



FEMA



U.S. DEPARTMENT OF
ENERGY

Estudio de Resiliencia de la Red
Eléctrica de Puerto Rico y Transición a
Energía 100% Renovable (PR100):
Actualización de progreso de seis meses

Julio del 2022



Autores

Decenas de talentosos investigadores de los seis laboratorios nacionales participantes contribuyen al estudio PR100. Esta presentación es obra de :

- **Laboratorio Nacional de Energías Renovables (NREL):** Robin Burton, Murali Baggu, Jill Rhodes, Nate Blair, Tom Harris, Manajit Sengupta, Clayton Barrows, Haiku Sky, Jaemo Yang, James Elsworth, Paritosh Das, Patrick Duffy, Gabriel Zuckerman, Jeremy Stefek, Prateek Joshi
- **Laboratorio Nacional Argonne (ANL):** Lawrence Paul Lewis, John Murphy
- **Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley (LBNL):** Peter Cappers, Jeff Deason, Margaret Pigman
- **Laboratorio Nacional de Oak Ridge (ORNL):** Yilu Liu, Bandana Kar, Shih-Chieh Kao
- **Laboratorio Nacional del Noroeste del Pacífico:** Marcelo Elizondo, Xiaoyuan Fan, Patrick Maloney, Vishvas Chalishazar, Patrick Royer, Fernando Bereta Dos Reis
- **Laboratorios Nacionales Sandia:** Amanda Wachtel, Matthew Lave, Olga Epshtein Hart, Christian Birk Jones, James Ellison, Cody Newlun
- **Miembros adicionales del equipo:** Michele Chait (Michele Chait LLC); Harvey Cutler and Martin Shields (Colorado State University)

Agradecimientos

- Este trabajo cuenta con el apoyo de la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (FEMA, por sus siglas en inglés) a través de un acuerdo interinstitucional con el Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE, por sus siglas en inglés).
- Esta presentación ha sido preparada por el equipo del multi laboratorio PR100, dirigido por el Laboratorio Nacional de Energías Renovables (NREL) con el apoyo de los laboratorios Argonne (ANL), Lawrence Berkeley (LBNL), Oak Ridge (ORNL), Pacific Northwest (PNNL) y Laboratorio Nacional Sandia.
- Agradecemos la participación voluntaria de los más de 80 miembros de nuestro Grupo Asesor, cuyas aportaciones garantizan que el proceso y los resultados reflejen sus prioridades y perspectivas.
- Gracias al equipo de Recuperación Energética de Puerto Rico del DOE, Marisol Bonnet, Eric Britton, Ernesto Rivera-Umpierre y Elizabeth Arnold por su liderazgo.
- Gracias también a Adam Warren y Juan Torres de NREL por la revisión técnica de esta presentación, y a Moriah Petty, Sarah Hauck, Fred Zietz y otros miembros del equipo de comunicaciones de NREL por sus contribuciones al proyecto y a esta presentación.

Contenido

- 1 Introducción
- 2 Visión general y cronograma
- 3 Resultados a seis meses: Cuatro definiciones de escenarios iniciales
- 4 Actualizaciones por actividad de estudio
 - Participación receptiva de las partes interesadas y justicia energética
 - Recopilación y generación de datos
 - Generación de escenarios y evaluación de capacidades
 - Modelación y análisis de impactos
- 5 Apéndices: Terminología, lecturas de referencia, recursos adicionales

Introducción

- Puerto Rico se ha comprometido a satisfacer sus necesidades de electricidad con un 100% de energía renovable para 2050, junto con el cumplimiento de objetivos intermedios del 40% para 2025, el 60% para 2040, la eliminación gradual de la generación a base de carbón para 2028, y una mejora del 30% en la eficiencia energética para 2040, según lo establecido en la [Ley de Política Pública Energética de Puerto Rico \(Ley 17\)](#).
- Para alcanzar estos objetivos y apoyar una red eléctrica más confiable y resiliente, Puerto Rico está explorando la energía renovable, así como el almacenamiento de energía, la generación distribuida, el control de la distribución, los vehículos eléctricos y las cargas energéticamente eficientes y sensibles que pueden ser desplegadas en cada una de las ciudades y comunidades de Puerto Rico.
- Desde los huracanes Irma y María en septiembre de 2017, DOE y sus laboratorios nacionales han proporcionado a las partes interesadas del sistema energético de Puerto Rico herramientas, adiestramiento y apoyo de modelaje para permitir la planificación y el funcionamiento de la red eléctrica con más resiliencia frente a nuevas interrupciones.
- El 2 de febrero de 2022, DOE, FEMA y seis laboratorios nacionales lanzaron el [Estudio de Resiliencia de la Red Eléctrica de Puerto Rico y Transición a la Energía 100% Renovable \(PR100\)](#), de dos años de duración, para llevar a cabo un análisis exhaustivo de las vías impulsadas por las partes interesadas para el futuro energético de Puerto Rico. El análisis energético, sólido y objetivo, comprende cinco actividades, con énfasis en la confiabilidad del sistema eléctrico, la resiliencia y la planificación de la generación.
- Esta presentación ofrece una actualización de los progresos realizados durante los primeros seis meses del estudio, incluyendo los cuatro escenarios iniciales definidos con amplias aportaciones de las partes interesadas.

PR100 Visión general y cronograma del estudio

¿Qué es el estudio PR100?

- Un análisis exhaustivo de las posibles vías para que Puerto Rico alcance su objetivo de un 100% de energía renovable para 2050, basado en una amplia aportación de las partes interesadas.
- Es un esfuerzo coordinado y dirigido por FEMA, DOE y NREL, que aprovecha las herramientas y capacidades únicas de otros cinco laboratorios nacionales.

Alcance de PR100

Dentro del alcance

En este proyecto, el equipo:

- Modelará vías y analizará los impactos
- Llevará a cabo un análisis para fundamentar posibles decisiones de inversión
- Elaborará una hoja de ruta con las medidas recomendadas a corto y largo plazo para la transición a recursos renovables
- Facilitará la interacción de las partes interesadas y el intercambio de información para crear una base para la implementación futura
- Publicará y difundirá los resultados, incluyendo conjuntos de datos de alta resolución y modelos de fuentes abiertas

Fuera del alcance

Este estudio no:

- Ofrecerá recomendaciones políticas
- Desarrollará un plan de aplicación detallado
- Hará recomendaciones de inversión específicas
- Abordará la descarbonización de toda la economía
- Sustituirá los procesos obligatorios de planificación de inversiones de capital, como el Plan de Recursos Integrados (IRP, por sus siglas en inglés).

Cómo pueden las partes interesadas utilizar los resultados del estudio PR100

- El estudio PR100 producirá un conjunto de resultados -incluyendo datos y modelos- que esbozan alternativas sobre cómo Puerto Rico puede alcanzar sus objetivos de resiliencia y energía renovable.
- Los resultados pretenden responder a las preguntas de las partes interesadas y fundamentar la toma de decisiones utilizando datos, modelos y análisis de clase mundial.
- Corresponderá a las partes interesadas del sistema energético de Puerto Rico elegir un camino a seguir y ponerlo en práctica.

Actividades del estudio de energía 100% renovable para Puerto Rico

1 Participación receptiva de las partes interesadas y justicia energética

- Participación receptiva de las partes interesadas incluida la justicia procesal
- Justicia energética y evaluación de riesgos climáticos

2 Recopilación y generación de datos

- Potencial de recursos y proyecciones de demanda (solar, eólica, hidráulica)
- Proyecciones de demanda y adopción de DER (considerando carga, vehículos eléctricos, eficiencia energética, energía fotovoltaica distribuida y almacenamiento)

3 Generación de escenarios y evaluación de capacidades

- Generación detallada de escenarios
- Expansión de la capacidad de la red de almacenamiento y fotovoltaica distribuida
- Costo de producción y suficiencia de recursos

4 Modelado y análisis de impactos

Modelado y análisis de impactos

- Análisis de sistemas a granel para mejorar la resiliencia
- Análisis del sistema de distribución
- Impactos económicos

5 Informes, visualizaciones y difusión

- Escenarios de resiliencia de red y electricidad 100% renovable para Puerto Rico
- Informes y divulgación
- Hoja de ruta de implementación

Actividad 5:
Informes, visualizaciones
y difusión

Actividad 4:
Modelado y análisis
de impactos



Actividad 1:
Participación receptiva
de las partes interesadas
y justicia energética

Actividad 2:
Recopilación y
generación de datos

Actividad 3:
Generación de escenarios y
evaluación de capacidades



Cronograma de PR100

Seis meses (para junio de 2022):

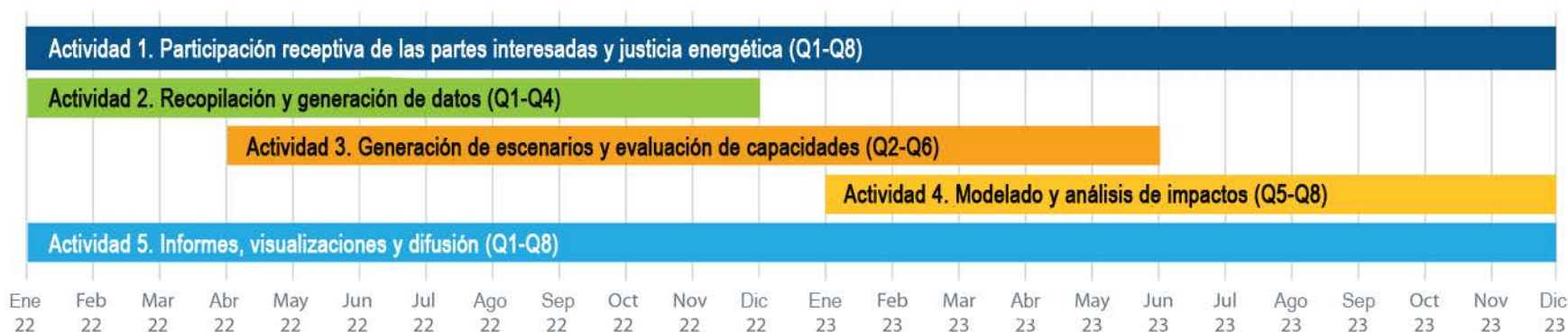
- El grupo de partes interesadas establecido se reúne mensualmente para informar sobre los escenarios
- Definidos cuatro escenarios iniciales para alcanzar los objetivos de Puerto Rico

Primer año (para diciembre de 2022):

- Conjuntos de datos de alta resolución para los recursos eólicos y solares durante 10 años
- Tres escenarios factibles con trayectorias de alto nivel

Segundo año (para diciembre de 2023):

- Informe exhaustivo y visualizaciones en la web
- Difusión y participación del público



Informe de trabajo a seis meses: Cuatro definiciones de los escenarios iniciales

Definición del escenario inicial

- El equipo del proyecto colaboró estrechamente con el Grupo Asesor durante los primeros seis meses del estudio para definir cuatro escenarios iniciales para modelar a partir de estas prioridades :
 - Acceso y asequibilidad de la energía
 - Confiabilidad y resiliencia (en condiciones climáticas normales y extremas)
 - Ubicación, uso del terreno, efectos ambientales y de salud
 - Desarrollo económico y de la mano de obra
- La principal distinción entre los cuatro escenarios son los distintos niveles de recursos energéticos distribuidos, como la energía solar en los techos y el almacenamiento de energía.
- En cada escenario se incorporarán variaciones de la carga eléctrica y del uso del terreno, así como la expansión de la transmisión y la distribución.

Escenario 1. Adopción económica de los recursos energéticos distribuidos

El sistema eléctrico se modela para alcanzar el 100% de energía renovable en 2050



Escenario 2. Implementación de recursos energéticos distribuidos para servicios críticos

La instalación de recursos energéticos distribuidos se prioriza más allá del escenario 1 para servicios críticos como hospitales, estaciones de bomberos y supermercados



Escenario 3. Implementación equitativa de los recursos energéticos distribuidos

Se prioriza la instalación de recursos energéticos distribuidos más allá del escenario 2 para los hogares remotos, y de ingresos bajos y moderados



Escenario 4. Máxima implementación de recursos energéticos distribuidos

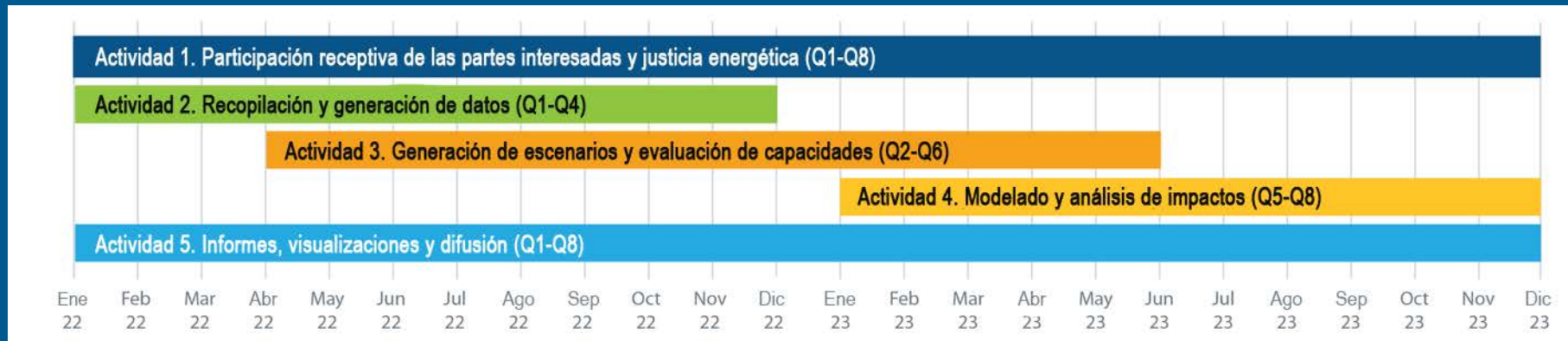
La energía solar distribuida y el almacenamiento se añaden a todos los techos aptos



Actividad 1. Participación receptiva de las partes interesadas y justicia energética

Tarea 1. Participación de las partes interesadas

Tarea 2. Justicia energética y evaluación del riesgo climático





Tarea 1: Participación de las partes interesadas

Laboratorios Líderes: NREL y Sandia

Laboratorios de apoyo: ANL, ORNL

Creación y participación del Grupo Asesor

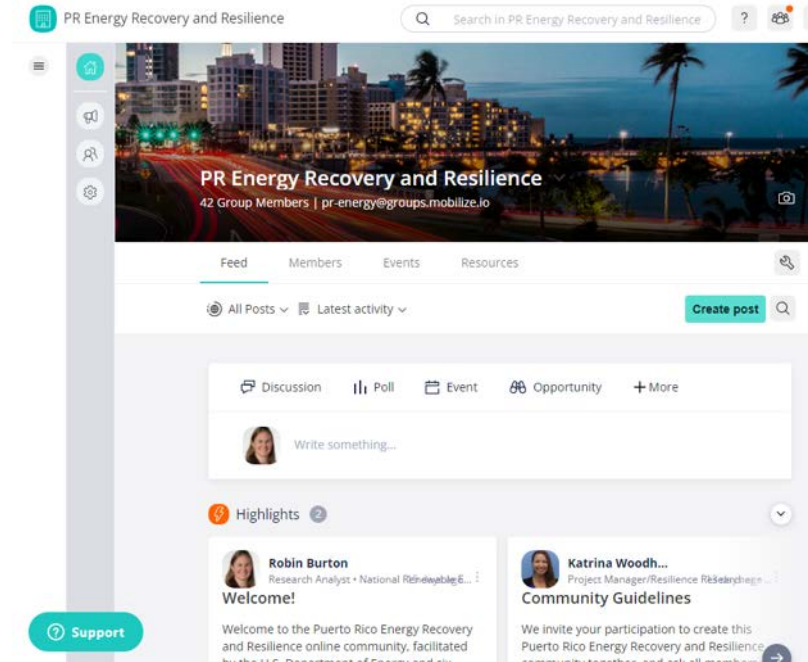
- Se convocó a un Grupo Asesor de más de 80 miembros procedentes del mundo académico, del sector público y privado, de organizaciones comunitarias y medioambientales, y de otros sectores.
- Se facilitaron reuniones mensuales del Grupo Asesor desde febrero a julio de 2022 (cuatro remotas y dos híbridas); se celebrarán reuniones bimensuales o trimestrales hasta diciembre de 2023.
- Se han recibido las aportaciones de los miembros sobre los siguientes temas y se ha reiterado en la generación de un marco inicial de escenarios para el PR100 :
 - Prioridades para el futuro energético de Puerto Rico
 - Marcos hipotéticos y niveles de demanda de electricidad
 - Prioridades de justicia energética
 - Entradas de datos, incluyendo el uso del terreno y el costo de la tecnología.
- Colaboración con la Hispanic Federation de Puerto Rico para la facilitación y el apoyo a la participación de las partes interesadas.



Presentación durante la reunión híbrida del Grupo Asesor celebrada en San Juan (Puerto Rico) en mayo de 2022. Foto por Robin Burton, NREL

Intercambio de información

- Lanzamiento de la comunidad en línea en Mobilize para la creación de redes y el intercambio de información con los miembros del Grupo Asesor y el público.
- ¿Qué es Mobilize?
 - Plataforma web donde las partes interesadas del sistema energético de Puerto Rico pueden reunirse y compartir ideas
 - Espacio para que el DOE y los laboratorios nacionales ofrezcan actualizaciones de los proyectos y recojan opiniones, y para que todos los usuarios compartan recursos y establezcan contactos
 - Base para la implementación de trayectorias hacia una energía 100% renovable.
- Los usuarios pueden acceder a la plataforma en español mediante la extensión “Translate” de Google Chrome
- ¡Regístrese para unirse a la comunidad en línea!



Desarrollo de capacidades

- **Los objetivos de esta tarea son:**
 - Facilitar la participación de la universidad en el desarrollo de escenarios, el apoyo técnico y el análisis
 - Apoyar el uso de los datos, las herramientas y los análisis del laboratorio por parte de la universidad y otros socios para desarrollar la capacidad local
- **Progreso: Subcontrato de la Universidad de Puerto Rico, Recinto de Mayagüez (UPRM)**
 - Durante los primeros seis meses, el DOE y los laboratorios se reunieron regularmente con la facultad de la UPRM, lo que dio lugar a un subcontrato para que la facultad y los estudiantes de la UPRM participaran como miembros del equipo de PR100.
 - Entre junio de 2022 y julio de 2023, la UPRM:
 - Asesorará al equipo de PR100 en el desarrollo de métodos, entradas e hipótesis para representar con precisión los recursos solares de los techos en todos los modelos
 - Generará nuevos datos a través de una encuesta exhaustiva para mejorar el conocimiento que tiene el equipo de PR100 de los sistemas solares residenciales
 - Ayudará a desarrollar métricas de justicia energética basadas en los datos de restablecimiento de los apagones del huracán María
 - Coordinará con los esfuerzos de investigación paralelos

Métricas y evaluación

Objetivo de participación

- Informar sobre el desarrollo de escenarios para alcanzar el objetivo de Puerto Rico de un 100% de energía renovable para 2050
- Comprender y responder a las preguntas de las partes interesadas sobre las posibles vías para alcanzar el 100% de energía renovable

Propósito de la métrica

- Evaluar la eficacia de la participación de las partes interesadas respondiendo a las siguientes preguntas:
 - ¿Participan activamente las partes interesadas en el estudio e intercambian información con el equipo del proyecto y entre sí?
 - ¿Cómo se mantiene el compromiso a lo largo del tiempo?
 - ¿Se ha garantizado una representación equitativa entre los grupos de interesados?
 - ¿En qué medida se han integrado las aportaciones de las partes interesadas en el estudio?
 - ¿En qué medida las aportaciones de las partes interesadas han influido en la dirección y los resultados del proyecto?

Dimensiones Métricas

- Participación. Grado de participación de las partes interesadas en el proceso de estudio y en la revisión de los productos, y de permanencia en el tiempo:
 - Medir la asistencia a las reuniones y las aportaciones realizadas
- Inclusión / Representación. Grado en que las partes interesadas están representadas de forma equitativa y tienen acceso a influir en la dirección del proyecto:
 - Medir el grado de representación de cada sector en el Grupo Asesor y la capacidad de acceso a la información
- Compromiso. Grado de compromiso de las partes interesadas con el equipo del proyecto y entre sí:
 - Medir la capacidad de respuesta (participación en todos los aspectos de la discusión del proyecto), índice de compromiso

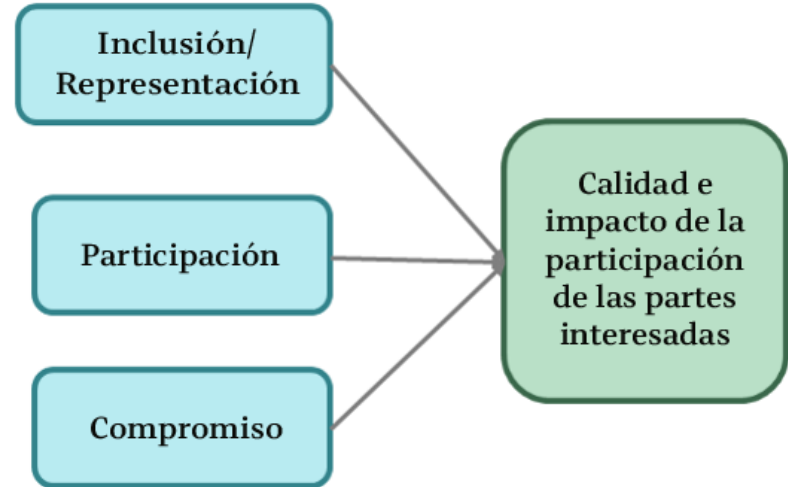
Métricas y evaluación

Fuentes de datos

- Base de datos de los miembros del Grupo Asesor y registros de asistencia a las reuniones
- Notas de las reuniones y registro de chats
- Plataforma Mobilize
- Resultados del instrumento de “feedback” sobre el sentimiento de los miembros del Grupo Asesor acerca de los esfuerzos del equipo del proyecto para incorporar sus aportaciones, garantizar la representación de todos los sectores y el alcance de su influencia

Análisis

- Visualización de la participación de los miembros, la representación por sectores y el cambio a lo largo del tiempo
- Análisis de las redes sociales para comprender el grado de interacción de las partes interesadas entre sí y los cambios a lo largo del tiempo



Gráficas suministradas por ORNL



TAREA 2: Justicia energética y evaluación del riesgo climático

Laboratorio Líder: ANL

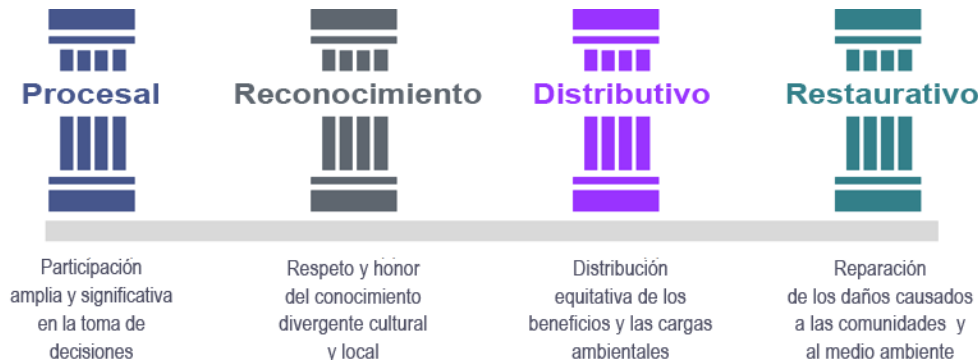
Laboratorios de Apoyo: NREL, Sandia,
ORNL

Definición y pilares de la justicia energética

Definición de justicia energética

- "Se refiere al objetivo de lograr la equidad en la participación tanto social como económica en el sistema energético, al mismo tiempo que se reparan las cargas sociales, económicas y de salud de aquellos históricamente perjudicados por el sistema energético..."
- "Conecta con, y se basa en, las profundas tradiciones académicas y de base de los movimientos de justicia ambiental y cambio climático".

Pilares de justicia energética



Muchas acciones que promueven la justicia energética, como la ampliación de los beneficios económicos a través de la creación de puestos de trabajo en el sector de la energía renovable en zonas con alto nivel de desempleo, las cuales abarcan múltiples pilares.

Temas de justicia energética en la literatura

Acceso a la energía

Interdependencias de la infraestructura

Uso del terreno y ubicación

Desarrollo económico y laboral

Impactos ambientales y de salud

Marcos académicos

Acciones de los servicios públicos

Democracia energética

Acceso disponible a una base de datos de literatura sobre justicia energética por temas, recopilada durante esta fase del estudio en la sección de Recursos en el sitio web de Mobilize.

Justicia energética en PR100

Justicia procesal

- Garantizar el acceso de las partes interesadas al proceso de planificación mediante la convocatoria de un grupo asesor de miembros con perspectivas diversas que representen a una gran variedad de sectores
- Reconocer e incorporar los conocimientos locales en el estudio
- Compartir los resultados de forma que todos puedan entenderlos

Evaluación de la interdependencia de la infraestructura

- Identificar y caracterizar las interdependencias de la energía eléctrica con otras infraestructuras críticas (por ejemplo, comunicaciones, tecnologías de la información, transporte, agua), servicios esenciales a la comunidad, etc.
Evaluar en qué medida las injusticias energéticas han dado lugar a otros problemas de justicia de recursos.

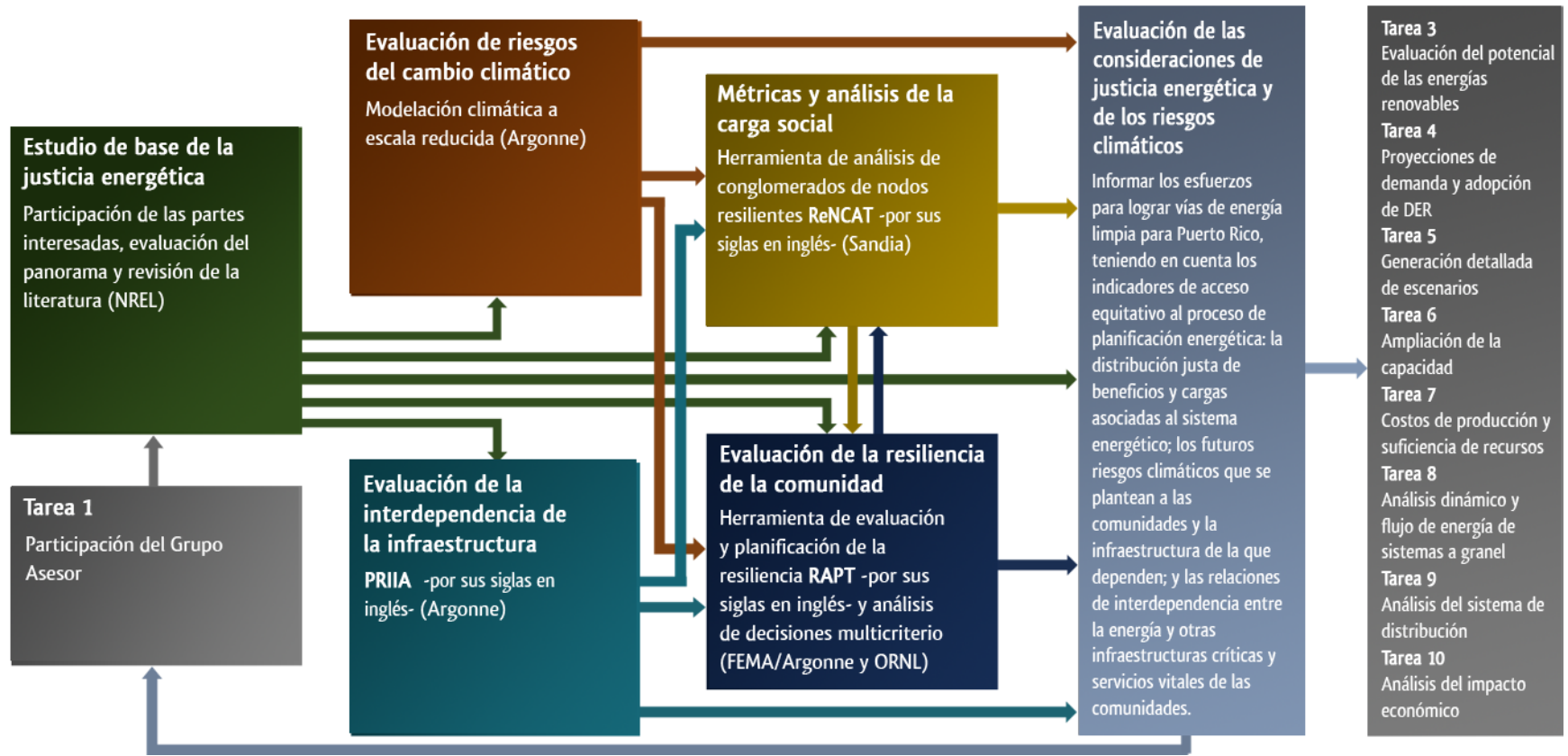
Análisis de la justicia energética basado en métricas

- Evaluar el "costo" social de los apagones de larga duración y las disparidades en la carga social
- Evaluar el impacto de la justicia energética de los escenarios modelados

Evaluación del riesgo climático y estrategias de adaptación

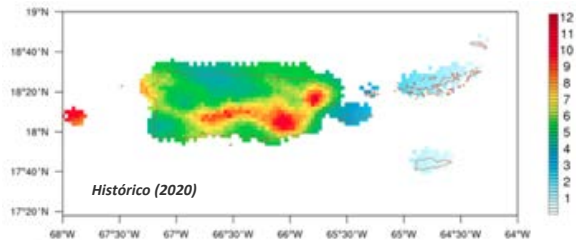
- Proyectar dónde las condiciones climáticas cambiantes supondrán riesgos futuros para las infraestructuras y las comunidades a las que apoyan
Informar sobre las necesidades de ubicación y funcionamiento de la infraestructura para evitar su obsolescencia prematura

Flujo de trabajo de justicia energética

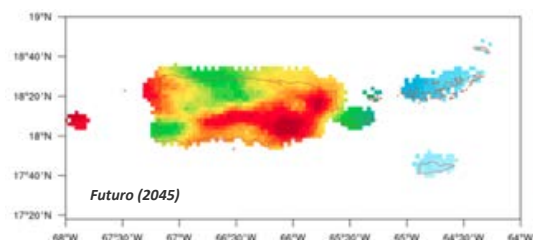


Progreso en la evaluación de los riesgos climáticos

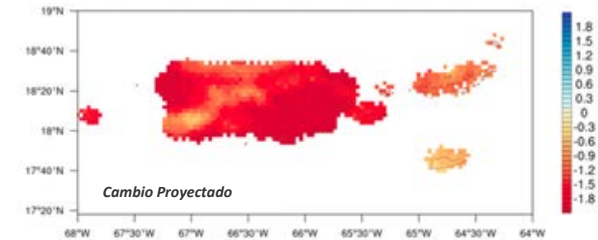
- Modelación climática a escala reducida:
 - Se aprovecharon las capacidades de modelación climática para desarrollar una red de 4 km y un conjunto de datos para una serie de variables climáticas proyectadas para mediados y finales de siglo, incluyendo:
 - Parámetros de superficie (por ejemplo, precipitación total acumulada, temperaturas mínimas y máximas diarias, etc.).
 - Parámetros atmosféricos (por ejemplo, velocidad del viento, fracción de nubes, humedad relativa, etc.).
 - Parámetros del terreno (por ejemplo, temperatura del terreno, humedad, agua líquida, etc.).
 - Parámetros hidrológicos (por ejemplo, aumento del nivel del mar, aumento del nivel de las aguas interiores, etc.).
- Progreso en la modelación climática a escala reducida:
 - Completado el primer tramo de modelado decenal de variables históricas (2000-2010) y de mediados de siglo (2040-2045).
 - Actualmente se está procesando el segundo tramo de variables históricas (2010-2020) y de mediados de siglo (2045-2050), y a continuación el de finales de siglo (2090-2100).



Modelado preliminar a escala reducida de la cantidad de precipitación media diaria anual histórica (mm/día) (gráfica de Argonne)



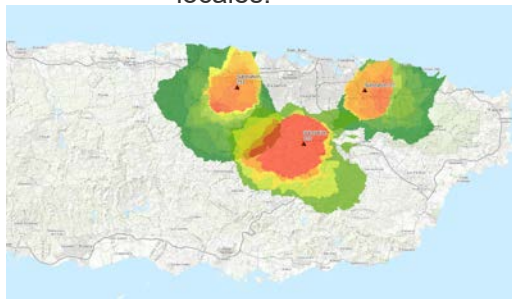
Modelado preliminar reducido de la futura cantidad de precipitación media diaria anual (mm/día) (gráfica de Argonne)



Modelado preliminar a escala reducida del cambio proyectado impulsado por el clima en la cantidad de precipitación media diaria anual (mm/día) (gráfica de Argonne)

Progreso en las métricas de justicia energética

- Evaluación de la Interdependencia de las Infraestructuras de Puerto Rico (PRIIA, por sus siglas en inglés):
 - Identificar y caracterizar las dependencias de energía eléctrica de otras infraestructuras críticas mediante un análisis de red de sus conexiones de áreas de servicio superpuestas y dependientes.
 - Evaluar la criticidad de las subestaciones y las cargas (es decir, otras infraestructuras críticas) en todas las comunidades basándose en simulaciones de posibles fallos en cascada en los activos dependientes que podrían ampliar las consecuencias de la interrupción.
- Progreso en la ejecución del modelo PRIIA:
 - Completada la modelación de las áreas de servicio para la infraestructura crítica dependiente de la electricidad en todo Puerto Rico (es decir, todas las subestaciones de 38 kV, las torres de transmisión celular, las plantas de tratamiento de agua y las plantas de tratamiento de aguas residuales).
 - Desarrollado el conjunto de datos del Sistema de Información Geográfica (GIS, por siglas en inglés) y la visualización de las dependencias de las infraestructuras críticas para cada subestación de distribución.
 - Finalizar el conjunto de datos y el “widget” de visualización GIS para compartirlo en PR100 y con las partes interesadas locales.



Resultados de la modelación de las áreas de servicio en PRIIA (gráfica de Argonne)

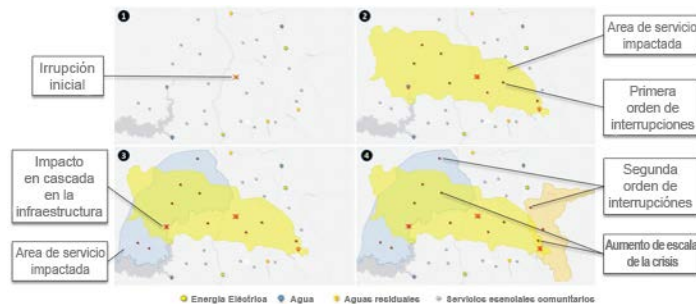


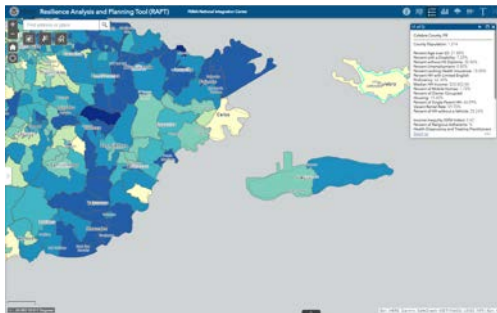
Ilustración teórica de un fallo eléctrico en cascada que afecta al servicio de agua y aguas residuales en PRIIA (gráfica de Argonne)



Resultado del fallo en cascada modelado en PRIIA (gráfica de Argonne)

Próximos pasos en la medición de la justicia energética

- Con el uso de la herramienta de evaluación de la resiliencia de la comunidad (RAPT, por sus siglas en inglés) y análisis de decisiones con criterios múltiples:
 - Recopilar los datos demográficos a nivel municipal y de tramos censales relacionados con la resiliencia general de la comunidad, así como la proximidad y la disponibilidad de los servicios esenciales de las comunidades
 - Aplicar los indicadores derivados de las estadísticas sociales y de los mejores indicadores de resiliencia comunitaria para determinar cómo las características subyacentes pueden influir en los problemas de justicia energética.
- Uso de la herramienta de análisis de conglomerado de nodos resilientes (ReNCAT, por sus siglas en inglés):
 - Cuantificar la capacidad de los grupos de bloques censales para acceder a los servicios críticos (combustible, alimentos, otros servicios) tanto históricamente como en los escenarios futuros
 - Evaluar la capacidad relativa de las poblaciones para acceder a dichos servicios durante las catástrofes, teniendo en cuenta los perfiles de riesgo de los peligros naturales que afectan a los sistemas energéticos.



Indicadores de resiliencia de la comunidad en RAPT (gráfica de Argonne)



Identificación de servicios esenciales de la comunidad en el RAPT (gráfica de Argonne)

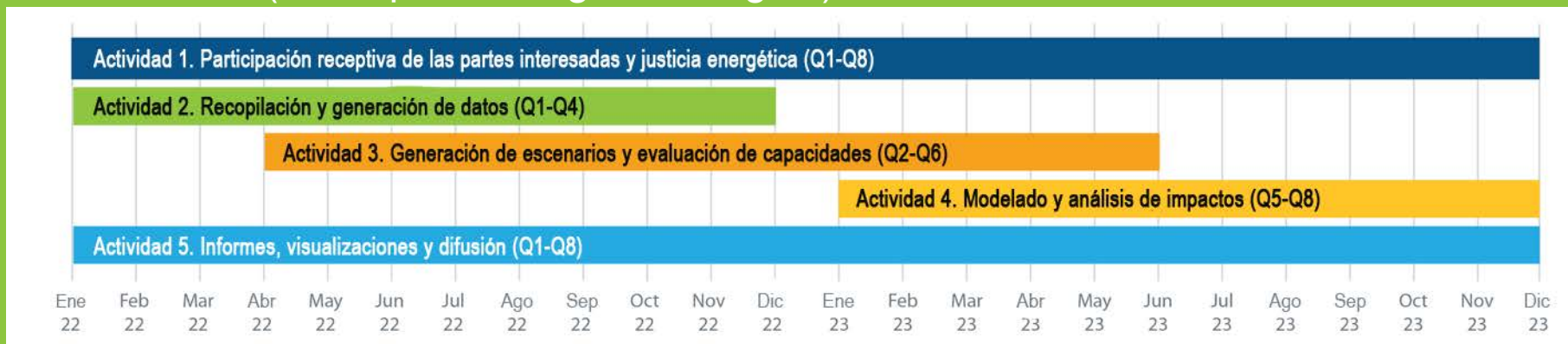


Análisis de la carga social en ReNCAT (gráfica de Sandia)

Actividad 2. Recopilación y generación de datos

Tarea 3. Evaluación del potencial de energía renovable

Tarea 4. Proyecciones de la demanda y adopción de recursos energéticos distribuidos (DER, por sus siglas en inglés)



TAREA 3: Evaluación del potencial de energía renovable



Laboratorio Líder: NREL

Laboratorios de Apoyo: ORNL, PNNL,
Sandia

Evaluación del recurso eólico

Desarrollo de conjuntos de datos de recursos eólicos de alta resolución

Visión general del desarrollo de datos del recurso eólico

Configuración del modelo WRF

Probar el WRF con diferentes físicas

Evaluar las velocidades del viento modeladas

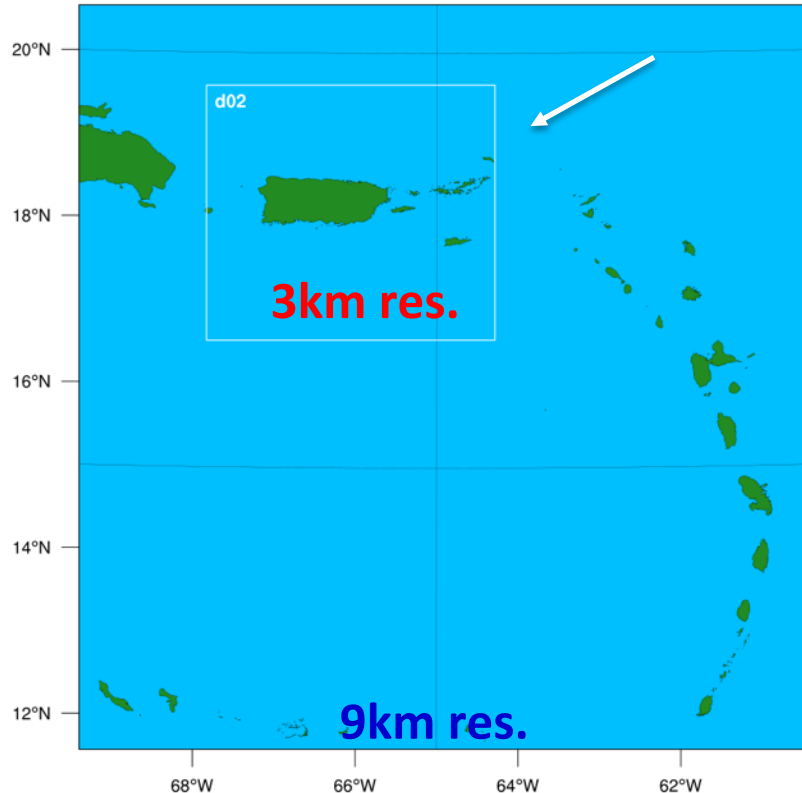
Seleccionar la configuración final del modelo

Producir 20 años de datos eólicos

- Modelación climática a escala reducida (WRF, en inglés), disponible públicamente, utilizado para desarrollar el recurso eólico.
- Probar varias opciones dentro de WRF para identificar la combinación de módulos más precisa a fin de generar datos de recursos eólicos
- Evaluar los datos de vientos modelados utilizando las observaciones.
- Determinar la configuración de WRF de mejor rendimiento a partir de la evaluación del modelo.
- Generar 20 años de datos (2001-2020) a partir de WRF y ponerlos a disposición del público a través del Conjunto de Datos Nacionales de Integración del Viento (WIND, por sus siglas en inglés).

