



Office of the Chief Economist
U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE

Oficina de Economista en Jefe

Tecnologías de Electricidad Renovable para Aumentar la Resiliencia del Sistema de Suministro de Alimentos en Puerto Rico

Noviembre 2020



Cómo obtener copias:

Puede descargar este documento electrónicamente del sitio web del Departamento de Agricultura de EE. UU. (USDA) en:

https://www.usda.gov/sites/default/files/documents/Renewable_Electricity_Technologies_for_Puerto_Rico_%20Food_Supply_Resilience.pdf

Para más información, contacte:

Irene Margaret Xiarchos, Economista del USDA (irenemargaret.xiarchos@usda.gov)

Jan Lewandrowski, Gerente de proyectos del USDA (jan.lewandrowski@usda.gov)

Bill Hohenstein, Director, Oficina de Política Energética y Ambiental del USDA (william.hohenstein@usda.gov)

Diana Pape, Gerente de proyectos del ICF (diana.pape@icf.com)

Cita sugerida:

Garffer, Patricia, C. Schultz, I. M. Xiarchos, W. Rojowsky, P. D'Costa, D. Man, J. Lewandrowski, D. Pape, 2020. Renewable Electricity Technologies to Increase the Resilience of the Food Supply System in Puerto Rico. USDA, Office of the Chief Economist. November 2020.

Agradecimientos

Gracias a Eva Holupchinski, Ariana Cuevas, Celia Hernández, y al Centro Climático del Caribe del USDA en el Instituto Internacional de Dasonomía Tropical por el apoyo a este esfuerzo y la asistencia en la traducción al español. Toda la investigación en el Instituto Internacional de Dasonomía Tropical del Servicio Forestal del USDA se realiza en colaboración con la Universidad de Puerto Rico.

Los puntos de vista presentados en este documento son los de los autores y no representan los puntos de vista del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) o Inner City Fund (ICF).

El uso de nombre y marca comercial no implica aprobación ni constituye respaldo por parte del USDA.

El USDA es un proveedor, empleador y prestador que ofrece igualdad de oportunidades.

Fuente de la imagen en la portada del informe: Juwi, 2014.

Tabla de Contenido

Introducción	1
Perfil de Electricidad en Puerto Rico	2
DESAFÍOS DE RESILIENCIA	2
FUENTES DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD ACTUALES	3
PLANES PARA UNA GENERACIÓN MÁS RENOVABLE	5
Necesidades Energéticas Críticas de los Sectores de Suministro de Alimentos de Puerto Rico	6
DEFINICIÓN DE USOS DE ELECTRICIDAD CRÍTICOS VERSUS NO CRÍTICOS	6
ACTIVIDADES DE SUMINISTRO DE ALIMENTOS CON NECESIDADES ENERGÉTICAS SIGNIFICATIVAMENTE CRÍTICAS	7
VULNERABILIDADES ELÉCTRICAS	8
Tecnologías de Electricidad Renovable para Aumentar la Resiliencia	9
MODOS DE FUNCIONAMIENTO PARA LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD IN SITU	9
Dos Modos de Operación	10
Ejemplos y Funcionamiento de la Microrred	10
DESCRIPCIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES	11
Energía Solar	11
Energía Eólica	13
Baterías para Almacenamiento de Energía	13
Electricidad de Biomasa	14
ECONOMÍA DE TECNOLOGÍAS RENOVABLES	15
Resumen	15
Costos del Sistema	15
ADAPTACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS RENOVABLES A LAS NECESIDADES DE RESILIENCIA DEL SUMINISTRO DE ALIMENTOS	17
Conclusiones: Implementación de Electricidad Renovable Resiliente	21
Apéndice: Entrevistas Realizadas	22
Referencias	23

Introducción

Este informe describe los desafíos y posibilidad de oportunidades para el uso de tecnologías de electricidad renovable para aumentar la resiliencia del sistema de suministros de alimento de Puerto Rico (incluida la producción, el procesamiento, el almacenamiento y la distribución de productos básicos) ante interrupciones prolongadas (de 2 días a 6 meses) de energía eléctrica. Esta necesidad es esencial porque la red eléctrica de la isla ha demostrado ser muy susceptible a interrupciones a largo plazo relacionadas con eventos climáticos y geológicos severos (por ejemplo, los huracanes Irma y María en 2017 y terremotos en 2019 y 2020), así como interrupciones relacionadas con infraestructura deteriorada y mantenimiento deficiente. El huracán María destruyó más del 80 por ciento del valor de la cosecha de Puerto Rico, con daños a la infraestructura de \$ 1.8 mil millones en el sector agrícola de Puerto Rico. (PR DOH, 2019, p. 83; USDA, 2018).

Como antecedente para este informe, el Inner City Fund (ICF) sostuvo una serie de discusiones con funcionarios en Puerto Rico con experiencia en el suministro de alimentos de la isla. Estos expertos incluyen personal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés) en Puerto Rico que presta servicios en los programas del Centro Climático del Caribe (CCH, por sus siglas en inglés), Desarrollo Rural (RD; por sus siglas en inglés) y Servicio de Conservación de Recursos Naturales (NRCS, por sus siglas en inglés) y representantes de grupos de comercio agrícola y académicos (ver Apéndice). Entre estas conversaciones hubo un consenso general sobre los siguientes puntos. Primero, el futuro crecimiento económico de Puerto Rico, incluido el éxito de la agricultura y el sistema de suministro de alimentos, depende de mejorar la estabilidad y resiliencia del suministro eléctrico. Segundo, para lograr esta estabilidad y resiliencia se necesitará invertir en sistemas eléctricos que son diseñados y construidos para soportar interrupciones mayores, contener impactos cuando ocurran interrupciones, recuperarse rápidamente, y entregar una calidad de energía adecuada durante el año. Tercero, inversiones en el suministro de electricidad de Puerto Rico deben enfatizar mantener los costos predecibles y manejables; maximizar el uso de recursos locales para reducir la dependencia de aceite y gas natural licuado importado; y facilitar las mejoras ambientales. Finalmente, se reconoció que la infraestructura eléctrica de Puerto Rico es obsoleta y sin buen mantenimiento. Si bien se está considerando un nuevo marco de gobernanza de la compañía eléctrica, el progreso se ha visto frenado por su costo proyectado de hasta \$ 20 mil millones y la disminución de la demanda de electricidad a largo plazo en la isla debido a la despoblación.

Debido a que las tecnologías renovables pueden jugar un papel importante en mejorar la estabilidad y resiliencia del suministro de electricidad en Puerto Rico, particularmente en áreas rurales y para industrias en el sistema alimentario, la Oficina de Política Energética y Ambiental del USDA (OEEP, por sus siglas en inglés) (en la Oficina del Economista en Jefe) y el ICF colaboró para producir este documento. Está organizado de la siguiente manera:

- Perfil de electricidad en Puerto Rico
- Necesidades críticas de energía de los sectores de suministro de alimentos
- Tecnologías de electricidad renovable para aumentar la resiliencia
- Conclusión: Implementación de electricidad renovable resiliente

Aunque las descripciones y ejemplos en el documento cubren una variedad de actividades de producción agrícola y suministro de alimentos en Puerto Rico, el término *sistema de suministro de alimentos* se usa para cubrir todas las actividades colectivamente.

Perfil de Electricidad en Puerto Rico

Las necesidades de electricidad del sector agrícola operan en el contexto de la red eléctrica en Puerto Rico. La red es operada por la Autoridad de Energía Eléctrica de Puerto Rico (AEE), la cual es una empresa de servicios públicos propiedad del gobierno.

