. “Glossary.” Accessed December 9, 2022. <https://resilient-energy.org/about/glossary#power-sector-resilience>.

Bibliografía

Ascari, Matthew, Howard P. Hanson, Lynn Rauchenstein, James Van Zwieten, Desikan Bharathan, Donna Heimiller, et al. 2012. *Ocean Thermal Extractable Energy Visualization: Final Technical Report*. Lockheed Martin Mission Systems & Sensors (MS2). DE-EE0002664. <https://www.energy.gov/sites/default/files/2013/12/f5/1055457.pdf>.

Baker, Shalanda, Subin DeVar, and Shiva Prakash. 2019. *The Energy Justice Workbook*. Initiative for Energy Justice. <https://iejusa.org/wp-content/uploads/2019/12/The-Energy-Justice-Workbook-2019-web.pdf>.

Chestney, Nina. 2022. “High Gas Prices Spur Green Hydrogen Investment: Report.” *Reuters*. October 20, 2022. <https://www.reuters.com/business/energy/high-gas-prices-spur-green-hydrogen-investment-report-2022-10-19/>.

DOE (U.S. Department of Energy). 2022. “DOE Selects First-Ever Director of Puerto Rico Grid Modernization and Recovery Team.” U.S. Department of Energy. November 2, 2022. <https://www.energy.gov/articles/doe-selects-first-ever-director-puerto-rico-grid-modernization-and-recovery-team>.

Duffy, Patrick, Gabriel R. Zuckerman, Travis Williams, Alicia Key, Luis A. Martínez-Tossas, Owen Roberts, Nina Choquette, et al. 2022. *Wind Energy Costs in Puerto Rico Through 2035*. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory. NREL/TP-5000-83434. <https://www.nrel.gov/docs/fy22osti/83434.pdf>.

EIA (U.S. Energy Information Administration). 2022a. “Puerto Rico: Territory Profile and Energy Estimates.” November 17, 2022. <https://www.eia.gov/state/data.php?sid=RQ>.

———. 2022b. “Hawaii State Profile and Energy Estimates.” December 27, 2022. <https://www.eia.gov/state/data.php?sid=HI#Prices>.

Esmail, Laura, Emily Moore, and Alison Rein. 2015. “Evaluating Patient and Stakeholder Engagement in Research: Moving from Theory to Practice.” *Journal of Comparative Effectiveness Research* 4(2): 133–145. <https://doi.org/10.2217/ce.14.79>.

Finley-Brook, Mary, and Erica L. Holloman. 2016. “Empowering Energy Justice.” *International Journal of Environmental Research and Public Health* 13(9): 926. <https://doi.org/10.3390/ijerph13090926>.

FOMB (Financial and Oversight Management Board for Puerto Rico). 2022. 2022 Certified Fiscal Plan for the Puerto Rico Electric Power Authority. <https://drive.google.com/file/d/1f6VcpY8sWmshvshWLNiJn52LFAvLABgk/view>

———. 2022. 2022 Fiscal Plan for Puerto Rico: Restoring Growth and Prosperity. https://drive.google.com/file/d/1STrf0ksj1Sq54UkABGcjrblZvc_Jem/view

Goodman, Melody S., Nicole Ackermann, Deborah J. Bowen, and Vetta Thompson. 2019. “Content Validation of a Quantitative Stakeholder Engagement Measure.” *Journal of Community Psychology* 47(8): 1937–1951. <https://doi.org/10.1002/jcop.22239>.

Heffron, Raphael J., and Darren McCauley. 2017. “The Concept of Energy Justice Across the Disciplines.” *Energy Policy* 105 (June): 658–67. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.03.018>.

Jeffers, Robert F., Michael J. Baca, Amanda M. Wachtel, Sean DeRosa, Andrea Staid, William Fogleman, Alexander Outkin, and Frank Currie. 2018. *Analysis of Microgrid Locations Benefitting Community Resilience for Puerto Rico*. United States. <https://doi.org/10.2172/1481633>.

Jenkins, Kirsten, Darren McCauley, Raphael Heffron, Hannes Stephan, and Robert Rehner. 2016. “Energy Justice: A Conceptual Review.” *Energy Research & Social Science* 11 (January): 174–82. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2015.10.004>.

Kilcher, Levi, Michelle Fogarty, and Michael Lawson. 2021. *Marine Energy in the United States: An Overview of Opportunities*. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory. NREL/TP-5700-78773. <https://www.nrel.gov/docs/fy21osti/78773.pdf>.