Alcance del modelo WRF

Configuración de alcance de WPS



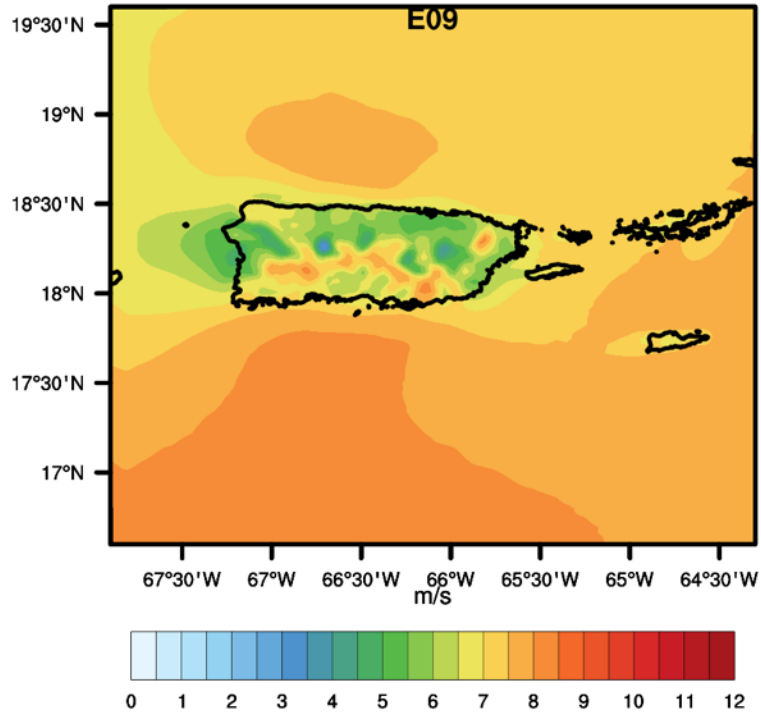
- Red dx: 9 km (exterior), 3 km (interior)
- Entradas del modelo: ERA5
- Intervalo de tiempo entre los datos de entrada: Cada hora
- Resolución cronológica de la salida: 5 minutos
- Actualización de la temperatura de la superficie marítima (SST, por sus siglas en inglés): cada hora
- Intervalos de tiempo: 20 segundos
- Anidamiento en dos direcciones: Sí

- El alcance de **3 km** cubre la totalidad de Puerto Rico.
- El alcance de **9 km** cubre la totalidad de Puerto Rico con mayor amplitud para poder captar las tormentas tropicales.

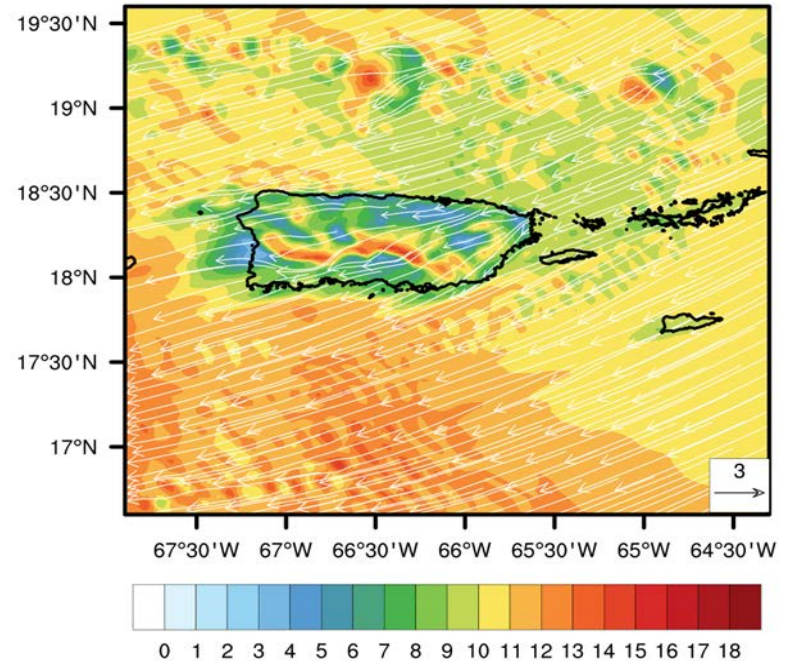
Cálculos utilizando Computación de Alta Capacidad suministrada por NREL

Recurso eólico en Puerto Rico

2019: velocidad media del viento en 1 año a 80m



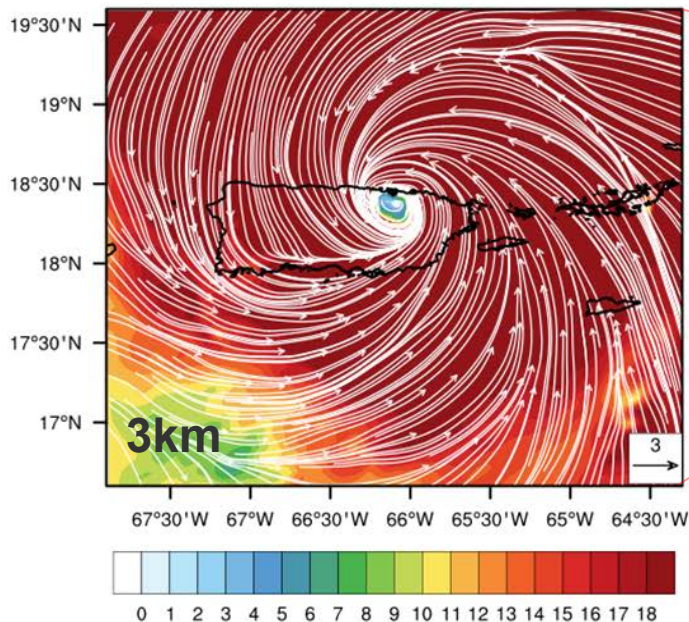
Velocidad del viento a 80m (m/s, 2019-01-01T00:00:00)



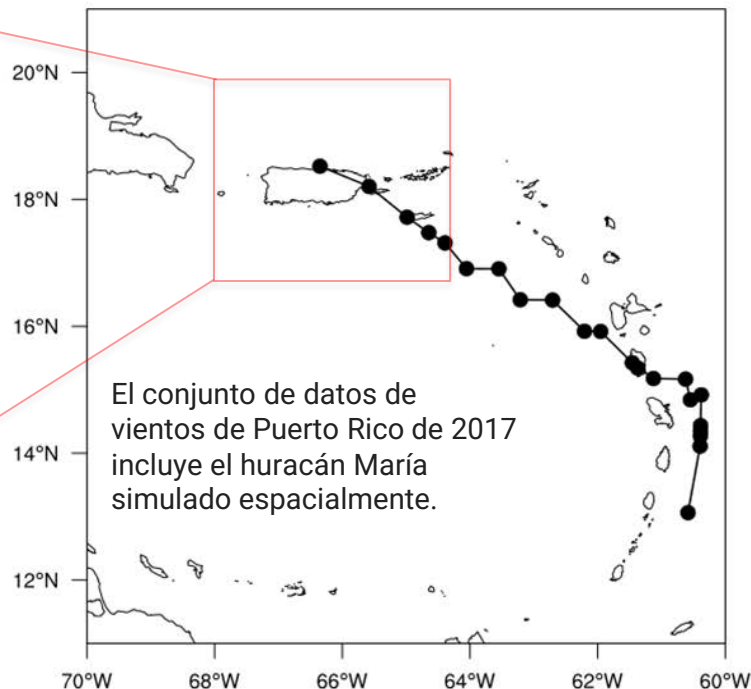
Se desarrollaron 20 años de datos eólicos de alta resolución marinos y terrestres.

Representación de clima severo

Velocidad del viento a 80m (m/s, 2017-09-20T10:00:00)



Trayectoria del Huracán María (desde un alcance de 9Km)



Gráficas suministradas por NREL

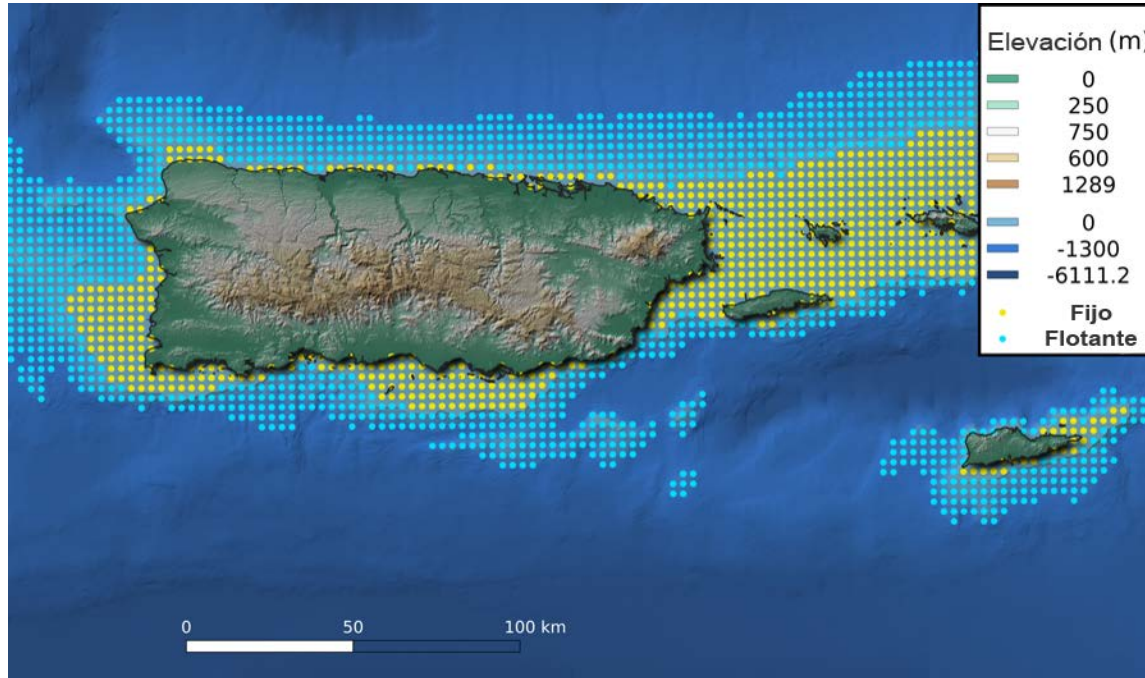
- Los fenómenos meteorológicos extremos suponen los mayores retos para la confiabilidad y la resiliencia del sistema eléctrico debido a sus múltiples impactos sobre los recursos de generación renovable, la demanda y las interrupciones del sistema eléctrico.
- A través de la investigación de los fenómenos meteorológicos extremos captados en los 20 años de datos eólicos, se espera que sea posible comprender la tendencia reciente del clima de Puerto Rico y su impacto en las inclemencias del tiempo.

Topografía



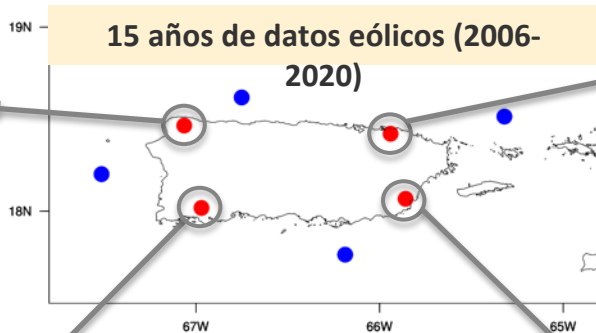
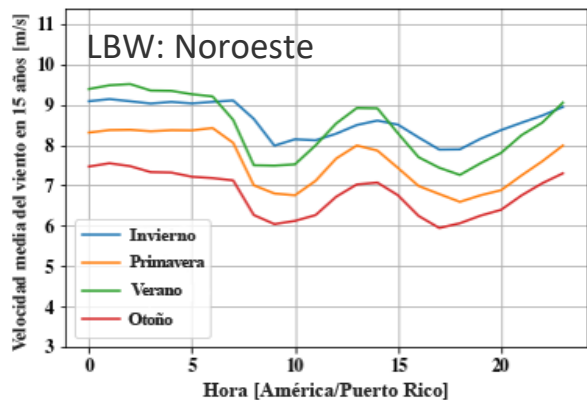
Terreno y profundidad del agua alrededor de Puerto Rico

Desarrollo de presunciones marinas: Eólica marina fija vs. eólica marina flotante

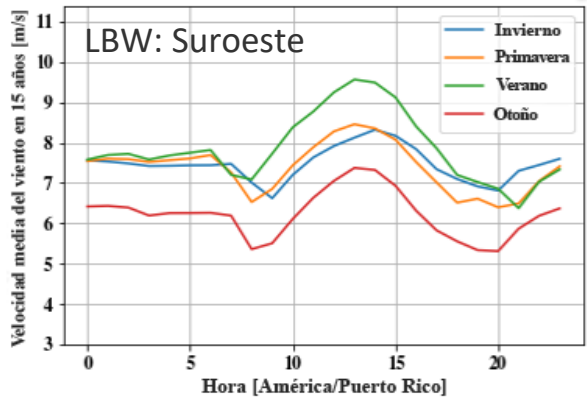
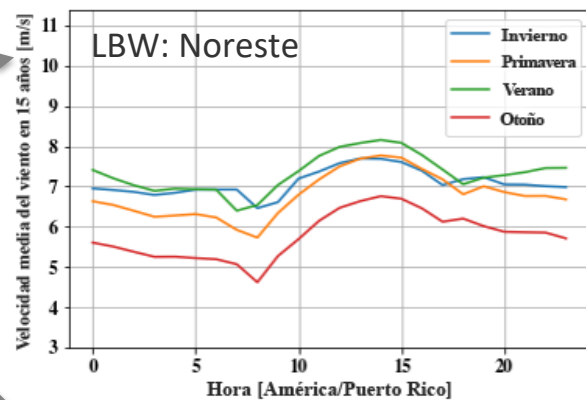


- Al modelar la energía eólica marina, asumimos que las cimentaciones de fondo fijo son rentables hasta los 60 m de profundidad de agua, basándonos en las tendencias recientes del mercado (puntos amarillos).
- Se presume que las subestructuras flotantes son rentables hasta los 1,300 m con las tecnologías flotantes actuales (puntos azules).

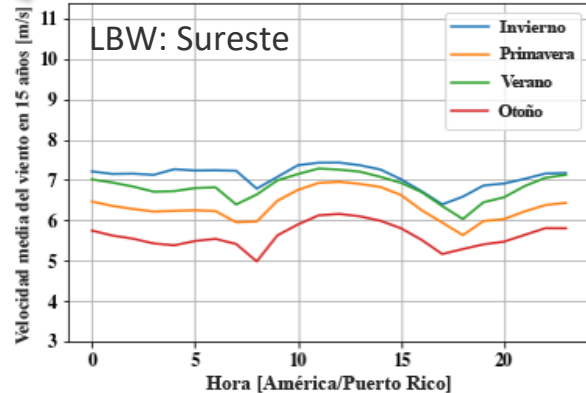
Análisis diurno de los datos del viento: Terrestre



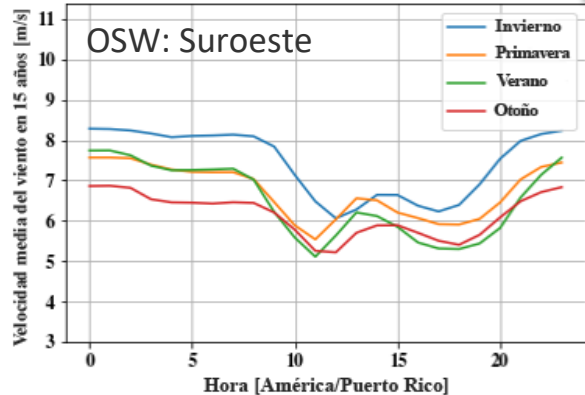
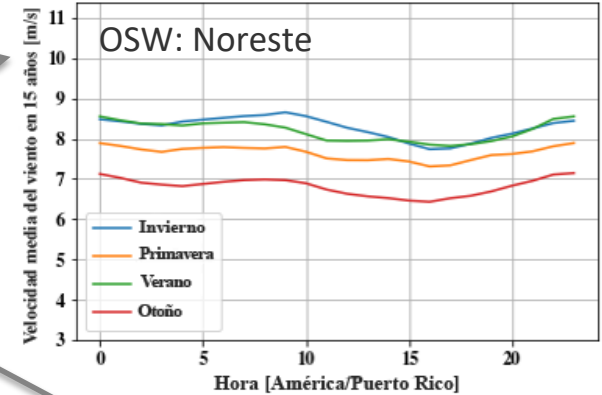
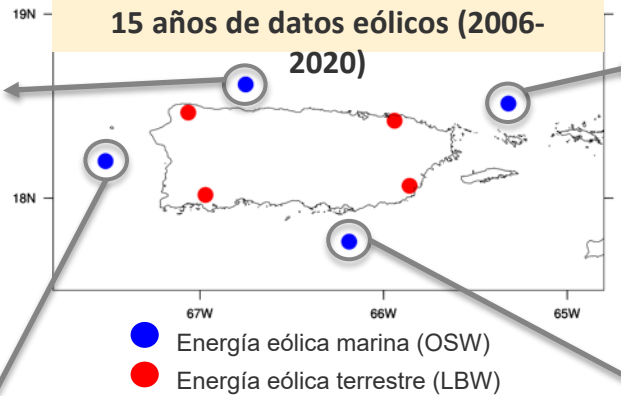
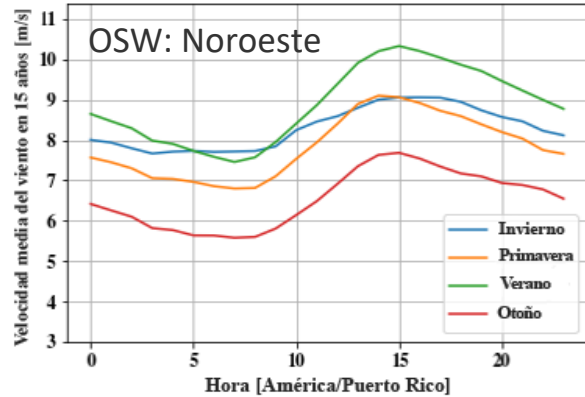
- Energía eólica marina (OSW, por sus siglas en inglés)
- Energía eólica terrestre (LBW, por sus siglas en inglés)



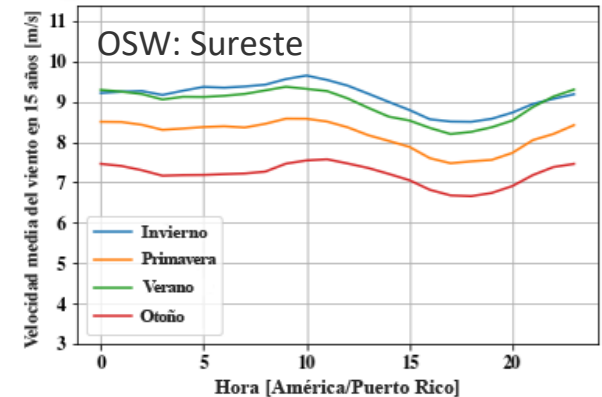
- Las velocidades estacionales del viento presentan patrones similares entre los cuatro lugares, con un aumento alrededor del mediodía (por ejemplo, debido a la fuerte brisa marina durante el día).
- La velocidad del viento es mayor en verano/invierno que en primavera/otoño.



Análisis diario de datos eólicos: Marina



- La zona noroeste muestra una elevada magnitud de viento durante el día. Una señal potencialmente buena para soportar una alta demanda de energía en verano.
- Las demás zonas muestran velocidades de viento más altas durante la noche. Complementariedad potencial entre la generación solar y la eólica.

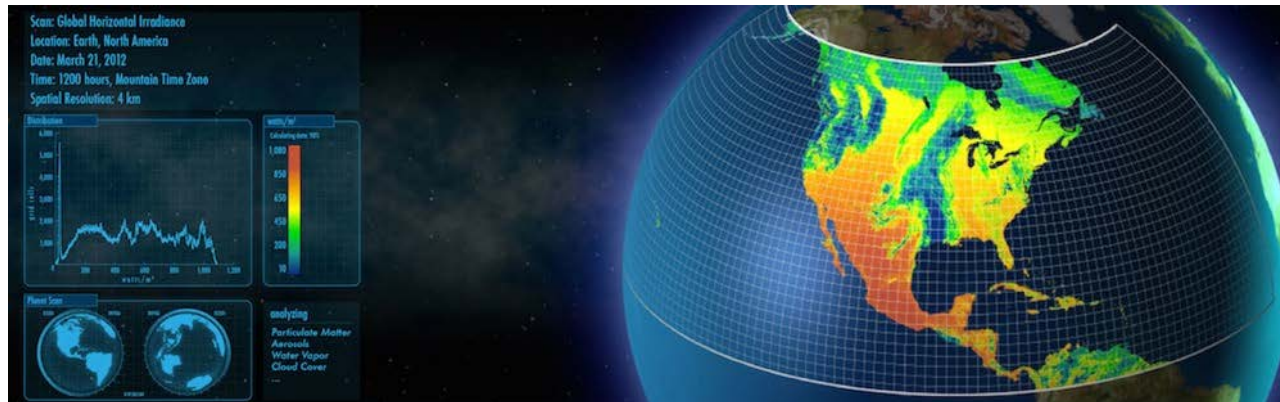


Evaluación del recurso solar

Desarrollo de conjuntos de datos de recursos solares de alta resolución

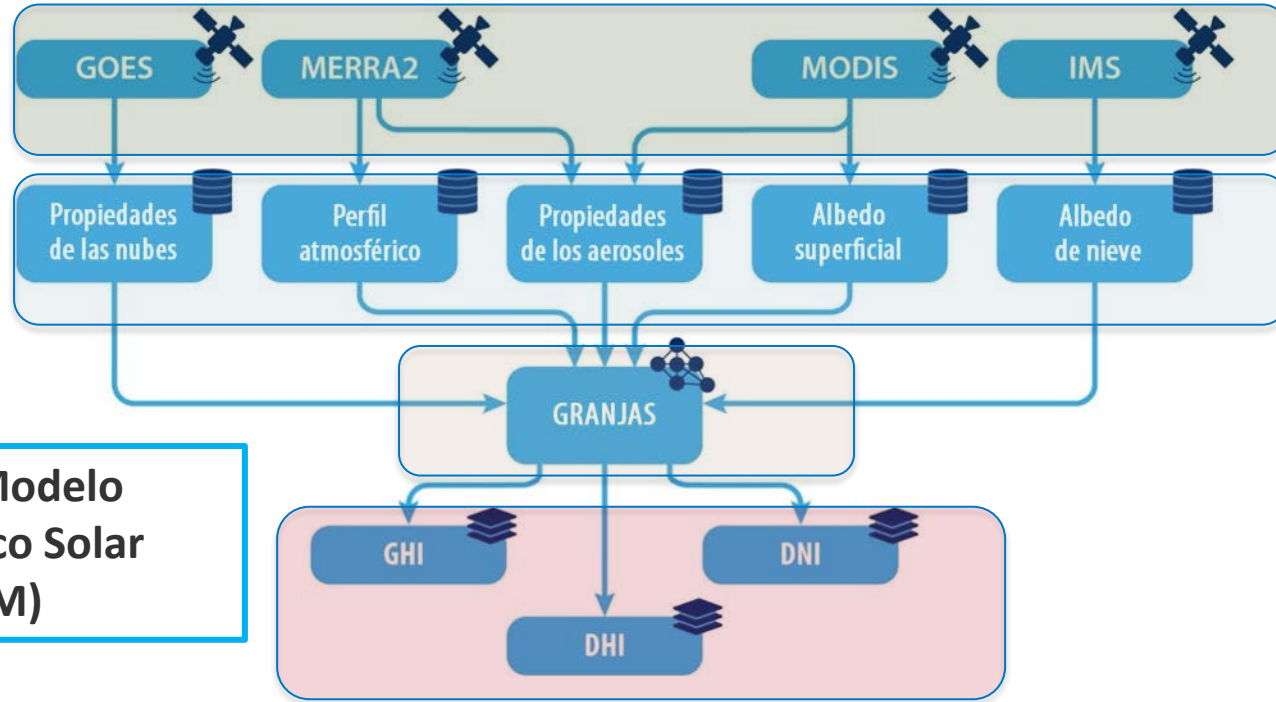
Visión general del desarrollo de datos del recurso solar

- La [Base de Datos Nacional de Radiación Solar](#) (NSRDB, por sus siglas en inglés) proporciona una base de datos completa en serie, sobre la irradiación solar y la información meteorológica en todo Estados Unidos.
- Desarrollada con el financiamiento del Programa Solar de la oficina de Eficiencia de Energía y Energía Renovable (EERE, por sus siglas en inglés), NSRDB proporciona 20 años (+ Año Meteorológico Típico) de datos cada media hora, con una resolución espacial de 4x4 km.
- Los datos de NSRDB son la fuente de recursos solares y datos auxiliares para la modelación solar de PR100.
- La evaluación exhaustiva con carácter anual garantiza la disponibilidad de datos de alta calidad sobre el recurso solar para la modelación solar fotovoltaica (PV, por sus siglas en inglés) distribuida y centralizada.



Mapa suministrado por NREL, [Base de Datos Nacional de Radiación Solar](#)

NSRDB: Desde el satélite hasta el recurso solar



El Modelo Físico Solar (PSM)

Datos de satélites y modelos operativos

Productos intermedios para la entrada en el modelo solar

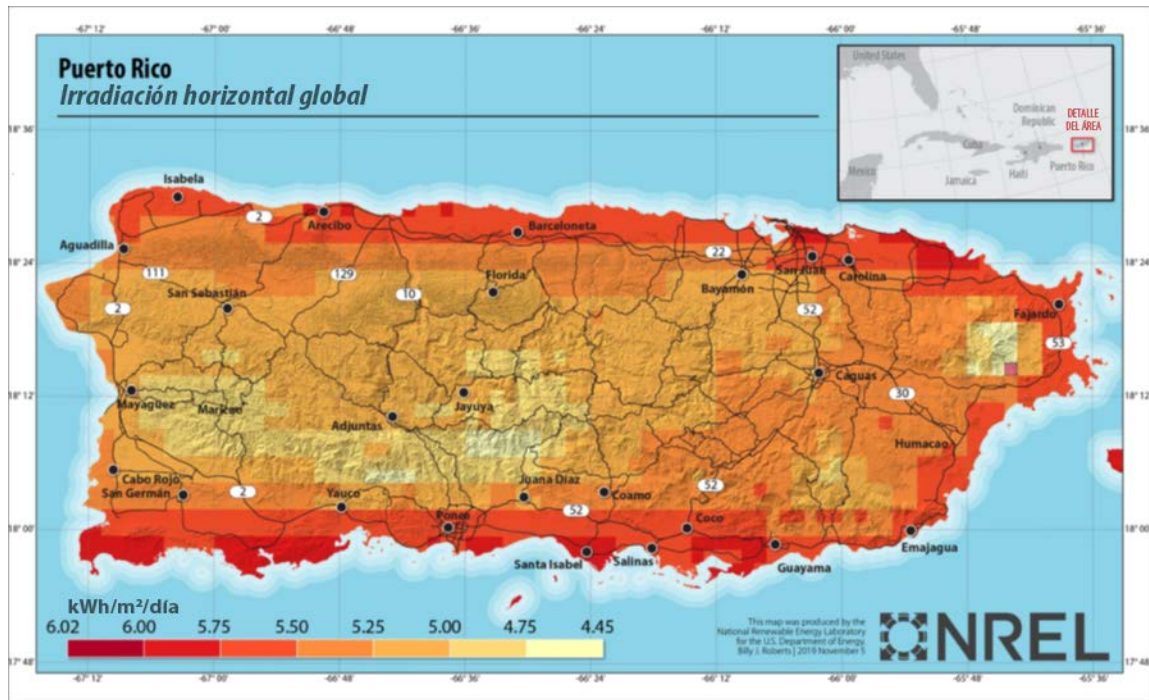
Productos intermedios para la entrada en el modelo solar

Productos de radiación solar:

- Irradiancia horizontal global
- Irradiancia directa normal
- Irradiancia horizontal difusa

NSRDB utiliza los datos de los satélites GOES de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA, por sus siglas en inglés) y calcula la radiación solar en la superficie para utilizarla en la modelación solar.

Características del recurso solar

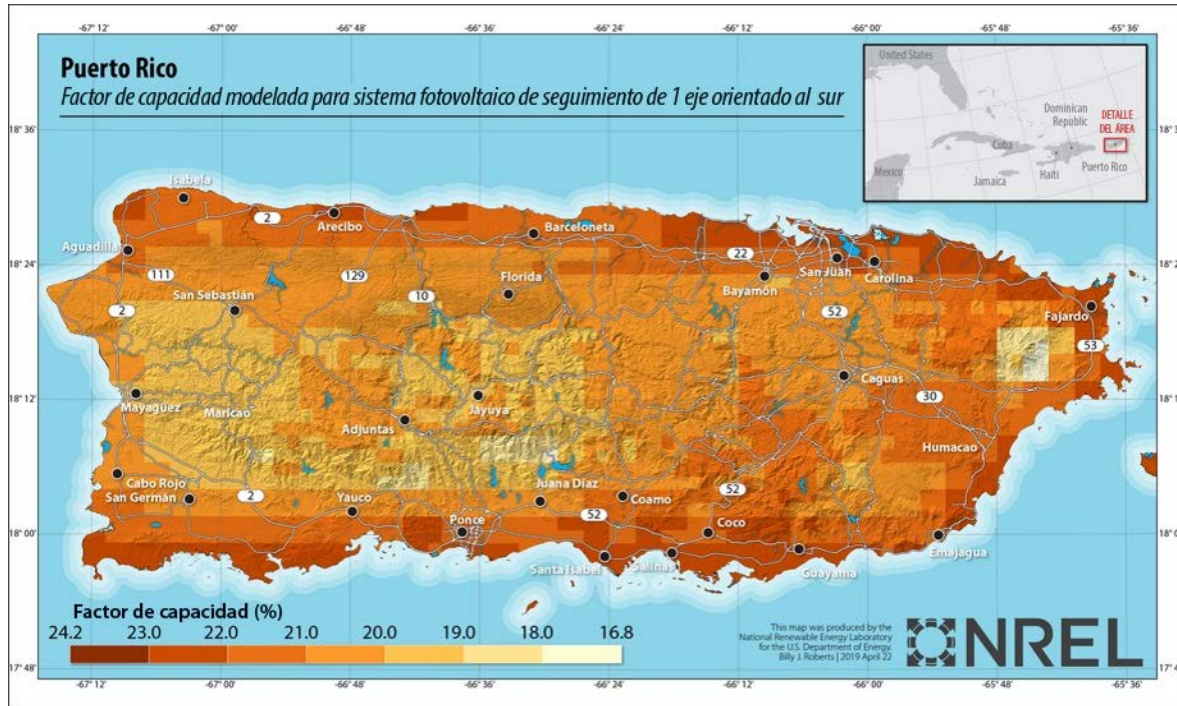


Resolución horizontal global (GHI) promedio diario para 1998-2017

Se están añadiendo datos adicionales de 2018-2020 y se están realizando nuevos análisis.

La radiación solar promedio diaria durante 20 años muestra que las zonas costeras alrededor de Puerto Rico tienen la mayor radiación y son favorables para el desarrollo solar.

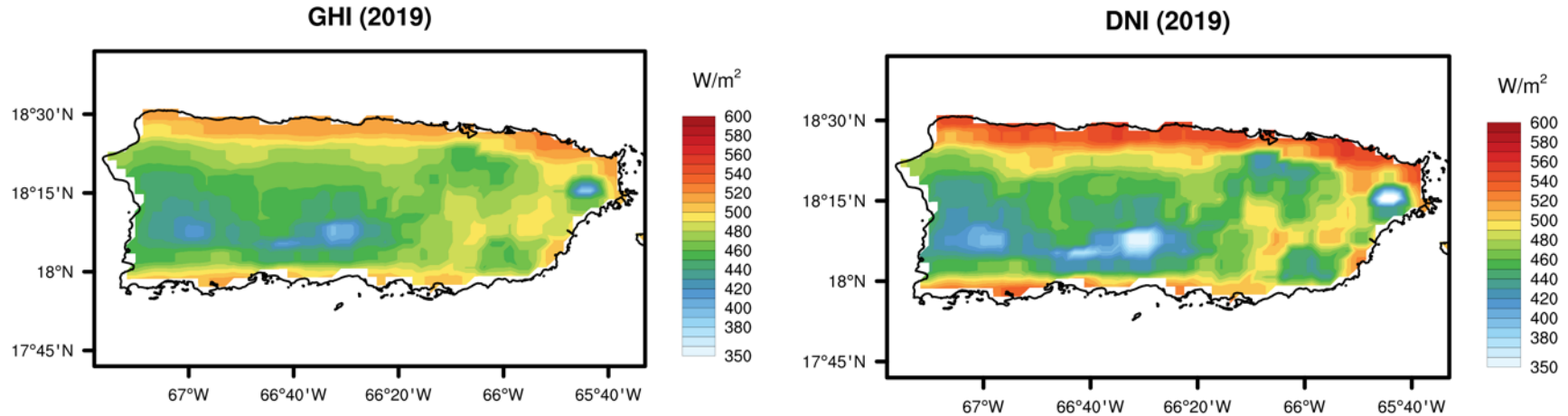
Factor de capacidad modelado



Factor de capacidad a escala de servicios públicos para sistemas fotovoltaicos (PV) de seguimiento de 1 eje orientados al sur

Los elevados factores de capacidad, del 20% o más, en todo Puerto Rico demuestran la conveniencia del desarrollo solar en toda la isla.

Recurso solar en Puerto Rico



Se están añadiendo conjuntos de datos solares para 2018-2020. La irradiación global horizontal (GHI, por sus siglas en inglés) y la irradiación directa normal (DNI, por sus siglas en inglés) promedio para 2019 muestran que la mayor parte de la isla, incluidas las regiones costeras, tienen un alto recurso solar.

Evaluación de la energía solar en los techos

Ahorro potencial de energía solar y fotovoltaica en los techos de Puerto Rico con ingresos bajos a moderados (2020) de NREL:

- Se han procesado escaneos de detección y alcance de luz (LiDAR) del 96% del inventario de edificios de Puerto Rico
- Se compararon los datos LiDAR con las tablas demográficas del Censo que contienen el recuento de hogares por ingresos, tenencia y tipo de edificio
- Se utilizó un modelo estadístico entrenado en los tramos de LiDAR para imputar las características del inventario de edificios (área, orientación, sombreado, etc.) para el 4% del inventario de edificios sin suficientes datos LiDAR
- Se simuló la generación solar para cada plano del techo utilizando la calculadora web PVWATTS de NREL y se agregaron a nivel de zona y de municipio



Evaluación de la energía solar en los techos

Presunciones de idoneidad de los techos

Características físicas del techo	Descripción
Sombra	Se midió la sombra durante cuatro estaciones y se requirió un promedio de 80% de superficie sin sombra
Acimut	Todos los acimuts posibles
Inclinación	Inclinación promedio de la superficie ≤ 60 grados
Área mínima	$\geq 1.62 \text{ m}^2$ (superficie necesaria para un solo panel solar)

Presunciones de rendimiento Fotovoltaico (PV, por sus siglas en inglés)

Características del sistema PV	Valor para techos planos	Valor para techos inclinados
Inclinación	15 grados	Inclinación del plano
Relación entre la superficie del módulo y la superficie adecuada del techo	0.70	0.98
Acimut	180 grados (orientado al sur)	Punto medio de la clase de acimut
Densidad de potencia del módulo	183 W/m ²	
Pérdidas totales del sistema	Varía (valores predeterminados de la matriz de contabilidad social + sombreado % de la superficie individual)	
Eficiencia del inversor	96%	
Coeficiente entre corriente continua (DC, por sus siglas en inglés) a corriente alterna (AC, por sus siglas en inglés)	1.2	

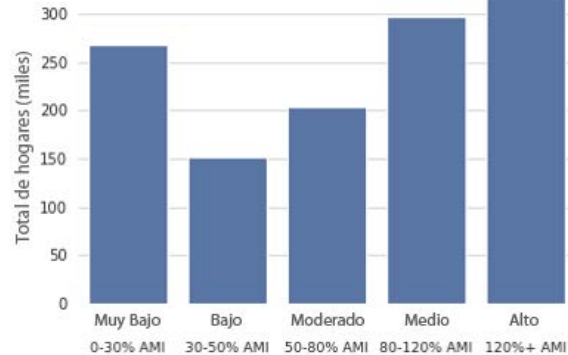
Potencial solar residencial de techos por municipio

El recurso solar distribuido supera los 20 GW de potencial técnico de capacidad.