DESAFÍOS DE RESILIENCIA

La AEE, que tenía una deuda de \$ 9 mil millones cuando se declaró en bancarota en 2017, históricamente ha luchado por mantener su red. La edad promedio de las plantas de energía de la AEE era de 44 años, en comparación con el promedio de la industria estadounidense de 18 años en ese momento (PREPA, 2017, p. 10). Incluso antes de los huracanes de 2017, la frecuencia de las interrupciones de energía eléctrica era de un orden de mayor magnitud que el promedio de los EE. UU. (DOE, 2018a, p. 13). Más allá de la infraestructura obsoleta, el sistema de la AEE tiene varias características que reducen la resiliencia, incluyendo (i) su condición de sistema insular que carece de interconexión con los sistemas vecinos para lograr estabilidad, (ii) dependencia de líneas aéreas en su sistema de distribución que enfrentan el desafío de resistir fuertes huracanes, (iii) la necesidad de atravesar terrenos montañosos y con densa vegetación para mover la energía desde donde se genera principalmente (parte sur de la isla) a San Juan en el norte, y (iv) la falta de un modelo de flujo de carga de transmisión (PREPA, 2019, p.34). Además, casi el 40 por ciento de la fuerza laboral de la AEE, principalmente personal calificado de operaciones de generación, transmisión y distribución, se ha ido desde 2008 (PREPA, 2019, p. 30; DOE, 2018a, p. 40).

En 2017, los huracanes Irma y María dañaron o destruyeron el 80 por ciento de las líneas eléctricas de transmisión y distribución de la isla (EIA, 2019). Las instalaciones de generación de energía más grandes estaban operando a pocas semanas después del huracán María, pero no podían suministrar energía hasta que se repararan las redes de transmisión y distribución de la empresa (Gallucci, 2018).¹

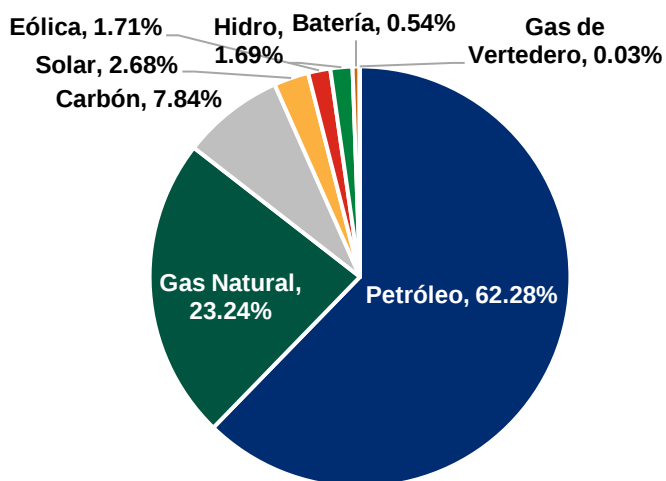
El huracán María causó el apagón más largo en la historia de los EE. UU., ya que partes de Puerto Rico permanecieron sin electricidad durante 328 días (Government of Puerto Rico, et al., n.d., p. 2). Se está considerando un importante plan de modernización para el sistema de la AEE, pero se estima que tendrá un costo de hasta \$ 20 mil millones y tardará 10 años en implementarse (Government of Puerto Rico, et al., n.d., p. 9).

¹ Las redes de transmisión consisten en líneas eléctricas de alto voltaje diseñadas para transportar energía de manera eficiente a largas distancias. Las redes de distribución entregan energía a voltajes más bajos y en distancias más cortas al consumidor. (EPA, 2019, p. 2). Las empresas de servicios públicos integradas verticalmente como la AEE operan tanto las redes de transmisión como las de distribución.

FUENTES DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD ACTUALES

El suministro de energía en Puerto Rico depende en gran medida de los combustibles fósiles, con las fuentes renovables representando solo alrededor del 7 por ciento de la capacidad de generación a escala de servicio público de energía eléctrica, como se muestra en el *Anexo 1*.²

Anexo 1: Capacidad de Generación de Electricidad a Escala de Servicios Públicos en Puerto Rico por Fuente

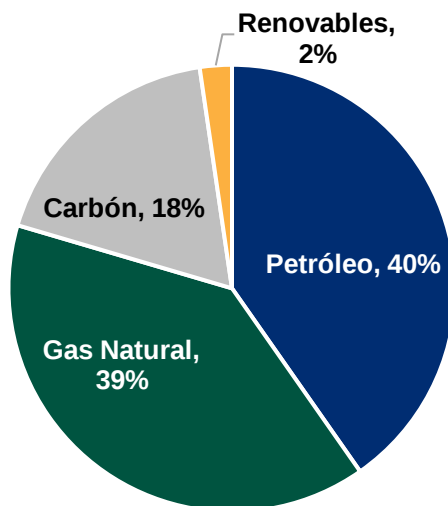


Fuente: Basado en U.S. Energy Information Administration: EIA, 2020a.

Mientras el *Anexo 1* muestra la **capacidad** de unidades generadoras a escala de servicio público de energía eléctrica en la isla, también es útil revisar la **producción anual de electricidad** en el *Anexo 2*.

² Estos datos son para la capacidad neta de verano y no incluyen los sistemas de generación distribuida. La capacidad total neta de verano a febrero de 2020 fue de 5.791 megavatios (MW) (EIA, 2020a).

Anexo 2: Producción Eléctrica en Puerto Rico por Fuente



Fuente: Basado en U.S. Energy Information Administration: EIA, 2020b.

Ya que fuentes renovables como la eólica y la solar son intermitentes (dado que la disponibilidad de viento y luz solar varía durante el día y el año), estas tienden a producir en o cerca de su capacidad máxima con menos frecuencia que las plantas de energía de combustible fósil. Es por eso que las fuentes renovables representan solo el 2.3 por ciento de la producción de electricidad, pero una mayor proporción de la capacidad de generación (EIA, 2020b).³ En comparación, más del 17 por ciento de la producción total de electricidad a escala de servicios públicos de EE. UU. proviene de fuentes renovables, incluido el 7 por ciento de la energía hidroeléctrica (EIA, 2020c). La combinación de generación dependiente de combustibles fósiles de Puerto Rico también resulta en altas tasas de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en la isla.

Debido a la fuerte dependencia de la AEE al petróleo importado y gas natural licuado importado, los precios de la electricidad en Puerto Rico fluctúan junto con los precios internacionales de los combustibles fósiles y son más altos que los de todos los estados de los Estados Unidos continentales. La electricidad en Puerto Rico cuesta más del doble del promedio de los EE. UU., con precios de electricidad para clientes residenciales y comerciales a principios de 2020 de \$ 0.27 / kilovatio-hora (kWh) y \$ 0.30 / kWh, respectivamente, en la isla en comparación con \$ 0.13 / kWh y \$ 0.10 / kWh en los EE. UU. (EIA, 2020b).

³ Las fuentes de energía renovable se agrupan en el Anexo 2, a diferencia del desglose de la tecnología de energía renovable en el Anexo 1.

PLANES PARA UNA GENERACIÓN MÁS RENOVABLE

El Reglamento 9021 de la Ley de Transformación y ALIVIO Energético de Puerto Rico fue adoptado en 2018 y requiere que la AEE desarrolle un Plan Integrado de Recursos (PIR). El PIR tiene como objetivo brindar transparencia en la planificación eléctrica, optimizar la rentabilidad de los recursos y cumplir con las regulaciones ambientales (Siemens, 2019, p. 2-3). Un escenario del PIR incluido en el plan fiscal 2019 de la AEE prevé que, en los próximos 4 años, la producción anual de electricidad de Puerto Rico se generaría con una mezcla de 35 por ciento de energías renovables, 35 por ciento de gas natural, 21 por ciento de carbón y 9 por ciento de petróleo (PREPA, 2019, p. 21).

A largo plazo, la nueva política pública energética de Puerto Rico incluye un mínimo del 40 por ciento de electricidad renovable en o antes de 2025; 60 por ciento en o antes de 2040; y 100 por ciento en o antes de 2050 (SB 1121, 2019). Se prevé que esta transición al 100 por ciento de electricidad renovable aproveche tanto la ubicación céntrica de unidades a escala de servicio eléctrico para satisfacer las necesidades de toda la isla como la generación distribuida a menor escala, en particular, la energía solar fotovoltaica (FV) y baterías de almacenamiento, en hogares y empresas individuales (SB 1121, 2019; RPRAC, 2018, p. A28).⁴

En la búsqueda de más energía renovable en la isla, el mayor potencial comercialmente disponible proviene de los recursos solares y eólicos, como se muestra en el Anexo 3.⁵

Anexo 3: Potencial de Energía Renovable de Puerto Rico

Resource	Potential Generating Capacity (MW)
Solar	1,100
Eólica	840
Biomasa	290 to 6,800 ⁶
Hidroeléctrica	103
Geotermal	Desconocido, probablemente muy bajo

Fuente: National Renewable Energy Laboratory: NREL, 2015, p. 3.