Kishore, Nishant, Domingo Marqués, Ayesha Mahmud, Mathew V. Kiang, Irmay Rodriguez, Arlan Fuller, Peggy Ebner, Cecilia Sorensen, et al. 2018. “Mortality in Puerto Rico after Hurricane Maria.” *The New England Journal of Medicine* 379:162–170. <https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/nejmsa1803972>.

Lee, Joohee, and John Byrne. 2019. “Expanding the Conceptual and Analytical Basis of Energy Justice: Beyond the Three-Tenet Framework.” *Frontiers in Energy Research* 7. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenrg.2019.00099>.

LUMA. 2022. Hurricane Fiona Response and Restoration Event Summary. December 9, 2022. <https://lumapr.com/hurricane-fiona-response-and-restoration-event-summary/?lang=en>.

———. 2022. *Generation Resource Adequacy Analysis*. San Juan, PR: LUMA Energy. <https://energia.pr.gov/wp-content/uploads/sites/7/2022/09/Motion-to-Submit-Lumas-Resource-Adequacy-Study-NEPR-MI-2022-0002.pdf>.

Mooney, Meghan, and Katy Waechter. 2020. *Puerto Rico Low-to-Moderate Income Rooftop PV and Solar Savings Potential*. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory. <https://www.nrel.gov/docs/fy21osti/78756.pdf>.

Piggot, Georgia. 2017. “The Influence of Social Movements on Policies that Constrain Fossil Fuel Supply.” *Climate Policy* 18 (7): 942–954. <https://doi.org/10.1080/14693062.2017.1394255>.

PREB (Puerto Rico Energy Bureau). 2022. NEPR-MI-2020-0012. Puerto Rico Electric Power Authority Integrated Resource Plan and Subject: Submittal of Report on Resource Modified Action Plan Planning Process for Next IRP Cycle and Drat [sic] RFQ/RFP for IRP Consultant and Request for Confidential Treatment. <https://energia.pr.gov/wp-content/uploads/sites/7/2022/04/20220422-MI20200012-Resolution-and-Order-Submittal.pdf>.

———. n.d. Docket NEPR-MI-2020-0012 In Re: Implementation of the Puerto Rico Electric Power Authority Integrated Resource Plan and Modifies Action Plan. <https://energia.pr.gov/en/dockets/?docket=nepr-mi-2020-0012>

———. n.d. Docket NEPR-MI-2019-0016 In Re: Puerto Rico Electric Power Authority Interconnection Progress Reports. https://energia.pr.gov/numero_orden/nepr-mi-2019-0016/.

Puerto Rico Planning Board (PRPB). 2015. Land Classification Map, Puerto Rico Land Use Plan. <https://jp.pr.gov/wp-content/uploads/2021/09/Mapa-PUT-Vigente.pdf>.

Santos-Burgoa, Carlos, John Sandberg, Erick Suárez, Ann Goldman-Hawes, Scott Zeger, Alejandra Garcia-Meza, Cynthia M. Pérez, et al. 2018. “Differential and Persistent Risk of Excess Mortality from Hurricane Maria in Puerto Rico: A Time-Series Analysis.” *The Lancet Planetary Health* 2 (11): e478–e488. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(18\)30209-2](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(18)30209-2).

Sherman, Mya H., and James Ford. 2014. “Stakeholder Engagement in Adaptation Interventions: An Evaluation of Projects in Developing Nations.” *Climate Policy* 14(3): 417–441. <https://doi.org/10.1080/14693062.2014.859501>.

Siemens (Siemens Industry). 2019. Puerto Rico Integrated Resource Plan 2018-2019, Draft for the Review of the Puerto Rico Energy Bureau, Prepared for Puerto Rico Electric Power Authority. <https://aeepr.com/es-pr/QuienesSomos/Ley57/Plan%20Integrado%20de%20Recursos/IRP2019%20-%20Ex%201.00%20-%20Main%20Report%20%20REV2%2006072019.pdf>

U.S. Congress. 2022. H.R.5376: Inflation Reduction Act of 2022. <https://www.congress.gov/bill/117th-congress/house-bill/5376/text>.