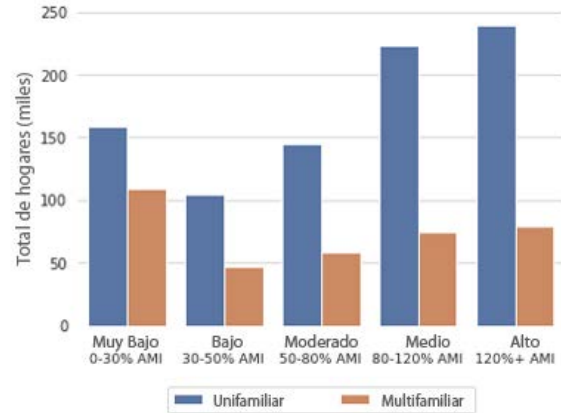


Estadísticas de los hogares con ingresos bajos a moderados (LMI, por sus siglas en inglés)

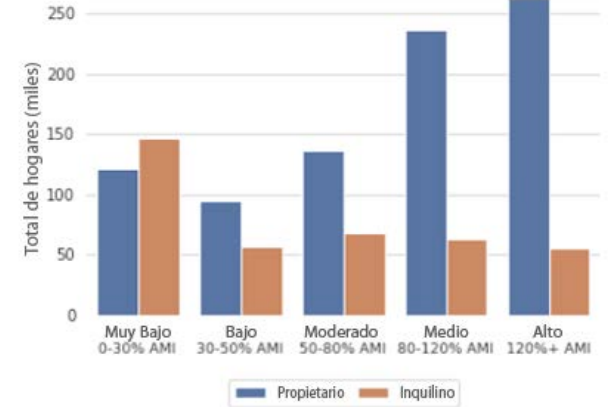
Cantidad de hogares por ingresos



Cantidad de hogares por ingreso y tipo edificio



Cantidad de hogares por ingresos-tenencia



- El **50%** de la población de Puerto Rico se considera LMI (en comparación con el 42.6% de los 50 estados de Estados Unidos y el Distrito de Columbia, en adelante los 50 estados).
- La energía PV en los techos de los edificios LMI de Puerto Rico consta de **9.8 GW** de capacidad y **11.9 TWh** de potencial de generación, lo que supone aproximadamente el **48%** del potencial residencial total de Puerto Rico.

Potencial de la energía solar PV en los techos de Puerto Rico

El potencial solar residencial anual es de 24.6 TWh, y casi el 48% (11.9 TWh) del potencial solar residencial anual total procede de los edificios LMI.

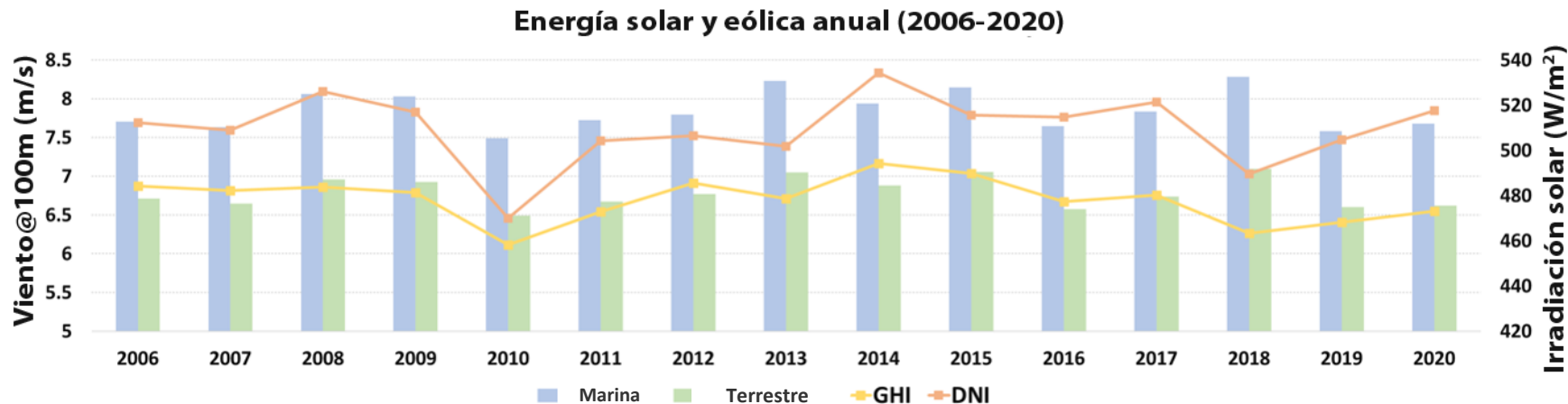
Potencial técnico de los techos PV residenciales por grupo de ingreso

Grupo de ingresos	Hogares (miles)	Edificios adecuados (miles)	Superficie del módulo adecuado (millones de m2)	Capacidad potencial (GW _{DC})	Potencial de generación anual (TWh/año)
Muy bajo (0-30% AMI)	267.8	203.6	21.9	4.0	4.8
Bajo (30-50% AMI)	151.2	129.1	13.5	2.5	3.0
Moderado (50-80% AMI)	203.3	177.4	18.6	3.4	4.1
Medio (80-120% AMI)	297.8	267.7	28.2	5.1	6.2
Alto (>120% AMI)	317.1	279.5	29.6	5.4	6.5
Todos los edificios LMI	622.3	510.1	54.0	9.8	11.9
Todos los edificios residenciales	1,237.2	1,057.3	111.8	20.4	24.6

Recurso eólico y solar

Resultados iniciales y correlación

Comparación anual de los recursos eólicos y solares



- Se analizaron los recursos solares y eólicos anuales y su variabilidad utilizando los conjuntos de datos basados en NSRDB y en la Predicción Meteorológica Numérica (NWP, por sus siglas en inglés) para Puerto Rico (desviación estándar para 15 de los 20 años: marinos: 0.24m/s, terrestres: 0.19m/s, GHI: 9.41W/m², DNI: 14.92W/m²).
- El año 2018 muestra el recurso eólico más abundante, y el año más soleado fue 2014.
- El año 2010 muestra los recursos eólicos/solares más bajos en comparación con los demás años.
- Como era de esperarse, la marina incluye más recursos eólicos en comparación con la terrestre.

Resumen del potencial de recursos eólicos y solares

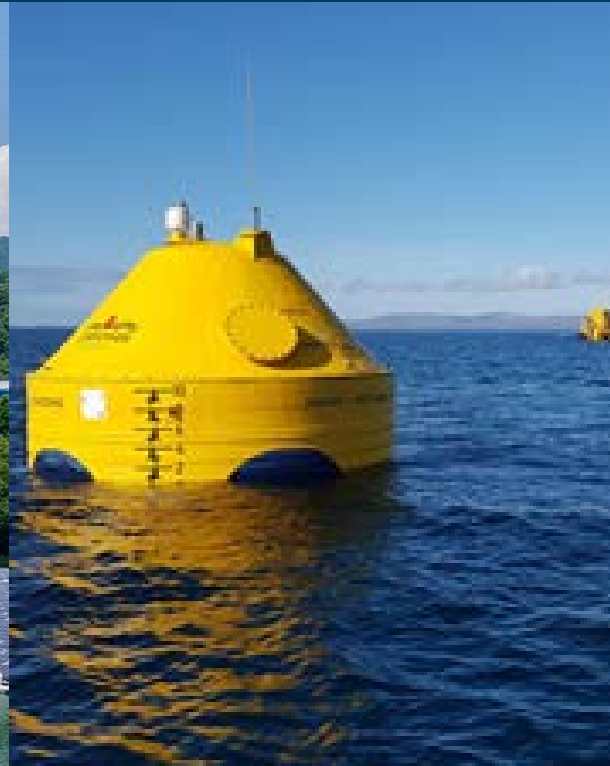
- Se identificó la configuración del modelo WRF que mejor funciona para Puerto Rico a partir de 15 configuraciones que utilizan las observaciones del viento.
- Se recopilaron 20 años de datos de recursos eólicos terrestres y marinos con una resolución de 15 minutos y 3 km para cubrir el periodo 2001-2020.
- Los datos de recursos solares y auxiliares para 2001-2020 se adquirieron de NSRDB.

Aspectos clave

- Cierta complementariedad entre la energía solar y la eólica
- Los fenómenos meteorológicos extremos, como el huracán María, están bien representados en los datos de recursos eólicos.
- Las velocidades estacionales del viento terrestre presentan patrones similares entre los cuatro lugares, con un aumento alrededor del mediodía.
- La velocidad del viento terrestre es mayor en verano/invierno que en primavera/otoño.
- El viento terrestre en el noroeste tiene una magnitud elevada durante el día y puede soportar una demanda elevada en verano.
- Otros lugares muestran velocidades de viento más altas durante la noche con un recurso solar y eólico complementario.
- Las zonas costeras de Puerto Rico tienen la mayor radiación solar y son favorables para el desarrollo solar.
- Los elevados factores de capacidad del 20% y superior en todo Puerto Rico demuestran la favorabilidad del desarrollo solar.
- El 2018 muestra el recurso eólico más abundante y 2014 fue el año más soleado.
- El año 2010 muestra los recursos eólicos/solares más bajos en comparación con los demás años.
- Los sitios marinos tienen un mayor recurso eólico en comparación con los terrestres.
- El 2019 es un año promedio tanto para la energía eólica como para la solar y se está utilizando para la modelación del PR100.

Evaluación adicional del
potencial de recursos en
progreso o bajo consideración

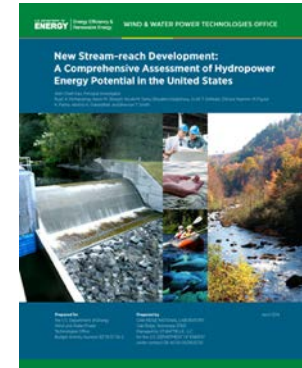
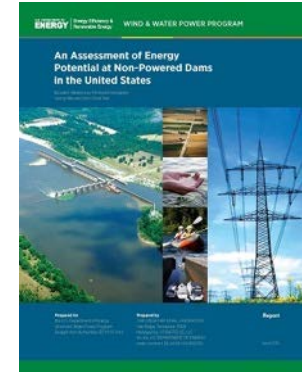
Evaluaciones del potencial de recursos, en progreso o bajo consideración



A lo largo del primer y segundo año del estudio, el equipo evaluará la energía hidroeléctrica y el almacenamiento hidroeléctrico por bombeo, así como la energía marina; es posible que aborde otras tecnologías como la energía solar PV flotante, la bioenergía y las conversiones de tecnología térmica oceánica.

Evaluación de los recursos hidroeléctricos

- Proporcionar estimados de la nueva capacidad hidroeléctrica, la energía y el costo para:
 - Mejora/ampliación de la flota hidroeléctrica existente
 - Desarrollo de represas sin energía
 - Alcance de nuevos cauces y conductos (por determinar)
- Proporcionar un análisis de los caudales diarios de 1950 a 2014 para apoyar la evaluación de la disponibilidad de agua, las curvas de duración de los caudales y otras aplicaciones de los recursos hídricos
- Proporcionar curvas de suministro para modelos de ampliación de capacidad y energía para proyectar el crecimiento hidroeléctrico en Puerto Rico



Ampliar las evaluaciones de los recursos hidroeléctricos a nivel nacional para incluir a Puerto Rico

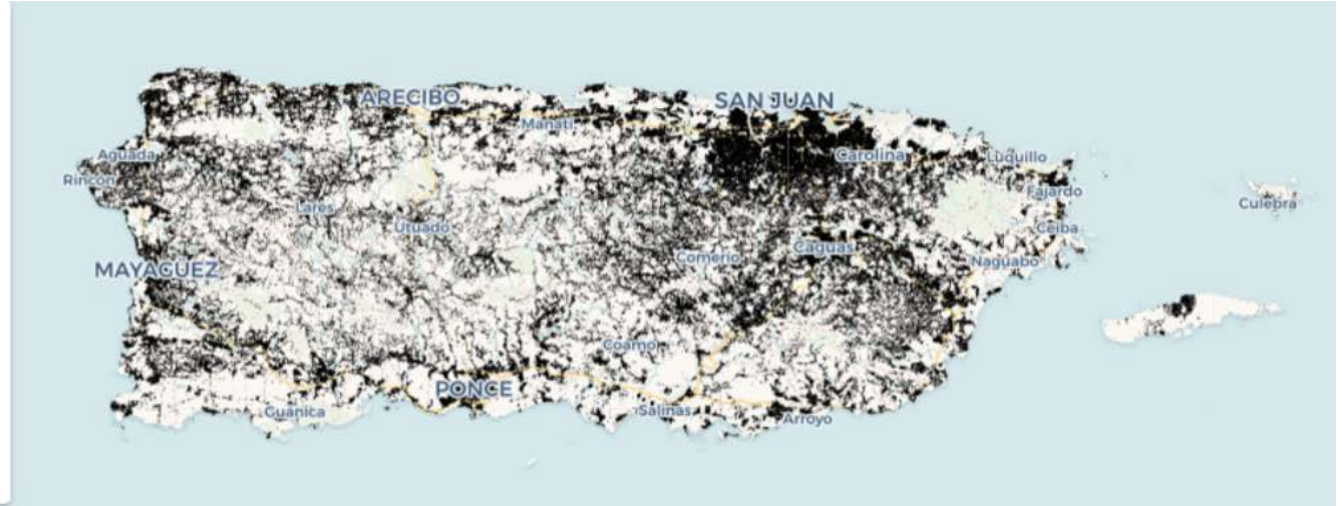
Exclusiones terrestres

Resumen de las exclusiones eólicas y solares

- Las siguientes láminas presentan una serie de posibles exclusiones identificadas hasta la fecha para la energía eólica, y fuentes de datos para energía solar que reflejan las aportaciones realizadas por los miembros del Grupo Asesor.
- Las exclusiones geográficas son áreas que se han determinado como excluidas del desarrollo potencial de energías renovables a nivel de servicios públicos.
- El uso del terreno y las posibles exclusiones ha sido un tema de interés para el Grupo Asesor, que seguiremos explorando.
- Se están considerando las capas de exclusión terrestre, que incluyen el terreno, las zonas protegidas, los cuerpos de agua, las carreteras y las construcciones, etc.
- Las capas de exclusión marina incluyen las zonas de municiones sin explotar, las áreas protegidas, las zonas de peligro y las áreas de basura marina.
- El viento marino puede verse limitado debido al rápido aumento de la profundidad del océano cerca de la costa.

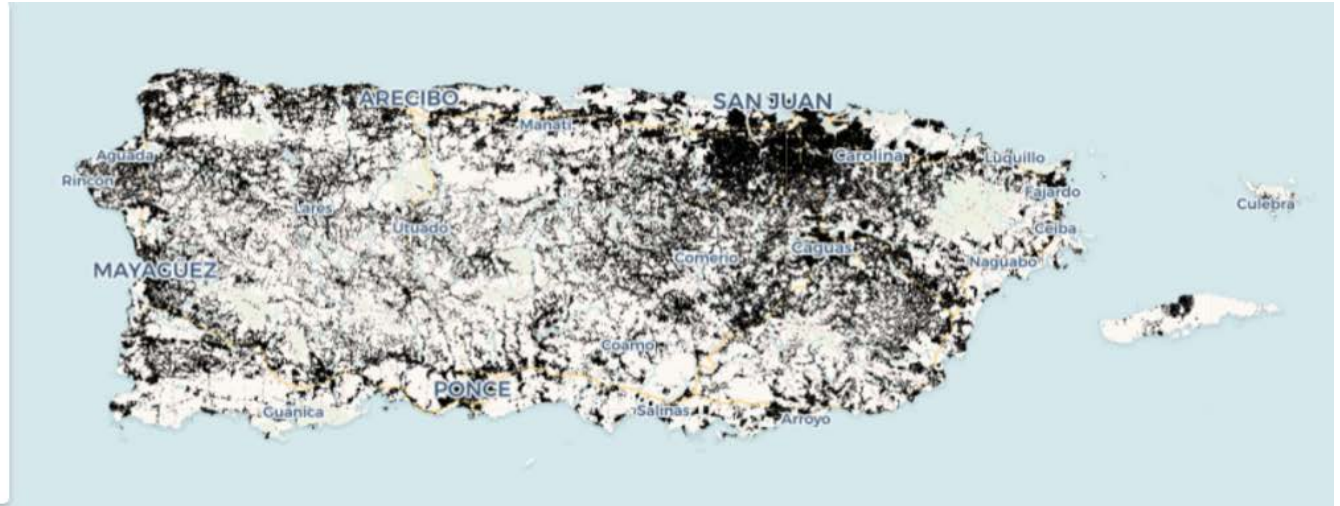
Exclusiones terrestres: Ubicaciones de los edificios

- Capacidad
- HAPC
- Áreas Protegidas
- Inclinación
- Agua
- Transmisión
- Edificios
- Pistas de Aterrizaje
- Aeropuertos
- Carreteras



Exclusiones terrestres: Carreteras

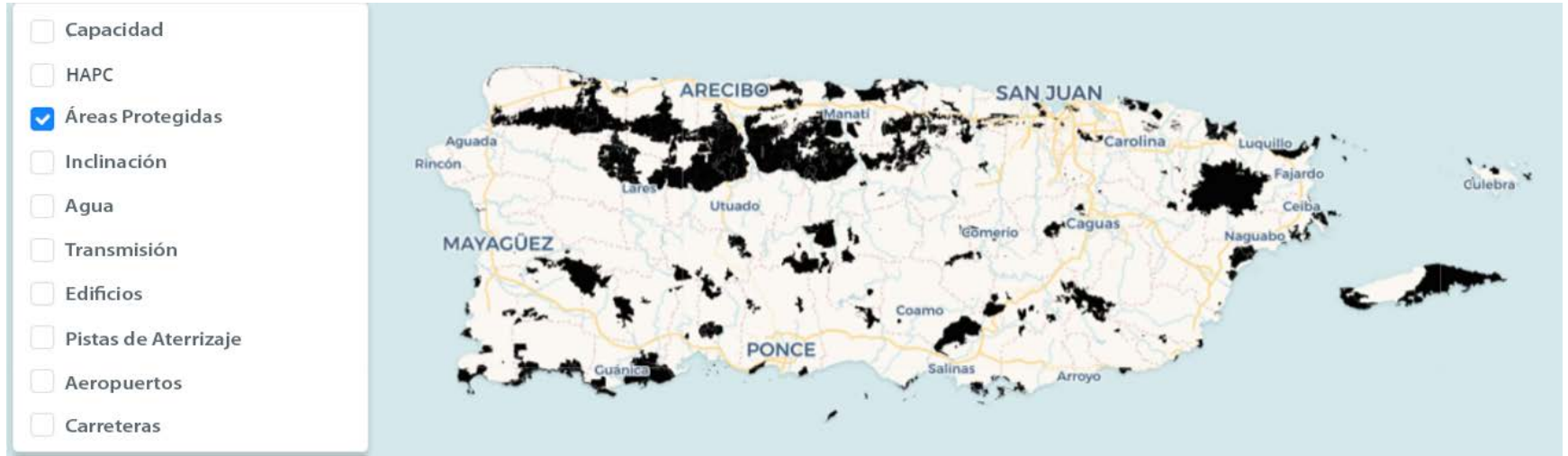
- Capacidad
- HAPC
- Áreas Protegidas
- Inclinación
- Agua
- Transmisión
- Edificios
- Pistas de Aterrizaje
- Aeropuertos
- Carreteras



Exclusiones terrestres: Cuerpos de agua



Exclusiones de tierras: Áreas protegidas



Equipo de Acción para la Conservación de Áreas Protegidas de la Cooperativa del Paisaje del Caribe (PA-CAT, por sus siglas en inglés)

Exclusiones terrestres: Áreas con hábitats de mayor preocupación (HAPC, por sus siglas en inglés)



Las Áreas con hábitats de mayor preocupación son subconjuntos discretos del hábitat esencial de los peces que proporcionan funciones ecológicas extremadamente importantes o son especialmente vulnerables a la degradación.

Exclusiones marinas: Zonas de municiones sin explotar



Las zonas de municiones sin explotar son áreas que contienen armas explosivas que todavía suponen un riesgo de detonación.

Exclusiones marinas: Áreas protegidas, zonas de peligro, áreas de basura marina



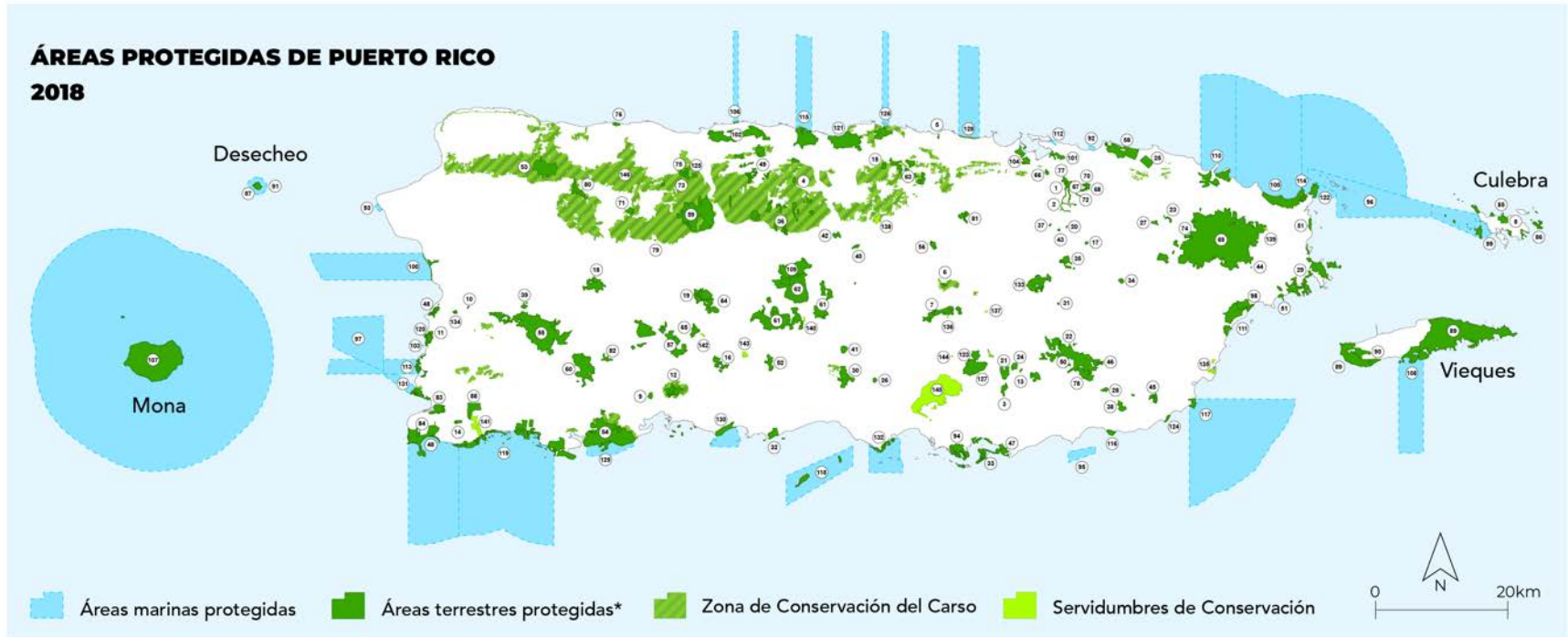
Las áreas de basura marina son zonas que contienen vertidos pasados o activos de sedimentos y residuos. Las zonas de peligro son áreas utilizadas para prácticas de tiro y otras operaciones peligrosas por las fuerzas armadas. Las zonas protegidas incluyen Áreas Marinas Protegidas (MPA, por sus siglas en inglés) y otras zonas protegidas marinas.

Todas las exclusiones potenciales de la energía eólica marina



El equipo sólo contempla el potencial teórico y factible. Otras exclusiones, como los hábitats bentónicos (datos proporcionados por Nature Conservancy), y las áreas cercanas a la costa dentro de la zona de visión de las comunidades costeras pueden limitar aún más el potencial. Este es un aspecto que se está debatiendo con las partes interesadas.

Fuentes de datos sugeridas para la consideración del uso del terreno de Puerto Rico y posibles exclusiones



Áreas protegidas excluidas para la energía eólica terrestre y marina.

Fuentes de datos sugeridas para la consideración del uso del terreno de Puerto Rico y posibles exclusiones

Plan de uso del terreno de Puerto Rico adoptado por la Junta de Planificación en 2015

Leyenda:

- ▭ Limite Municipal
- ▭ Red Vial
- ▭ Hidrografía

Clasificaciones:

Suelo Urbano

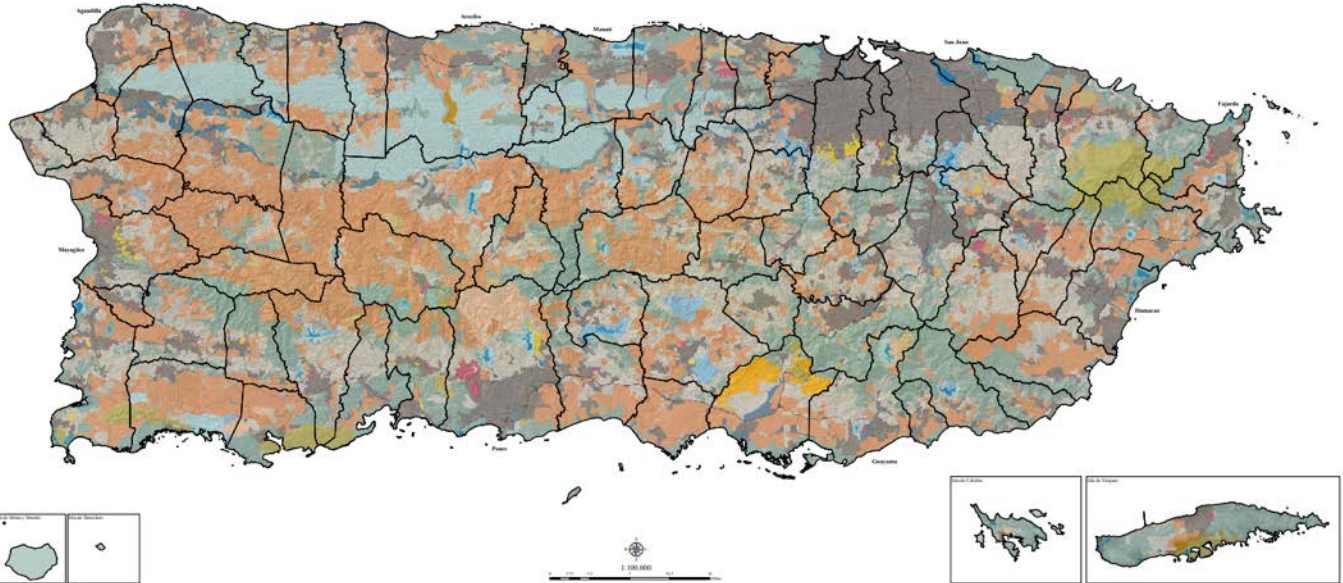
- SU - Suelo Urbano

Suelo Urbanizable

- SURP - Suelo Urbanizable Programado
- SURNP - Suelo Urbanizable No Programado

Suelo Rústico

- SRC - Suelo Rústico Común
- SREP - Suelo Rústico Especialmente Protegido
 - SREP-H - Suelo Rústico Especialmente Protegido-Hídrico
 - SREP-P - Suelo Rústico Especialmente Protegido-Paisaje
 - SREP-A - Suelo Rústico Especialmente Protegido-Agrícola
 - SREP-AE - Suelo Rústico Especialmente Protegido-Agrícola/Ecológico
 - SREP-AP - Suelo Rústico Especialmente Protegido-Agrícola/Paisaje
 - SREP-AH - Suelo Rústico Especialmente Protegido-Agrícola/Hídrico
 - SREP-E - Suelo Rústico Especialmente Protegido-Ecológico
 - SREP-EA - Suelo Rústico Especialmente Protegido-Ecológico/Agrícola
 - SREP-EH - Suelo Rústico Especialmente Protegido-Ecológico/Hídrico
 - SREP-EP - Suelo Rústico Especialmente Protegido-Ecológico/Paisaje



Fuentes: Junta de Planificación de Puerto Rico, noviembre, 2015. Plan de uso de la tierra de Puerto Rico. Datos subidos a Data Basin por la Cooperativa del Paisaje del Caribe. <https://databasin.org/datasets/7f1cc5f0feb40829e5845df556981fe/>; Junta de Planificación de Puerto Rico, 2015. Mapa de Clasificación de Tierras, Plan de Uso de Tierras de Puerto Rico. <https://jp.pr.gov/wp-content/uploads/2021/09/Mapa-PUT-Vigente.pdf>.



TAREA 4: Proyecciones de demanda y adopción DER

Laboratorio Líder: NREL

Laboratorios de Apoyo: ANL, LBNL, Sandia

Impacto en la demanda de electricidad



- ↔ El uso de la electricidad se basa en métodos anteriores con datos actualizados. (Nota: Tanto el “baseline” anterior como las previsiones actualizadas se encuentran en las diapositivas siguientes).
- ↓ El uso de la electricidad se reducirá gracias a las mejoras en la eficiencia energética.
- ↑ El uso de la electricidad aumentará gracias a la adopción modelada de vehículos eléctricos.
- ↓ El uso de la electricidad se reducirá mediante la adopción de la energía solar distribuida y el
- ↔ almacenamiento.

El resto del uso de la electricidad (neto) se cubrirá con energía solar a escala de servicios públicos.

Nota: Este estudio analiza las vías hacia el 100% de energía renovable, no la descarbonización total del sector energético.

“Baseline” de las proyecciones de demanda

Los “Baseline” de los componentes de la demanda cubiertos en esta sección son:

1. “Baseline” de proyecciones: Datos de entrada
2. “Baseline” de proyecciones: Ventas de electricidad
3. “Baseline” de proyecciones: Demanda de electricidad

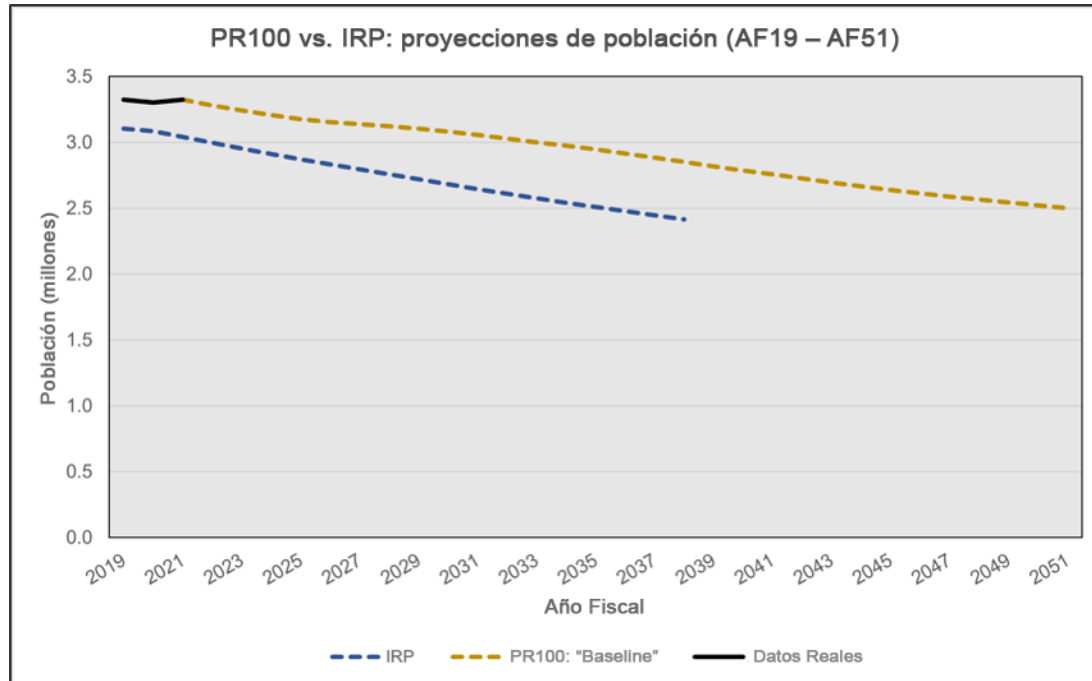
Nota: “Baseline” – de referencia

“Baseline” de proyecciones de demanda: Datos de entrada

Los datos de entrada representados en esta subsección informan el modelo de regresión lineal desarrollado por Siemens para el último Plan de Recursos Integrados (IRP):

- Población
- Producto interno bruto (GNP, por sus siglas en inglés) real
- Grados día de enfriamiento (CDD, por sus siglas en inglés)
- Empleo en el sector de manufactura

Proyecciones de población



IRP (AF 2019–AF 2038):

Junta de Supervisión y Administración Financiera de Puerto Rico (FOMB, por sus siglas en inglés) Informe “Plan fiscal para Puerto Rico” (junio 2018)

PR100: "Baseline" (AF 2022–AF 2051):

FOMB Informe “Plan fiscal para Puerto Rico” (enero 2022)

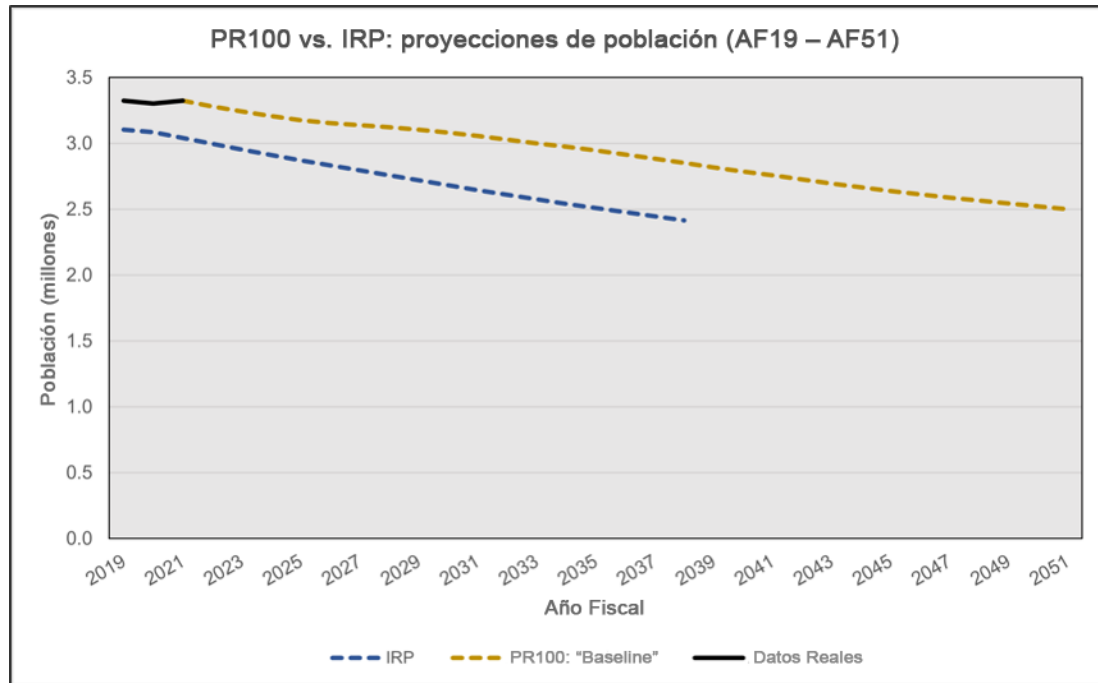
Datos reales (AF 2019–AF 2021):

FOMB Informe “Plan fiscal para Puerto Rico” (enero 2022)

Nota: AF – Año Fiscal

La proyección de población de IRP (Plan de Recursos Integrados) es inferior a los datos reales del AF 2019 - AF 2021 y es inferior a la proyección de PR100 del AF 2022 - AF 2038.

Proyecciones reales del producto interno bruto



IRP (AF 2019–AF 2038):

FOMB Informe “Plan fiscal para Puerto Rico” (junio 2018)

PR100: “Baseline” (AF 2022–AF 2051):

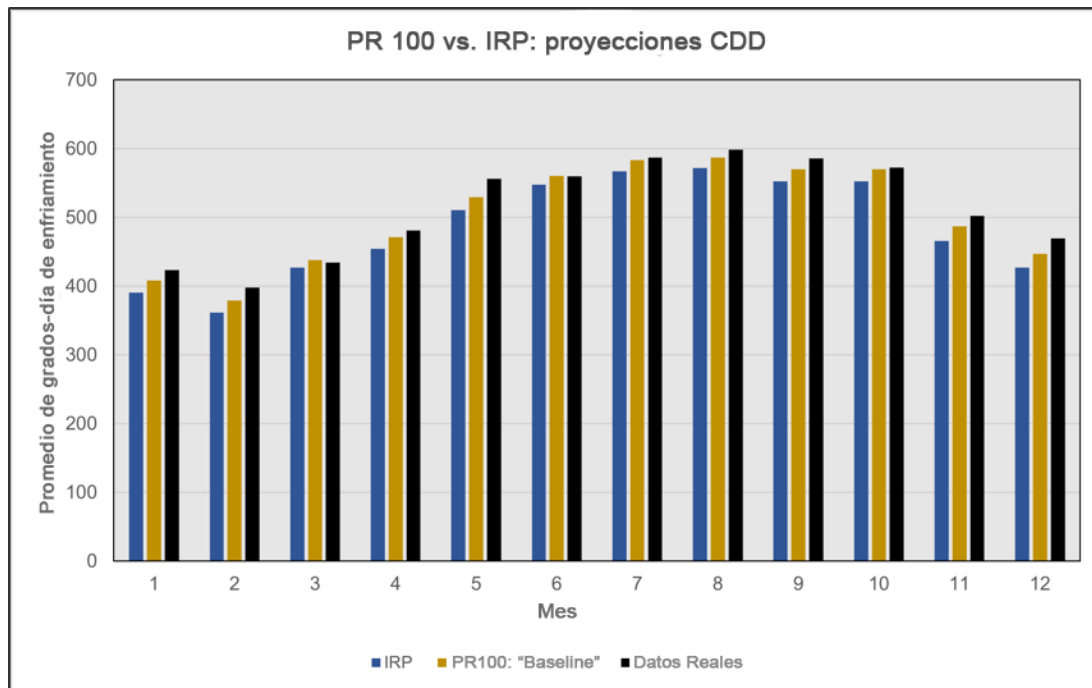
FOMB Informe “Plan fiscal para Puerto Rico” (enero 2022)

Datos reales (AF 2019–AF 2021):

FOMB Informe “Plan fiscal para Puerto Rico” (enero 2022)

La proyección del IRP del GNP real es inferior tanto a los datos reales del AF 2019 – AF 2021 como a la proyección del PR100 del AF 2022 - AF 2023 y del AF 2029 - AF 2034. Sin embargo, es superior a la proyección del PR100 del AF 2024 - AF 2028 y del AF 2035 - AF 2038.

Proyecciones CDD



Gráfica suministrada por NREL

Las proyecciones mensuales de CDD de IRP son inferiores a las proyecciones de PR100, y ambas proyecciones son inferiores a los datos reales del AF 2019 - AF 2021.

IRP (AF 2019–AF 2038):

Valores mensuales promedio de NOAA San Juan (2000–2016)

PR100: "Baseline" (AF 2022–AF 2051):

Valores mensuales promedio de NOAA San Juan (2005–2021)

- NOTA: Estos datos serán finalmente informados por las proyecciones climáticas de Argonne.