⁴ A mediados de 2017, había 88 MW de generación distribuida en la isla (RPRAC, 2018, p. A25).

⁵ La producción de energía oceánica, que implica una tecnología emergente, no se incluye en esta tabla. El Laboratorio Nacional de Energías Renovables (NREL, por sus siglas en inglés) señala un alto potencial para ello (NREL, 2015, p. 3).

⁶ "The lower limit is traditional agricultural biomass, and the upper limit assumes that microalgae is commercially viable and in widespread use at maximum capacity" (NREL, 2015, p. 3).

Necesidades Energéticas Críticas de los Sectores de Suministro de Alimentos de Puerto Rico

En Puerto Rico a partir de 2018, había aproximadamente 8,200 granjas agrícolas que generaban \$ 485 millones en ventas anuales de productos agrícolas, con actividad económica adicional en toda la cadena de suministro de alimentos de la isla (USDA, 2020a, p. 16).⁷

Antes de los huracanes de 2017, la producción en la isla representaba el 15 por ciento del suministro de alimentos de Puerto Rico (USDA, 2015). Después de los huracanes, esa cifra se redujo al 5 por ciento (FAO, 2018). A raíz de los huracanes, los cultivos fueron diezmados por el viento y las inundaciones, los deslizamientos de tierra en el interior montañoso destruyeron muchas de las carreteras críticas para la producción agrícola, y se perdió una cantidad considerable de ganado (PR DOH, 2019, p. 83). El impacto significativo de las tormentas también se puede ver en las diferencias entre 2012 y 2018 en insumos de capital y mano de obra para la agricultura en Puerto Rico: el valor de mercado agregado de terrenos y edificios disminuyó en más de \$ 1 mil millones, mientras que el valor agregado de maquinaria y equipo aumentó en aproximadamente \$ 70 millones y los costos laborales por granja aumentaron a medida que las granjas buscaban reconstruirse y recuperarse (USDA, 2020a, p. 13-14).

Antes de considerar las opciones de la resiliencia eléctrica, es importante definir cuidadosamente los problemas. Para las actividades de suministro de alimentos de Puerto Rico - tanto el cultivo de alimentos como el procesamiento, almacenamiento y distribución de alimentos en la isla - los problemas de energía inestable no afectan por igual a todas las partes de la industria ni a todos los usos de la electricidad.

En esta sección, se distinguen las necesidades de energía críticas versus no críticas, se destacan los tipos de empresas de suministro de alimentos con una dependencia especialmente alta de la resiliencia eléctrica y se resumen las futuras vulnerabilidades eléctricas para las empresas de suministro de alimentos.

DEFINICIÓN DE USOS DE ELECTRICIDAD CRÍTICOS VERSUS NO CRÍTICOS

Los usos críticos de la electricidad son aquellos en los que las interrupciones dan como resultado la pérdida de capacidad comercial o de producción, mano de obra inactiva, pérdida de producto, equipo dañado y compromiso de la salud y la seguridad (Schneider Electric, 2015). Es importante que los usos críticos sigan teniendo energía ininterrumpida, incluso durante interrupciones de la red.

En el contexto del suministro de alimentos, la refrigeración de alimentos perecederos, el bombeo de agua para las operaciones ganaderas y los usos de energía que garantizan la seguridad de los seres humanos, los animales y los activos valiosos pueden considerarse **usos de electricidad críticos**. Los usos de electricidad no críticos son aquellos que mejoran o facilitan las operaciones, pero cuya disponibilidad constante no es necesaria para mantener las funciones continuas de la

⁷ La cantidad de granjas en Puerto Rico según los datos del Censo de Agricultura de 2012 fue mucho mayor, con más de 13,000. El valor de los productos agrícolas vendidos por las fincas de Puerto Rico también fue mayor en 2012, con casi \$ 550 millones (USDA, 2020a, p. 16).

empresa. Ejemplos de **usos no críticos de la electricidad** en la agricultura podrían ser el aire acondicionado, la iluminación de oficinas y el equipo de mantenimiento.

ACTIVIDADES DE SUMINISTRO DE ALIMENTOS CON NECESIDADES ENERGÉTICAS SIGNIFICATIVAMENTE CRÍTICAS

Nuestras discusiones con funcionarios del USDA, representantes de asociaciones comerciales y expertos agrícolas en la academia, destacaron varios requisitos de energía críticos en el sistema alimentario de Puerto Rico. Gran parte de la producción de alimentos de Puerto Rico para el consumo local es perecedera, por lo que se necesita una mayor resiliencia eléctrica en muchas partes del sistema alimentario. Entre todos los productos agrícolas en Puerto Rico, la leche y otros productos lácteos tienen las ventas anuales más altas con \$ 172 millones, seguidos por los granos o los cultivos de campo; plátanos; ganado; cultivos de vivero e invernadero; hortalizas y melones, incluidos cultivos hidropónicos; y avícolas (USDA, 2020a, p. 16).

La necesidad de energía crítica más comúnmente mencionada se encuentra en el sector **lácteo**, que es el sector ganadero más grande de Puerto Rico. Sobre la base de los ingresos brutos, el sector lácteo comprende el 62 por ciento de las industrias ganaderas de la isla (Ortiz-Colón, 2018, p. 3). El sector lácteo perdió el 55 por ciento de su producción en la granja después de los huracanes de 2017, e incurrió en pérdidas significativas a lo largo de toda la cadena de suministro debido a los daños en activos comerciales y la infraestructura de transporte, interrupciones de electricidad y cierres de programas de compras (Ortiz-Colón, 2018, págs. 16-17).⁸ Cuatro meses después de que terminaron los huracanes, el 60 por ciento de los productores lecheros aún no contaba con energía eléctrica (Ortiz-Colón, 2018, p. 21). Sin energía, muchos tuvieron que utilizar generadores diésel de emergencia, lo que triplicó sus costos energéticos (Ortiz-Colón, 2018, p. 21). La incidencia del uso crítico de electricidad en el sector lácteo es alta debido a las demandas regulares de ordeño y la necesidad de refrigeración. Incluso los lapsos breves en el suministro de energía pueden provocar que la leche se eche a perder o poner en peligro la salud de la vaca cuando las vacas no se pueden ordeñar en un horario regular.

Otro uso de energía crítico en el sector pecuario de Puerto Rico es en las operaciones **avícolas**. Requieren ventiladores de enfriamiento debido a las instalaciones de naturaleza confinada de alta densidad y a las elevadas temperaturas de la isla durante todo el año. Debido a que las granjas avícolas pueden estar expuestas a una alta mortalidad animal durante las interrupciones de varios días, el enfriamiento es un uso crítico. En términos relativos, las granjas avícolas y de huevos tienen más probabilidades de implementar tecnologías de energía solar que otros tipos de granjas en Puerto Rico (USDA, 2020a, págs. 117-118).

En la industria del **café**, las plantas de procesamiento tienen un uso de energía crítico porque los granos de café deben secarse al poco tiempo de ser recolectados para evitar su degradación. Las instalaciones de procesamiento de café tienden a estar en las montañas, cerca de las fincas cafetaleras, donde están expuestas a interrupciones de electricidad más frecuentes que las instalaciones en las partes costeras de la isla. Otras actividades agrícolas en las zonas montañosas se enfrentan a un déficit de energía similar, ya que la alta concentración de la

⁸ 4.200 vacas se perdieron debido a los huracanes de 2017 (PR DOH, 2019, p. 83).

población de la isla y las centrales eléctricas en las zonas costeras a menudo conduce a una restauración de la energía más rápida en las costas que en las zonas del interior.

Los **intermediarios de alimentos** deben mantener refrigerados los productos agrícolas y los productos animales durante los procesos de empaque y distribución para mantener la frescura y evitar el deterioro. Para estas empresas, la refrigeración es un uso de electricidad crítico, ya que las interrupciones prolongadas resultan en pérdidas considerables.