Apéndice A: Miembros del Grupo Asesor

Reconocemos la participación continua y valiosas contribuciones al estudio PR100 hechas por los miembros del Grupo Asesor de Recuperación y Resiliencia de Energía de Puerto Rico, que fue convocado por la NREL para proveer insumo dentro del portafolio de apoyo del DOE en planificación energética y resiliencia. Los Miembros del Grupo Asesor que nos han autorizado a reconocer públicamente su participación, están listados a continuación, junto a sus afiliaciones:

- Adi Martínez-Román, University of Puerto Rico Resiliency Law Center
- Adriana González, Sierra Club, Puerto Rican Chapter
- Agustín Irizarry, University of Puerto Rico, Mayagüez (UPR-Mayagüez), Electrical and Computer Engineering Department
- Alberto Carrero, Central Office for Recovery, Reconstruction and Resiliency (COR3)
- Alberto Mercado, The Nature Conservancy
- Alex Echeverría, LND Technical Services
- Alex Nassif, LUMA Energy (LUMA)
- Alfredo Martínez-Álvarez, Puerto Rico Builders Association
- Amaury Malavé-Sanabria, Puerto Rico Energy Center at Ana G. Méndez University–Gurabo
- Amber Steinman, Interstate Renewable Energy Council (IREC)
- Andrés García-Martinó, Federal Emergency Management Agency (FEMA)
- Angel David Rodríguez, independent
- Anjuli Jain Figueroa, DOE Office of Economic Impact and Diversity (OEID)
- Anna Sommer, Energy Futures Group
- Antonio Busquets, FEMA
- Arindam Maitra, Electric Power Research Institute
- Bob Fagan, Synapse on behalf of the Puerto Rico Energy Bureau (PREB)
- C.P. Smith, Cooperativa Hidroeléctrica de la Montaña
- Carlos Alberto Velázquez, IREC
- Carlos R. Tejera, Puerto Rico Department of Economic Development and Commerce (DDEC) Energy Policy Program
- Carlos Reyes-Berrios, EcoEléctrica, LP
- Carlos Vargas-Ramos, Center for Puerto Rican Studies, Hunter College, City University of New York (CUNY)
- Cathy Kunkel, Cambio PR
- Cecilio Ortíz-García, University of Texas Rio Grande Valley
- Christopher Fennell, Institute for Building Technology and Safety
- Cristina Algaze, College of Architects and Landscape Architects of Puerto Rico (CAAPPR)
- Crystal A. Bergemann, U.S. Department of Housing and Urban Development (HUD)
- Dan Lauf, National Governors Association
- David Walter, DOE Solar Energy Technologies Office (SETO)
- David R. Sotomayor-Ramírez, UPR-Mayagüez
- Dulce Del Rio, Mujeres de Islas
- Earnest White, Energy Futures Group
- Edgardo J. Contreras-Aponte, PREB
- Edgardo Jiménez-Mártir, Puerto Rico Planning Board
- Edil Sepúlveda-Carlo, National Aeronautics and Space Administration

- Eduardo Bhatia, Princeton School of Public and International Affairs; Former Puerto Rico Senator
- Edwin Acevedo, DDEC Energy Policy Program
- Federico Cintrón-Moscoso, El Puente de Williamsburg
- Ferdinand Ramos, PREB
- Fernando Abruña, CAAPPR
- Francisco Santos, Puerto Rico Electric Power Authority (PREPA)
- Gabriel Pérez, Association of Consultants and Contractors of Renewable Energy of Puerto Rico (ACONER)
- Gerardo Cosme, Puerto Rico Independent Office of Consumer Protection (OIPC)
- Héctor Vélez, U.S. Environmental Protection Agency (EPA)
- HG Chissell, Advanced Energy Group (AEG)
- Ignacio Díaz, Glenn International, Inc.
- Ingrid Vila-Biaggi, Cambio PR
- Israel Martínez, FEMA
- Ivelisse M. Martínez-Sánchez, Puerto Rico Department of Housing (PRDOH)
- Jaime A. Umpierre Montalvo, PREPA
- Javier Rua-Jovet, Solar and Energy Storage Association of Puerto Rico (SESA-PR)
- Jennifer Hinojosa, Center for Puerto Rican Studies, Hunter College, CUNY
- Jennifer M. Storipan, Invest Puerto Rico
- Jesus Cintron, COR3
- Jonathan Castillo-Polanco, Hispanic Federation Puerto Rico
- Jose Julian Ramirez Ruiz, FIDECOOP
- Jose Maeso, Crowley LNG Puerto Rico
- José Villamil, Estudios Técnicos, Inc.
- Julian Bayne, Municipal Revenue Collection Center (Centro de Recaudacion de Ingresos Municipales (CRIM))
- Kaitlyn Bunker, Rocky Mountain Institute (RMI)
- Laura Kuhl, Northeastern University, School of Public Policy and Urban Affairs
- Lillian Mateo-Santos, PREB
- Loraima Jaramillo, IREC
- Lourdes Marcano, ACONER
- Luis Negrón Bonilla, DDEC Puerto Rico Industrial Company (PRIDCO)
- Manuel Carretero-Cannella, COR3
- Marcel J. Castro-Sitiriche, UPR-Mayagüez, Electrical and Computer Engineering Department
- Marissa E. Morales-Rodríguez, DOE SETO
- Maritere Padilla, Hispanic Federation Puerto Rico
- Mark Martin, ViequesLove
- Marla Pérez-Lugo, University of Texas Rio Grande Valley
- Michael Freedberg, HUD
- Michael Mount, LUMA
- Mike Blanford, HUD
- Muhidin (Dino) Lelic, LUMA
- Nathaniel Buscher, RMI
- Ninoshka G. Picart Perez, UPR Resiliency Law Center
- Obed Santos, AES Ilumina LLC