Datos reales (AF 2019 –AF 2021):

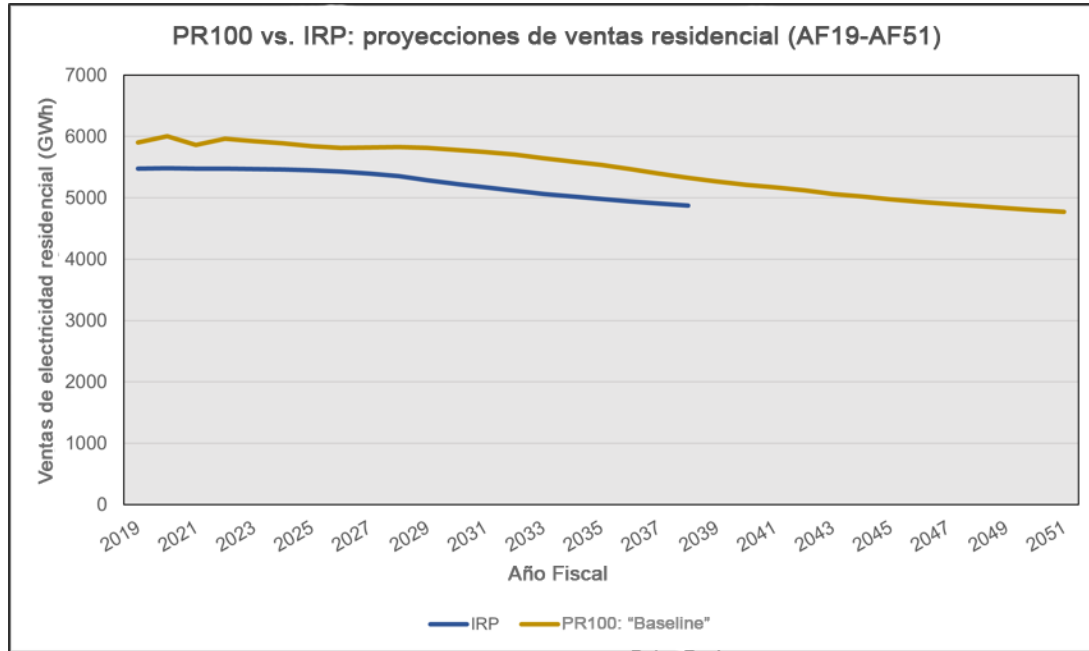
Valores mensuales promedio de NOAA San Juan (julio 2018– diciembre 2021)

“Baseline” de proyecciones de demanda: Ventas de electricidad

Las siguientes proyecciones de referencia no incluyen los impactos de la eficiencia energética ni de los vehículos eléctricos:

- Residencial
- Comercial
- Industrial
- Alumbrado público, agricultura y otros

Sector residencial



Gráfica suministrada por NREL

PR100: Nuevos datos de entrada
Población
GNP real
CDD

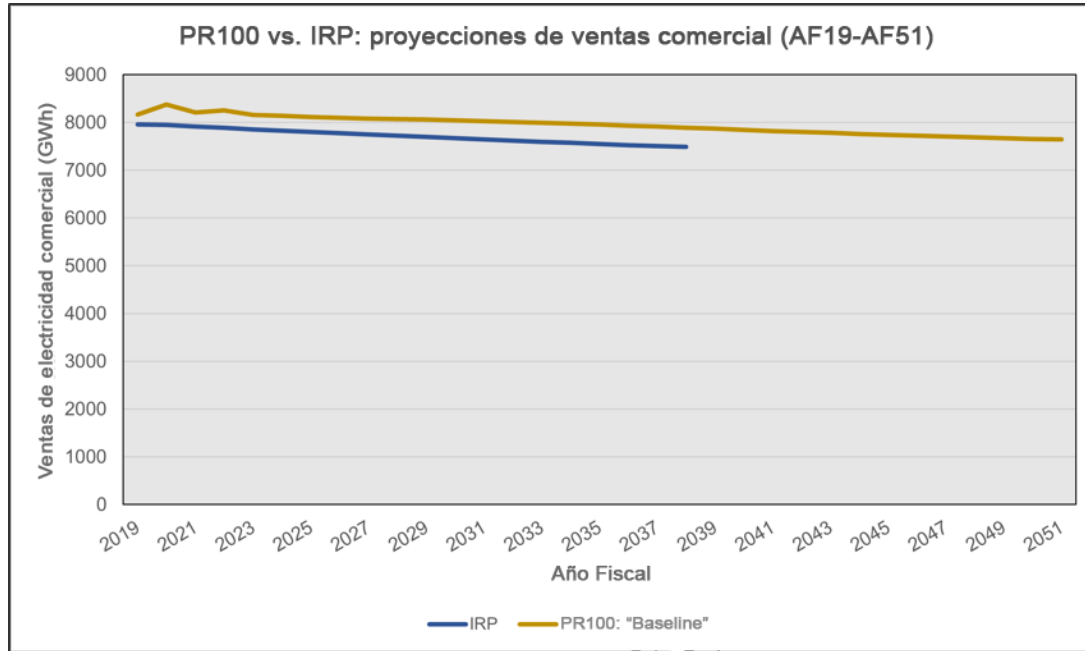
IRP: Anteriores datos de entrada
Población
GNP real
CDD

IRP: Ecuación de regresión lineal
Datos históricos de 2000–2017

PR100: Nueva proyección
Sector residencial
Venta de electricidad
(AF 2019–AF 2051)

IRP: Proyección anterior
Sector residencial
Venta de electricidad
(AF 2019–AF 2038)

Sector comercial



Gráfica suministrada por NREL

PR100: Nuevos datos
de entrada
Población
CDD

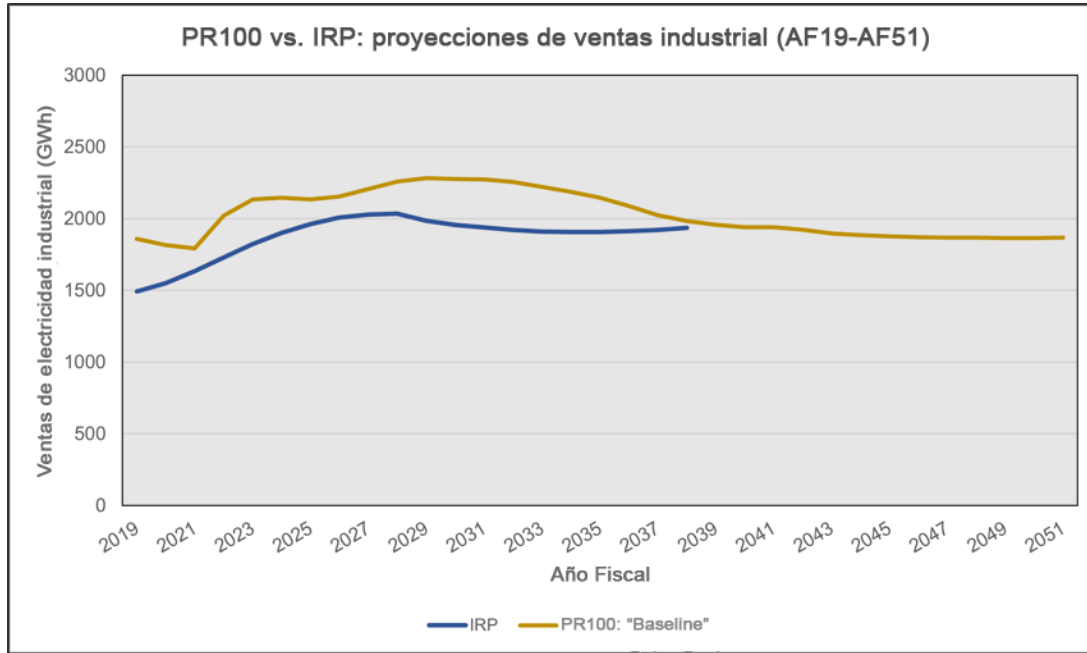
IRP: Anteriores datos
de entrada
Población
CDD

IRP: Ecuación de regresión lineal
Datos históricos de 2000–2017

PR100: Nueva
proyección
Ventas de electricidad
en el sector comercial
(AF 2019–AF 2051)

IRP: Proyección
anterior
Ventas de electricidad
en el sector comercial
(AF 2019–AF 2038)

Sector industrial



Gráfica suministrada por NREL

PR100: Nuevos datos de entrada
GNP real
CDD
Maquinaria de manufactura

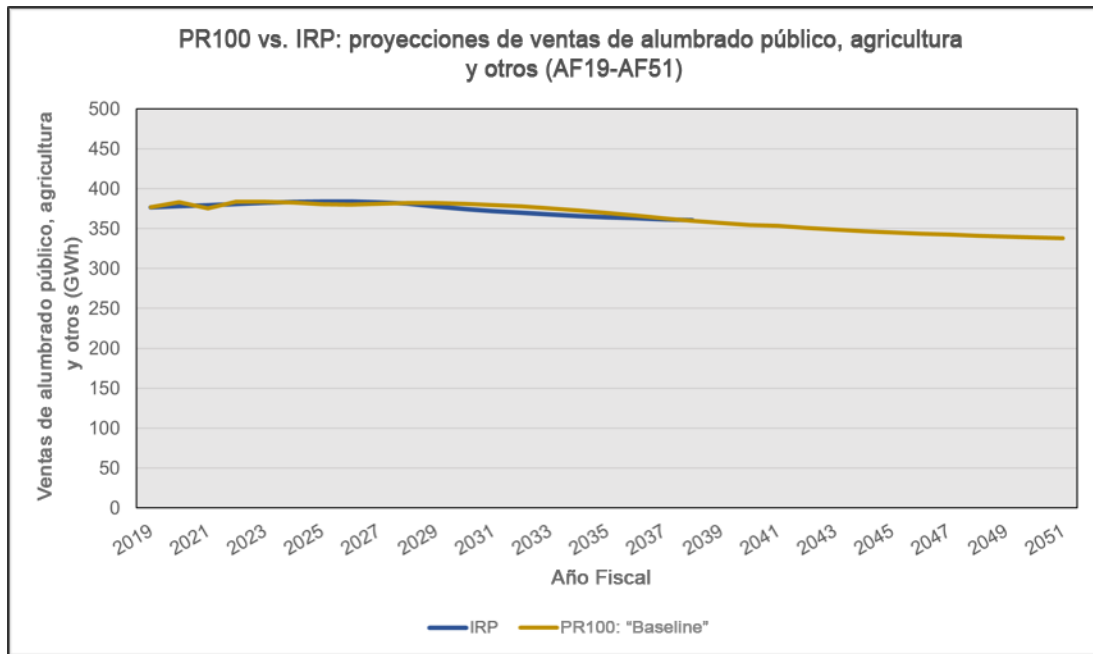
IRP: Anteriores datos de entrada
GNP real
CDD
Maquinaria de manufactura

IRP: Ecuación de regresión lineal
Datos históricos de 2000–2017

PR100: Nueva proyección
Ventas de electricidad en el sector industrial (AF 2019–AF 2051)

IRP: Proyección anterior
Ventas de electricidad en el sector industrial (AF 2019–AF 2038)

Alumbrado público, agricultura y otros sectores



Gráfica suministrada por NREL

PR100: Nuevos datos de entrada

Venta residencial, comercial e industrial (AF 2019–AF 2051)

IRP: Anteriores datos de entrada

Venta residencial, comercial e industrial (AF 2019–AF 2051)

Presunciones IRP

Las ventas por alumbrado público, agricultura y otros sectores siguen la misma tasa de crecimiento anual que la combinación de la venta residencial, comercial e industrial

PR100: Nueva proyección

Venta por alumbrado público, agricultura y otros sectores (AF 2019–AF 2051)

IRP: Proyección anterior

Venta por alumbrado público, agricultura y otros sectores (AF 2019–AF 2038)

“Baseline” de proyecciones de demanda : Demanda eléctrica

Esta sub-sección aborda:

- Pérdidas, carga auxiliar y uso propio de la Autoridad de Energía Eléctrica (PREPA, por sus siglas en inglés)
- Proyecciones estocásticas
- Comparación de las proyecciones con los datos de LUMA, AF 2019 - AF 2021
- “Baseline” de proyecciones "alto", "medio" y "bajo"
- Proyecciones de demanda horaria por sector
- Proyecciones de demanda horaria por sector y región

Pérdidas, carga auxiliar y uso propio de PREPA

Demanda total de electricidad (IRP y PR100)

Venta total de electricidad + pérdidas técnicas + pérdidas no técnicas + carga auxiliar + uso propio de PREPA

Pérdidas técnicas

Presunción IRP
9.40% del total de ventas de electricidad por año desde AF19 – AF38

Presunción PR100
Disminución lineal desde el 9.40% de las ventas totales de electricidad en el AF22 hasta el 5.57% en el AF51 (promedio de 2020 en EE.UU.)

Pérdidas no técnicas

Presunción IRP
5.40% del total de ventas de electricidad por año desde AF19 – AF38

Presunción PR100
Igual que el IRP y extendido hasta AF51

Carga auxiliar

Presunción IRP
751 GWh por cada año desde AF19 – AF38

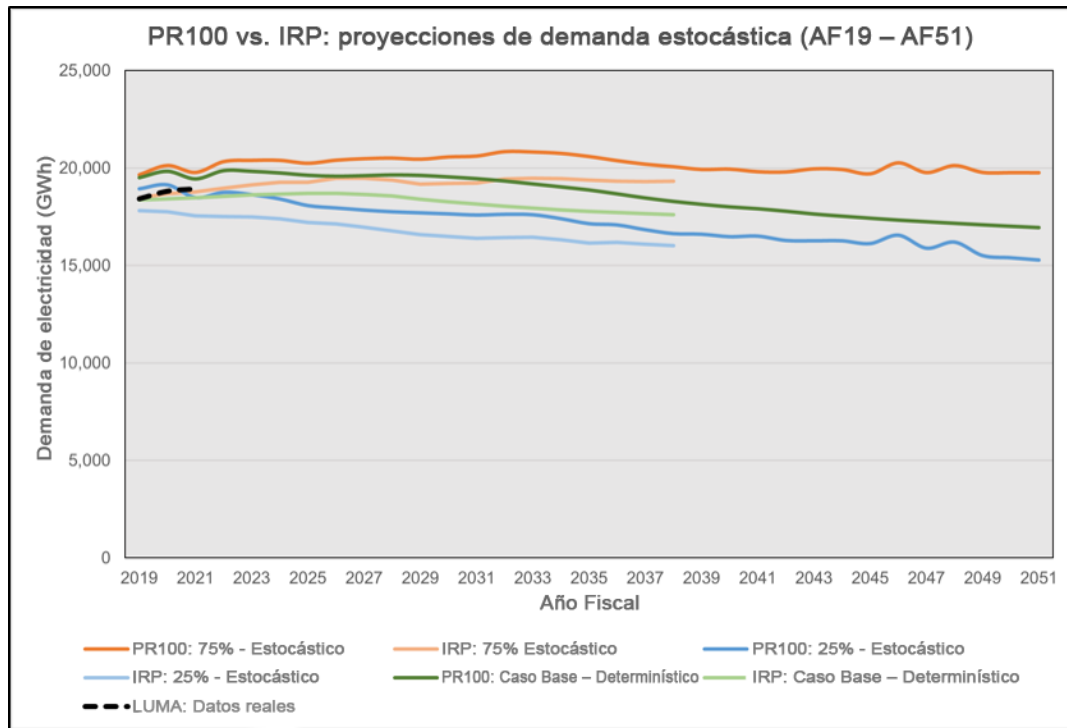
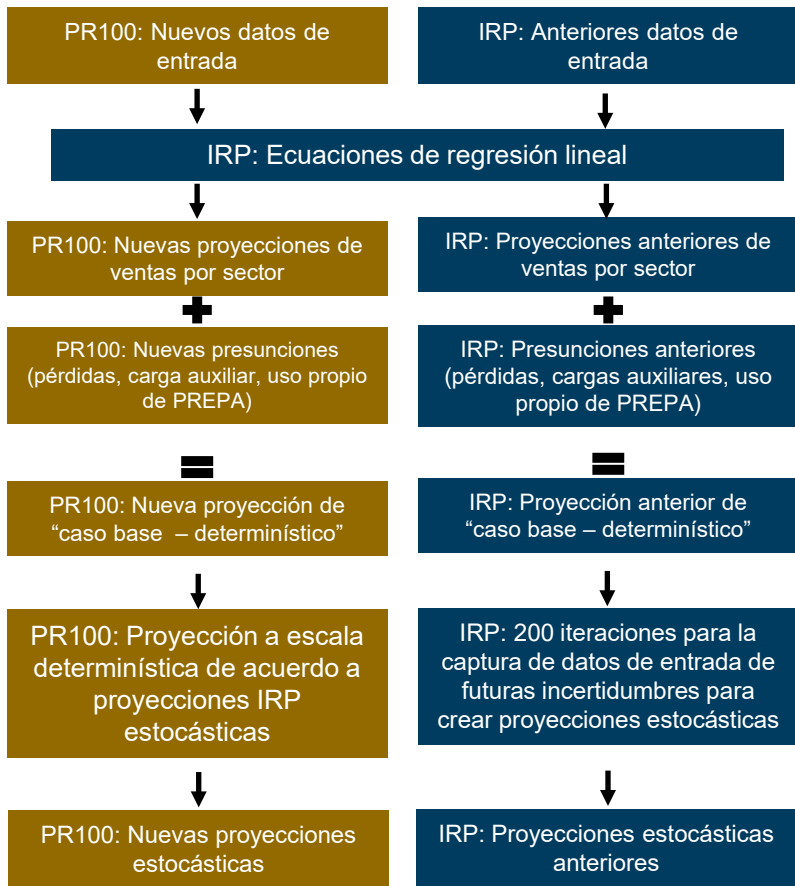
Presunción PR100
4.48% de las ventas totales de electricidad para cada año desde el AF22 - AF51 (Valor del IRP del AF21)

Uso propio de PREPA

Presunción IRP
34 GWh por cada año desde AF19 – AF38

Presunción PR100
Igual que el IRP y extendido hasta AF51

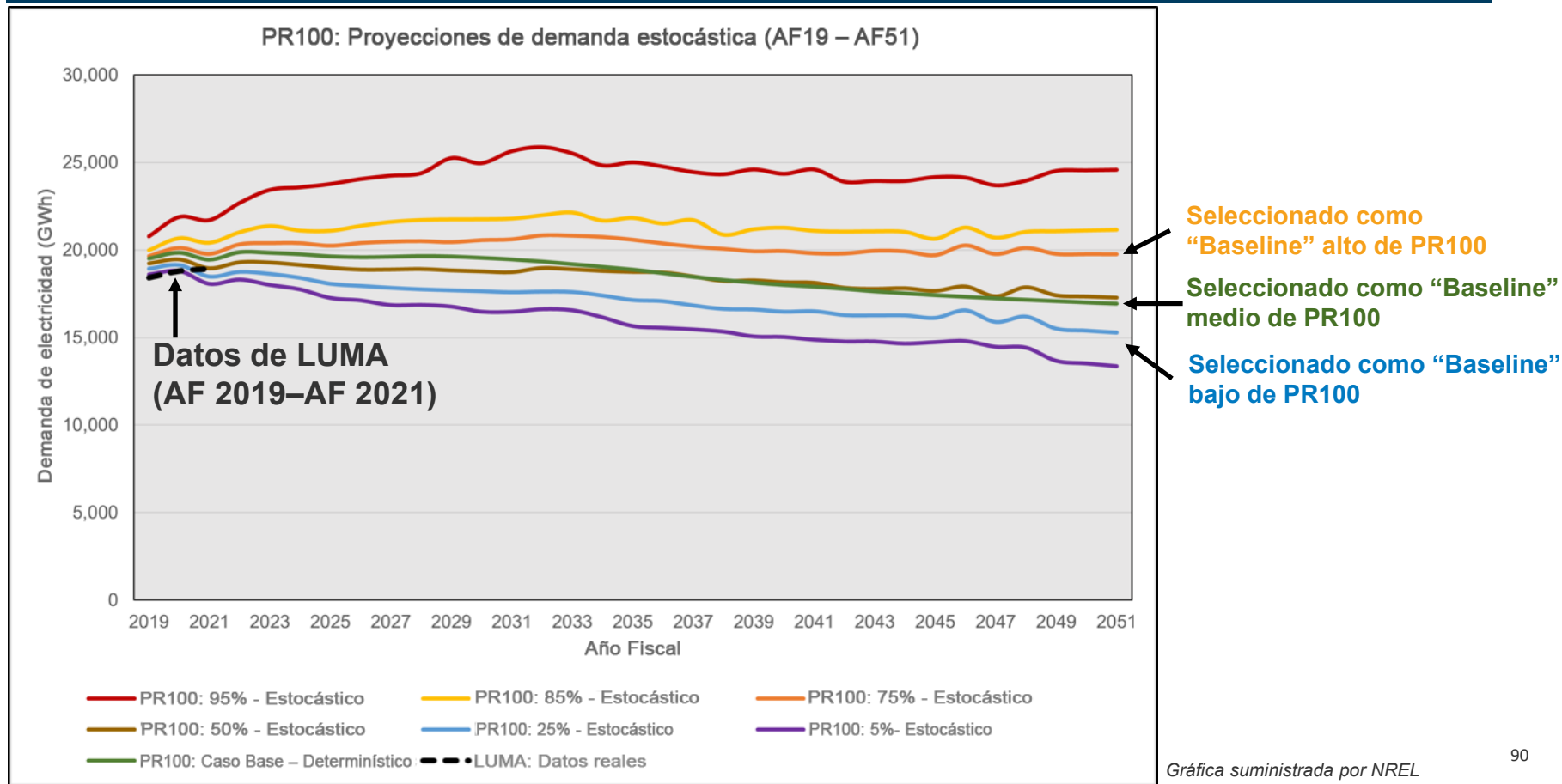
Proyecciones estocásticas



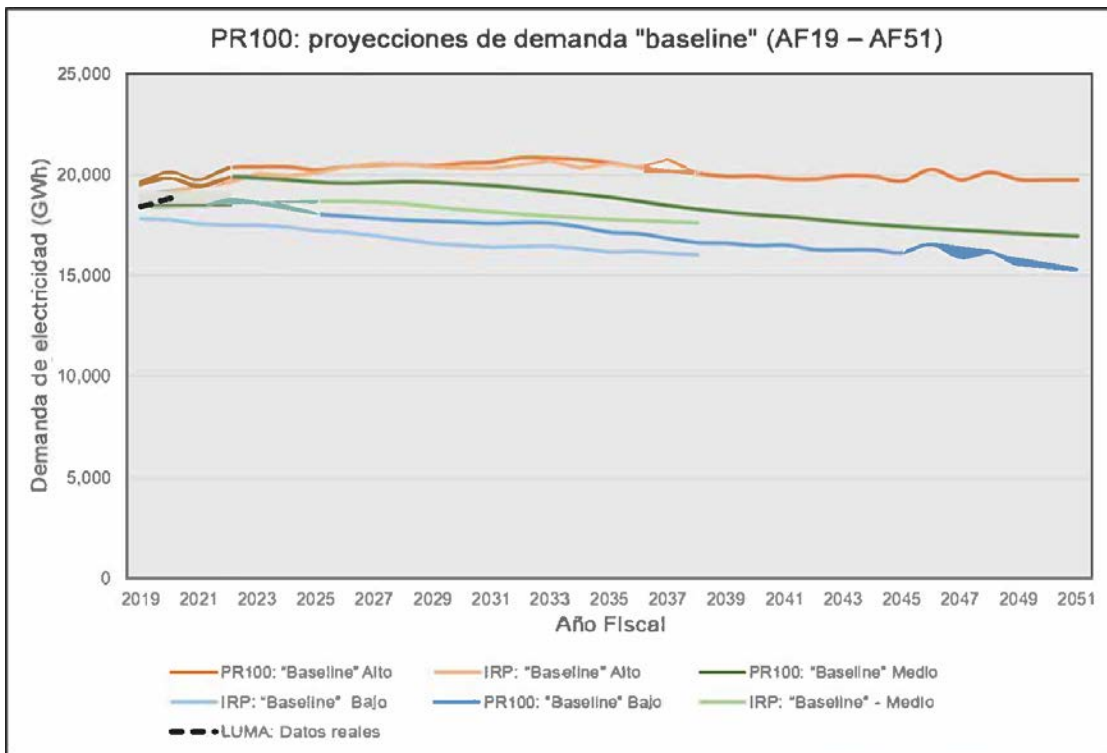
Gráfica suministrada por NREL

Comparación de las proyecciones con los datos de LUMA

AF 2019 – AF 2021



Proyecciones de “Baseline” “alto,” “medio” y “bajo”



Gráfica suministrada por NREL

Proyecciones IRP (AF 2019–AF 2038):

“85% – estocástica” = “Baseline – alto”

“Caso base – determinística” = “Baseline – medio”

“25% – estocástica” = “Baseline – bajo”



Proyecciones PR100 (AF 2022–AF 2051):

“75% – estocástica” = “Baseline – alto”

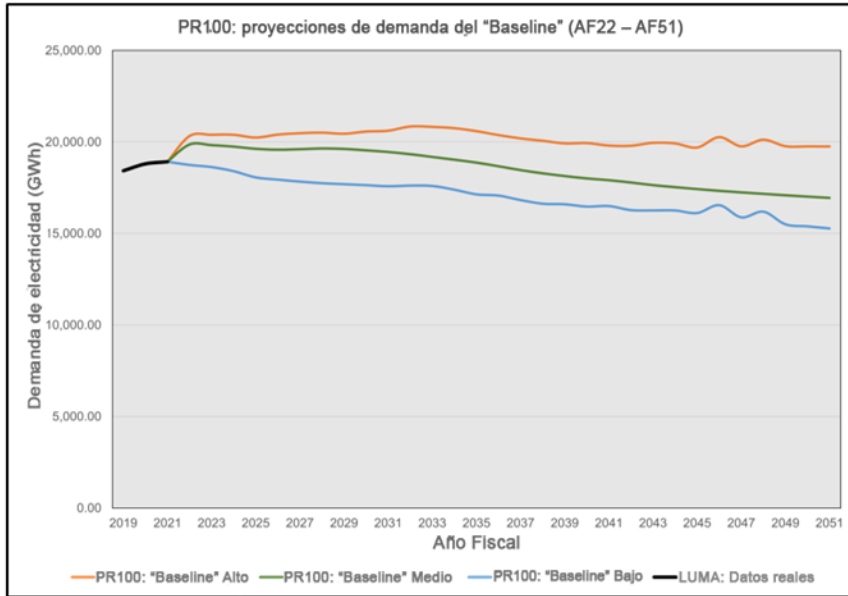
“Caso base - determinística” = “Baseline – medio”

“25% – estocástica” = “Baseline – bajo”

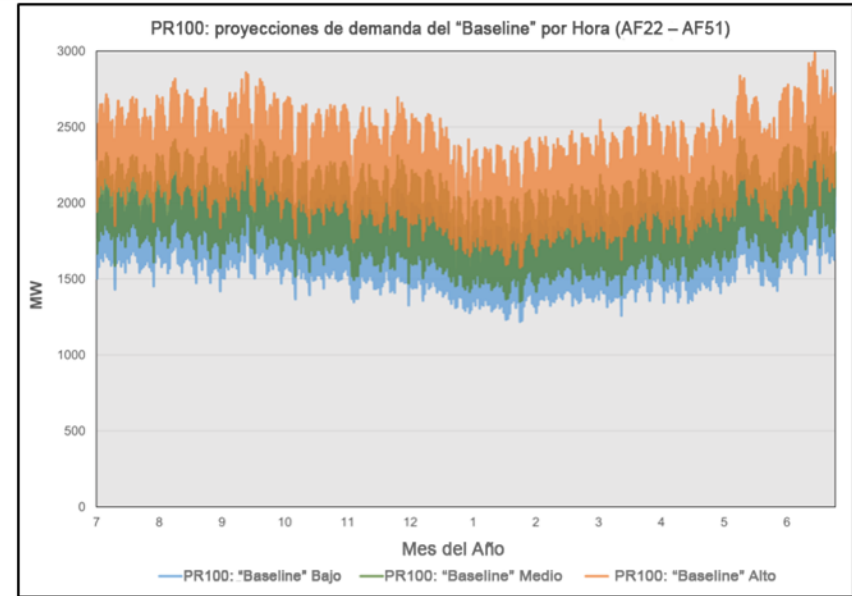
NOTA: la proyección “IRP: 25% - estocástica” no es equivalente a la proyección “PR100: 25% - estocástica” debido a que la proyección “Caso base – determinística” difiere a la descrita en láminas anteriores.

Proyecciones de demanda por hora

Proyecciones anuales para AF 2022–AF 2051



Proyecciones por hora para AF 2022–AF 2051



Gráficas suministradas por NREL

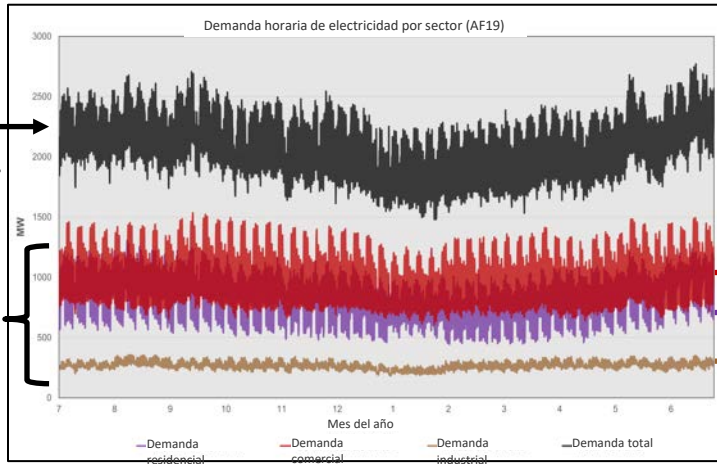
Proyecciones actualizadas de demanda

Datos de LUMA

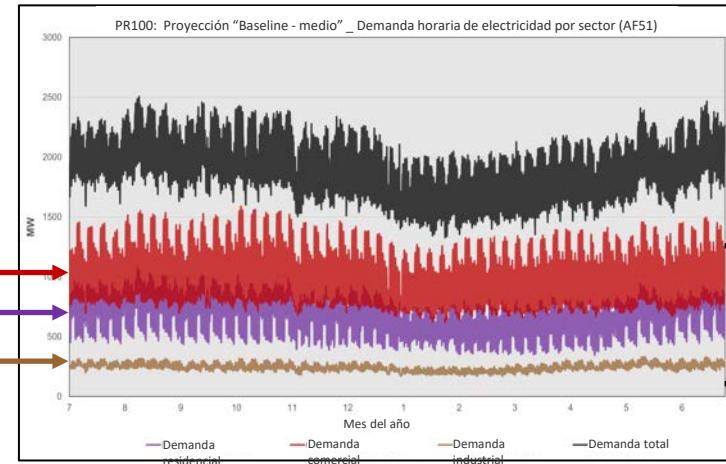
(Incluye las pérdidas, la carga auxiliar y el uso propio de PREPA)

Basado en los datos por hora de PREPA AF17

Datos de demanda por hora por sector (AF19)



Proyecciones de demanda por hora por sector (AF22–AF51)



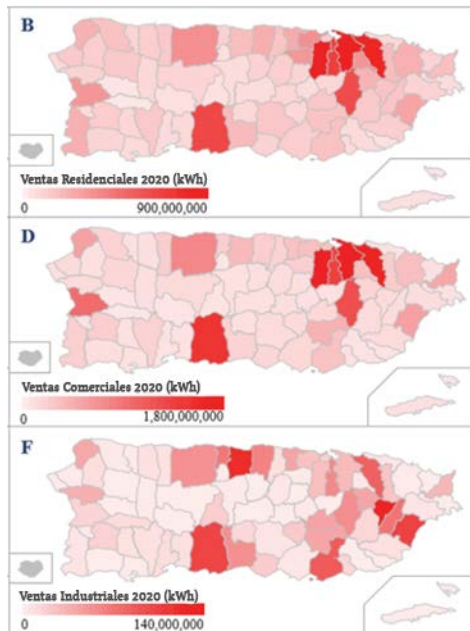
Incluye las pérdidas, la carga auxiliar y el uso propio de PREPA

Gráficas suministradas por NREL

Los datos de la demanda por hora por sectores del AF 2019 procedentes de LUMA se escalan según las proyecciones de la demanda mensual por sectores para el AF 2022–AF 2051 para determinar las proyecciones de la demanda por hora por sectores para el AF 2022–AF 2051.

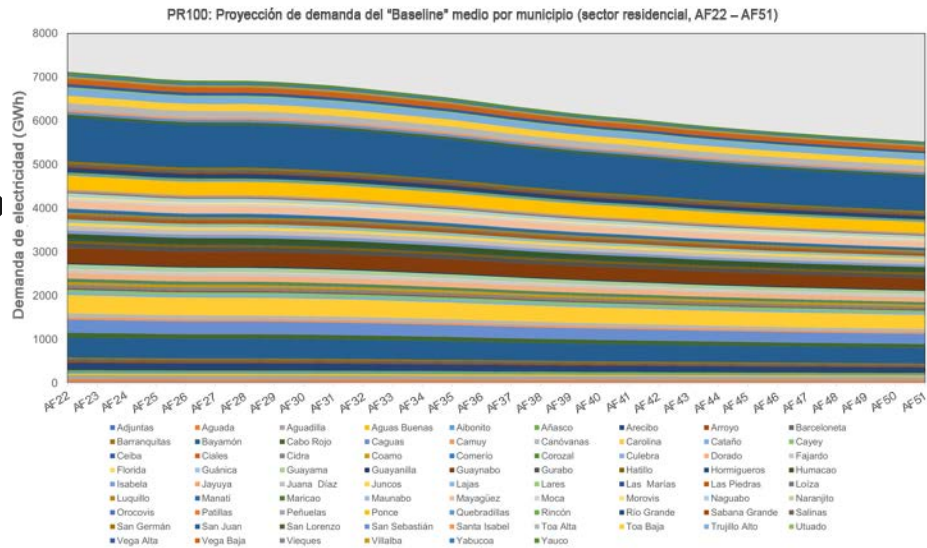
Proyecciones de demanda por hora por región

AF20: Distribución de la venta de electricidad por municipio



Datos de PREPA, plan fiscal 2021

Se supone que los desgloses porcentuales se mantienen constantes desde el AF22 hasta el AF51

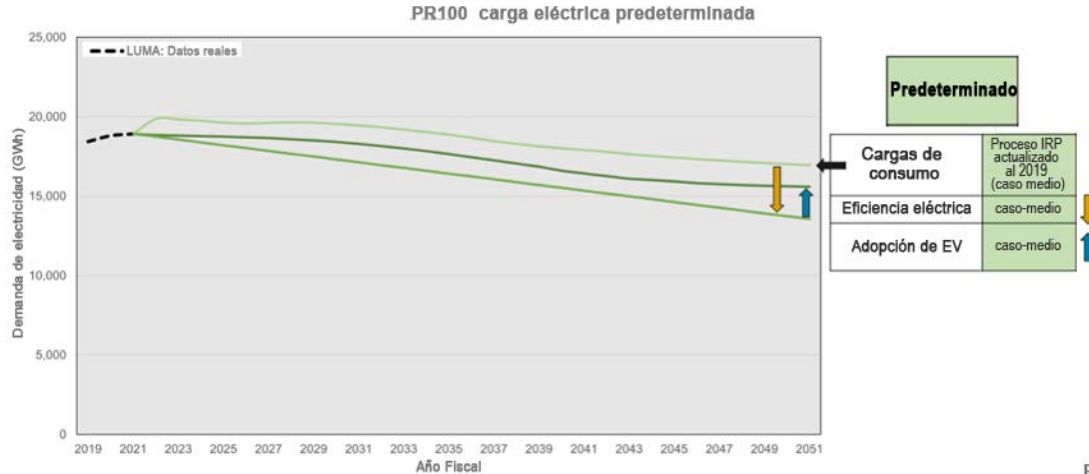


AF22-AF51

Proyecciones de la demanda de electricidad por hora desglosadas por:

- Sector (residencial, comercial, industrial, otros)
- Región (78 municipios)

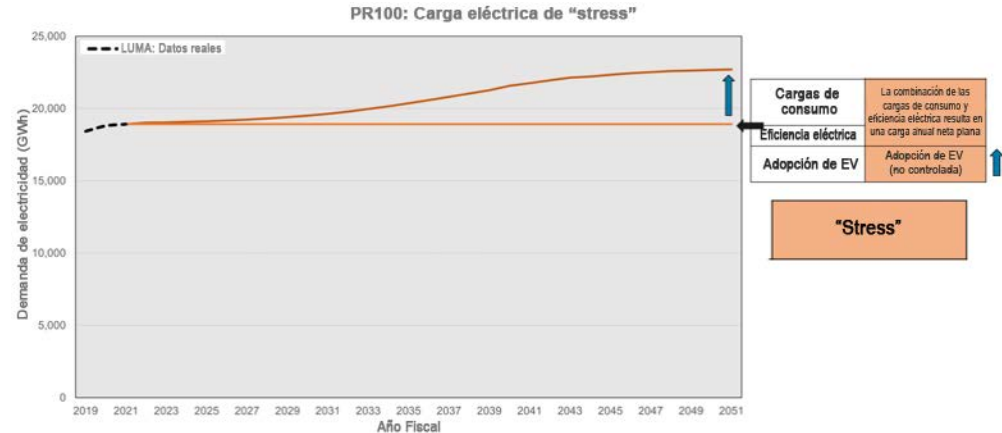
Proyecciones actualizadas de demanda



NOTA: Valores de referencia utilizados para la eficiencia energética y la adopción de EV a fin de ilustrar los posibles impactos en el “baseline” proyecciones de carga eléctrica.

Próximos pasos

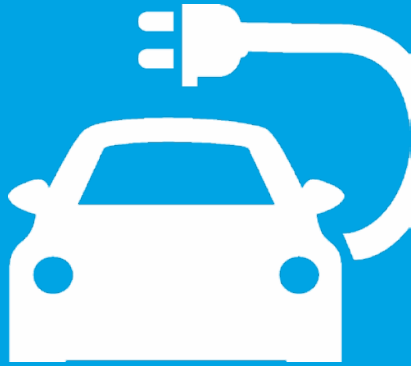
- Incorporar los impactos de **eficiencia energética** (LBNL) y **vehículos eléctricos** (Sandia) en las proyecciones de demanda final para crear los escenarios *predeterminados* y de *estrés* aquí ilustrados.