Debido a la frecuencia de interrupciones de energía de la AEE que afectan las actividades agrícolas, ya ha habido una **tendencia, desde mucho antes de los huracanes de 2017, hacia la instalación de generadores diésel de respaldo in situ** para proporcionar energía de emergencia en granjas e instalaciones de procesamiento de alimentos. A medida que el costo de la energía renovable ha disminuido en los últimos años, ha aumentado el despliegue de sistemas de energía de respaldo renovable y sistemas híbridos renovable-diésel, sin embargo, los sistemas de solo diésel siguen siendo la solución más común.

VULNERABILIDADES ELÉCTRICAS

Puerto Rico es especialmente vulnerable a las interrupciones en su sistema alimentario, debido a varios factores:

- Gran dependencia de las importaciones de alimentos (el 85 por ciento de los alimentos que consume son importados⁹, y esa cifra aumenta al 95 por ciento después de los huracanes de 2017) (FAO, 2018)
- Uso de un solo puerto marítimo en San Juan para la mayoría de las importaciones de alimentos
- Exposición de muchos componentes críticos del sistema alimentario doméstico a interrupciones de electricidad suministrada por la red (Port Authority, 2017, p. 4).

En el futuro, es probable que la isla enfrente continuos riesgos mayores a su red eléctrica debido a huracanes, terremotos, problemas de ciberseguridad y la condición de su infraestructura de red. De acuerdo con la Evaluación Nacional del Clima (*National Climate Assessment*) más reciente, es probable que los ciclones tropicales intensos, como los **huracanes** de Categoría 4 y 5, afecten a Puerto Rico con mayor frecuencia en el transcurso del siglo XXI (U.S. Global Change Research Program, 2017, Chapter 9). Puerto Rico también corre el riesgo a largo plazo de sufrir **terremotos** dañinos, dada la ubicación de la isla en el límite entre las placas tectónicas del Caribe y América del Norte. El peligro continuo de terremotos de la isla está aproximadamente a la par con gran parte de la costa oeste de los EE. UU. (Pagani, et al., 2018; Mueller, et al., 2010). Como lo demostraron los terremotos en el suroeste de Puerto Rico a fines de 2019 y principios de 2020, los terremotos futuros tienen el potencial de resultar en interrupciones de energía a largo plazo.

Por último, la **infraestructura deteriorada** de la AEE aumenta su susceptibilidad a (i) interrupciones mayores relacionados a eventos de amenazas naturales, e (ii) interrupciones adicionales relacionados con fallas de componentes del sistema degradados. En un procedimiento regulatorio, la AEE describió una red en mal estado, infraestructura degradada y un sistema de

⁹ Las importaciones de alimentos de Puerto Rico provienen de 52 países, y alrededor del 80 por ciento del envío de importación de alimentos se origina en el puerto de Jacksonville, Florida (USDA, 2015).

transmisión deteriorado (DOE, 2018a, p. 12). Si bien se han propuesto inversiones adicionales para la red eléctrica de la AEE, estos planes aún no han sido aprobados. Después de la aprobación, la implementación tomaría 10 años (Government of Puerto Rico, et al., n.d., p. 9).¹⁰ Además, el plan a largo plazo del sistema eléctrico prevé que el consumo de electricidad agrícola de la red seguirá disminuyendo durante los próximos 18 años, debido en gran parte a la despoblación y sus efectos en el crecimiento económico de la isla (Siemens, 2019, p. 3-10).

Dadas las vulnerabilidades descritas anteriormente, vale la pena considerar las formas en que las tecnologías de electricidad renovable podrían aumentar la resiliencia del suministro de electricidad de Puerto Rico.

Tecnologías de Electricidad Renovable para Aumentar la Resiliencia

Esta sección resume la operación y el costo de los sistemas de electricidad renovable eólica, solar y de biomasa que pueden estar disponibles para granjas, empresas en otras partes del sistema alimentario y comunidades rurales en Puerto Rico.

Los sistemas de electricidad renovable pueden, según su configuración, aumentar la resiliencia al suministrar electricidad cuando se producen interrupciones en la red del sistema eléctrico. Los modos de operación en los que están configurados, así como la disponibilidad de recursos y el tamaño del sistema, determinan la cantidad y duración de la energía de respaldo que se puede proporcionar. Las tecnologías de batería de almacenamiento de energía se pueden combinar con sistemas solares y eólicos para mejorar la resiliencia frente a interrupciones de energía.

Más allá de la resiliencia, los sistemas de electricidad renovable pueden tener los beneficios colaterales de disminuir la dependencia de Puerto Rico de las importaciones de combustible y reducir las emisiones de GEI. En muchos casos, los sistemas renovables también reducen los costos anuales de electricidad para las empresas de suministro de alimentos.

MODOS DE FUNCIONAMIENTO PARA LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD IN SITU

Los sistemas de electricidad renovable, ya sea para una instalación individual (por ejemplo, una granja o un procesador de alimentos), un grupo de instalaciones (por ejemplo, una cooperativa de agricultores) o una comunidad rural completa, pueden describirse como operando en "paralelo" con la red eléctrica o "aislado" de esta.¹¹

¹⁰ La red eléctrica de Puerto Rico también enfrenta riesgos de interrupciones de energía a largo plazo por ataques cibernéticos, como otras redes eléctricas de EE. UU. Estos riesgos aumentan la importancia de la resiliencia para las necesidades energéticas críticas a nivel nacional. El despliegue de tecnologías más avanzadas en las redes puede proporcionar más vías para las interrupciones de energía. Específicamente, las tecnologías interoperables creadas para un cambio hacia una red inteligente continuarán expandiendo el panorama de los ciberataques (INL, 2016, p. ii).

¹¹ El modo paralelo también se denomina modo "conectado a la red".

Dos Modos de Operación

En los sistemas **paralelos**, las instalaciones se conectan simultáneamente al sistema de generación de electricidad in situ y a la red del sistema eléctrico público. Esto permite a los clientes finales extraer energía de la red cuando el sistema de electricidad renovable in situ está produciendo menos electricidad de la necesaria, y devolver energía a la red cuando la generación in situ produce más electricidad de la necesaria. Como se diseñan normalmente, los sistemas paralelos no proporcionarán energía cuando la red está fuera de servicio porque estos sistemas incluyen un componente que apaga el sistema de energía renovable en milisegundos después de que la red pierda energía. Esta característica evita que los sistemas de electricidad renovable suministren energía a la red y pongan en peligro a las personas que trabajan en las líneas eléctricas o alrededor de ellas (por ejemplo, trabajadores de líneas y bomberos) que necesitan reparación en el proceso de restauración. Esta característica también evita daños a los equipos del cliente que no pueden soportar la variabilidad en la producción de electricidad asociada con recursos intermitentes como la energía solar y eólica.

En sistemas **aislados**, la energía del sistema de generación de electricidad puede ser generada y utilizada de manera segura por el cliente final en ausencia de conexión a una red de suministro eléctrico operativa. Por ejemplo, las granjas pueden utilizar sistemas renovables "desconectados a la red" que sirven para usos agrícolas sin acceso inmediato a la red eléctrica, como iluminación de estructuras remotas, bombeo de agua e irrigación, aireación de estanques y comunicaciones remotas (USDA, 2011, p. 11-15).

Los sistemas conectados a la red también pueden funcionar en modo aislado si se configuran para modos duales (paralelo y aislado). Dichos sistemas de modo dual se desconectan de la red de sistema eléctrico público y funcionan en modo aislado cuando es necesario (por ejemplo, durante interrupciones de la red). Estos sistemas se pueden volver a conectar de forma segura al sistema eléctrico público una vez que se restablezca la energía en la red.

Desde el punto de vista de mejorar la resiliencia en el suministro de electricidad de Puerto Rico, los sistemas aislados, ya sea que estén configurados para estar conectados a la red o desconectados de la red, son necesarios para mantener la energía para usos críticos durante interrupciones (como ordeñar vacas, enfriar leche, enfriar aves de corral y secado de café).

Ejemplos y Funcionamiento de la Microrred

Los sistemas de generación de electricidad renovable, con o sin almacenamiento en batería, también se pueden vincular a "microrredes". En las configuraciones conectadas a la red, las microrredes son conjuntos interconectados de fuentes de generación y cargas de consumo de electricidad dentro de límites eléctricos definidos que pueden operar como una única entidad eléctrica en paralelo (a la red eléctrica pública) y modos aislados, así como transición entre esos modos.¹² Las microrredes desconectadas de la red son similares excepto que, por definición, operan exclusivamente en modo aislado y no tienen conexión a la red eléctrica pública.