- Paul Lutton, ViequesLove
- Pedro Vázquez, Puerto Rico Independent Office of Consumer Protection (OIPC)
- PJ Wilson, Solar and Energy Storage Association of Puerto Rico (SESA-PR)
- Ramón A. Sánchez, Energy Justice for Puerto Rico
- Sary N. Rosario-Ferreira, El Puente ELAC Puerto Rico
- Ricardo Pallens, COR3
- Ruth Santiago, Comité Dialogo Ambiental, El Puente-Latino Climate Action Network
- Santiago Grijalva, Georgia Institute of Technology
- Saul González, ACONER
- Shirley Birriel, PRDOH
- Socorro de Lourdes Lugo, PREPA
- Sonrisa Lucero, DOE OEID
- Tomás Torres-Placa, PREPA Governing Board
- Verónica González, Ayuda Legal Puerto Rico
- Veronika Rabl, LUMA
- Víctor L. González, Windmar Group
- Yandía Pérez, Puerto Rico Manufacturers Association

Apéndice B: Escenarios, Variaciones y Combinaciones

Table B-1. Nombres de Escenarios y Descripciones

Esta tabla es un duplicado de la Tabla 1 (página 3).

Escenario Número	Nombre del Escenario	Descripción	Nombre corto (basado en el nivel de adopción de recurso de energía)
1	Adopción económica de los recursos de energía distribuida	La adopción de los recursos de energía distribuida se basa en ahorros financieros para los dueños de edificios.	Económico
2	Movilización de los recursos de energía distribuida para servicios críticos	La instalación de energía distribuida es priorizada más allá del Escenario 1 para los servicios críticos como hospitales, estaciones de bomberos, y supermercados.	Crítico
3	Movilización equitativa de los recursos de energía distribuida	La instalación de energía distribuida es priorizada más allá del Escenario 2 para hogares de bajos y moderados recursos.	Equitativo
4	Movilización máxima de los recursos de energía distribuidos	Los recursos de energía distribuida son instalados en todos los techos aptos	Máximo

Tabla B-2. Dieciséis Variaciones de Escenario con Nombre Corto, Tierra Disponible y Casos de Carga

Escenario Número	Escenario Variación	Nombre Corto	Tierras disponibles	Casos de Carga
1	A	Económico	Menos	Mediana
1	B	Económico	Menos	Estrés
1	C	Económico	Más	Mediana
1	D	Económico	Más	Estrés
2	A	Crítico	Menos	Mediana
2	B	Crítico	Menos	Estrés
2	C	Crítico	Más	Mediana
2	D	Crítico	Más	Estrés
3	A	Equitativo	Menos	Mediana
3	B	Equitativo	Menos	Estrés
3	C	Equitativo	Más	Mediana
3	D	Equitativo	Más	Estrés
4	A	Máximo	Menos	Mediana
4	B	Máximo	Menos	Estrés
4	C	Máximo	Más	Mediana
4	D	Máximo	Más	Estrés

Apéndice C: Supuestos e Incertidumbres

Los siguientes supuestos e incertidumbres generales apoyan el estudio PR100 y están sujetos a revisión en el Año 2.