Impactos de la demanda

Esta sub-sección aborda el modo en que las siguientes tecnologías impactan el “baseline” de las proyecciones de la demanda:

- Vehículo eléctrico (EV)
- Eficiencia energética (EE)
- Energía solar distribuida y almacenamiento



Impacto en la demanda
por el uso de vehículos
eléctricos

Proyecciones espacio-temporales del vehículo eléctrico

Modelo espacial de adopción del uso de EV:

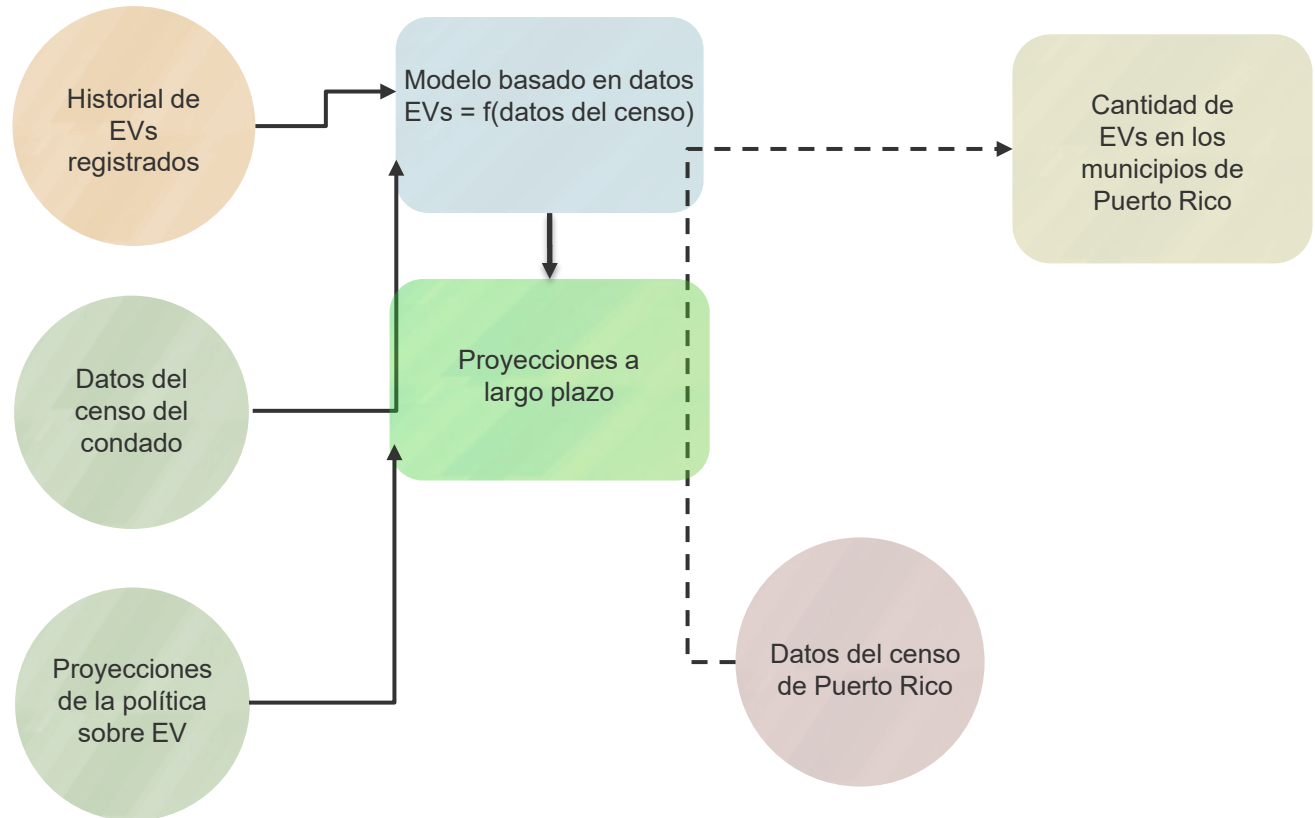
- Entrada: datos históricos de EV y datos del censo
- Salida: diversidad espacial de adopción del uso de EV

Adopciones temporales de EV:

- Usar las predicciones desarrolladas por Energy Policy Solutions para los Estados Unidos y otros estados

Adopciones temporales de EV:

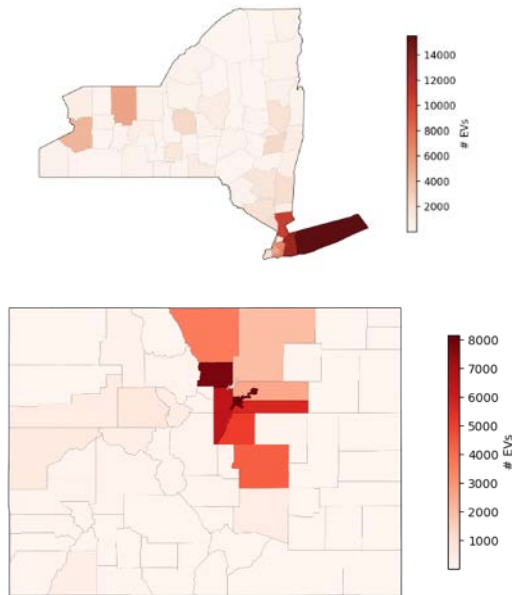
- Usar las predicciones desarrolladas por Energy Policy Solutions para los Estados Unidos y otros estados



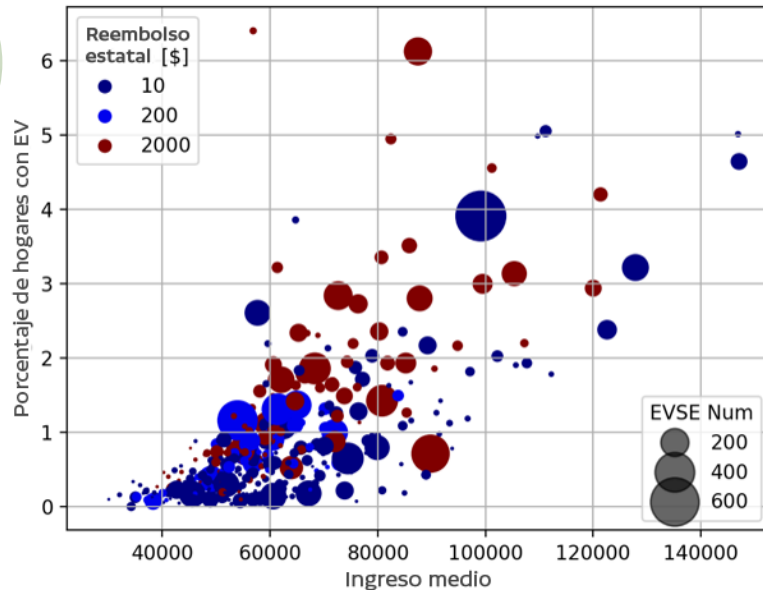
Desarrollo del modelo espacial EV

Historial de EVs registrados

Se utilizaron datos de registro de EV de condados en otros estados de los EE. UU. para crear este modelo espacial



Datos del censo del condado

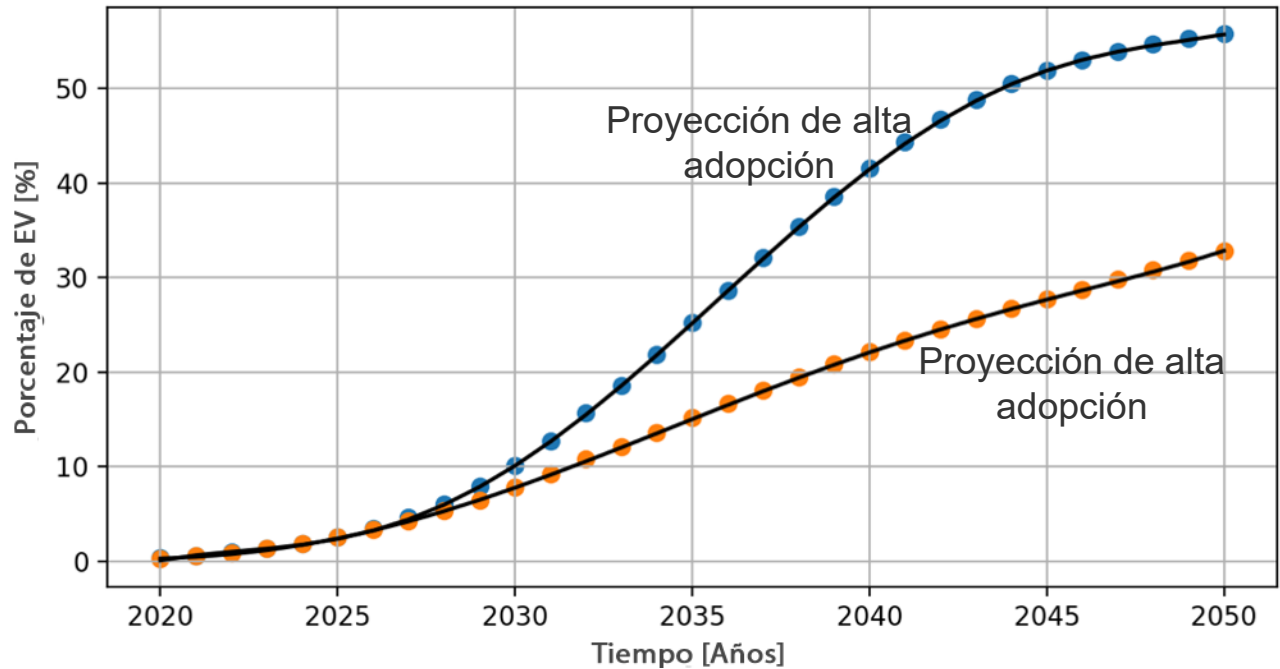


Una evaluación de los datos del censo permite identificar las dependencias de las adopciones de EV, como el ingreso medio y el número de hogares. Estas características de datos fueron utilizadas por el modelo para estimar la diversidad espacial en Puerto Rico.

Desarrollo de modelos de series temporales

Proyecciones a largo plazo

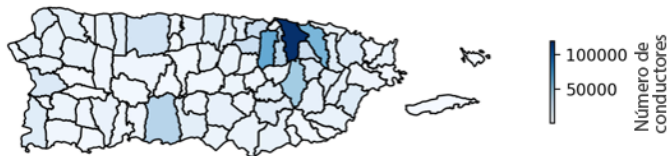
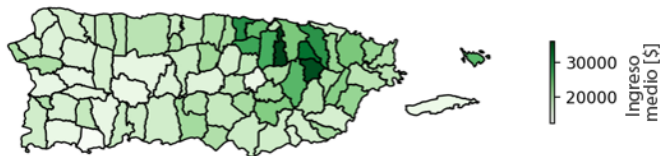
El porcentaje de EVs en Puerto Rico a lo largo del tiempo se estimó utilizando las predicciones de Energy Policy Solutions.



Resultados preliminares de adopción

Cantidad de EVs en los municipios de Puerto Rico

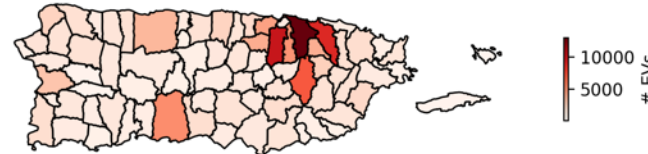
La adopción espacial de los EVs dependía de la cantidad de hogares y del ingreso medio de cada municipio.



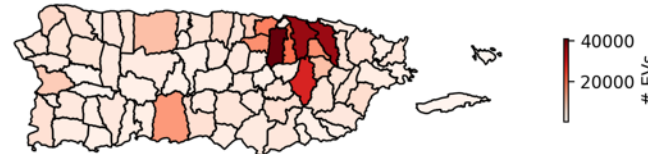
Hoy*



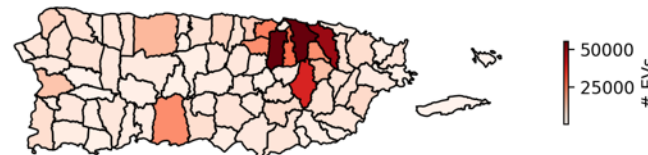
2030



2040



2050



* Los registros muestran que en la actualidad hay unos 2,500 EVs registrados en Puerto Rico. Nuestro modelo estimó 2,700 EVs.



Impactos en la
demanda por el uso
de eficiencia
energética

Ahorros anuales por eficiencia energética

Normalmente, un modelo de eficiencia energética realizaría estos pasos clave. En el caso de Puerto Rico, no se dispone del nivel de datos de los edificios ni de los desgloses del uso de la electricidad.



Fuentes de datos de eficiencia energética

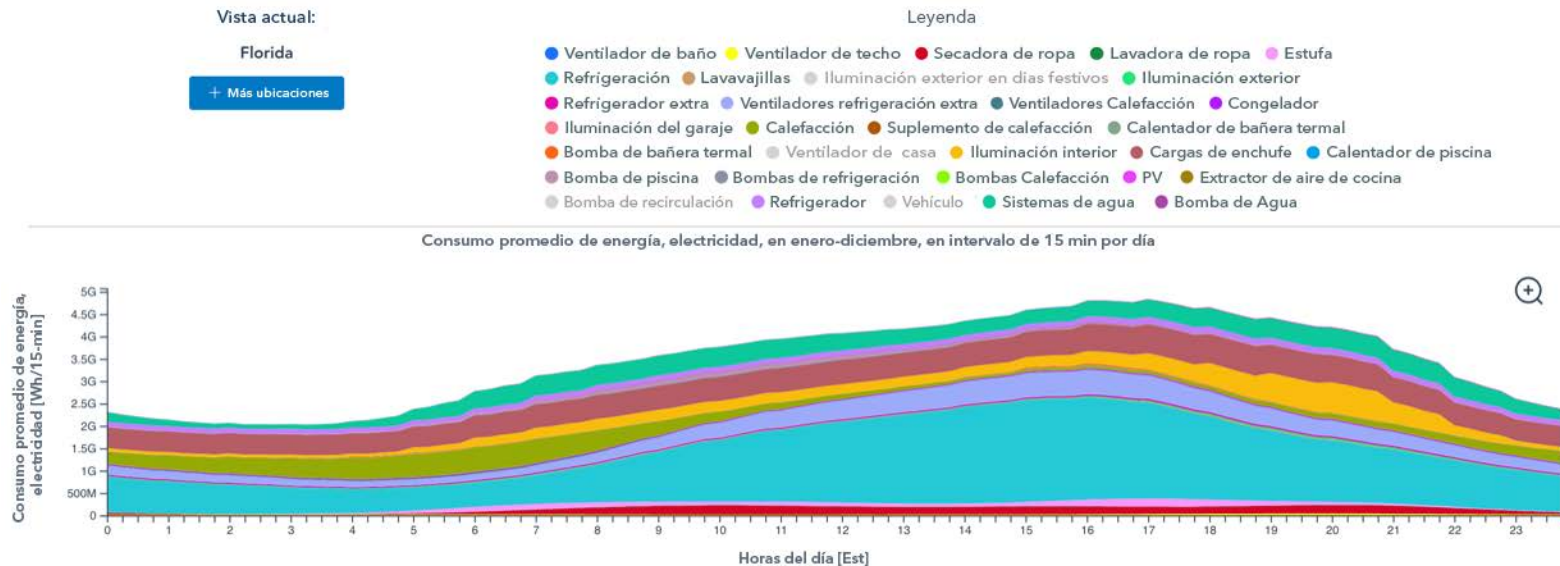
El equipo de eficiencia energética ha recopilado datos disponibles para realizar análisis alrededor de futuros impactos energéticos incluyendo:

- Tecnologías existentes: entrevistas con los miembros del Grupo Asesor
- Regulación para la eficiencia energética de Puerto Rico
- Oferta de programas: discusión con LUMA
- Cambios en la eficiencia a lo largo del tiempo: Administración de Información de Energía de los EE. UU. (EIA, por sus siglas en inglés) Perspectiva energética anual (AEO, por sus siglas en inglés) proyecciones de eficiencia típicas y altas
- Ahorros por unidad proveniente de varias fuentes:
 - Herramienta de análisis de escenarios de eficiencia de Puerto Rico (PREESAT, por sus siglas en inglés)
 - Planes anteriores de recursos integrados
 - Manuales de recursos técnicos del estado
 - Programa de asistencia para la climatización de Puerto Rico
 - Porcentaje estimado de reducción del consumo

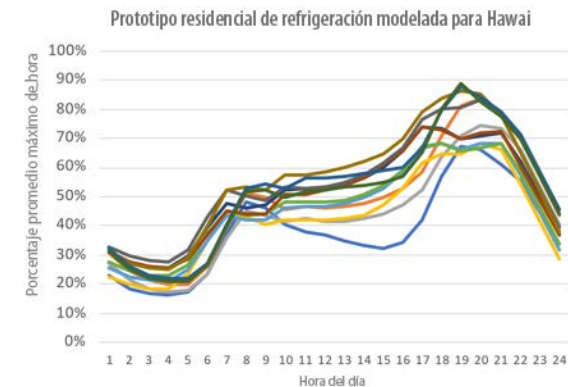
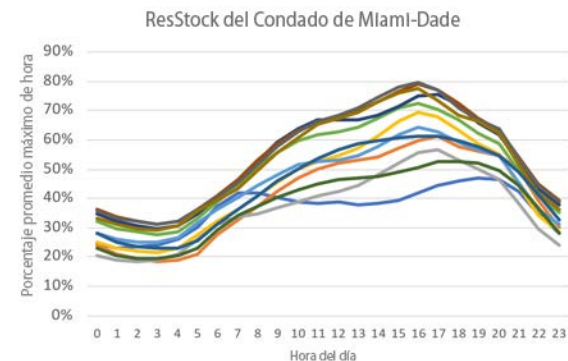
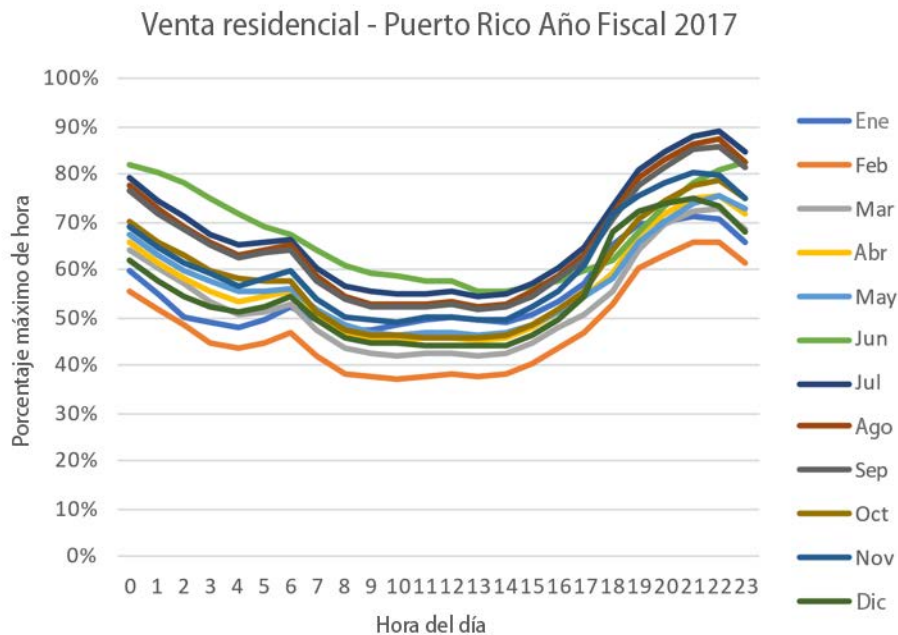
Fuentes de ahorro de eficiencia energética

Fuente de ahorro de eficiencia energética	Predeterminado	"Stress"
Programas	Los programas (tanto los del periodo de transición como los permanentes) se aplican tal y como se contempla en los procedimientos actuales de eficiencia energética	No se implementan nuevos programas, probablemente debido a la falta de financiamiento disponible para los programas planificados
Códigos energéticos de construcción	Puerto Rico adopta códigos energéticos de construcción cada vez más estrictos y los hace cumplir lo suficiente para producir ahorros	Poco o ningún ahorro de los códigos, ya sea porque Puerto Rico no adopta códigos más estrictos o es incapaz de hacerlos cumplir suficientemente
Estándares sobre electrodomésticos y equipos	Puerto Rico obtiene ahorros por la aplicación de estándares federales cada vez más estrictos	Igual que la versión predeterminada, salvo que la adopción de los estándares federales es algo más lenta, lo que reduce el ahorro
Impacto neto	La eficiencia energética disminuye la carga	La eficiencia energética sólo es suficiente para compensar la demanda, lo que da lugar a una carga neta plana

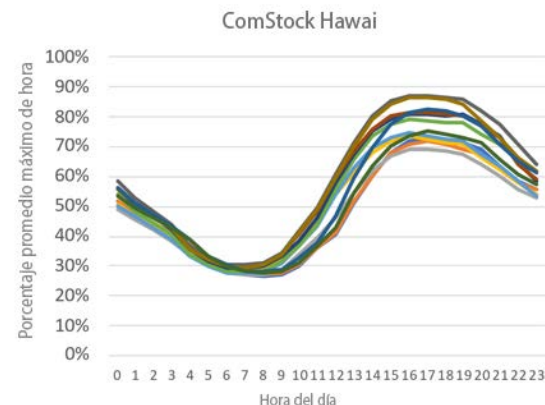
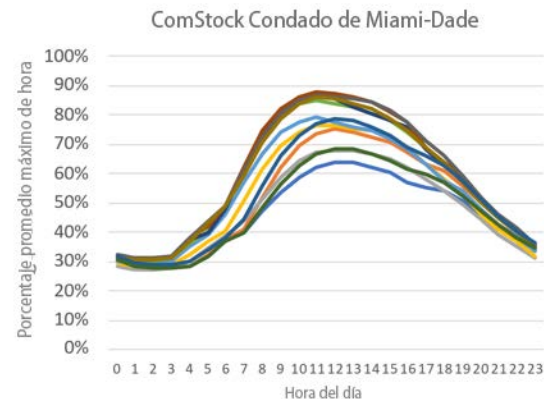
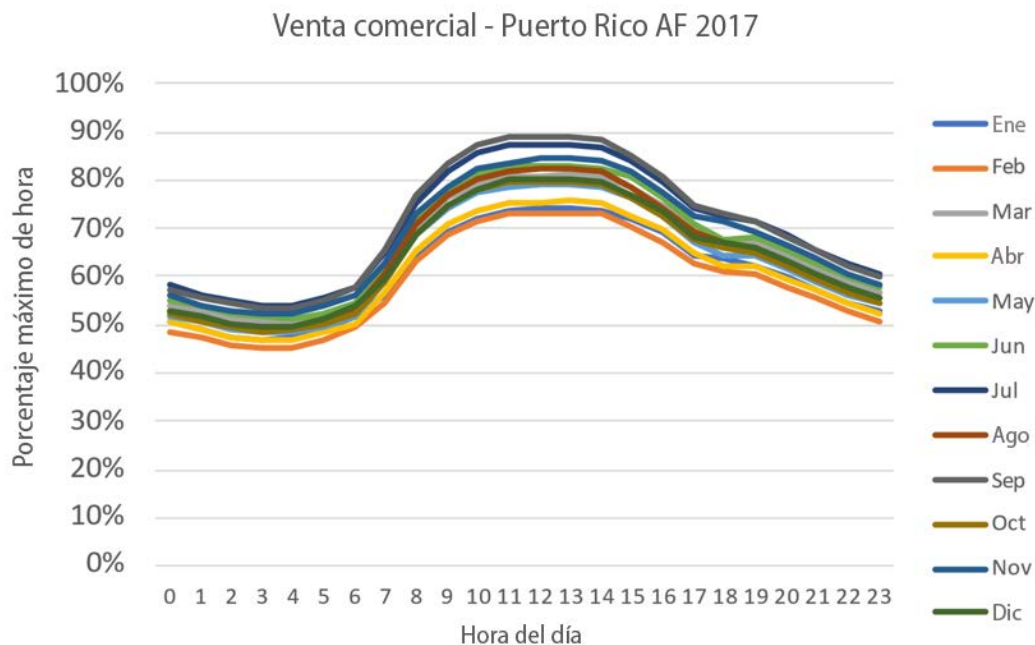
Plan para evaluar los impactos horarios de la eficiencia energética



Problemática en la creación de ahorros de EE por hora: Residencial



Problemática en la creación de ahorros de EE por hora: Comercial



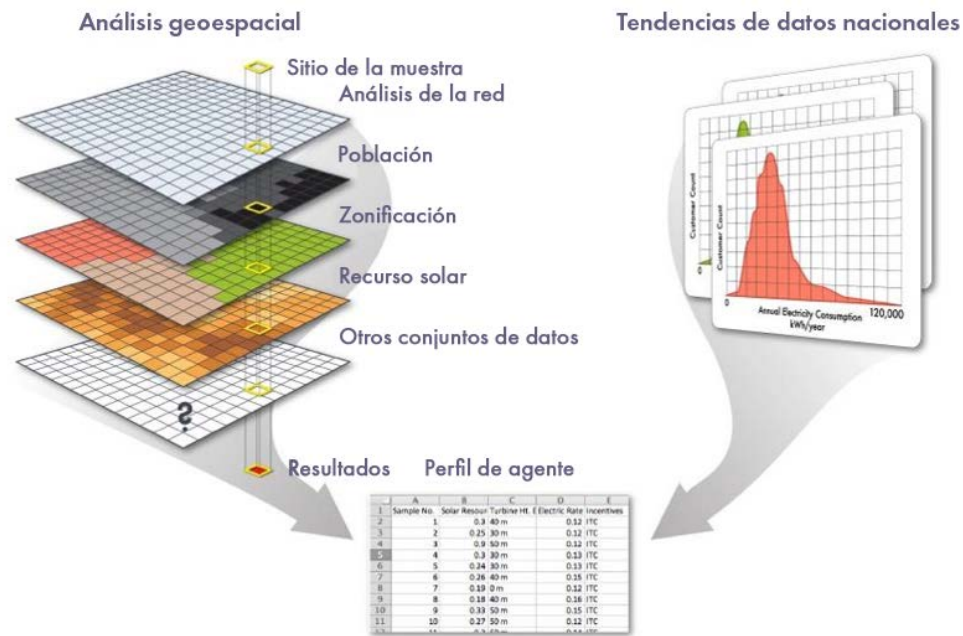


Impacto en la demanda por el uso de energía solar distribuída y almacenamiento

Adopción de la PV distribuida + almacenamiento mediante el modelo dGen™

Acercas del modelo de demanda del mercado de generación distribuida (dGen™) :

- El modelo basado en agentes simula la toma de decisiones de los consumidores.
- Prevé la adopción de la energía solar distribuida por sectores y estados hasta 2050
- Incorpora datos espaciales detallados para comprender la variación geográfica (véase la tarea 3)
- Las características de los agentes se derivan del muestreo ponderado de la población para crear una base de datos completa y representativa de la población de análisis



Sitio web: www.nrel.gov/analysis/dgen/

Documentación: www.nrel.gov/docs/fy16osti/65231.pdf

Metodología de modelación PV distribuida

La adopción de la energía solar en los techos se modela a través de un enfoque basado en agentes que incluye cuatro pasos :

1. **Generar agentes** (es decir, clientes potenciales) y asignarles atributos basados en una representación probabilística de los tipos de clientes individuales
2. Aplicar las **restricciones técnicas y de ubicación**, como la calidad del recurso, la disponibilidad de energía solar en los techos (véase la tarea 3) y la calidad para cada agente
3. Realizar **cálculos económicos** mediante el análisis del flujo de caja incorporando los costos del proyecto, las tarifas minoristas vigentes, los incentivos y las consideraciones de medición neta
4. Estimar la implementación total de energía solar en techos aplicando los **estimados de difusión del mercado**



Presunciones financieras

Modelado financiero

- Cada agente realiza un análisis de flujo de caja descontado en cada año del modelo (utiliza perfiles de generación solar y de consumo eléctrico por hora)
- Los flujos de caja incluyen los costos de capital, y de operaciones y mantenimiento (O&M, por sus siglas en inglés), así como los ingresos derivados del ahorro en la factura

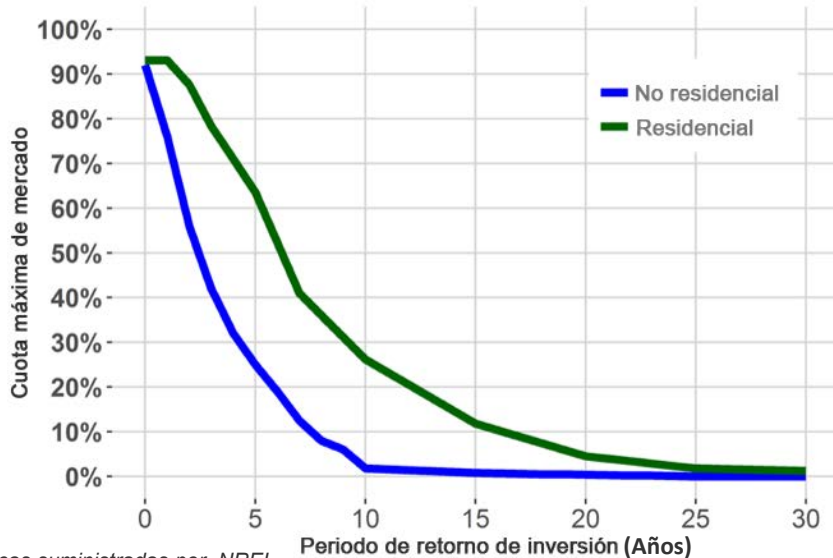
“Baseline” de tasas de ventas al por menor

- A los agentes se les asignan las tarifas adecuadas (con medición neta) en función de las limitaciones geográficas y de consumo de energía/demanda
- Se incorporan las estructuras reales de las tarifas al por menor de los servicios públicos
- Se utilizan las escalas de precios al por menor reales anuales de la EIA AEO2022

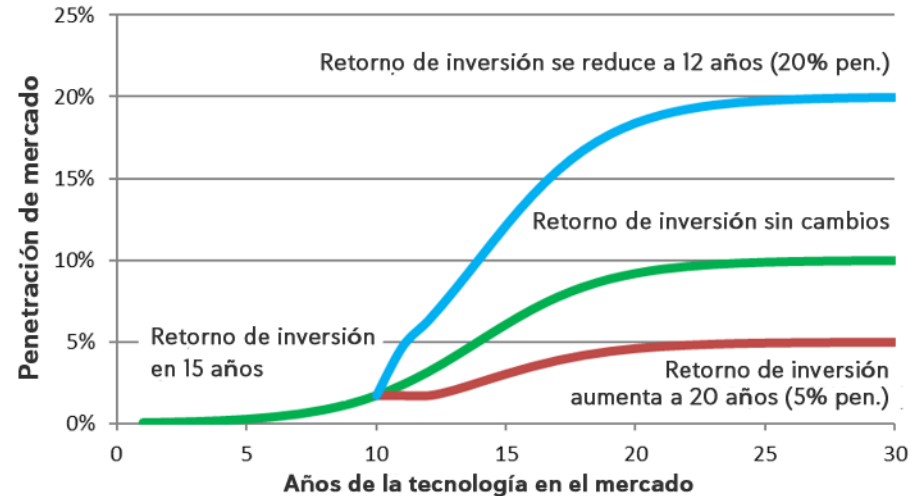
Financiamiento (NREL 2022 “Baseline” de tecnología anual [ATB, por sus siglas en inglés])

- Se utiliza un costo promedio ponderado del capital (WACC, por sus siglas en inglés) del 4.4% para descontar los flujos de caja
- Se asume que todos los consumidores tienen acceso al financiamiento

Modelado de la adopción de energía solar



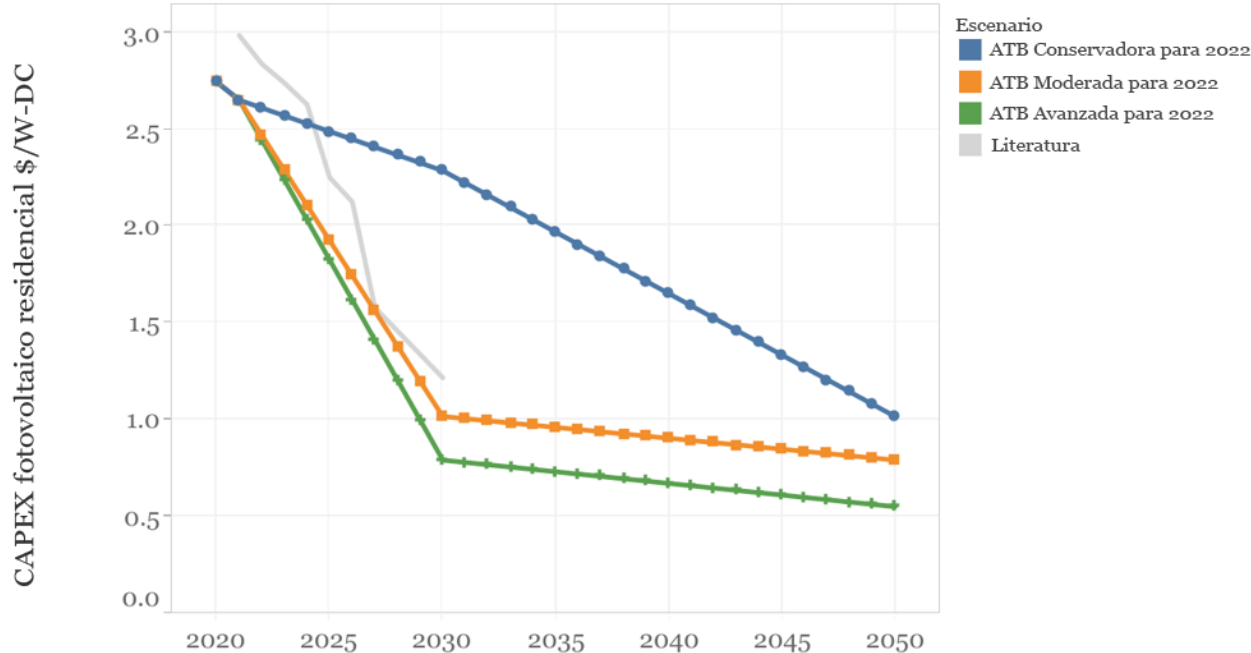
Gráficas suministradas por NREL



- Utilizando encuestas a los consumidores, relacionamos la amortización del sistema con la fracción de consumidores que adoptarían la energía solar.
- Evaluamos el tamaño óptimo del sistema utilizando un WACC del 4.4%.
- Utilizamos el modelo de difusión de Bass para simular la adopción a lo largo del tiempo, empleando la "cuota de mercado máxima" como nivel de adopción terminal.
- Nota: Las gráficas de esta lámina son ilustrativos y no son representativos de Puerto Rico específicamente.

Trayectoria de costos de PV distribuida

Fotovoltaico (PV) residencial



Proyecciones de costos ATB comparadas con la literatura
Proyecciones de costos ATB comparadas con la literatura

Datos iniciales de Puerto Rico:

- Entre 27,000 y 30,000 dólares para un sistema de 6 kW y una “Powerwall”
- Resulta en un costo PV de \$3.7/W (asumiendo \$8,000 para el sistema de baterías)
- Disminución utilizando las reducciones porcentuales de ATB.



ATB data for technologies
on the website:
<https://atb.nrel.gov/>

Actividad 3. Generación de escenarios y evaluación de capacidades

Tarea 5. Generación detallada de escenarios

Tarea 6. Planificación de la ampliación de la capacidad

Tarea 7. Modelado de costos de producción





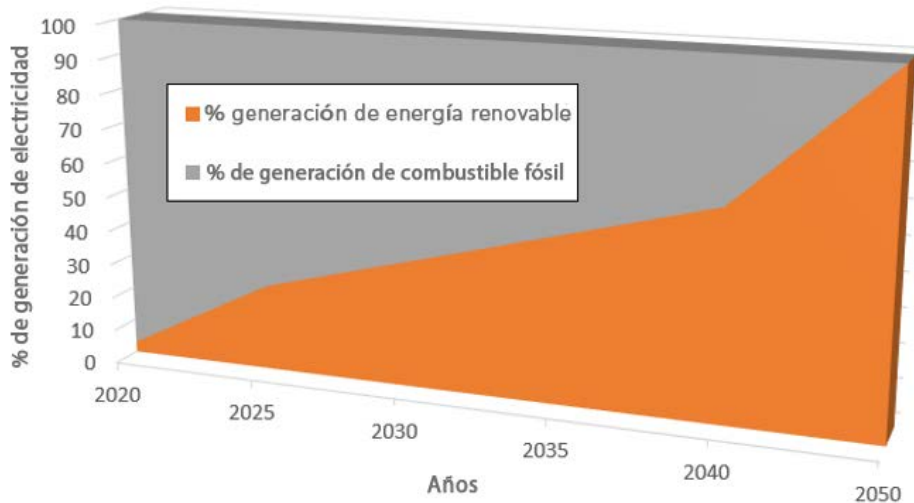
TAREA 5: Generación detallada de escenarios

Laboratorio Líder: NREL

Laboratorios de Apoyo: Todos

Modelaje de escenarios: ¿Qué es un escenario?

Un escenario es una posible trayectoria hacia un futuro de energía limpia impulsada por un conjunto de entradas.



Entradas de escenarios variables (ejemplos):

Demanda energética

¿Cómo cambiará la demanda de electricidad con el tiempo?

- Entradas económicas
- Eficiencia energética esperada y adopción de EV
- Valor de la energía de reserva

Suministro energético

¿Cómo se cubrirá la demanda con energía 100% renovable?

- Energía solar distribuida y almacenamiento
- Energía solar a gran escala, eólica, etc.
- Políticas públicas (como la Ley 17)
- Requisitos de resiliencia
- Costo de la transmisión

Escenarios de trabajo anteriores: LA100

Cuatro escenarios clave que examinan las compensaciones entre:

- Cumplimiento de la Ley 100 del Senado de California
- Transmisión
- Electrificación
- Biocombustibles

Cada escenario se evaluó bajo diferentes proyecciones de la demanda eléctrica de los clientes (moderada, alta o de estrés).



SB100

Evaluado bajo carga de electrificación moderada, alta y de estrés

- 100% de energía limpia en 2045
- Único escenario con un objetivo basado en las ventas al por menor, no en la generación
- Único escenario que permite que hasta el 10% del objetivo de gas natural sea compensado por créditos de electricidad renovable
- Permite la energía nuclear existente y mejoras en la transmisión



Temprano y sin biocombustibles

Evaluado bajo carga de electrificación moderada y alta

- 100% de energía limpia en 2035, 10 años antes que otros escenarios
- No hay generación de gas natural ni biocombustibles
- Permite la energía nuclear existente y mejoras en la transmisión



Enfoque de transmisión

Evaluado bajo carga de electrificación moderada y alta

- 100% de energía limpia en 2045
- Único escenario que construye nuevos corredores de transmisión
- No hay generación a partir de gas natural o nuclear



Nueva transmisión limitada

Evaluado bajo carga de electrificación moderada y alta

- 100% de energía limpia en 2045
- Único escenario que no permite mejorar la transmisión más allá de los proyectos actualmente planificados
- No hay generación a partir de gas natural o nuclear



Tres posibles futuros para la demanda de electricidad de los clientes

Eficiencia energética moderada, electrificación y flexibilidad de la demanda, ej:

- 30% de vehículos de pasajeros en la carretera en 2045 son eléctricos
- Las ventas de equipos y electrodomésticos para edificios residenciales se distribuyen en todos los niveles de eficiencia
- 80% de equipos nuevos y modernizados se adelantan 5 años al código de eficiencia energética de los edificios comerciales del Título 24 de California.
- El 75% de los residentes tiene acceso a la carga residencial; el 25% tiene acceso a la carga en el lugar de trabajo

Eficiencia energética moderada, electrificación y flexibilidad de la demanda, ej:

- La calefacción de los edificios pasa de gas natural a electricidad
- La venta de equipos y electrodomésticos para edificios residenciales es la más eficiente
- 80% de los vehículos de pasajeros en la carretera en 2045 son eléctricos
- 60% de los residentes tiene acceso a la carga residencial; el 50% tiene acceso a la carga en el lugar de trabajo para fomentar una mayor recarga diurna
- La demanda es más flexible en sus tiempos

Condiciones de tensión en la red alta electrificación pero baja eficiencia energética y flexibilidad de la demanda:

- Toda la electrificación en Alta
- Pero el momento de la demanda no está alineado con la generación renovable
- La adopción de eficiencia energética es inferior a la moderada (coincide con los objetivos de eficiencia a 10 años del plan estratégico de recursos a largo plazo del LADWP* de 2017)
- 90% de los residentes tiene acceso a la carga residencial; el 15% tiene acceso a la carga en el lugar de trabajo para restringir la carga diurna

* Departamento de Agua y Energía de Los Ángeles (LADWP, por sus siglas en inglés)

Escenarios de trabajo anteriores: Estudio del Futuro Solar

- El Estudio de Futuros de la Energía Solar considera tres escenarios futuros, dos de los cuales suponen una profunda descarbonización de la red eléctrica y examina el papel que podría desempeñar la energía solar.
- Obsérvese que esto hace referencia al Estudio de Futuros de la Electrificación, que también tiene una estructura de escenarios que quizás sea de interés.