Existen microrredes renovables diseñadas para servir a una sola organización; estos pueden integrar fotovoltaica o eólica, un sistema de batería de almacenamiento de energía y posiblemente

¹² Para más información sobre microrredes, vea DOE 2012 y DOE, 2020.



un generador diésel para dar servicio a uno o más edificios con el mismo propietario. Para el funcionamiento en modo aislado, estas "**microrredes del cliente**" pueden dimensionarse con suficiente generación de electricidad para satisfacer todas las necesidades de energía del consumidor (críticas y no críticas), o solo sus necesidades de energía críticas. Por ejemplo, se instalaron diez microrredes que utilizan energía fotovoltaica y baterías de almacenamiento de energía para satisfacer las necesidades críticas de energía en las escuelas de las zonas montañosas de Puerto Rico (RMI, 2019).

También hay "**microrredes comunitarias**" que pueden servir a un gran número de miembros de la comunidad. Por ejemplo, existen microrredes comunitarias en áreas rurales como las financiadas por el programa High Energy Cost Grants del USDA en Alaska.^{13,14}

Las microrredes pueden ser particularmente beneficiosas en Puerto Rico debido al deterioro y el mal mantenimiento de la red eléctrica, el terreno irregular en gran parte de la isla el cual dificulta el suministro y la restauración de energía, y la vulnerabilidad de la isla a huracanes y terremotos que provocan interrupciones en la red. En 2018 se aprobó un reglamento de Puerto Rico para ayudar en el desarrollo de microrredes en toda la isla (PREB, 2018). Sin embargo, las microrredes pueden ser costosas y requieren una planificación cuidadosa para ser construidas, mantenidas y operadas de manera efectiva.

DESCRIPCIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES

Energía Solar

Tanto en los EE. UU. en general, como en Puerto Rico en particular, ninguna tecnología de generación de electricidad renovable ha experimentado un crecimiento más rápido durante la última década que la fotovoltaica. El despliegue de esta tecnología, que convierte la luz solar en electricidad, a escala comercial, industrial y residencial,¹⁵ creció un 216 por ciento entre 2014 y 2019 en los EE. UU. (EIA, 2020d).¹⁶ El USDA apoyó la implementación de nueve sistemas fotovoltaicos en Puerto Rico en 2019, con subvenciones de \$ 5,000 a \$ 20,000 para cada sistema (USDA, 2019b, p. 15). Se prevé que todas estas subvenciones, en el marco del Programa de Energía Rural para América (REAP), generarán grandes ahorros financieros y, en un caso,

¹³ Este programa del USDA otorgó una subvención de \$ 1.3 millones en 2019 al municipio del noroeste del Ártico en Alaska para desarrollar un sistema de almacenamiento solar y de baterías que se conecta al generador diésel y al sistema de distribución eléctrica existente de la comunidad (NAB, 2019; USDA, 2019a). Además de los beneficios ambientales, se espera que agregar energía solar y un sistema de baterías reduzca los costos de electricidad (NAB, 2019).

¹⁴ En Haití se implementó un ejemplo de una microrred comunitaria, con énfasis en la agricultura. La microrred híbrida solar-diésel aumentó el acceso a electricidad asequible y confiable para el procesamiento agrícola de valor agregado (Powering Agriculture, n.d.). La microrred se expandió de una etapa piloto con 54 conexiones a una red del tamaño de una ciudad que ofrece electricidad a clientes residenciales y comerciales a través de 452 conexiones (Powering Agriculture, n.d.). En Afganistán, una microrred rural sin conexión a la red proporciona electricidad mediante una combinación de sistemas de baterías fotovoltaicas y de plomo-ácido, con generadores diésel para el suministro de energía de respaldo (USAID, 2018).

¹⁵ Las aplicaciones fotovoltaicas a escala comercial, industrial y residencial son las relevantes para las actividades de suministro de alimentos y la EIA las denomina "pequeña escala", para distinguirlas de las aplicaciones más grandes de "escala de servicios públicos".

¹⁶ La capacidad fotovoltaica a pequeña escala creció en más de 3.000 MW a nivel nacional en 2018 y nuevamente en 2019 (EIA, 2020d).

incluirán un sistema fotovoltaico y de batería para almacenamiento combinados (Caribbean Business, 2019).

La energía fotovoltaica es una tecnología consolidada que se puede instalar fácilmente en numerosos sitios en las granjas, otras empresas de suministro de alimento y hogares rurales, incluidos techos, superficies de terreno planas y techos de estacionamientos. Entre los sistemas fotovoltaicos montados en el suelo, existe un interés creciente en los planes de desarrollo en lugares de bajo impacto. Dichos planes se diferencian de los planes tradicionales de desarrollo fotovoltaico en su interés sobre la preservación de la capa superficial del suelo (*topsoil*) y la siembra de vegetación que beneficia a los polinizadores y otros insectos favorables para la agricultura en las granjas cercanas (NREL, 2019). Las aplicaciones desconectadas de la red para actividades agrícolas que no reciben energía de la red de servicio eléctricos son una parte más pequeña del mercado fotovoltaico que las aplicaciones conectadas a la red; sin embargo, el sector agrícola ha desempeñado un papel importante en el mercado fotovoltaico desconectados de la red, también los sistemas desconectados de la red pueden ser una solución rentable para aplicaciones remotas (USDA, 2011, págs. 11-15).

La energía solar es la tecnología de energía renovable más ampliamente adoptada entre las granjas en Puerto Rico con el 73 por ciento de todos los sistemas renovables, como se muestra en el *Anexo 4*.

Anexo 4: Granjas de Puerto Rico con Sistemas de Energía Renovable¹⁷

Tecnología	Número de Granjas con Sistemas de Energía Renovable	Porcentaje del total de sistemas de energía renovable en granjas de Puerto Rico
Solar	234	73%
Eólica	20	6%
Geotermal (Sistemas de Geointercambio)	12	4%
Pequeñas Hidroeléctricas	12	4%
Digestores de Metano	6	2%
Other	36	11%

Fuente: USDA, 2020a, p. 21.

La popularidad de la energía solar entre las tecnologías renovables se debe probablemente a su flexibilidad en el tamaño, la rentabilidad incluso a pequeña escala, y su amplia aplicabilidad (por ejemplo, los digestores de metano requieren un suministro cercano de estiércol u otros desechos).

¹⁷ Los datos del censo agrícola del USDA de 2018 registran un total de 280 sistemas de energía renovable, aunque la suma de las tecnologías de energía renovable individuales supera los 280, ya sea debido a sistemas de múltiples tecnologías o por otras razones (USDA, 2020a, p. 21). La columna "porcentaje del total" del anexo refleja la suma de los recuentos de tecnologías individuales.

Energía Eólica

Si bien la industria de la energía eólica ha crecido sustancialmente en los EE. UU., ese crecimiento se ha concentrado en sistemas a escala de la red de sistema eléctrico público que son demasiado grandes para el uso típico en la industria de suministro de alimentos. Los sistemas eólicos “distribuidos” que se pueden instalar in situ en las empresas de suministro de alimentos comprenden solo el 1 por ciento del mercado nacional de energía eólica en función de la capacidad.^{18,19} Utilizando turbinas individuales de hasta 1,000 kilovatios (kW) de capacidad, los segmentos de turbinas medianas y pequeñas del mercado eólico distribuido apropiados para las empresas de suministro de alimentos tuvieron una nueva capacidad combinada en 2018 de solo 3,100 kW (3.1 MW) en todo el país (DOE, 2019, pág. iv).²⁰

Mientras que la energía eólica es la segunda tecnología renovable más utilizada entre las granjas en Puerto Rico, solo representa el 6 por ciento del total de sistemas renovables en las granjas. A nivel nacional, los sistemas de energía eólica son más comunes en las granjas, sobre una base relativa, que en Puerto Rico, con aproximadamente el 10 por ciento de los sistemas de energía renovable que utilizan turbinas eólicas según el Censo de Agricultura de 2017 (USDA, 2019c, p. 60).²¹

Baterías para Almacenamiento de Energía

Los sistemas de baterías para almacenamiento de energía son cada vez más comunes, tanto como sistemas autónomos (sin estar directamente vinculados a un generador de electricidad) como integrados con tecnologías fotovoltaicas o eólicas. El crecimiento de baterías para almacenamiento es relevante para los sectores de suministro de alimentos de Puerto Rico porque puede expandir la resiliencia al almacenar energía renovable producida por sistemas fotovoltaicos (y otros sistemas renovables) durante interrupciones de la red y liberar esa energía para satisfacer necesidades críticas de energía cuando el sol no brilla o cuando hay interrupciones de energía.