Supuestos

- Todo el modelaje y análisis en el estudio PR100 asume cumplimiento con la política energética de Puerto Rico, incluyendo la Ley 17; definiciones de energía renovable en la Política Pública sobre la Diversificación de Energía por Medios Sustentables y Renovables en Puerto Rico ([Ley 82 del 2010](#), según enmendada), y la Ley de Cambio Climático, Mitigación, Adaptación y Resiliencia ([Ley 33 del 2019](#)); y la IRP de la Autoridad de Energía Eléctrica de Puerto Rico de 2019 (Siemens 2019).
- Incluimos en el modelo solo las tecnologías de generación que cumplen con la definición de energía renovable según la política pública antes mencionada. Consistentemente con la Ley 82 según enmendada, las tecnologías que se incluyen en PR100 incluyen energía solar, energía eólica, energía hidráulica, energía marina hidro cinética renovable, energía termal del océano y combustión de biocombustible derivado exclusivamente de biomasa renovable. De los otros recursos listados en la Ley 82 no se consideran la energía geotérmica, combustión de biomasa renovable o combustión de gas de biomasa renovable.
- El itinerario de retiro de las unidades de generación de combustible fósil seguirá con lo establecido en el IRP de 2019. Las revisiones a itinerarios existentes no serán incluidas en los modelos a menos de que sean aprobados lo suficientemente temprano en el Año 2 para ser incorporados al estudio. Nótese que PREPA ha establecido los retiros planificados del IRP de 2019 basado en supuestos acerca de los costos de las tecnologías de energía renovable y las reducciones de la carga eléctrica, y que la generación de energía renovable (en cumplimiento con los requerimientos técnicos mínimos) es también un supuesto. Por lo tanto, los retiros razonables pueden cambiar si los supuestos no se mantienen en itinerario.
- Con un compromiso histórico de los fondos federales para la recuperación, y objetivos de energía renovable que cumplir, varias actividades en Puerto Rico están sucediendo paralelas al estudio PR100. La Tabla C-1 resume estas actividades y cómo se relacionan con el estudio.

Tabla C-1. Fondos Federales y Actividades de Implementación Relacionadas a PR100

Actividad	Descripción	Relación con PR100
Proceso de Adquisición de Energía Renovable y Almacenaje	PREPA y PREB están adquiriendo 3,750 MW de recursos de energía renovable y 1,500 MW de recursos de almacenaje —en seis tramos durante tres años, hacia la implementación del 2019 IRP (PREB n.d.a). PREPA está finalizando negociaciones para las propuestas sometidas en el Tramo 1 (PREB 2022).	El equipo del proyecto está tomando en cuenta y utilizando como referencia la capacidad de energía renovable que se está adquiriendo como parte de estos seis tramos.

Actividad	Descripción	Relación con PR100
Inversiones de Mitigación y Asistencia Pública por daños del Huracán María de FEMA	FEMA autorizó sobre \$9.5 billones para la red eléctrica, como parte de las actividades de recuperación tras huracán María. Los proyectos aprobados para comenzar actividades de diseño y construcción pueden encontrarse en la página web de FEMA's Accelerated Awards Strategy (FAAST)	Los proyectos financiados por FEMA para modernizar el sistema de generación, transmisión y distribución eléctrica de Puerto Rico se incluirán en la modelización cuando sean pertinentes y estén disponibles a tiempo para ser incluidos en el análisis.
Task Force de Estabilización del Sistema Energético de Puerto Rico de FEMA	En septiembre 2022, luego de que el huracán Fiona dejara a 950,000 puertorriqueños sin electricidad, FEMA formó el Task Force de Estabilización del Sistema Energético para realizar las reparaciones para estabilizar la red incluyendo la generación temporera para adquirir capacidad y reserva adecuadas.	Los proyectos identificados por el Task Force de Estabilización de la Red Energética para ser adquiridos y movilizados por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército serán tomados en consideración.
Programas de Desarrollo Comunitario y Fondos de Mitigación (CDBG-MIT) Programa de Fondos de Desarrollo Comunitario de HUD (PRDOH): y Programa Recuperación de Desastres (CDBG-DR)	PRDOH está administrando dos programas relevantes financiados por HUD CDBG-DR y CDBG-MIT: la Reconstrucción y Rehabilitación de la Red Energética (ER1) Costo del Programa - \$500 millones) y el programa de Confiabilidad y Resiliencia Energética (ER2) Programa de \$1.3 billones	El objetivo del programa ER2 es desatacar la confiabilidad del sistema energéticos, la resiliencia y asequibilidad a través del financiamiento de proyectos que cualifican como mejoras al sistema. La mayoría de los fondos ER2 se anticipa sean utilizados para la generación distribuida y proyectos de micro red. NREL está proveyendo asistencia técnica a PRDOH para apoyar la planificación y diseño.
Fideicomiso de Energía Verde	El Gobernador Pierluisi anunció la creación de un Fideicomiso de Energía Verde para manejar 400 millones en fondos de financiamiento CDBG-MIT, incluyendo hasta \$30 millones de PRDOH a través de HUD. La Ley 17 requiere que el DDEC cree un Fideicomiso de Energía Verde.	El objetivo del fideicomiso es apoyar financieramente los proyectos que proveen acceso a energía verde a los residentes de comunidades de bajos y escasos recursos y promover la eficiencia de energía entre sus objetivos. NREL provee asistencia técnica para diseñar una nueva institución financiera para apoyar la transición a energía limpia de Puerto Rico.
Planificación IRP 2024	LUMA está desarrollando el próximo IRP para Puerto Rico, en el que se incluye un proceso de participación con	LUMA y el equipo de PR100 están coordinado que los resultados de PR100 sean