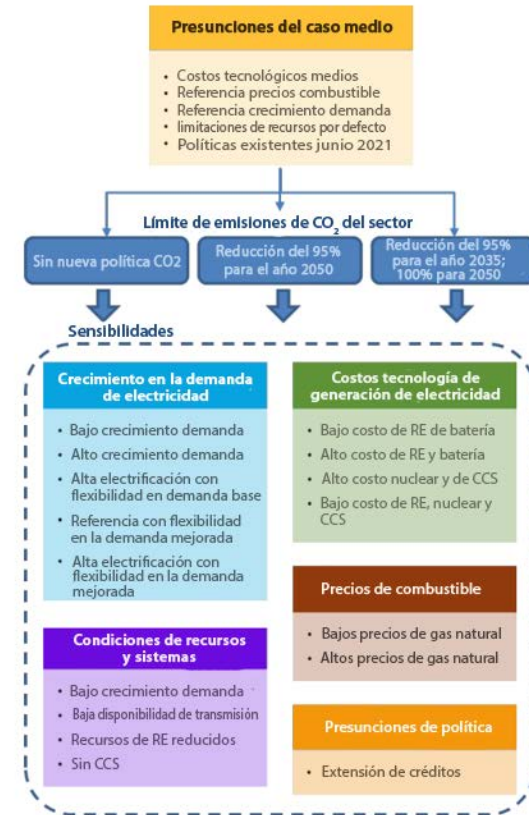
Tabla 1 - 1. Definición de escenarios del futuro solar

Nombre del escenario	Energías renovables y tecnologías de almacenamiento	Flexibilidad de demanda	Demanda de electricidad	Políticas
Referencia	Reducción moderada de costos	Ninguna	Referencia de la Administración de Información Energética de EE. UU.	Políticas existentes* a junio de 2020
Descarbonización (Decarb)	Reducción avanzada de costos	Ninguna	Referencia de la Administración de Información Energética de EE. UU.	Políticas existentes * + 95% de reducción de las emisiones de CO ₂ respecto a los niveles de 2005 para 2035, 100% para 2050
Descarbonización con electrificación (Decarb+E)	Reducción avanzada de costos	Mejorada	Alta electrificación basada en el estudio del futuro de la electrificación por NREL	Políticas existentes * + 95% de reducción de las emisiones de CO ₂ respecto a los niveles de 2005 para 2035, 100% para 2050

* Las políticas existentes asumidas incluyen los mandatos estatales de energías renovables y limpias, los límites de emisión estatales y regionales, y los incentivos fiscales federales

Escenarios de trabajo anteriores: Escenarios estándar de NREL

- Los escenarios estándar, que se simulan utilizando el Sistema Regional de Implementación de Energía (ReEDS, por sus siglas en inglés) y los modelos de ampliación de la capacidad de dGen, se actualizan cada año.
- En total se examinan 50 escenarios. El escenario de referencia (denominado caso medio) utiliza supuestos predeterminado o medios.
- Para examinar los futuros descarbonizados, el caso-medio se ejecuta con tres niveles de descarbonización del sector eléctrico.
 - Sin nuevas políticas de carbono.
 - Las emisiones de CO₂ disminuyen linealmente hasta un 95% por debajo de los niveles de 2005 en 2050.
 - Las emisiones de CO₂ disminuyen hasta un 95% por debajo de los niveles de 2005 en 2035 y se eliminan de forma neta en 2050.
- Dieciséis escenarios de sensibilidad incorporan factores como los precios de los combustibles, el crecimiento de la demanda, los costos de la tecnología y las condiciones de transmisión y recursos.



Escenario de trabajo anterior: Iniciativa de energía limpia de Hawái

Energía eólica marina vs. uso de PV terrestre

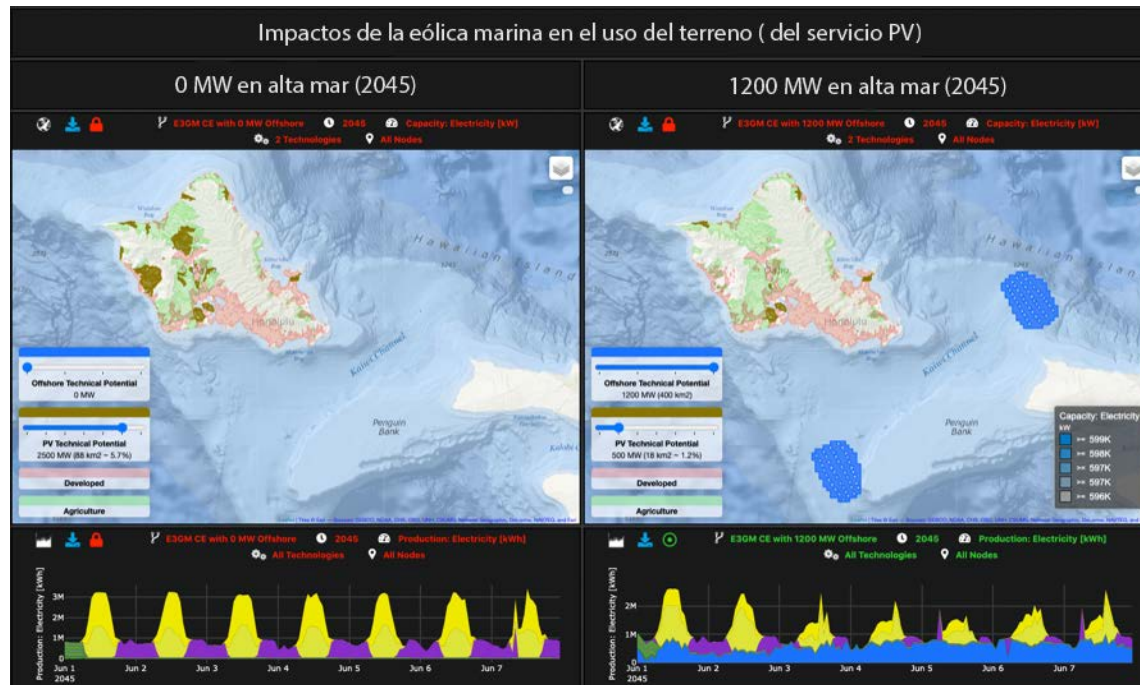
Oahu tiene:

- Un alto consumo de energía
- Terrenos disponibles limitados y con usos en competencia (por ejemplo, agricultura, pastoreo, bosques, granjas, inmuebles y usos residenciales)
- Usos marítimos en competencia y oposición a la energía eólica marina.

La visualización muestra:

- La compensación de los usos terrestres y marinos de la superficie con 2045 el 100% de las ventas del sector eléctrico procedentes de las RE
- Izquierda: sin energía eólica marina, 2500 MW PV
- Derecha: 1200 MW de energía eólica marina, 500MW PV.

El uso del terreno según la construcción solar proyectada se muestra de menor a mayor costo nivelado de electricidad (LCOE, por sus siglas en inglés) en las áreas no excluidas.



Modelación de inversiones a corto plazo

Mejoras en la red financiadas por FEMA

Los proyectos financiados para mejorar el sistema de generación, transmisión y distribución eléctrica de Puerto Rico se incluirán en el modelado a medida que sean relevantes. Los proyectos aprobados por FEMA para comenzar las actividades de diseño y construcción pueden encontrarse en la página web de la Estrategia de Adjudicación Acelerada de FEMA (FAASt, por sus siglas en inglés).

Plan de adquisición de recursos de generación y almacenamiento de energía renovable

La Autoridad de Energía Eléctrica de Puerto Rico (PREPA) está adquiriendo 3,750 MW de recursos de energía renovable y 1,500 MW de recursos de almacenamiento de energía -en seis tramos a lo largo de tres años- para la implementación del IRP de 2019 (expediente de la Oficina de Energía de Puerto Rico [PREB, por sus siglas en inglés]). PREPA está finalizando las negociaciones de las propuestas presentadas en el Tramo 1.

- Los proyectos seleccionados en el Tramo 1 se asumirán en la futura modelación.
- Los proyectos de los tramos 2 a 6 no se asumirán a menos que se seleccionen a tiempo para ser incluidos en el calendario del estudio.

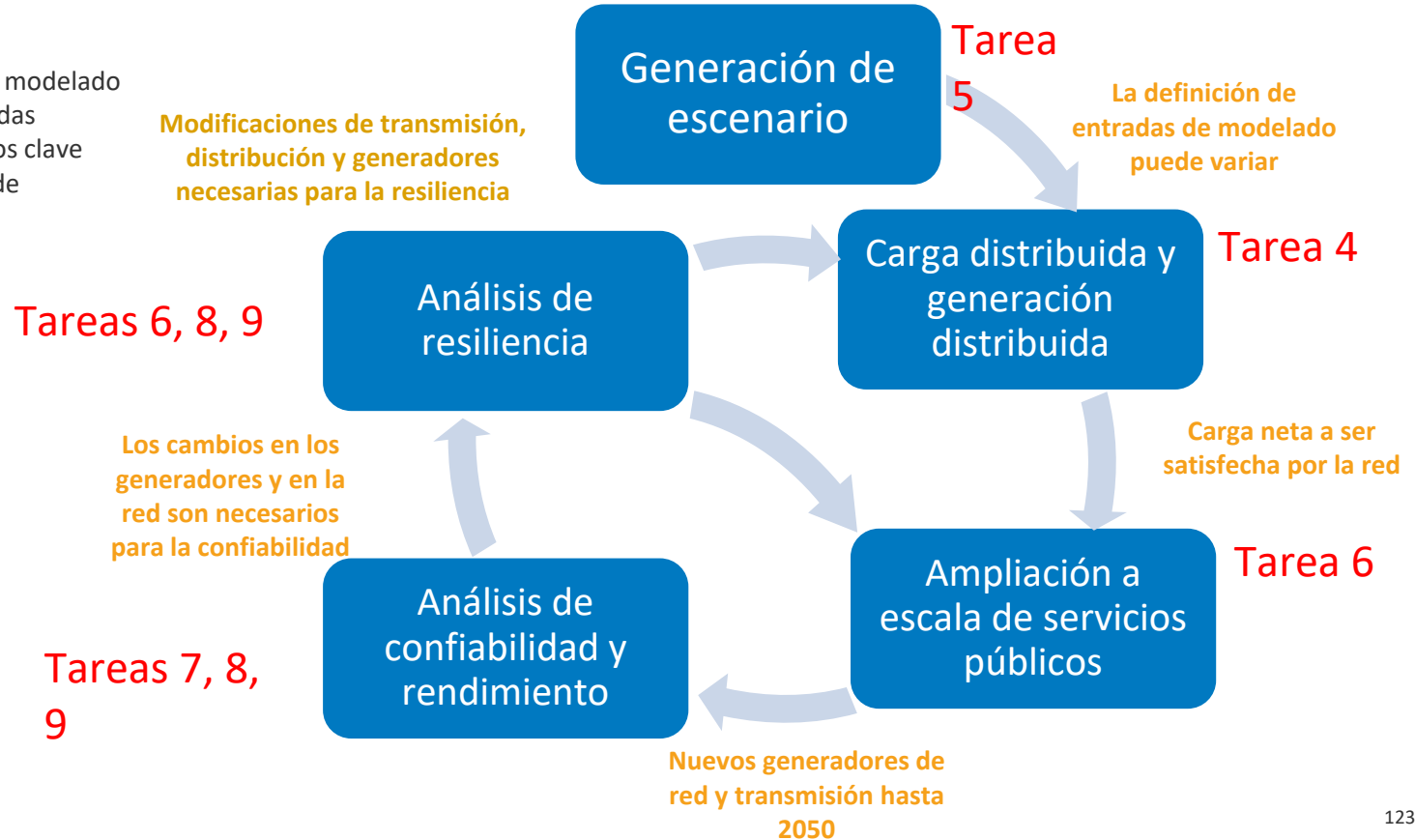
Retirada de plantas de generación térmica

El calendario de retirada de las unidades de generación de combustible fósil existentes se asumirá tal y como está escrito en el IRP del 24 de agosto de 2020 (resolución final de PREB sobre el IRP de 2019). Las revisiones de los calendarios de retirada existentes no se incluirán en los modelos a menos que se aprueben dentro del plazo del estudio. Se pueden realizar sensibilidades respecto a esto.

Confiabilidad y resiliencia modeladas en todos los escenarios

Legenda

- **Cajas azules**= Actividad de modelado
- **Texto rojo** = Tareas asociadas
- **Texto amarillo** = Resultados clave para la próxima actividad de modelado



Definición del marco del escenario inicial

- El equipo del proyecto trabajó estrechamente con el Grupo Asesor durante los primeros seis meses del estudio para definir cuatro escenarios iniciales para modelar en base a estas prioridades :
 - Acceso y asequibilidad de la energía
 - Confiabilidad y resiliencia (tanto en condiciones climáticas normales como extremas)
 - Ubicación, uso del terreno, efectos ambientales y de salud
 - Desarrollo económico y de la mano de obra
- La principal distinción entre los cuatro escenarios son los distintos niveles de recursos energéticos distribuidos, como la energía solar en los techos y el almacenamiento de energía.
- Las variaciones de la carga eléctrica y del uso del terreno, así como la ampliación de la transmisión y la distribución, se incorporarán en cada escenario.

Escenario 1. Adopción económica de los recursos energéticos distribuidos

El sistema eléctrico se modela para alcanzar el 100% de energía renovable en 2050



Escenario 2. Implementación de recursos energéticos distribuidos para servicios críticos

La instalación de recursos energéticos distribuidos se prioriza más allá del escenario 1 para servicios críticos como hospitales, estaciones de bomberos y supermercados



Escenario 3. Implementación equitativa de los recursos energéticos distribuidos

Se da prioridad a la instalación de recursos energéticos distribuidos más allá del escenario 2 para los hogares remotos, y de ingresos bajos y moderados



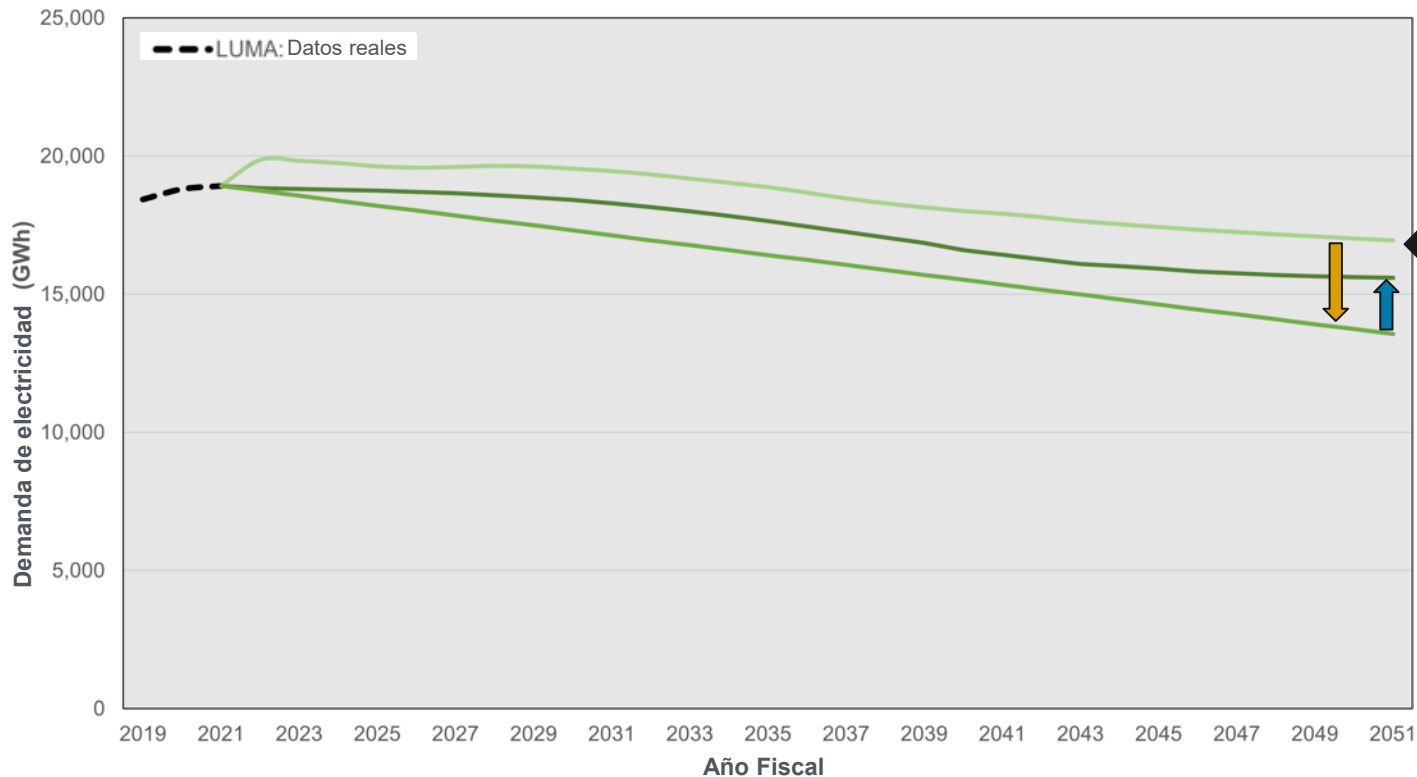
Escenario 4. Máxima implementación de recursos energéticos distribuidos

La energía solar distribuida y el almacenamiento de energía se añaden a todos los techos aptos



Opciones potenciales de carga eléctrica

PR100: Carga eléctrica predeterminada



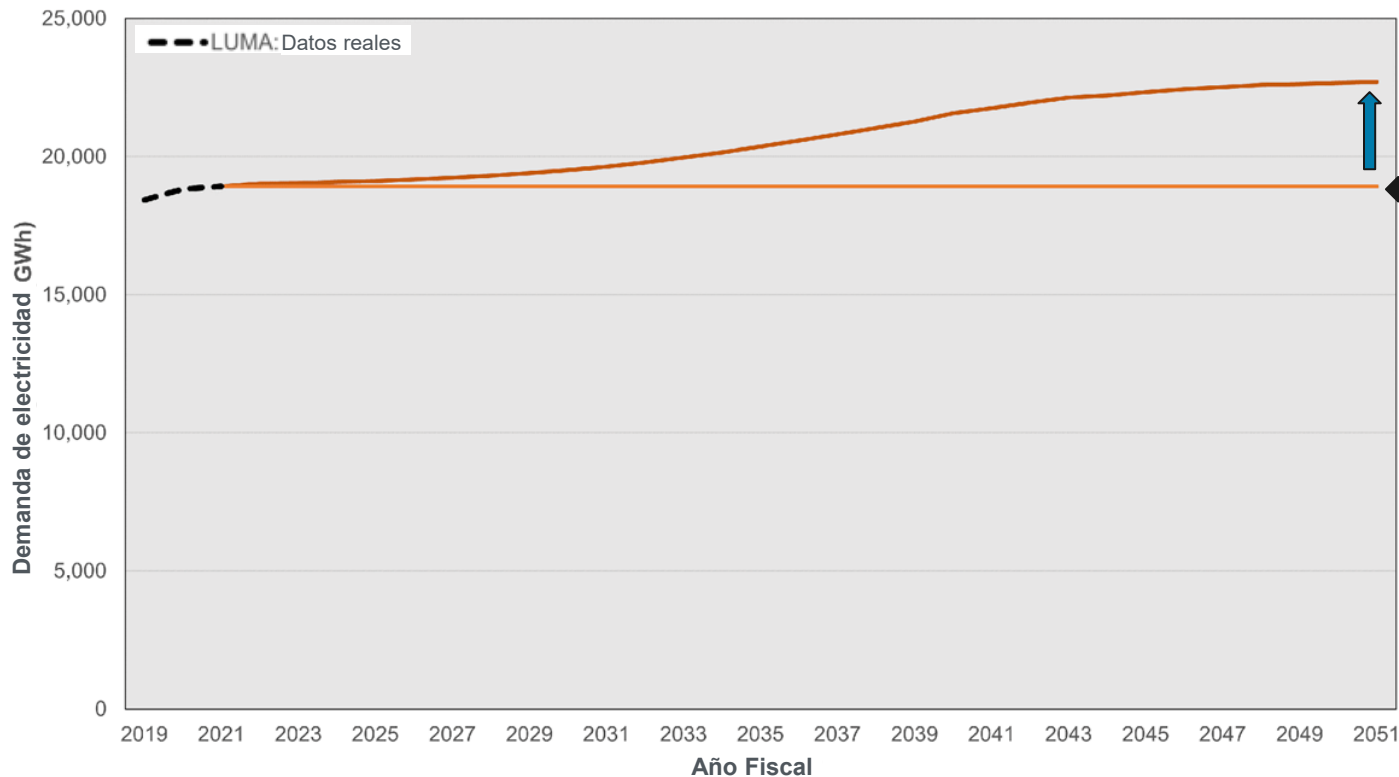
Predeterminada

Cargas de consumo	Proceso IRP Actualizado al 2019
Eficiencia energética	Caso - medio
Adopción de EV	Caso - medio

NOTA: Datos de referencia utilizados para la eficiencia energética y la adopción de EV para ilustrar los impactos potenciales en la carga eléctrica predeterminada.

Opciones potenciales de carga eléctrica

PR100: Carga eléctrica de estrés



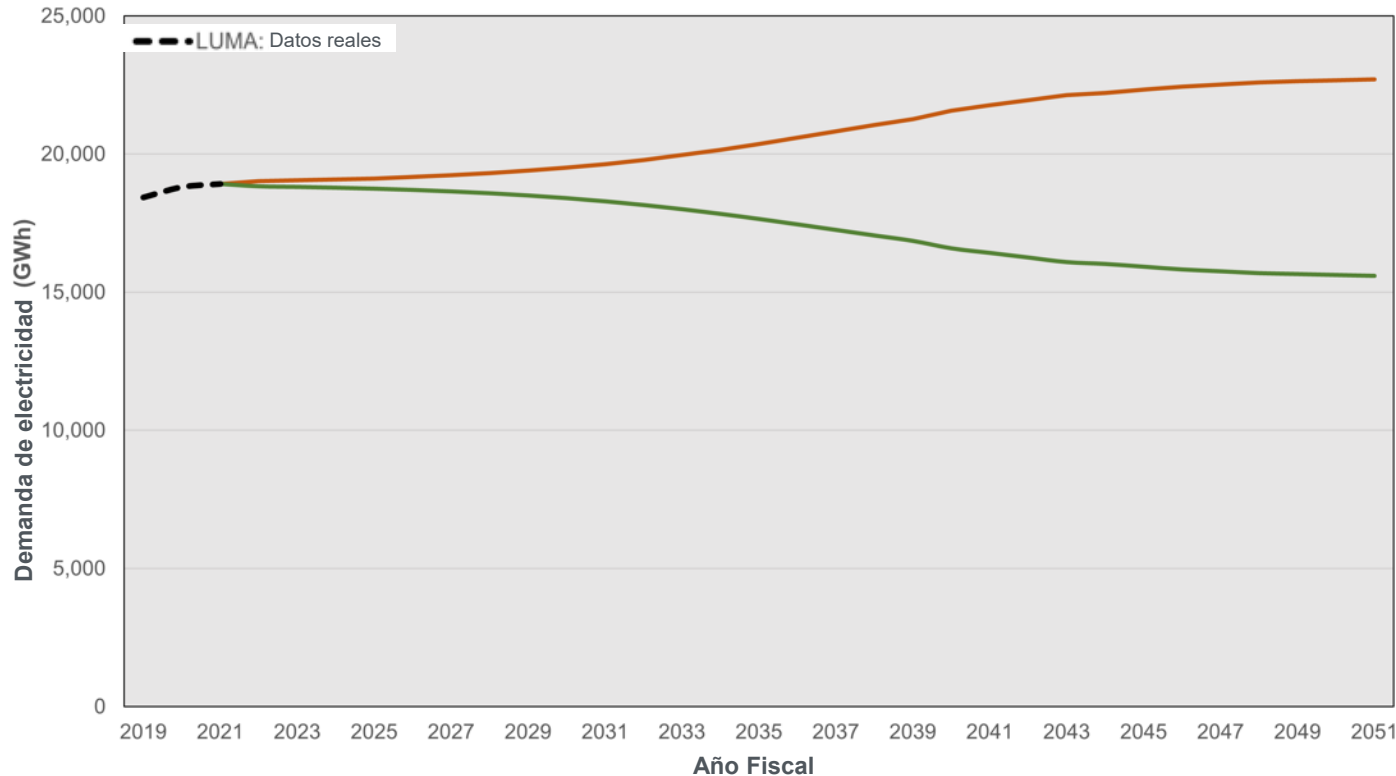
Estrés

Cargas de consumo	La combinación de cargas de consumo y eficiencia energética resultan en una carga anual plana
Eficiencia energética	
Adopción de EV	Alta adopción de EV (no controlada)

NOTA: Datos de referencia utilizados para la eficiencia energética y la adopción de EV para ilustrar los impactos potenciales en la carga eléctrica predeterminada.

Opciones potenciales de carga eléctrica

PR100: Carga eléctrica predeterminada vs. estrés



Estrés

Predeterminada

NOTA: Datos de referencia utilizados para la eficiencia energética y la adopción de EV para ilustrar los impactos potenciales en la carga eléctrica predeterminada.

Factor clave: Variaciones de la carga eléctrica

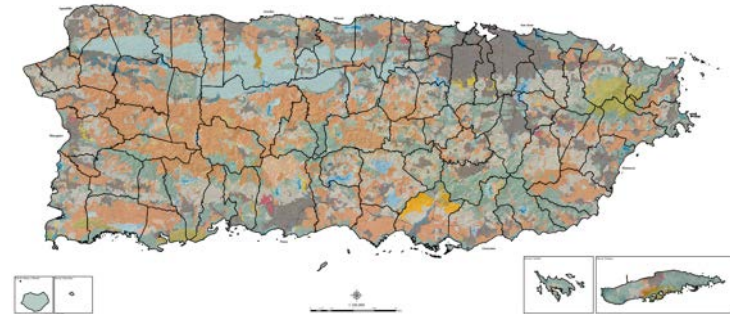
	Predeterminado	Estrés
Cargas de consumo	Proceso IRP 2019 actualizado	La combinación de las cargas de consumo y la eficiencia energética dan como resultado una carga neta anual plana
Eficiencia energética	Caso-medio	
Adopción de EV	Caso-medio	

- Cargas de consumo:
 - El proceso del IRP tiene cuatro entradas: El GNP, la población, los días grado de enfriamiento y los puestos de trabajo en el sector manufacturero. NREL ha actualizado el IRP de 2019 con datos actualizados de LUMA.
 - Se prevé que disminuya en 2050, por lo que el aumento de las cargas supondría un incremento.
- Estos niveles variables de componentes de carga eléctrica pueden combinarse con los otros escenarios para examinar el impacto de las variaciones de carga.
- El escenario "Estrés" daría lugar a las cargas más altas y a la mayor acumulación del sistema eléctrico.
- El escenario "Estrés" está diseñado para modelar los mayores impactos probables de la utilización del terreno.

Factor clave: Variaciones de la exclusión marina y terrestre



Zonas eólicas marinas disponibles tras las posibles exclusiones conocidas



El plan de usos de terrenos de Puerto Rico informará sobre las limitaciones de uso del terreno para la energía eólica y solar terrestre

Se han reunido muchas series de datos marinos y de uso del terreno. Se aplicarán dos posibles variaciones de exclusión a los escenarios:

- Menos restringido: Permitir el uso terrestre y marino para las energías renovables a escala de servicios públicos conforme al uso actual
- Más restringido: Permitir un menor uso terrestre y marino para las energías renovables a escala de servicios públicos, basándose en las entradas de las partes interesadas



TAREA 6: Modelado de ampliación de la capacidad

Laboratorio Líder: NREL

Laboratorios de Apoyo: ANL, PNNL

Modelado de la ampliación de la capacidad

¿Qué es?

- Inversiones óptimas con costo mínimo para la red de transmisión
- Planificación de las inversiones en capacidad de generación y transmisión (tamaño y ubicación) para satisfacer la carga prevista
- Con vistas al futuro, desde unos pocos años hasta muchas décadas, dependiendo de las preguntas del análisis
- Incluye los costos de inversión, de operación y mantenimiento (incluido el combustible)
- Las decisiones de inversión están sujetas a los requisitos operativos, legales, reglamentarios y de servicios de la red (por ejemplo, reservas)

¿Cómo lo usamos?

- Para evaluar qué generación y otras inversiones en la red son probables a lo largo del tiempo a través de diversas entradas (escenarios)
- Los resultados del modelado informan sobre las probables implicaciones futuras de las acciones actuales o de las fuerzas del mercado
- Un análisis simple (como el LCOE) es inadecuado para evaluar lo que podría ocurrir en el futuro (tomando en cuenta la complejidad de las decisiones de inversión en la red)



engage

accesibilidad
colaboración
comunicación

Engage™ empodera a diversos grupos de interesados para que comprendan y participen en la planificación del ecosistema energético transformacional al permitir la optimización multi energética-sectorial a través de una aplicación web.

Preguntas que responde

- ¿Qué escenarios futuros logran mis objetivos energéticos, de resiliencia y otros (productos básicos, transporte, consumo)?
- ¿Qué tecnologías se utilizarán para conseguirlo?
- ¿Cuál será el costo de comprar y operar el sistema?

¿Por qué Engage?

- Engage™ se utiliza en Puerto Rico y es un modelo orientado a "dejar atrás".
- Engage modela fácilmente tecnologías arbitrarias con sus flujos de valor adicionales (OTEC con la producción de alimentos y agua dulce), recursos como los flujos de agua (por ejemplo, demanda hidroeléctrica y de agua potable) y consumo (por ejemplo, calefacción, refrigeración, transporte).
- Engage™ realiza modelos en diferentes escalas haciéndolos apropiados para Puerto Rico.

Relevancia

Se puede utilizar en todos las ubicaciones. Datos necesarios para hacer uso de la herramienta.

Enlace

<https://engage.nrel.gov>

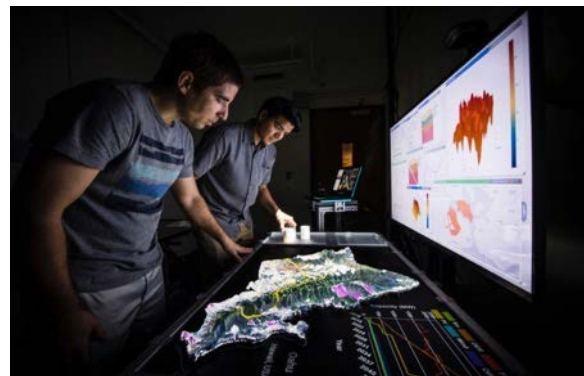
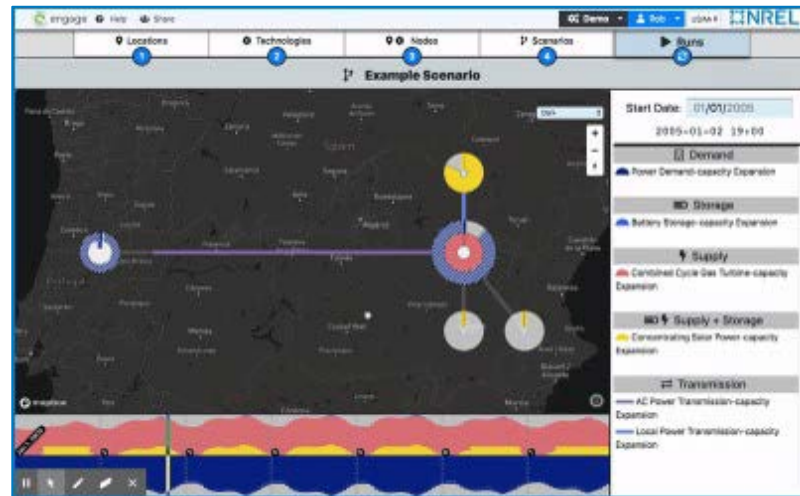


Foto por Dennis Schroeder, NREL 57777

Modelado de ampliación de la capacidad Engage™



Caracterizaciones de la tecnología Engage™

Caracterización: Caracterización de costos y beneficios de las tecnologías, contratos, resiliencia vs. fragilidad

- PV, turbinas eólicas (incluyendo turbinas eólicas marinas y posiblemente PV flotante)
- Puntos de transmisión e interconexión, ampliación de la transmisión, fortalecimiento de la transmisión
- Térmica de carbón, turbinas de gas de ciclo combinado, turbinas de gas, diésel (posiblemente para incluir el biodiésel)
- Energía hidroeléctrica y de bombeo
- Conversión de la energía térmica del océano
- Baterías
- Almacenamiento a largo plazo/exceso de energía (por ejemplo, generación y almacenamiento de hidrógeno y generación alimentada por hidrógeno)
- Acuerdos de compra y explotación de energía (PPOA, por sus siglas en inglés)
- Posible incorporación de limitaciones/costo/beneficios de resiliencia asociados a ciertas medidas, tecnologías y eventos



Enfoque actual



Enfoque a corto plazo

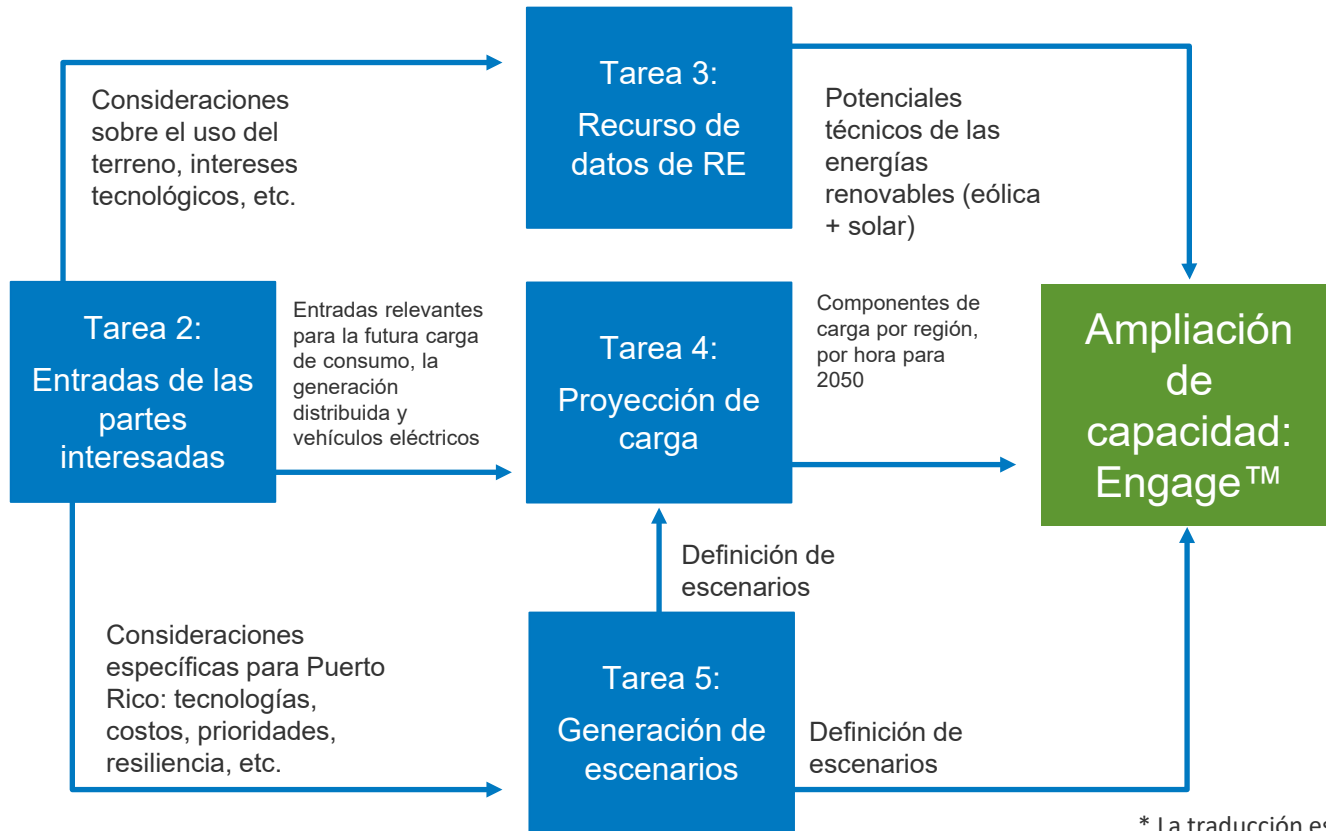


Enfoque a mediano plazo



Enfoque a largo plazo

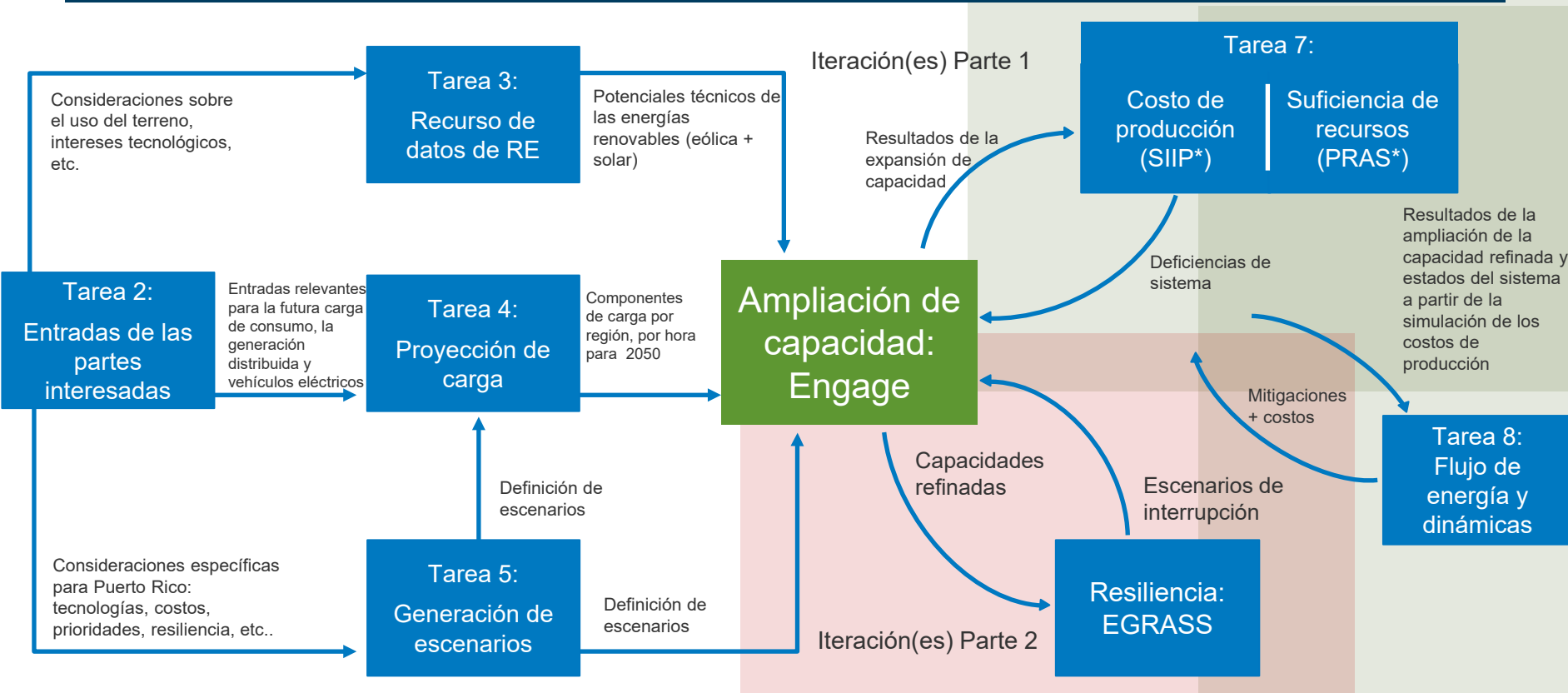
Engage™ en el contexto de PR100: Fase actual



- Recopilación de datos de activos de generación y transmisión existentes de PREPA/LUMA. Datos técnicos (archivos del Simulador de Sistema Energético para Ingeniería [PSSE, por sus siglas en inglés]) completos, necesidad de validar las tasas de calor; datos de costos utilizando datos anteriores del marcador de posición de PREPA, necesidad de actualizar los datos de costos/validación.
- Creado el "pipeline" de ingestión de datos con los datos de marcador de posición de la Tarea 3 (datos de recursos de RE: 80% completado), la Tarea 4 (carga, EV, EE: pieza de Engage completa, colaborando en el "pipeline" de traducción de datos*), y los datos del sistema.
- Caracterizar las tecnologías adicionales del sistema existente (hidroeléctrica) y las futuras tecnologías del sistema en el modelo Engage. Representaciones de la tecnología y los costos de la hidroelectricidad, la OTEC y el almacenamiento (con la Tarea 10) en curso.