¹⁸ La capacidad de generación acumulada de los proyectos eólicos distribuidos fue de 1,127 MW en 2018, en comparación con aproximadamente 96,000 MW para el mercado eólico general en los EE. UU. en 2018 (DOE, 2019, p. 3; AWEA, 2020, p. 5).

¹⁹ Aunque no se implementan con frecuencia, los sistemas eólicos distribuidos tienen ventajas sobre los sistemas fotovoltaicos montados en el suelo en el sentido de que eliminan menos tierra del uso agrícola directo por unidad de capacidad de generación.

²⁰ 1,000 kW = 1 MW.

²¹ La suma de las tecnologías de energía renovable individuales en el Censo de Agricultura, en lugar del total más pequeño de ese informe enumerado para todas las tecnologías combinadas, se utilizó para determinar la proporción relativa de sistemas eólicos entre las granjas a nivel nacional.

Ejemplo de Resiliencia Eléctrica Rural: Sistema Fotovoltaico + Batería para una Oficina Forestal Remota en Nuevo México

La Oficina Forestal del Distrito de Cimarrón enfrentó interrupciones frecuentes y una calidad de energía irregular de la red eléctrica pública. La oficina anteriormente dependía de un generador de propano para la energía de respaldo, con riesgos de reabastecimiento de propano durante condiciones meteorológicas extremas e incendios forestales. Para mejorar la resiliencia y los resultados ambientales, la oficina implementó una combinación de sistema fotovoltaico + batería para almacenamiento de energía. El sistema funciona en modo paralelo cuando hay energía de la red pública disponible e inmediatamente cambia para satisfacer las necesidades de energía críticas (como una bomba de agua de pozo y sistemas de comunicación) en modo aislado durante las interrupciones de la red (CEG, 2020, p. 5-6).



Fuente de Imagen: Clean Energy Group: CEG, 2020, p. 18.

Electricidad de Biomasa

La biomasa se puede utilizar para generar electricidad para uso directo de las empresas de suministro de alimentos. La materia prima (i.e., combustible) para los sistemas de generación de energía con biomasa pueden provenir de muchas fuentes agrícolas y forestales, como cultivos específicos, madera y residuos de madera, residuos de cultivos agrícolas y estiércol de operaciones ganaderas confinadas. Para convertir estas materias primas de biomasa en electricidad, la tecnología más común es la combustión directa. Otras tecnologías de conversión de energía de biomasa incluyen la digestión anaeróbica de metano y la gasificación. Es importante destacar que, para propósitos de resiliencia, y a diferencia de los sistemas de energía fotovoltaica y eólica, los sistemas de generación de energía de biomasa tienden a proporcionar energía de “carga base” predecible que no cambia con las condiciones climáticas, la estación o la hora del día.²²

El Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL, por sus siglas en inglés) indica que la generación de energía a partir de fuentes agrícolas tradicionales de biomasa tiene el tercer potencial más alto de todas las fuentes renovables en Puerto Rico, después de la energía solar y eólica (NREL, 2015, p. 3). Actualmente, se reportan seis digestores de metano en la isla en granjas

²² El suministro de “carga base” requiere un suministro constante de materia prima. Si la materia prima se interrumpe durante un corte de energía (por ejemplo, debido a un desastre natural), el suministro constante de energía de un sistema eléctrico de biomasa también se vería interrumpido.

porcinas (USDA, 2020a, p. 21). Debido al tamaño relativamente grande de la industria láctea en Puerto Rico, puede haber potencial para un aumento en el número de digestores de metano.²³

ECONOMÍA DE TECNOLOGÍAS RENOVABLES

Resumen

El argumento económico por la electricidad renovable, especialmente la fotovoltaica, es particularmente fuerte en Puerto Rico. La energía de la red de servicio eléctrico en Puerto Rico es costosa según los estándares nacionales, con el sector agrícola en la isla pagando un precio promedio histórico de \$ 0.28 / kWh y los clientes comerciales pagando un precio promedio de \$ 0.30 / kWh a principios de 2020 (EIA, 2020b; NREL, 2015, p. 2). En comparación, el precio promedio de la electricidad de la red de EE. UU. es de aproximadamente \$ 0.10 / kWh para clientes comerciales (EIA, 2020b). Eso significa que los sistemas renovables en los sectores de suministro de alimentos de Puerto Rico pueden tener costos totales a largo plazo de aproximadamente \$ 0.18 a \$ 0.20 / kWh más altos que en otras partes de los EE. UU. y aún tener el potencial de ser inversiones rentables.

Las políticas de medición neta de la AEE (que compensan los sistemas renovables por exportar el exceso de energía a la red) también apoyan el despliegue de energías renovables, al igual que la abundante luz solar en la isla que aumenta la producción fotovoltaica más allá de los promedios de los EE. UU. Por último, los continuos descensos de los costos de capital de algunos sistemas renovables los hacen más asequibles. Por ejemplo, el costo de los sistemas fotovoltaicos a escala comercial disminuyó en un 66 por ciento entre 2010 y 2018, y los costos de los sistemas de baterías de iones de litio disminuyeron en un 74 por ciento entre 2012 y 2018 en dólares ajustados por inflación (GTM Research, 2019; NREL, 2018, p. 27).²⁴

Costos del Sistema

Los sistemas de electricidad renovable tienen dos tipos de costos: capital y operaciones y mantenimiento (O&M). Los **costos de capital**²⁵ (también llamados costos de instalación) cubren la implementación inicial del sistema, y **O&M** se pagan durante la vida útil del sistema para garantizar que su equipo funcione correctamente y, en el caso de un sistema de biomasa, que tenga un suministro constante de combustible.²⁶ Los sistemas de electricidad renovable tienden a operar durante 25 a 30 años, por lo que los costos de capital iniciales generalmente se amortizan,

²³ Las granjas ganaderas se considera que tienen el mejor potencial económico para la digestión anaeróbica son grandes operaciones (500 o más cabezas de vaca o 2000 o más cabezas de cerdo) que utilizan sistemas de manejo de estiércol líquido o purines y recolectan estiércol a menudo de áreas de confinamiento de animales (EPA, 2018, p.7).

²⁴ Todos estos factores positivos se aplican a los sistemas renovables conectados a la red, tanto si pueden operar en modo aislado como si no. Todos los factores, excepto la medición neta, también se aplican a los sistemas renovables fuera de la red.

²⁵ Los costos de capital incluyen el costo total de diseño, ingeniería, construcción, permisos, financiamiento y compra de equipos para el sistema.

²⁶ Para los sistemas de energía fotovoltaica y eólica, el combustible proviene de la luz solar y el viento y es gratuito. Por el contrario, para los sistemas de generación de energía con biomasa, el combustible (es decir, las materias primas) puede representar hasta el 50 por ciento del costo de por vida de la producción de electricidad (IRENA, 2012, p. 27). En algunos casos, sin embargo, los costos de la materia prima pueden ser negativos si la materia prima incurriera en costos de eliminación si no se quema.

y se combinan con los costos anuales de O&M, durante la vida útil esperada del activo en los cálculos de inversión a largo plazo.