Actividad	Descripción	Relación con PR100
	las partes interesadas para dar insumo sobre el plan.	informados en el proceso de desarrollo del IRP
Proyecto de Ley de Gastos Federales FY23	El proyecto FY23 de gastos federales firmado por el presidente Biden al final del 2022 incluye \$1 billón para mejorar la resiliencia del sistema eléctrico de Puerto Rico, incluyendo fondos administrados por la Oficina de Movilización de la Red para hogares de bajos y medianos recursos en la distribución solar y almacenaje. (González 2022).	La Oficina de Movilización de la Red y NREL dirigen el estudio PR100.

Incertidumbres

- Este documento es un punto medio de un estudio de dos años: *todos los hallazgos son preliminares*. Los resultados reportados en el informe final de PR100 programado para diciembre 2023 pueden ser significativamente diferentes de lo presentado aquí.
- El modelo de impacto y análisis, incluyendo el análisis de resiliencia del sistema de energía al por mayor, análisis del sistema de distribución e impacto económico, serán completados en el Año 2, y los resultados finales serán provisto en el informe final.
- La retroalimentación del modelo que gira en torno a las tareas relacionadas que no se han completado afectará la adopción de generación de la distribución, la movilización a gran escala y las actualizaciones necesarias en las actualizaciones de la transmisión y distribución, así como las métricas de flujo.
- Continuamos buscando retroalimentación de las partes interesadas y continuamos refinando el insumo, así como los costos actuales y futuros, el tamaño de los sistemas y el almacenaje necesario para los sistemas distribuidos, el valor de la energía de soporte, y las restricciones geoespaciales. Además, el cálculo del impacto de tarifas será incorporado iterativamente con el modelo de adopción de techos fotovoltaicos. Estas mejoras al modelo se anticipan que acelerarán los techos fotovoltaicos y la adopción de almacenaje, así como aumentar el total de PV y almacenaje adoptado para el 2050.
- Los impactos de los incentivos en la Ley de Reducción de Inflación de 2022 (Congreso de EE. UU. 2022) no están actualmente representados, pero se incorporarán al estudio mientras Puerto Rico consigue elegibilidad en las provisiones, como el crédito al impuesto de inversión, definido por el Departamento del Tesoro de EE. UU. Se anticipa que habrá elegibilidad para comunidades desventajadas bajo la Ley de Reducción de Inflación.
- En marzo 2022, el Gobernador de Puerto Rico Pedro Pierluisi firmó la [Orden Ejecutiva OE-2022-0022](#). Ordena que cualquier agencia del Gobierno de Puerto Rico que trabaja directa o indirectamente con la (1) generación, transmisión o distribución de energía eléctrica, (2) reconstrucción y revitalización del sistema eléctrico (3) regulación y supervisión de la Política Pública de Energía (Ley 17), debe considerar la combustión de hidrógeno como un recursos renovable de energía al evaluar cualquier proyecto. Las tecnologías de combustión de hidrógeno no están incluidas en este informe de progreso del Año 1, pero el equipo de proyecto pudiera presentar modelos de recursos de hidrógeno en los modelos del Año 2.

National Renewable Energy Laboratory
15013 Denver West Parkway, Golden, CO 80401
303-275-3000 • www.nrel.gov

NREL imprime en papel con contenido reciclado.

NREL es un laboratorio nacional del Departamento de Energía de EE. UU., Oficina de Eficiencia Energética y Energía Renovable, operado por la Alianza para la Energía Sostenible, LLC.

NREL/TP-7A40-85144 • Enero 2023