* La traducción es de carga, EV, EE datos a nivel de municipio a datos a nivel de subestación para los modelos eléctricos.

Engage™ en el contexto de PR100: Próxima fase



- Modelo de planificación de infraestructuras integradas escalables (SIIP, por sus siglas en inglés)
- Conjunto probabilístico de suficiencia de recursos (PRAS, por sus siglas en inglés)
- Sistema de Evaluación y Resiliencia de la Red Eléctrica (EGRASS)



TAREA 7: Costo de producción y suficiencia de los recursos

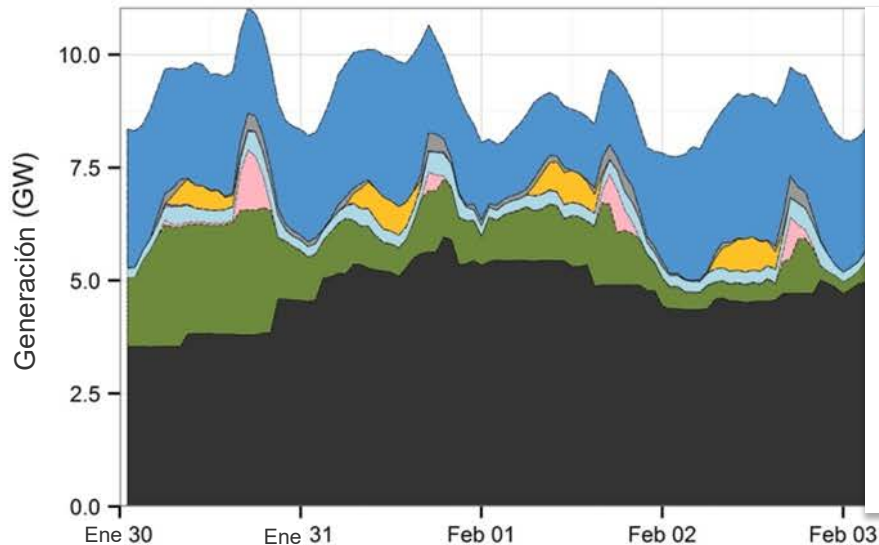
Laboratorio Líder: NREL

Laboratorio de Apoyo: ANL

¿Qué es el modelado de costos de producción y suficiencia de recursos?

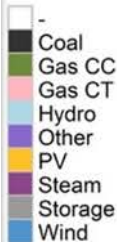
Suficiencia de recursos

- Calcula la probabilidad de que un sistema determinado sea suficiente para satisfacer la demanda
- Considera las tasas de interrupción de los componentes y la coincidencia de la disponibilidad de los generadores renovables y las series de tiempo de la demanda
- Representa una aproximación de la transmisión (por región) y del compromiso/despacho de los generadores



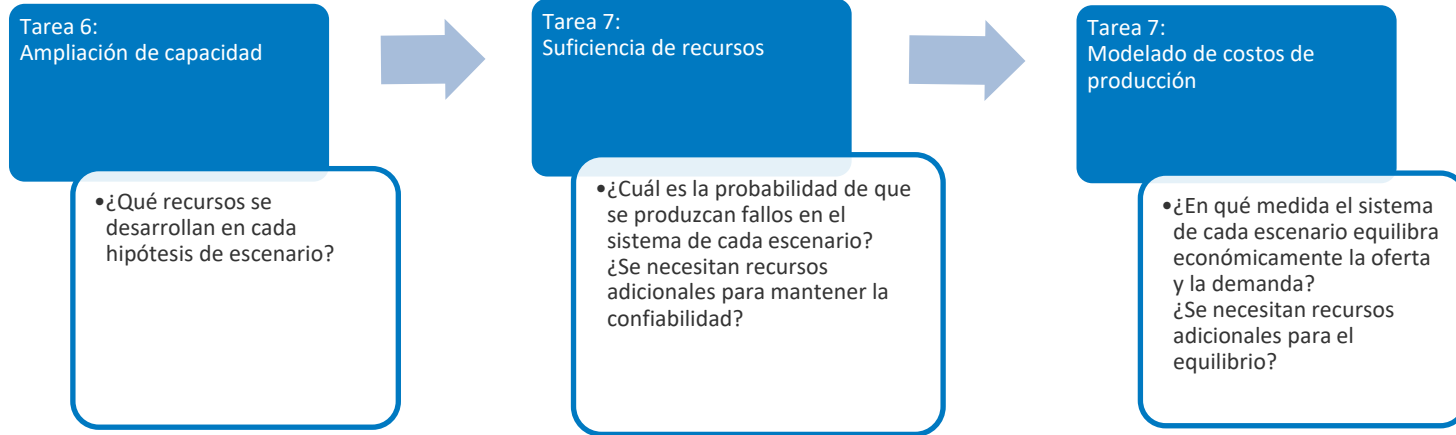
Modelado de los costos de producción

- Simula la programación económica de los recursos que "existen" en cada escenario (en comparación con la adición de nuevos recursos en la modelación de la ampliación de la capacidad)
- ¿Cuál es el impacto de los errores de predicción?
- ¿Cómo se comporta el sistema (precios, "ramping", emisiones, costos de producción, etc.)?



Feb 04 Feb 05 Feb 06 Feb 07 Feb 08

Costo de producción y suficiencia de recursos: Herramientas y coordinación del flujo de trabajo Progreso hasta la fecha



Progreso hasta la fecha:

- Se han coordinado los datos de referencia comunes basados en el caso de flujo de carga compartido por LUMA
- Se identificaron las métricas necesarias para el análisis posterior en las tareas 8 y 10
- Se habilitó el traspaso de datos clave entre modelos y las traducciones necesarias para aceptar los resultados del modelo de ampliación de la capacidad como entradas y proporcionar entradas a las tareas posteriores
- Se desarrollaron los conjuntos de datos iniciales del modelo de suficiencia de recursos y de costos de producción del caso-base

Lo que viene en la Tarea 7 :

- Resultados validados del modelo de caso-base
- Resultados y análisis del escenario del sistema ampliado:
 - Resultados del rendimiento del sistema expandido para identificar las necesidades de recursos adicionales
 - Análisis del rendimiento del sistema sobre la probabilidad de pérdida de carga, los costos totales de producción, el funcionamiento de las centrales, la utilización de la transmisión y la asignación de reservas
 - Análisis del impacto de las emisiones y de los precios al por mayor de la electricidad

Costo de producción y suficiencia de recursos: Herramientas y coordinación del flujo de trabajo Progreso hasta la fecha

SIIP – Modelo de planificación de infraestructuras integradas escalables

www.nrel.gov/analysis/siip.html

Paquetes de fuentes de código abierto:

PowerSystems.jl

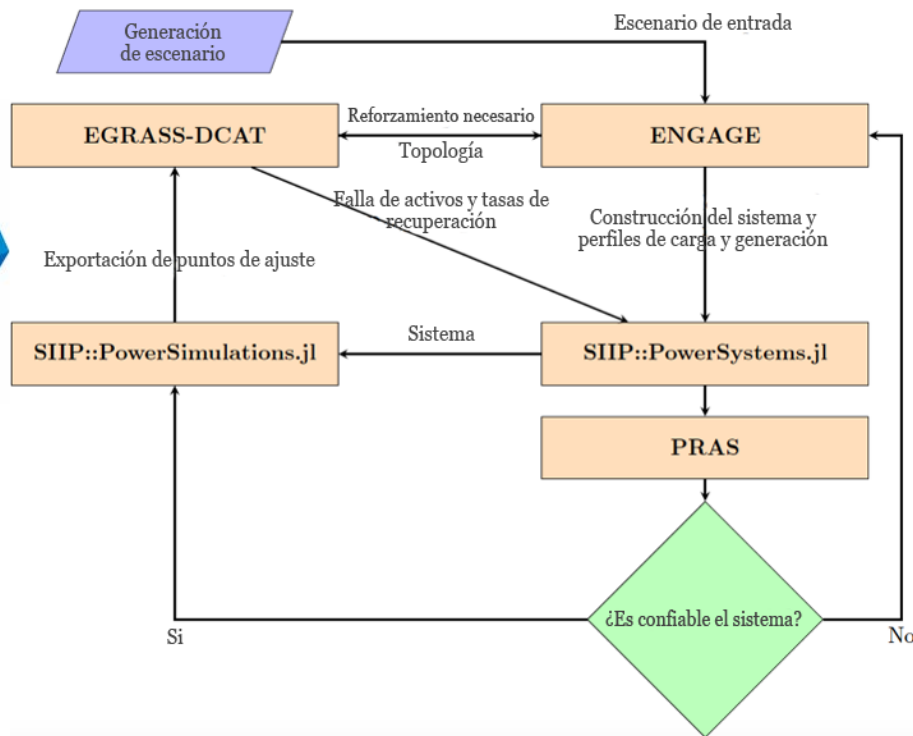
Especificación de datos del sistema de energía coherente para PowerSimulations.jl y PRAS

PowerSimulations.jl

Problemas de optimización cuasi estática que simulan la programación del sistema eléctrico (energía y servicios auxiliares)

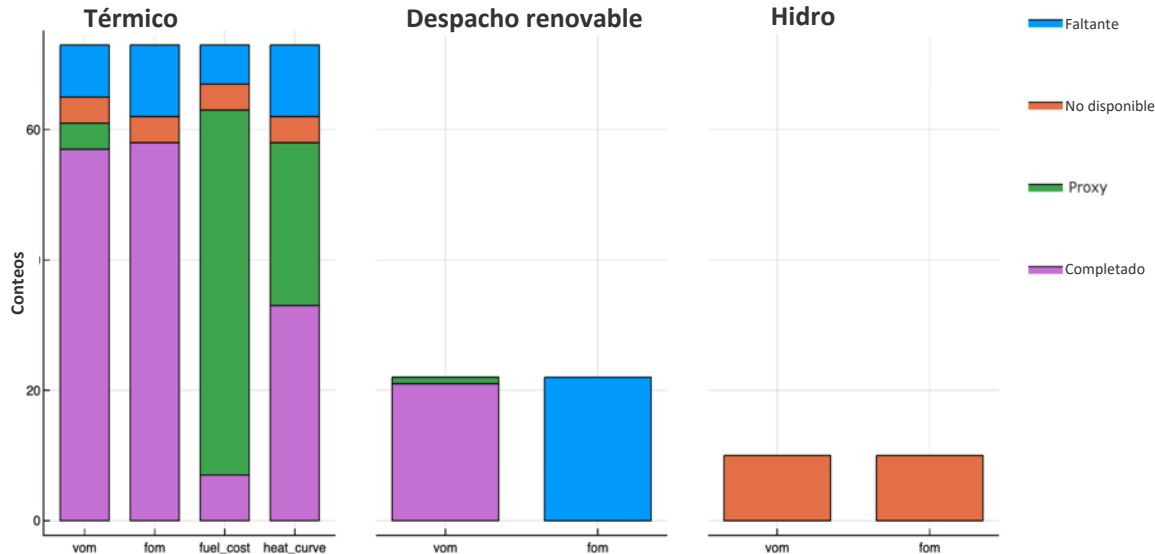
Conjunto probabilístico de suficiencia de recursos (PRAS)

Análisis Monte Carlo de la suficiencia del sistema ante fallos pseudoaleatorios de los componentes y la variabilidad de los recursos renovables



Costo de producción y suficiencia de recursos: Preparación del modelo de caso-base

Exhaustividad de los datos de los costos de producción

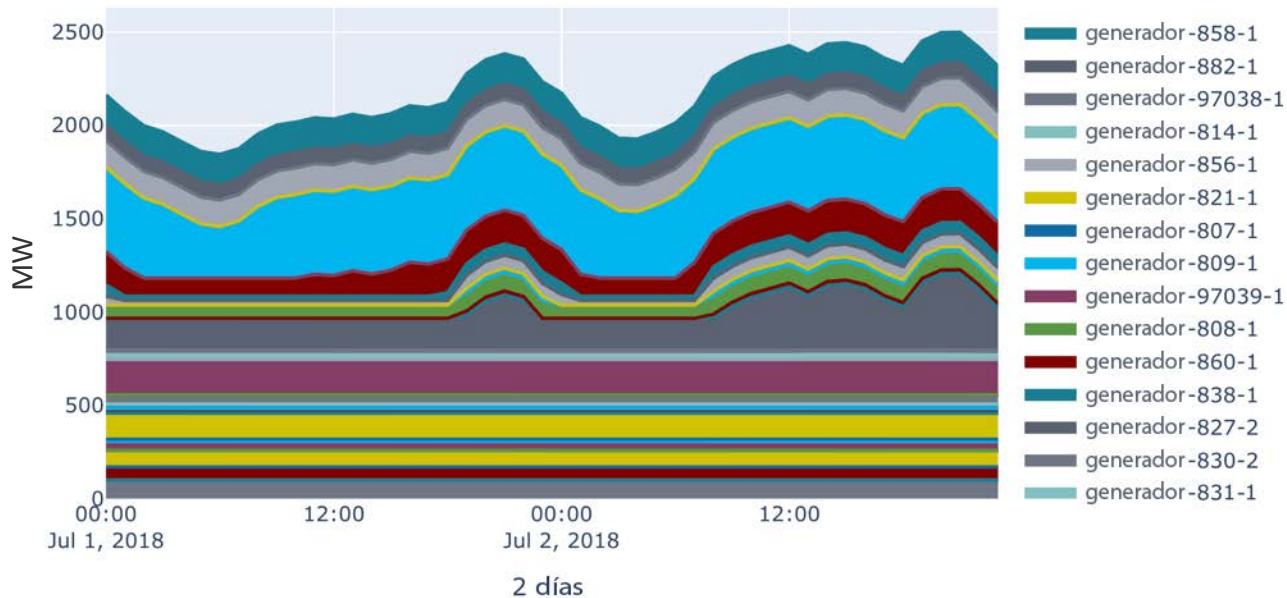


Recopilación de datos del caso-base y preparación del modelo:

- Esfuerzo hasta la fecha:
 - Se ha recopilado la mayor parte de los datos del caso-base
 - Se han realizado solicitudes de datos para completar los que faltan y sustituir los datos indirectos
- Próximos pasos:
 - Refinar el uso de datos proxy, añadir datos del perfil solar, recopilar e implementar representaciones de la energía hidroeléctrica
 - Validar los resultados del modelo y ajustar los datos de entrada del caso-base
 - Producir los resultados y el análisis del modelo de caso-base

Costo de producción y suficiencia de recursos: Resultados preliminares

Muestra de resultados preliminares de los despachos del caso-base



Validación necesaria:

- Tasas/costos de calefacción
- Tasas de interrupción
- Configuraciones de ciclo combinado

Carencias de datos:

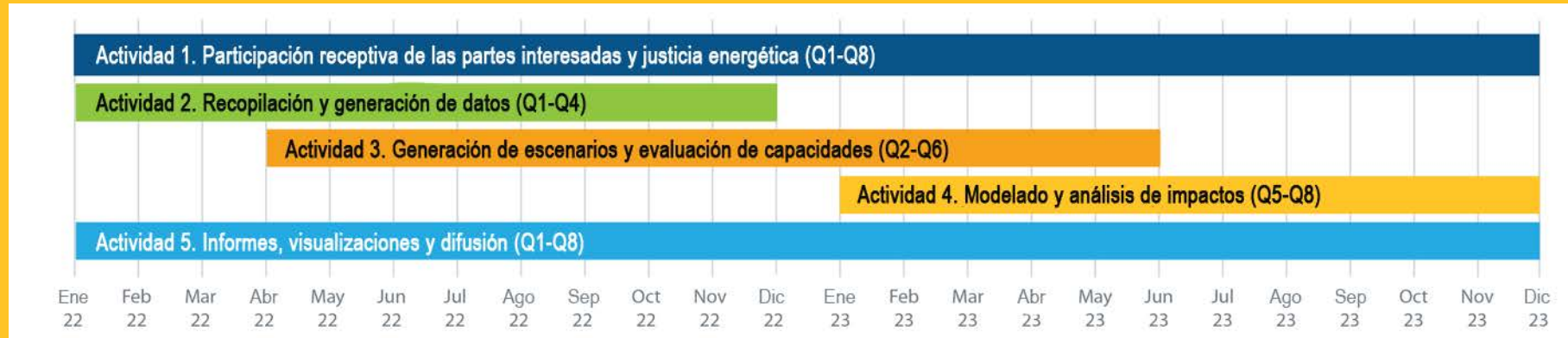
- Energía hidroeléctrica (pendiente de coordinación con el ORNL)
- Perfiles solares (en preparación)

Actividad 4. Modelado y análisis de impacto

Tarea 8. Análisis dinámico y de flujo de energía de sistemas a granel

Tarea 9. Análisis del sistema de distribución

Tarea 10. Análisis del impacto económico



Tarea 8: Análisis dinámico y de flujo de energía de sistemas a granel

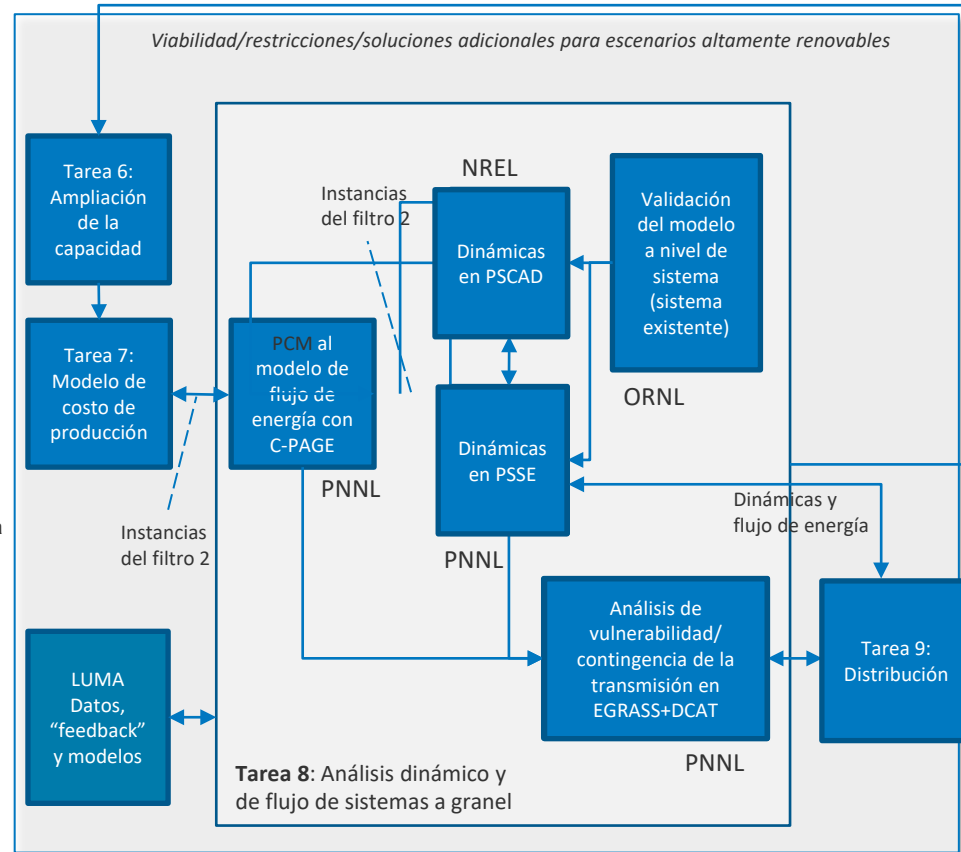
Laboratorio Líder: PNNL

Laboratorios de Apoyo: ORNL, NREL

Análisis dinámico y de flujo de energía de sistemas a granel

Progreso hasta la fecha

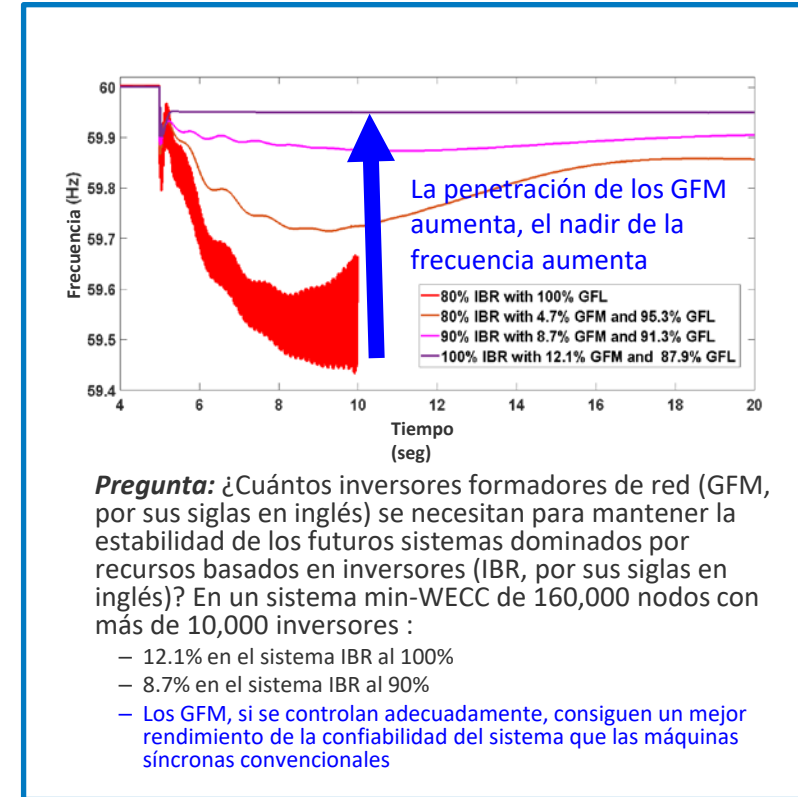
- Flujo de corriente alterna
 - LUMA proporcionó el caso-base 2021
 - PNNL preparó el 48.5% (aprox. Tramo 1), y la penetración adicional de RE para las pruebas iniciales (60%, 70%, 80%, 100%)
- Dinámicas (PSS/E, PSCAD)
 - PNNL adaptó el modelo dinámico de PSS/E de 2019 al caso de 2021, y construyó las pruebas iniciales para RE superiores al 48.5% y al 60%
 - NREL construyó el modelo PSCAD basado en la dinámica de 2019; y el modelo PSCAD para el tramo 1
 - PNNL trabaja en los modelos DER y de carga del motor de PSSE
- Datos de los sensores y validación del modelo
 - LUMA compartió los datos de los eventos con el equipo de la Tarea 8
 - El ORNL identificó los eventos de interés y obtuvo los resultados de la validación inicial - coordinación con los esfuerzos de LUMA
- Evaluación de la resiliencia
 - Configurado EGRASS-DCAT para ejecutar la evaluación de la vulnerabilidad - análisis dinámico en cascada del huracán N-k
 - Se está adaptando EGRASS para informar sobre la ampliación de la capacidad (dentro de la tarea 6) - añadiendo también la distribución y la energía solar PV
- Coordinación de datos y modelos con LUMA, y tareas 6, 7, 8 y 9



Análisis dinámico y de flujo de energía de sistemas a granel

Lo que viene en la Tarea 8

- Validación de la dinámica a nivel de sistema
- Control y estabilidad para una alta penetración de renovables: preocupaciones → posibles soluciones
 - Baja inercia → control del inversor (por ejemplo, respuesta rápida a la frecuencia), condensadores síncronos
 - Redes débiles → control del inversor (por ejemplo, formación de la red), condensadores síncronos
 - Reservas de equilibrio → análisis de variabilidad e incertidumbre
 - Supervisión, control y coordinación de los recursos energéticos distribuidos → control a nivel de distribución, control/coordinación a nivel de transmisión
- Análisis de escenarios
 - Análisis de varios puntos de funcionamiento
 - Impactos y soluciones de control y estabilidad en la transmisión con el comportamiento agregado de la distribución y la energía solar PV
 - Vulnerabilidad: análisis de cascada dinámica del huracán N-k



Pregunta: ¿Cuántos inversores formadores de red (GFM, por sus siglas en inglés) se necesitan para mantener la estabilidad de los futuros sistemas dominados por recursos basados en inversores (IBR, por sus siglas en inglés)? En un sistema min-WECC de 160,000 nodos con más de 10,000 inversores :

- 12.1% en el sistema IBR al 100%
- 8.7% en el sistema IBR al 90%
- Los GFM, si se controlan adecuadamente, consiguen un mejor rendimiento de la confiabilidad del sistema que las máquinas síncronas convencionales



TAREA 9: Análisis del sistema de distribución

Laboratorio Líder: Sandia

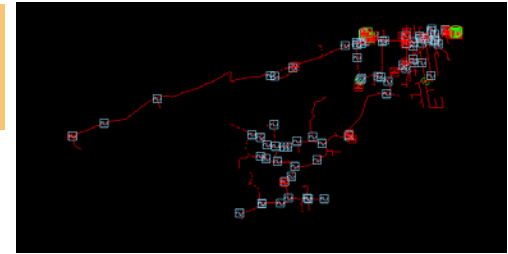
Laboratorios de Apoyo: NREL, PNNL

Análisis del sistema de distribución

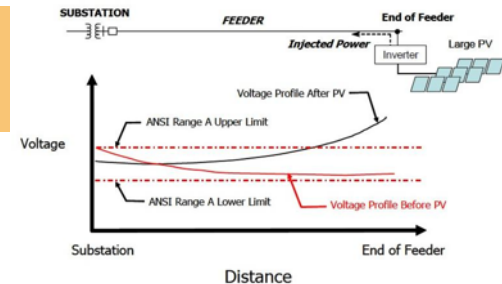
Progreso hasta la fecha

- Trabajando en la conversión de ~30 alimentadores de distribución suministrados por LUMA en Synergy a la plataforma de investigación OpenDSS
- Establecimiento de un análisis de la capacidad de alojamiento para comprender las capacidades de los DER
- Participar en debates transversales con otras tareas para establecer estrategias de control, métricas de resiliencia, etc.
- Refinando el análisis de la capacidad de alojamiento para tener en cuenta los controles, las actualizaciones de la red u otras medidas de mitigación
- Identificar y cuantificar los beneficios de la resiliencia de grandes cantidades de los DER y de almacenamiento en las redes de distribución.

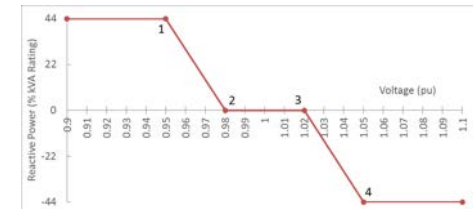
Alimentador Synergy de ejemplo



Impacto en el voltaje de los DER



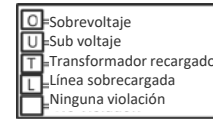
Estrategia de mitigación: controles de voltaje/var



Análisis del sistema de distribución

- En los próximos 6 meses :
 - Análisis detallado para comprender la capacidad de las energías renovables distribuidas y los factores limitantes
 - Implementar las mejoras previstas del sistema en la modelación
 - Cuantificar los posibles aumentos de capacidad debido a los controles (por ejemplo, volt-VAR)
- En los próximos 12 meses :
 - Identificar las interdependencias entre las operaciones de los sistemas de distribución y de gran volumen
 - Simular las vulnerabilidades bajo altas penetraciones
 - Explorar las oportunidades de las microrredes a partir de altos niveles de DER y los beneficios de resiliencia resultantes

Alto
Capacidad de alojamiento de DER
Bajo



Aumento de la capacidad de
acogida de los DER al utilizar
Volt-VAR [MW]



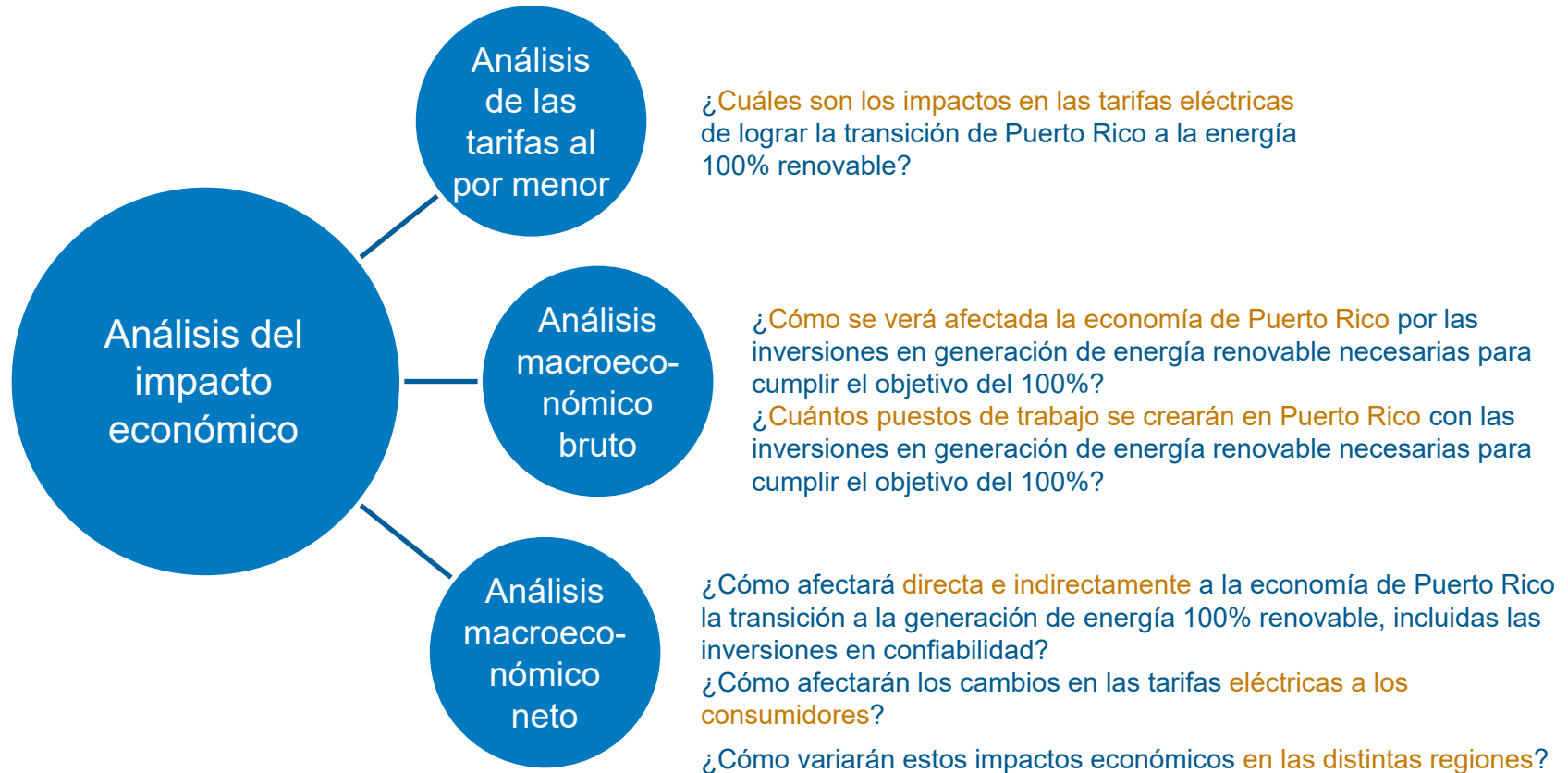


TAREA 10: Impacto económico

Laboratorio Líder: LBNL

Laboratorio de Apoyo: NREL

Análisis del impacto económico: Preguntas clave de la investigación



Análisis de las tarifas minoristas: Preguntas clave de la investigación



¿Cuáles son los impactos en las tarifas eléctricas de lograr la transición de Puerto Rico a la energía 100% renovable?

¿Cómo se verá afectada la economía de Puerto Rico por las inversiones en generación de energía renovable necesarias para cumplir el objetivo del 100%?

¿Cuántos puestos de trabajo se crearán en Puerto Rico con las inversiones en generación de energía renovable necesarias para cumplir el objetivo del 100%?

¿Cómo afectará directa e indirectamente a la economía de Puerto Rico la transición a la generación de energía 100% renovable, incluidas las inversiones en confiabilidad?

¿Cómo afectarán los cambios en las tarifas eléctricas a los consumidores?

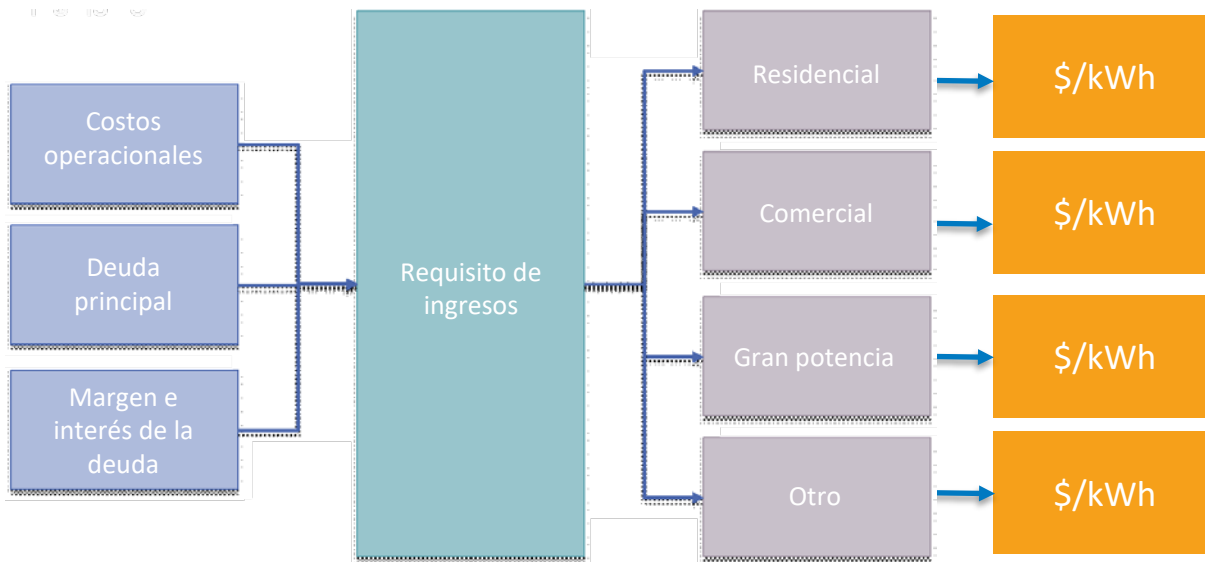
¿Cómo variarán estos impactos económicos en las distintas regiones?

Resumen del análisis de las tarifas al por menor

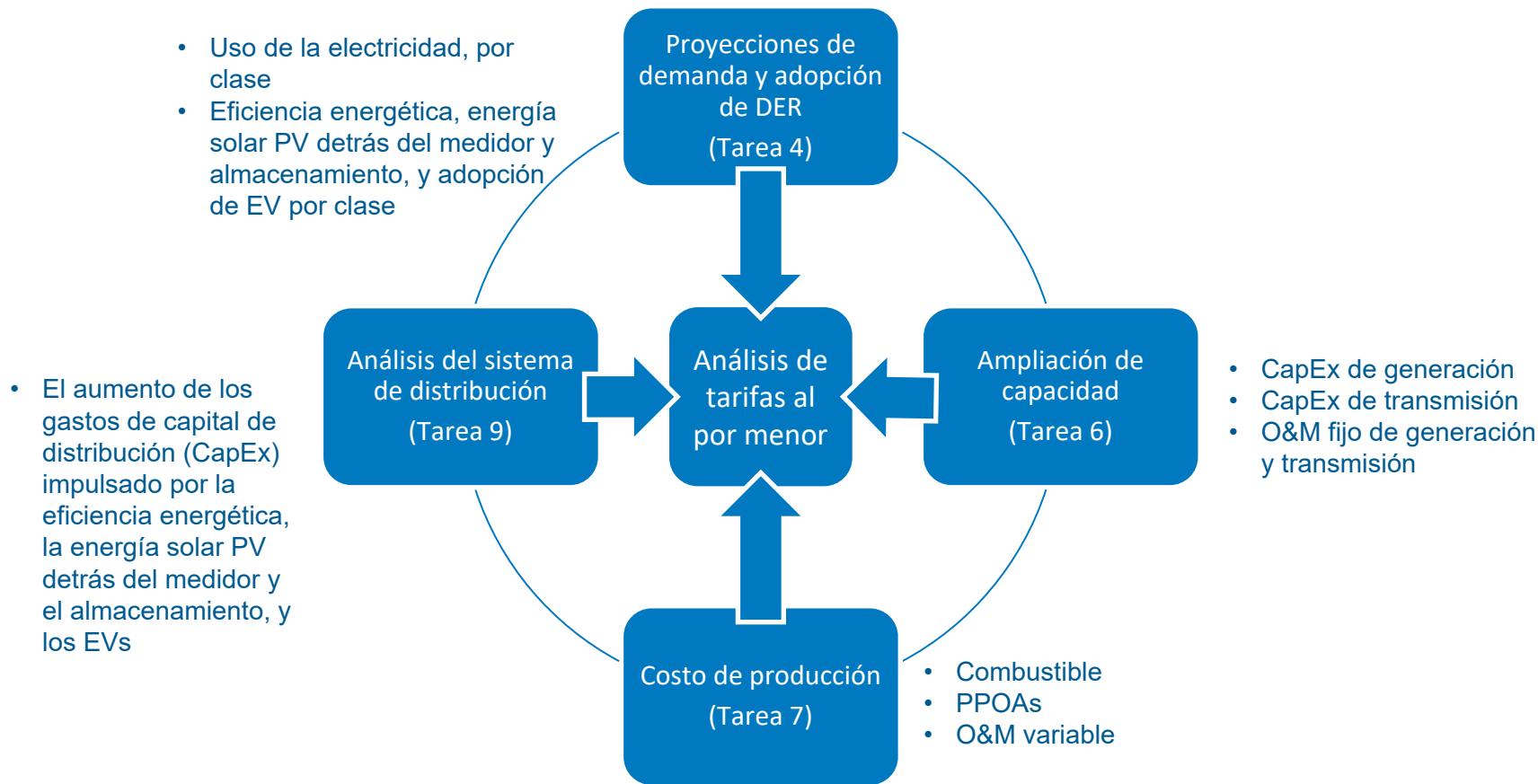
1. Determinar el costo anual de servir a todos los clientes de PREPA/LUMA

2. Determinar la responsabilidad de los costos anuales de cada clase de cliente

3. Las tarifas al por menor proyectadas son requerimientos de ganancias clase anual dividida por las ventas al por menor de clase anual.