El Anexo 5 contiene costos de capital ilustrativos y costos anuales de O&M para sistemas de electricidad renovable conectados a la red en la escala apropiada para muchas actividades de la industria de suministro de alimentos.²⁷ Los costos de los sistemas desconectados a la red no son proporcionados por las fuentes del anexo, pero los sistemas conectados y desconectados a la red de la misma tecnología y tamaño deberían tener costos similares.²⁸ Los O&M generalmente aumentan anualmente con la inflación. Los costos de capital y O&M varían ampliamente en la práctica según el tamaño del sistema, la ubicación, la configuración y los requisitos locales de permisos e interconexión de la red de servicio eléctrico. Los costos que se muestran son antes de los incentivos financieros federales y específicos de Puerto Rico que reducen el costo de propiedad de por vida.²⁹

ANEXO 5: Costo de Sistema de Batería y Electricidad Renovable Conectada a la Red Previo a Incentivo Capital y Costos de O&M en los EE. UU.

Tecnología	Costo de capital unitario en \$ / kWAC (previo a incentivo)	Tamaño típico del sistema (kWAC)	Costo fijo anual de operación y mantenimiento en \$ / kW (en el año 1 de operación)	Costos variables de operación y mantenimiento
FV a Escala Residencial	\$3,900 to \$4,700	2.7 to 9 ³⁰	\$22	N/A
FV a Escala Comercial	\$2,600 to \$3,500	8.6 to 860 ³¹	\$18	N/A
Distribuido Eólico-Turbinas Pequeñas	\$5,700 to \$8,000	10 to 100	\$35	Pequeño costo; datos no disponibles
Distribuido Eólico-Turbinas Medianas	\$2,400 to \$5,700	101 to 1,000	\$35	
Batería para Almacenamiento Ion-litio	\$1,900 to \$3,000	250 (with 4-hr. duration)	\$29 to \$45	Bajo, hasta que se deba reemplazar la batería ³²

²⁷ Estos costos provienen de estudios publicados en diferentes años y no se han ajustado a dólares corrientes.

²⁸ Los sistemas desconectados a la red no requerirán costos de interconexión a la red de servicio eléctrico, pero pueden requerir costos adicionales para los controles.

²⁹ Por ejemplo, existen créditos de impuestos federales a la inversión o de producción y programas de garantía de préstamos y subvenciones del USDA que cubren todas las tecnologías enumeradas en el anexo. Para obtener más información, consulte NCCETC, 2020; USDA, 2020b; USDA, 2020c; y USDA, 2020d.

³⁰ PV capital costs and system sizes are converted from direct current (DC) to alternating current (AC) equivalents using the average DC to AC ratio for residential-scale systems with central and string inverters (LBNL, 2019, p. 13).

³¹ PV capital costs and system sizes are converted from DC to AC equivalents using the average DC to AC ratio for small commercial-scale systems with central and string inverters (LBNL, 2019, p. 13).

³² Replacement of the battery itself (part of the battery system) often occurs every seven to 10 years of operation, with the frequency dependent on use patterns. Battery replacement has a significant cost, estimated at about \$800 to \$1,200/kW for the prototype system in the exhibit (EPRI, 2018, pp. 8, 15).



Tecnología	Costo de capital unitario en \$ / kWAC (previo a incentivo)	Tamaño típico del sistema (kWAC)	Costo fijo anual de operación y mantenimiento en \$ / kW (en el año 1 de operación)	Costos variables de operación y mantenimiento
Electricidad de Biomasa ³³	\$3,000 to \$5,000	5,000+	\$50	\$0.01/kWh (no combustible) + \$0.0145/kWh hasta \$0.029/kWh (combustible)

Fuentes: Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory: LBNL, 2019, p. 27 (PV capital costs); National Renewable Energy Laboratory: NREL, 2018, pp. 22, 28 (PV O&M costs); National Renewable Energy Laboratory: NREL, 2016, pp. 15-16 (wind); Electric Power Research Institute: EPRI, 2018, pp. 8, 15 (battery); National Institute of Building Sciences: NIBS, 2016 (biomass capital costs); Lazard, 2017, p. 19 (biomass O&M costs).

El costo nivelado de la energía (LCOE, por sus siglas en inglés) es una métrica de los costos de por vida de las fuentes de generación y se puede comparar con el costo de la red eléctrica. Por ejemplo, el LCOE previo al incentivo de la energía fotovoltaica en techos a escala residencial y comercial en los EE. UU. se estima en \$ 0.151 / kWh a \$ 0.242 / kWh y \$ 0.075 / kWh a \$ 0.154 / kWh, respectivamente (Lazard, 2019, p. 3). Estos LCOE están por debajo de los precios promedio de la electricidad residencial y comercial en Puerto Rico, lo que indica un buen potencial de ahorro de las inversiones fotovoltaicas. A pesar de estos factores económicos favorables a largo plazo, la inversión inicial requerida y la falta de financiamiento disponible para los sistemas fotovoltaicos sigue siendo una barrera de implementación considerable en Puerto Rico.

Al considerar las **inversiones en microrredes**, los costos relevantes incluyen: (i) capital y O&M para la generación individual o tecnologías de almacenamiento de energía en la microrred, (ii) integración de las fuentes de generación y almacenamiento con las cargas de consumo del cliente final (e interconexión a la empresa de servicios públicos para microrredes conectadas a la red), y (iii) el hardware y software del controlador de la microrred para gestionar la microrred.

ADAPTACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS RENOVABLES A LAS NECESIDADES DE RESILIENCIA DEL SUMINISTRO DE ALIMENTOS

Las diferentes tecnologías y configuraciones de electricidad renovable pueden adaptarse mejor a las necesidades de una determinada actividad de suministro de alimentos en Puerto Rico. Las consideraciones al seleccionar la tecnología y la configuración óptima incluyen:

- Disponibilidad de recurso (para luz solar, viento o biomasa)
- Capacidad del sistema necesaria y cantidad de espacio adecuado para instalar la tecnología
- Ubicación (incluida la distancia a las líneas eléctricas del servicio público y la vulnerabilidad a condiciones climáticas extremas y otros desastres naturales)
- Costo del sistema, después de aplicar los incentivos financieros
- Alcance de las necesidades de energía críticas y no críticas in situ

Por ejemplo, las áreas con mucha sombra de árboles u otros edificios no tendrán suficiente **disponibilidad de recursos** solares para que los sistemas fotovoltaicos sean efectivos. La

³³ Biomass system costs are for large systems due to data availability. Smaller systems often have higher unit costs.



mayoría de las otras áreas serán adecuadas para la energía fotovoltaica desde la perspectiva de los recursos. Los sistemas de energía eólica requieren vientos fuertes y sostenidos para ser productivos, por lo que es probable que las ubicaciones sin obstrucciones tengan los recursos más robustos. En general, los sistemas eólicos serán más apropiados en entornos rurales que urbanos. El factor más importante en la viabilidad del sistema de generación de energía con biomasa es típicamente tener acceso constante y de varios años a los recursos de biomasa que se queman en el sistema, ya sean materiales forestales como desechos de madera, sólidos agrícolas, estiércol para digestores u otros materiales orgánicos.

La **necesidad de espacio** son factores particularmente importantes para las tecnologías fotovoltaica y eólica. Los sistemas fotovoltaicos requieren áreas planas (techos, techos de estacionamientos o suelo) con suficiente capacidad de carga para que los paneles solares y sus estanterías se instalen y resistan los vientos con fuerza de tormenta. Por lo tanto, para el tipo más común de instalación fotovoltaica en techos, el tamaño y la resistencia de los techos de los edificios y los componentes del sistema fotovoltaico son consideraciones importantes, al igual que la vida útil planificada de los techos. El espacio necesario para los sistemas fotovoltaicos es proporcional a su capacidad, por lo que las necesidades de energía crítica más pequeñas justifican un sistema pequeño; un sistema de 5 kW_{cc} puede requerir solo 500 pies cuadrados de techo apto para energía solar. Los sistemas de energía eólica no quitan mucha tierra del uso agrícola, pero requieren un espacio considerable entre las turbinas para maximizar la velocidad y la dirección del viento a través de cada turbina y evitar efectos ineficientes de estela en las turbinas a favor del viento.