Muchas entradas para el análisis de las tarifas al por menor provienen de los resultados de otras tareas de PR100



Esfuerzos de análisis de tarifas al por menor hasta la fecha

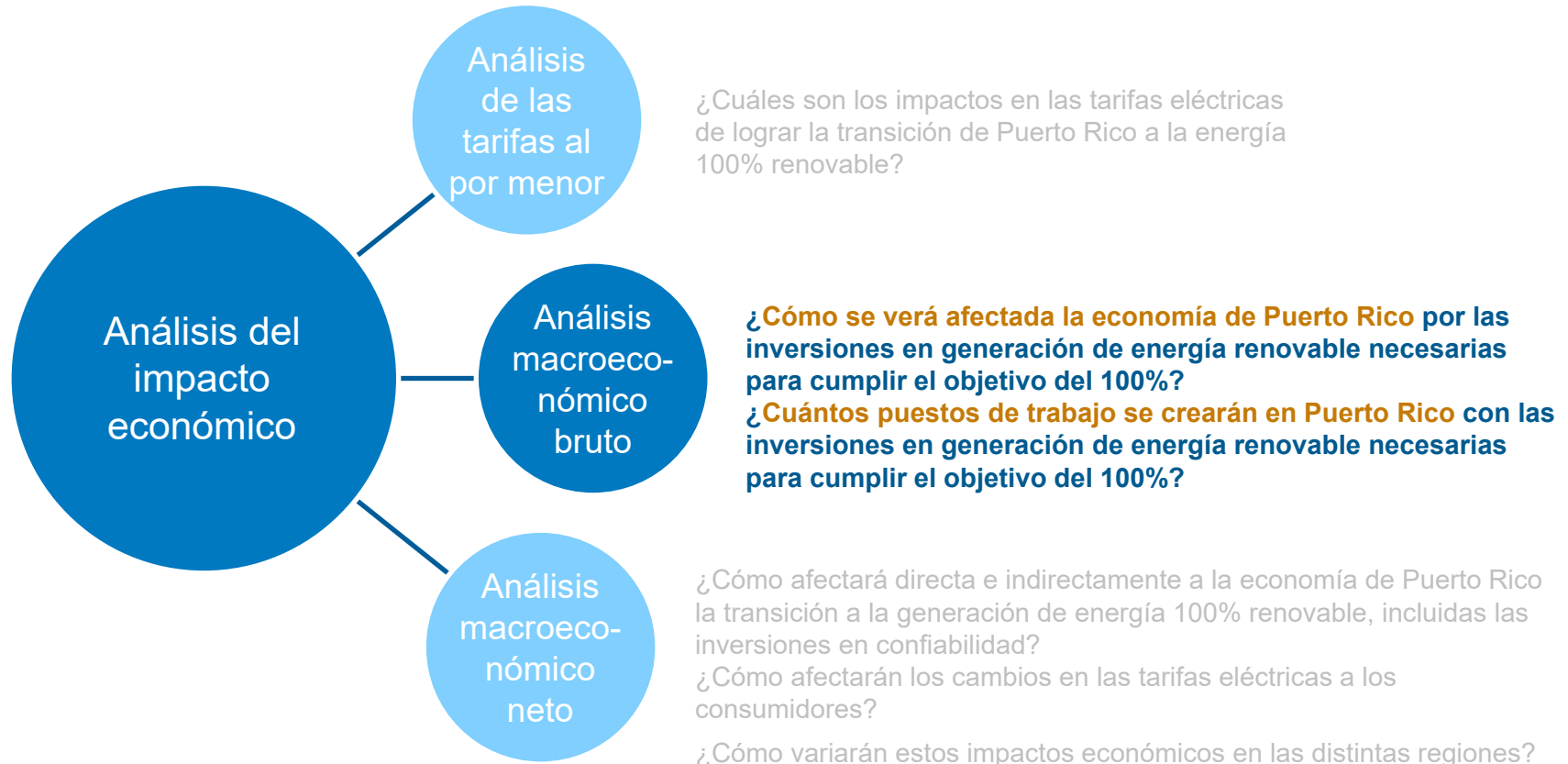
- Se recopilaron y organizaron los datos financieros y de costos actuales y previstos de PREPA/LUMA disponibles públicamente
- Se intentó comprender mejor el estado actual del procedimiento de quiebra de PREPA para evaluar cómo representar las obligaciones de deuda existentes después de la quiebra
- Se colaboró con otras tareas para comprender mejor los métodos analíticos y los resultados probables con el fin de identificar oportunidades para utilizar los datos internamente consistentes de PREPA como entradas del modelo de Análisis financiero proforma estandarizado de servicios públicos (SUPRA, por sus siglas en inglés)

Esfuerzos de análisis de tarifas al por menor por venir

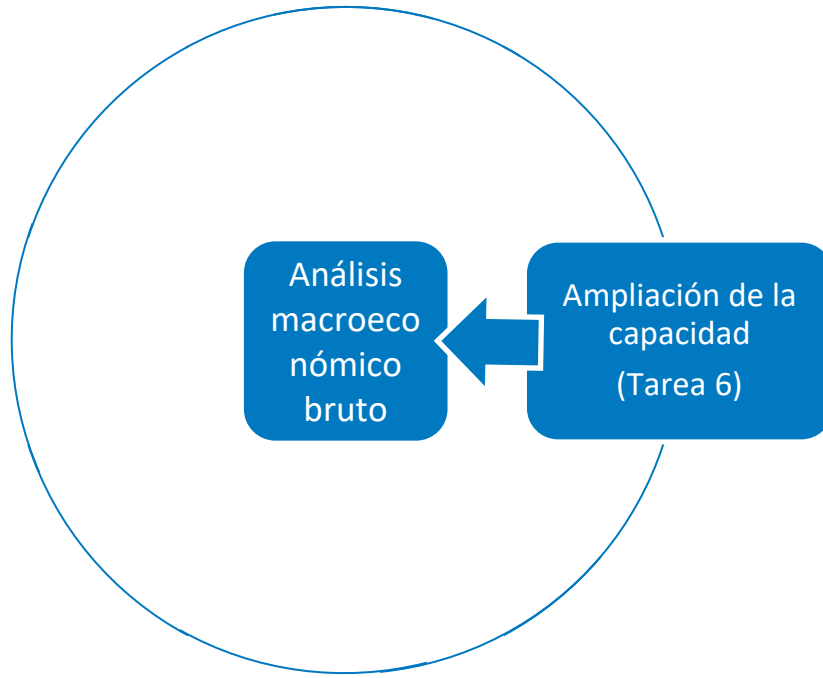
- **Entregable a doce meses** : Preparación del modelo financiero pro forma inicial de PREPA/LUMA (SUPRA)
 - Caracterizar completamente la situación financiera actual de PREPA/LUMA
 - Trabajar con PREPA, LUMA, FOMB, Ankura y la Autoridad de la Asociación Público-Privada de Puerto Rico (P3A, por sus siglas en inglés) para determinar la forma más apropiada de caracterizar a PREPA/LUMA después de la bancarrota y la reorganización
 - Identificar la fuente de financiamiento más apropiada para los gastos de capital a corto plazo: FEMA, Departamento de Vivienda y Desarrollo Urbano de EE.UU. (HUD, por sus siglas en inglés), pagadores de tarifas de PREPA/LUMA
 - Producir estimados de las tarifas eléctricas al por menor para un conjunto inicial de escenarios
- **Entregable del año 2** : Finalización del modelo SUPRA
 - Evaluar qué entradas del modelo deben modificarse en función de un conjunto final de escenarios
 - Elaborar estimados de las tarifas eléctricas al por menor para un conjunto final de escenarios

Análisis macroeconómico bruto:

Preguntas clave de la investigación



Muchas entradas del análisis macroeconómico bruto provienen de los resultados de otras tareas de PR100



- CapEx de generación renovable
- CapEx de transmisión asociado a la generación de energía renovable
- O&M fijo y variable asociado a las inversiones anteriores (según corresponda)

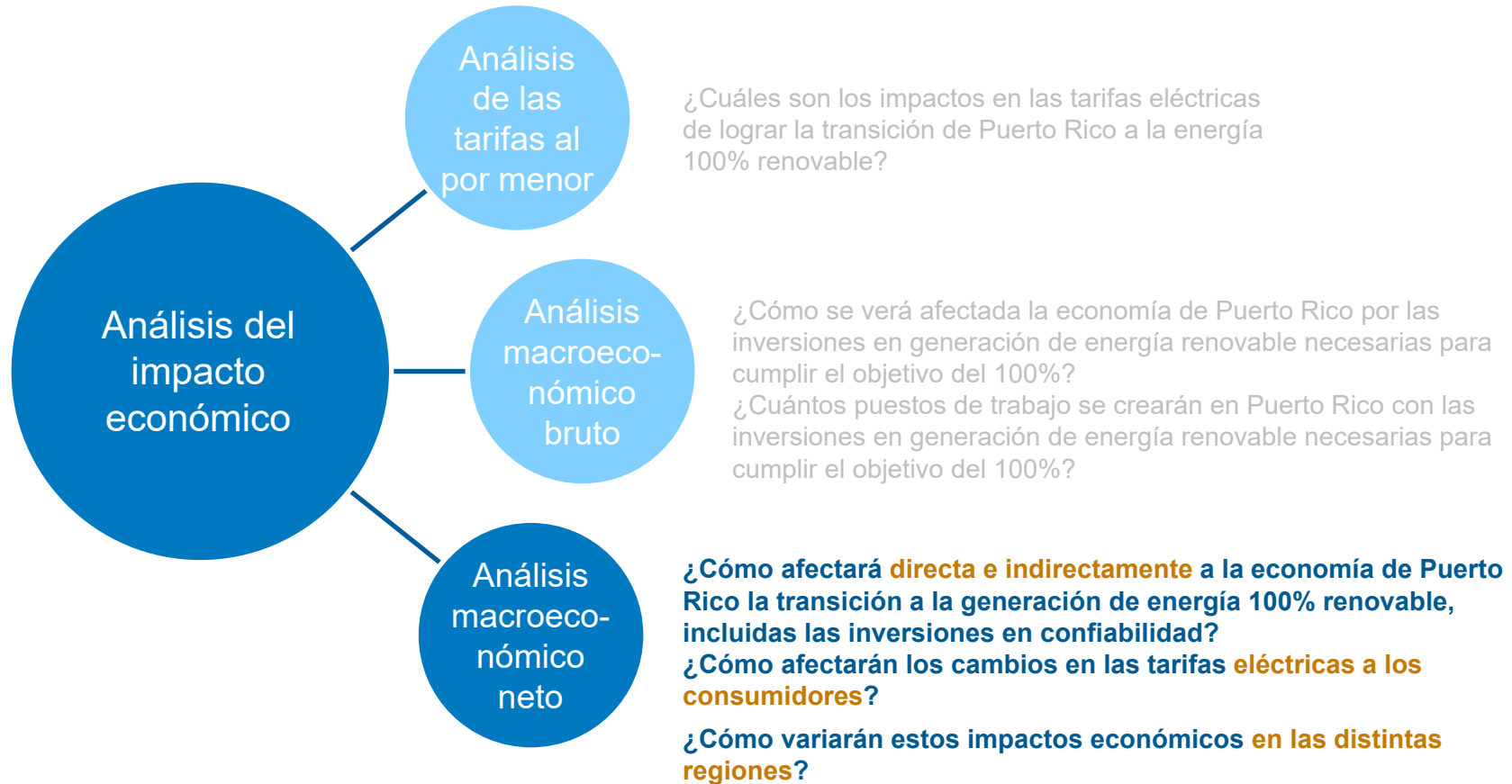
Esfuerzos de análisis macroeconómico bruto hasta la fecha

- Datos adquiridos a nivel de territorio para Puerto Rico a partir de IMPLAN
- Se ha colaborado con otras tareas para comprender mejor los métodos analíticos y los resultados probables con el fin de identificar las oportunidades de utilizar los datos coherentes internamente de PR100 como entradas del modelo SUPRA

Esfuerzos de análisis macroeconómico bruto por venir

- **Entregable a doce meses** : Preparación inicial del modelo JEDI
 - Establecer el modelo JEDI para todos los tipos de tecnología con el fin de integrar los escenarios de capacidad y costos
 - Determinar los patrones de gasto locales para los costos de capital y de operación
 - Producir estimados para el conjunto inicial de escenarios
- **Entregable del año 2** : Finalización del modelo JEDI
 - Finalizar los estimados del impacto económico bruto
 - Comprometerse con otras tareas que necesitan datos sobre el empleo

Análisis macroeconómico neto: Preguntas clave de la investigación



El modelo de equilibrio general computable representa los flujos económicos

- Cuatro actores económicos clave:
 - Las empresas
 - Gobierno
 - Los hogares
 - El resto del mundo
- El modelo nos permite examinar cómo afectan a la economía diferentes "shocks".
- Aquí, nuestro interés es la nueva inversión y los cambios en el precio de la electricidad

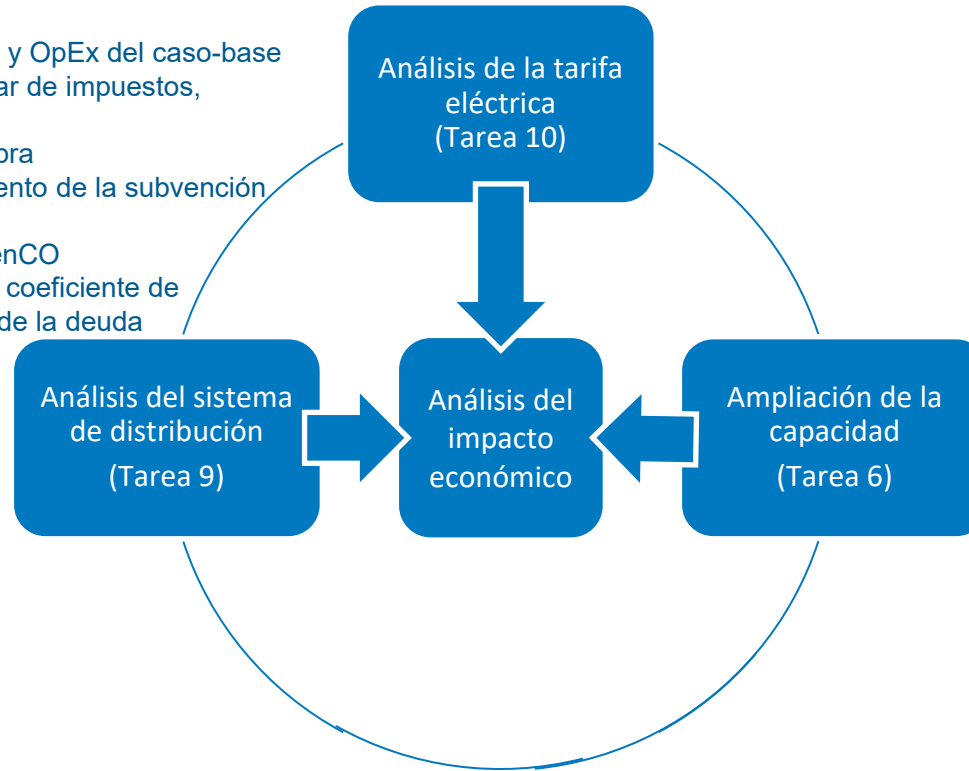


Gráfica suministrada por los miembros del equipo de la Universidad Estatal de Colorado

Muchos insumos del análisis macroeconómico neto provienen de los resultados de otras tareas de PR100

- Tarifas eléctricas
- Distribución de CapEx y OpEx del caso-base
- Contribuciones en lugar de impuestos, pensiones
- Obligaciones por quiebra
- Ajustes del financiamiento de la subvención de FEMA/ HUD
- Cuotas de LUMA y GenCO
- Servicio de la deuda y coeficiente de cobertura del servicio de la deuda

- Incremento del CapEx de distribución impulsado por la EE, generación distribuida (DG, por sus siglas en inglés), y EVs



- CapEx de generación de energías renovables y confiabilidad
- CapEx de transmisión de energías renovables y confiabilidad
- O&M fijo y variable asociado a las inversiones anteriores (según corresponda)

Esfuerzos de análisis macroeconómico neto hasta la fecha

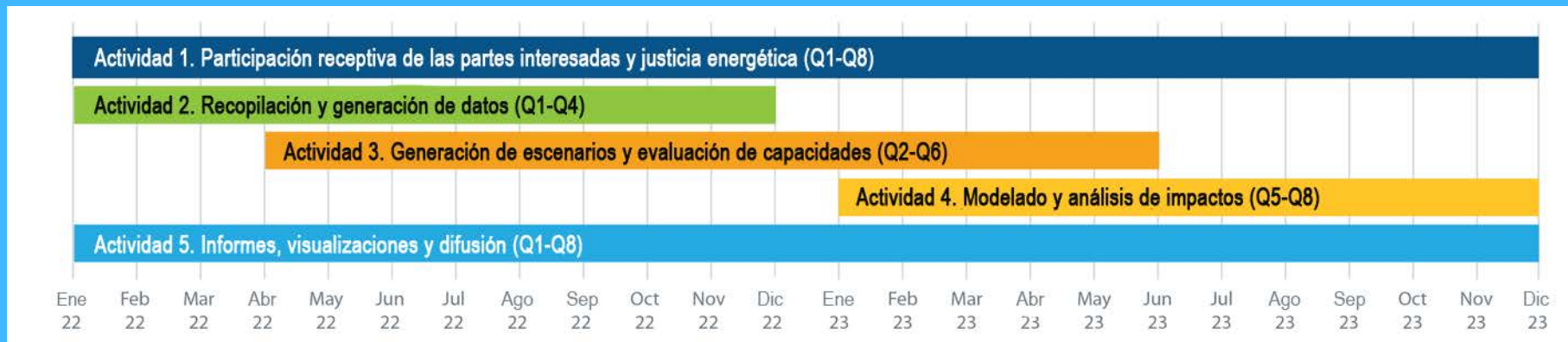
- Se recopilaron y organizaron los datos a nivel de hogar para los ingresos y el empleo a nivel de sector y las características demográficas
- Se investigó la disponibilidad de datos de reservas de capital para Puerto Rico
- Se colaboró con otras tareas para comprender mejor los métodos analíticos y los resultados probables con el fin de identificar oportunidades para utilizar los datos internamente consistentes de PR100 como entradas del modelo SUPRA


Esfuerzos de análisis macroeconómico neto por venir

- **Entregable a doce meses** : Preparación del modelo inicial de equilibrio general computable (CGE, por sus siglas en inglés)
 - Comenzar a construir el modelo CGE para Puerto Rico
 - Comenzar la construcción de la matriz de contabilidad social
 - Producir estimados para un conjunto inicial de escenarios
- **Entregable del año 2** : Finalización del modelo CGE
 - Finalizar la construcción del modelo CGE y la matriz de contabilidad social
 - Calibrar el modelo CGE para todos los escenarios
 - Elaborar estimados de los ingresos, los puestos de trabajo y el GDP de la construcción, la fabricación y la cadena de suministro, la O&M y la migración de la población para un conjunto final de escenarios

Actividad 5. Informes, visualizaciones y difusión

Tarea 11. Manejo de proyectos, manejo de datos, difusión e informes





TAREA 11: Manejo de proyectos, manejo de datos, difusión e informes

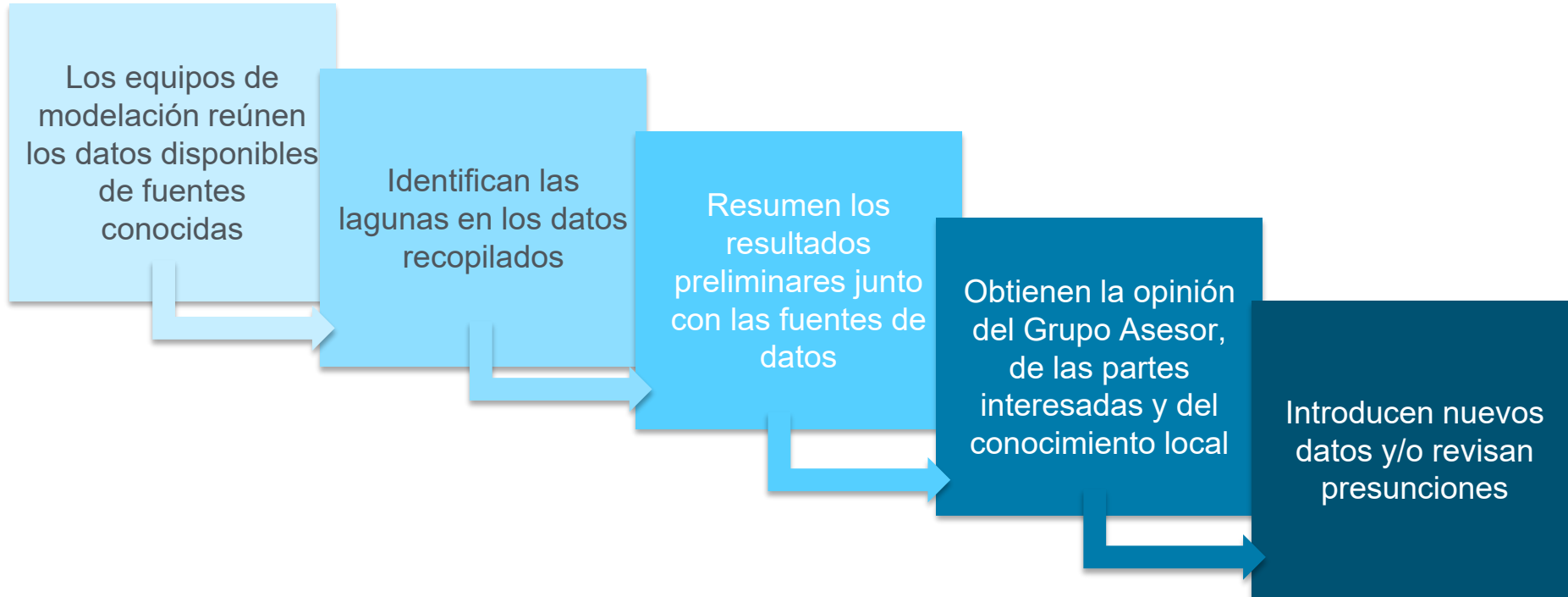
Laboratorio Líder: NREL

Laboratorio de Apoyo: Sandia

Manejo de datos

Manejo de datos: Participación de las partes interesadas

Proceso general de cómo participan las partes interesadas en la determinación de los datos aplicables para la modelación y el análisis del proyecto:



Manejo de datos:

Proveedores y fuentes de datos

- Entidades de Puerto Rico
 - Oficina de Energía de Puerto Rico (PREB)
 - Autoridad de Energía Eléctrica de Puerto Rico (PREPA)
 - Junta de Supervisión y Administración Financiera (FOMB)
 - Centro Estatal de Datos de Puerto Rico (SDC-PR)
 - Instituto de Estadística de Puerto Rico
 - LUMA
- Entidades del Gobierno de EE.UU.
 - Servicio Geológico de EE. UU. (USGS)
 - Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (FEMA)
 - Agencia de Protección Ambiental de EE. UU. (EPA)
 - Administración de Información Energética de EE. UU. (EIA)
 - Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA)
 - Oficina del Censo de EE.UU.
- Fuentes de datos públicas
 - Marine Cadastre National Viewer
(Visualizador Nacional del Catastro Marino)
 - Centro Nacional de Huracanes
- Fuentes de datos de recursos
 - Base de datos nacional de radiación solar (NSRDB)

Las entidades mencionadas representan las principales fuentes de las que se han adquirido los datos y de las que se han derivado las hipótesis hasta la fecha.

Manejo de datos:

Datos adquiridos y producidos

Datos adquiridos

- Cargas críticas
- Informes de daños (líneas de distribución/alimentadores, regionales)
- Detección de eventos
- Presunciones financieras y de incentivos (por ejemplo, inflación, tasa de descuento, atenuación del Crédito fiscal a la inversión [ITC, por sus siglas en inglés]/Crédito fiscal a la producción [PTC, por sus siglas en inglés])
- Generación por planta (año fiscal 2017-año fiscal 2018)
- Datos del GIS (subestación, transmisión, distribución, uso del terreno)
- Plan de recursos integrado (IRP)
- Informe de interconexión
- Datos de carga (proyecciones, casos de flujo, lista crítica, por hora)
- Microrredes (transformadores conectados, carga horaria, Vieques y Culebra)
- Datos de interrupción
- Datos del modelo PSS/E (región, sistema, caso-base, pico)
- Recurso solar (de NSRDB PSM v3)
- Subestaciones (por hora, AF 2019-AF 2020, demanda de Vieques y Culebra)

Datos producidos hasta la fecha

- Viento, marino (20 años, 2001-2020)
- Viento, terrestre (20 años, 2001-2020)

Esta lista se ampliará a medida que realicemos la modelación y el análisis.

Manejo de datos: Integración de modelos

Título de la tarea	Modelo/Análisis
Justicia energética y evaluación del riesgo climático	Energy Justice Dashboard RAPT (FEMA) PRIIA ReNCAT
Evaluación del potencial de energía renovable	WRF PSM reV
Proyecciones de demanda y adopción de DER	dGen EE Electricity Demand Projection EV Adoption
Ampliación de la capacidad	Engage Calliope
Costo de producción y suficiencia de recursos	SIIP Aurora PRAS
Análisis dinámico y de flujo de sistemas a granel	EGRASS DCAT ReNCAT PRIIA PSCAD PSS/E Dynamics C-PAGE T&D CoSIM
Análisis del sistema de distribución	EGRASS DCAT ReNCAT HELICS OpenDSS
Impacto económico	JEDI CGE SUPRA

Existen numerosos modelos y herramientas de análisis en las tareas del proyecto, muchos de los cuales utilizan las mismas fuentes de datos.

Los resultados de cada modelo/análisis se utilizarán como entradas para al menos uno, si no varios, modelos/análisis posteriores.



Manejo de datos:

Resultados esperados del modelo

Título de la tarea	Modelo/Análisis	Resultados esperados
Justicia energética y evaluación del riesgo climático	LEAD (DOE) EJSCREEN (EPA) RAPT (FEMA) PRIIA ReNCAT	<ul style="list-style-type: none"> Evaluación de "baseline" de la justicia energética Conjunto de datos reducidos de modelos climáticos Peligros climáticos para la evaluación de riesgos de infraestructuras críticas, instituciones comunitarias y poblaciones vulnerables
Evaluación del potencial de energía renovable	WRF PSM reV	<ul style="list-style-type: none"> Conjuntos de datos de alta resolución sobre la radiación solar, la energía eólica marina y los recursos eólicos terrestres que abarcan al menos 10 años Perfiles actualizados de generación solar, eólica marina y eólica terrestre a escala de servicios públicos, potencial técnico, información de costos y curvas de suministro utilizando al menos 10 años de datos hasta 2020 Previsiones por hora de energía solar y eólica durante 3 años para su uso en PCM, disponibles para su uso en el proyecto Evaluación del potencial energético de las fuentes de generación adicionales (por ejemplo, energía fotovoltaica flotante [FPV, por sus siglas en inglés], energía hidroeléctrica), incluyendo el potencial de recursos, el factor de capacidad, el potencial técnico y las curvas de suministro
Proyecciones de demanda y adopción de DER	dGen EE Proyección de demanda de electricidad Adopción de EV	<ul style="list-style-type: none"> Proyección de la demanda por hora para cada año 2022-2050 Implicaciones de los cambios en la demanda debido a la incorporación no controlada de EVs Consideraciones para la adopción de DER en ubicaciones en las islas Resultados basados en la carga neta para PV distribuida + almacenamiento Resultados de los escenarios que incorporan insumos de las partes interesadas y datos de las Tareas 1-3

Manejo de datos:

Resultados esperados del modelo (continuación)

Título de la tarea	Modelo/Análisis	Resultados esperados
Ampliación de la capacidad	Engage Calliope	<ul style="list-style-type: none">• Estimaciones de capital y costos operativos• Ubicación de terrenos, techos y superficies marítimas utilizadas por los activos de generación de energías renovables• Información sobre la ubicación y la capacidad de los nuevos activos de generación, almacenamiento y transmisión a gran escala• <u>Sugerencias de retirada de activos de generación</u>
Costos de producción y suficiencia de recursos	SIIP Aurora PRAS	<ul style="list-style-type: none">• Interdependencias clave entre las infraestructuras de energía, gas, agua y transporte• Referencia del caso PCM de orden reducido basado en los archivos del modelo para el caso-base• Resolución de cinco minutos, puntos de consigna de compromiso y despacho de unidades, programas de restricción, provisión de reservas y flujo de energía, probabilidad de pérdida de carga y otras métricas estándar de suficiencia de recursos (RA, por sus siglas en inglés) y PCM resueltas temporalmente• Conjuntos de datos y software ejecutables de código abierto para las simulaciones iniciales, junto con materiales de capacitación y apoyo para facilitar el "feedback" y las exploraciones continuas de PREPA/LUMA
Análisis dinámico y de flujo de sistemas a granel	EGRASS DCAT ReNCAT PRIIA PSCAD PSS/E Dynamics C-PAGE T&D CoSIM	<ul style="list-style-type: none">• Resultados de simulación de escenarios seleccionados para identificar los márgenes de estabilidad en caso de contingencias con simulaciones complementarias tanto en PSS/E (simulaciones estándar y más rápidas) como en PSCAD (modelos de alta fidelidad)• Modelos completos de flujo de potencia AC de los escenarios de generación y transmisión• Análisis de alta fidelidad para el diseño de controles para IBRs (como plantas solares y eólicas, y plantas híbridas) en control de formación de red y de seguimiento de red• Vulnerabilidad y resiliencia del sistema ante contingencias relacionadas con huracanes N-k para escenarios con altas penetraciones de energías renovables• Transferencia de metodologías y procedimientos de modelación a los planificadores y operadores para que utilicen todos los modelos desarrollados para futuros estudios

Manejo de datos:

Resultados esperados del modelo (continuación)

Título de la tarea	Modelo/Análisis	Resultados esperados
Análisis del sistema de distribución	EGRASS DCAT ReNCAT HELICS OpenDSS	<ul style="list-style-type: none">• Base de datos de alimentadores representativos implementados en OpenDSS• Identificación de vulnerabilidades mediante EGRASS-DCAT y ReNCAT• Estrategias de control a nivel de distribución implementadas en la co-simulación con modelos de sistemas a granel utilizando HELICS• Demostración del impacto en el sistema a granel de los controles a nivel de distribución• Beneficios de la resiliencia en escenarios con un 100% de energías renovables (incluyendo las oportunidades de formación de microrredes) utilizando EGRASS-DCAT y ReNCAT
Impacto económico	JEDI CGE SUPRA	<ul style="list-style-type: none">• Inventario de los elementos de datos aceptados de otras tareas• Calendario de las tarifas al por menor de todo el periodo de análisis por escenario y clase de cliente• Resultados de la simulación (CGE)• Impacto económico, incluidos los puestos de trabajo en bruto, los ingresos, la producción y el GDP para todas las tecnologías (JEDI)

Manejo de datos: Intercambio de datos y colaboración

Una vez finalizado el proyecto, se pondrán a disposición de las partes interesadas los resultados finales de los datos y los datos crudos (sin procesar) utilizados durante el proyecto.

Ejemplo de vía de salida: Iniciativa de Datos Energéticos Abiertos (OEDI, por sus siglas en inglés)



Hoja de ruta de implementación

Hoja de ruta de implementación

El equipo de PR100 :

- Asesorará a las partes interesadas sobre las acciones de funcionamiento de la red eléctrica necesarias tanto a corto como a largo plazo para seguir el camino hacia la consecución de los objetivos de energía renovable de la Ley 17.
- Colaborará con el gobierno de Puerto Rico y sus partes interesadas para comprender la organización, las capacidades técnicas y las operaciones actuales.
- Apoyará la validación de los resultados de la planificación de la ampliación basándose en la experiencia y las herramientas de los laboratorios nacionales.
- Desarrollará un plan de transición y sugerirá vías para acciones de impacto rápido (es decir, "victorias a corto plazo").

Apéndices

Terminología clave

Herramientas de modelado

Proveedores y fuentes de datos

Recursos adicionales

Terminología

- Términos clave :
 - **Dimensiones de la justicia energética obtenido de [The Energy Justice Workbook](#):**
 - Carga energética: gasto en energía en relación con los ingresos totales del hogar
 - Inseguridad energética: incapacidad de satisfacer las necesidades energéticas básicas del hogar debido al elevado costo de la energía
 - Pobreza energética: falta de acceso a la energía en sí misma
 - Democracia energética: noción de que las comunidades deben tener voz y voto en la configuración de su futuro energético.
 - **Resiliencia:** La capacidad de anticiparse, prepararse y adaptarse a las condiciones cambiantes y resistir, responder y recuperarse rápidamente de las perturbaciones mediante una planificación adaptable y holística, y soluciones técnicas. *Definición obtenida de NREL [Resilience Roadmap: A Collaborative Approach to Multi-Jurisdictional Planning](#)*
 - **Confiabilidad:** Una medida de la capacidad del sistema para seguir funcionando mientras algunas líneas o generadores están fuera de servicio. La confiabilidad se ocupa del rendimiento del sistema bajo estrés. *Definición obtenida de [El Glosario de EIA](#)*
 - **Potencial técnico:** Un estimado de la capacidad de una tecnología RE (solar PV, eólica, etc.) disponible para el desarrollo después de tener en cuenta las limitaciones topográficas, las restricciones de uso del terreno y el rendimiento del sistema. *Definición obtenida de NREL's [Technical Potential Assessment for the Renewable Energy Zone \(REZ\) Process: A GIS-based Approach](#)*
- Los glosarios a los que hace referencia el equipo del proyecto incluyen:
 - Glosario de la Administración de Información de Energía (EIA), <https://www.eia.gov/tools/glossary/>
 - Glosario de la plataforma “Greening the Grid”, <https://greeningthegrid.org/about/glossary/glossary#R>

Herramientas de modelaje

Acrónimo	Nombre y enlace	Lab/org	Propósito
	Aurora	Energy Exemplar	Ampliación de la capacidad y modelación de la interdependencia del sistema energético
CGE	Equilibrio general computable		Modelo de toda la economía para derivar los impactos de las políticas en la misma
C-PAGE		PNNL	Planificación realista y a largo plazo para los operadores de la red
DCAT	Herramienta de análisis dinámico de contingencias (Dynamic Contingency Analysis Tool)	Sandia	Evaluar el impacto y la probabilidad de contingencias extremas
dGen	Demanda del mercado de generación distribuida	NREL	Modelación de la generación distribuida y de la adopción de PV + almacenamiento
WRF	Modelación climática a escala reducida	ANL	Evaluación del riesgo climático
EGRASS	Sistema de evaluación y resiliencia de la red eléctrica	PNNL	Eventos extremos y modelado de sistemas de energía
	"Dashboard" de Justicia Energética (BETA)	DOE	Visualización de los indicadores de justicia energética
	Engage	NREL	Ampliación de la capacidad y modelación de la interdependencia del sistema energético
HELICS	Motor jerárquico para la co-simulación de infraestructuras a gran escala	Sandia	Plataforma de co-simulación del impacto de la interdependencia
JEDI	Modelos de impacto en el empleo y el desarrollo económico	NREL	Modelación de los impactos económicos locales de los proyectos de energías renovables
PRAS	Paquete probabilístico de suficiencia de recursos	NREL	Modelación de la suficiencia de recursos
PREESAT	Herramienta de análisis de escenarios de eficiencia energética de Puerto Rico	NREL	Estimar el impacto del consumo de electricidad de las medidas de eficiencia energética en Puerto Rico
PRIIA	Evaluación de la interdependencia de las infraestructuras de Puerto Rico	ANL	Evaluación de la interdependencia de las infraestructuras
PSCAD	https://github.com/NREL/PyPSCAD	NREL	Flujo de energía y análisis dinámico
PSS/E	Simulador de sistemas de energía para ingeniería	Siemens	Análisis de la planificación de transmisión
RAPT	Herramienta de evaluación y planificación de la resiliencia	FEMA	Planificación de la resiliencia
ReNCAT	Herramienta de análisis de conglomerados de nodos resilientes	Sandia	Análisis de la carga social
SIIP	Modelo de planificación de la infraestructura integrada escalable	NREL	Modelado de operaciones de red
SUPRA	Análisis financiero proforma estandarizado de los servicios públicos	LBNL	Tarifas eléctricas

Proveedores y fuentes de datos

- Entidades de Puerto Rico
 - Oficina de Energía de Puerto Rico (PREB)
 - Autoridad de Energía Eléctrica de Puerto Rico (PREPA)
 - Junta de Supervisión y Administración Financiera (FOMB)
 - Centro Estatal de Datos de Puerto Rico (SDC-PR)
 - Instituto de Estadística de Puerto Rico
 - LUMA
- Entidades del Gobierno de EE.UU.
 - Servicio Geológico de EE. UU. (USGS)
 - Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (FEMA)
 - Agencia de Protección Ambiental de EE. UU. (EPA)
 - Administración de Información Energética de EE. UU. (EIA)
 - Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA)
 - Oficina del Censo de EE.UU.
- Fuentes de datos públicas
 - Marine Cadastre National Viewer
(Nacional del Catastro Marino)
 - Centro Nacional de Huracanes
- Fuentes de datos de recursos
 - Base de datos nacional de radiación solar (NSRDB)

Recursos adicionales

- Resumen del proyecto con enlaces a las publicaciones y herramientas del Laboratorio Nacional
 - Página web del DOE: [Puerto Rico Energy Recovery and Resilience](#)
 - Página web de NREL: [Multilab Energy Planning Support for Puerto Rico](#)
- Página web del estudio [PR100](#) y presentación [PR100 Visión general](#)
- Grabación del “webinar” de lanzamiento público de [PR100](#) y [presentación publicada](#)
- [Acuerdo de colaboración](#) entre el DOE, Departamento de Seguridad Nacional y Departamento de Vivienda y Desarrollo Urbano de los EE. UU., y el Gobierno de Puerto Rico para acelerar los trabajos de fortalecimiento de la resiliencia de la red eléctrica de la isla y avanzar en las nuevas iniciativas para ampliar el futuro energético de Puerto Rico.
- Comunidad en línea de [Recuperación de Energía y Resiliencia de Puerto Rico](#) Mobilize, incluyendo enlaces a videos acerca de las herramientas de modelado empleadas en el estudio PR100
- [Oficina de actualización de correspondencia electrónica sobre electricidad del DOE](#) (seleccionar “Puerto Rico Resilience Efforts” bajo los temas relacionados a suscripciones)



¡Gracias!

NREL/PR-6A20-83887

Este trabajo fue realizado en parte por el Laboratorio Nacional de Energías Renovables, operado por Alliance for Sustainable Energy, LLC, para el Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE) bajo el contrato nº DE-AC36-08GO28308. La Agencia Federal para el Manejo de Emergencias también proporcionó apoyo para el trabajo bajo el Acuerdo Interagencial HSFE02-20-IRWA-0011. Las opiniones expresadas en el artículo no representan necesariamente los puntos de vista del DOE o del Gobierno de los Estados Unidos. El Gobierno de los Estados Unidos, y el editor, al aceptar el artículo para su publicación, reconoce que el Gobierno de los Estados Unidos. retiene una licencia no exclusiva, pagada, irrevocable y mundial para publicar o reproducir la versión publicada de este trabajo, o permitir que otros lo hagan, para fines del Gobierno de los Estados Unidos.