La **ubicación** a las líneas eléctricas de la red de servicio eléctrico cercanas puede ayudar a determinar si un sistema de energía renovable, o una microrred, está conectado a la red o no. Los costos de las extensiones de línea para interconectar un sistema en la red a un medidor del sistema eléctrico pueden ser prohibitivos si el medidor más cercano u otro punto de interconexión (PDI) está a más de un cuarto de milla de distancia, o si el terreno entre el sistema de energía renovable y el PDI tiene terrenos o carreteras variados. Los sistemas desconectados de la red pueden ser la única solución viable en tales ubicaciones. Además, las empresas en ubicaciones remotas y en el interior generalmente enfrentan interrupciones de energía más prolongados y frecuentes debido a su distancia de las plantas de generación costeras del sistema eléctrico y la condición de las redes de transmisión que las alcanzan. Es probable que estas ubicaciones tengan fuertes intereses comerciales para la instalación de sistemas de energía renovable.

Las decisiones de ubicación también deben considerar las vulnerabilidades a los desastres naturales. Por ejemplo, los sistemas de energía eólica siempre deben construirse para resistir vientos con fuerza de tormenta, inundaciones y otros daños potenciales de desastres naturales que puedan ocurrir en sus localizaciones, o deben ubicarse en sitios alternativos si no es factible una protección adecuada (p. ej., lejos de la costa si no se puede mitigar el riesgo de inundaciones).³⁴ Al seleccionar los componentes del sistema fotovoltaico, es esencial tener en cuenta la protección contra los daños causados por huracanes en cualquier parte de la isla. Esto incluye la selección de módulos (para resistir el estallido por la presión del viento y el daño de los

³⁴ Para obtener información sobre la protección de las turbinas eólicas contra los vientos con fuerza de huracán, consulte IEC, 2018.

escombros arrastrados por el viento), sujetadores y sistemas de estanterías con un riel adicional (DOE, 2018b).

Los **costos** de capital y O&M de los sistemas de electricidad renovable son otra consideración importante. Como muestra el *Anexo 5*, existen importantes economías de escala con los sistemas de energía fotovoltaica y eólica. Si hay suficiente capital o financiamiento disponible y las necesidades críticas de energía son lo suficientemente grandes, los sistemas más grandes probablemente serán más ventajosos económicamente. Por ejemplo, el costo nivelado de la energía para los sistemas fotovoltaicos a escala comercial es aproximadamente \$ 0.08 / kWh más bajo que para los sistemas a escala residencial (Lazard, 2019, p. 3).

El factor de costo a largo plazo más importante para los sistemas de generación de energía con biomasa puede ser el costo de la materia prima de biomasa; una materia prima in situ o adyacente controlada por el propietario de la empresa agrícola (como el estiércol de ganado confinado en las lecherías) puede reducir en gran medida este costo y hacer que los sistemas de biomasa sean económicamente viables. Los costos del sistema para todas las tecnologías deben evaluarse después de aplicar todos los incentivos financieros disponibles.

La selección de tecnologías de electricidad renovable y su configuración deben coincidir con el tipo y la escala de las **necesidades de energía críticas y no críticas** del negocio de suministro de alimentos. Si las necesidades críticas de energía son grandes y las 24 horas del día, es importante incluir una fuente de energía de carga base (como un sistema de biomasa o el emparejamiento de energía solar o eólica con un generador diésel en un sistema autónomo o microrred). En tales circunstancias, la instalación de energía solar o eólica con batería de almacenamiento (en lugar de una fuente de generación de carga base) probablemente tendrá un costo prohibitivo debido a la gran escala de batería necesaria para garantizar una energía confiable las 24 horas del día.

Si, en cambio, las necesidades críticas de energía se pueden atender de manera intermitente durante el día y no son especialmente grandes, los sistemas fotovoltaicos o eólicos desconectados de la red pueden ser una buena opción y podrían evitar el costo de agregar batería de almacenamiento de energía.

Las necesidades críticas de energía que son constantes durante todo el día, pero de escala moderada, se pueden abordar bien mediante sistemas fotovoltaicos conectados a la red con sistemas de batería o energía eólica con sistemas de batería. Tener acceso a la red proporciona una capa adicional de confiabilidad porque la energía de la red se puede usar siempre que esté disponible. Realizar esto también retrasa el agotamiento de las baterías, ya que no será necesario descargarlas y recargarlas con tanta frecuencia como lo harían en aplicaciones desconectadas a la red.

Como principio general, los sistemas de generación de energía de biomasa son una solución de energía flexible y resiliente que se puede utilizar para satisfacer una variedad de necesidades críticas de energía si el suministro de materia prima es estable. Esto se debe a que estos sistemas no dependen del acceso continuo a los recursos solares o eólicos para obtener energía, y su

energía se puede alternar hacia arriba y hacia abajo como los sistemas de combustión de combustibles fósiles.³⁵

El Anexo 6 resume los atributos y ejemplos de aplicaciones de configuraciones de tecnología de electricidad renovable en relación con las necesidades críticas de energía. Debido a que el enfoque de este documento es la resiliencia, solo se incluyen las configuraciones de tecnología que comúnmente funcionan en modo aislado.

ANEXO 6: Atributos de Ejemplo y Aplicación de Tecnología de Electricidad Renovable

Tecnologías de electricidad renovable	Conexión a la red del sistema eléctrico	Atributos	Ejemplos de aplicaciones agrícolas
FV o Eólica sin Batería de Almacenamiento	Desconectado a la red	Producción de energía intermitente; no puede proporcionar energía las 24 horas del día; útil cuando las necesidades de energía tienen una sincronización muy flexible	Bombeo de agua, riego, aireación de estanques
FV o Eólico con Batería de Almacenamiento	Desconectado o Conectado a la red	Producción de energía intermitente; Puede abordar las necesidades de energía en cualquier momento, aunque los costos de la batería pueden ser prohibitivos si las necesidades críticas de energía son grandes.	Refrigeración en granjas avícolas, secado de café, necesidades de refrigeración ligeras, otras necesidades moderadas de envasado de alimentos
FV o Eólica combinada con Generador Diésel (a menudo con batería de almacenamiento)	Desconectado o Conectado a la red	Producción de energía constante si hay un suministro constante de combustible diésel; peores resultados ambientales y económicos que las soluciones solo renovables	Casi cualquier aplicación, incluida la refrigeración mayorista / minoristas y láctea. Actualmente, los generadores diésel satisfacen muchas necesidades de energía de respaldo en el sistema alimentario de la isla.
Electricidad de Biomasa	Desconectado o Conectado a la red	Producción de energía constante si existe un suministro constante de materia prima	Refrigeración extensiva de granjas lecheras, iluminación en instalaciones hidropónicas

³⁵ Para complementar sus materias primas tradicionales de biomasa (como estiércol de ganado confinado en operaciones de lechería y desechos de madera), un informe del Departamento de Energía de los EE. UU. señala que Puerto Rico podría explorar la viabilidad de importar pellets de biomasa del sureste de los EE. UU. (DOE, 2018a, p. 28).

Conclusiones: Implementación de Electricidad Renovable Resiliente

Las justificaciones técnicas, económicas y ambientales para un mayor despliegue de sistemas de electricidad renovable con fines de resiliencia en los sectores de suministro de alimentos de Puerto Rico son sólidas. Estos sistemas, siempre que estén ubicados y construidos adecuadamente para proteger contra los daños causados por las tormentas, pueden ayudar a las empresas de suministro de alimentos a reducir la vulnerabilidad de su suministro de energía y ahorrar dinero a largo plazo en comparación con el alto precio de la energía de la red de sistema eléctrico. Desde una perspectiva más amplia de la sociedad, existen los beneficios adicionales de reducir la dependencia de la isla de los combustibles fósiles importados y disminuir sus emisiones de GEI.

Las empresas del sistema de suministro de alimentos de Puerto Rico han estado implementando sistemas de electricidad renovable. Hasta la fecha, la mayoría han sido sistemas fotovoltaicos. En algunos casos, incluyen batería de almacenamiento de energía u otros atributos de resiliencia. Sin embargo, el ritmo del despliegue de energías renovables centradas en la resiliencia va por debajo de sus posibilidades en gran parte debido a los significativos costos de capital inicial, junto con los desafíos para acceder al crédito para respaldar estas inversiones (Rivera, 2020). El aumento significativo del despliegue de energías renovables probablemente requerirá apoyo adicional en forma de políticas gubernamentales. También hay acciones bajo las políticas actuales que pueden ser tomadas por empresas individuales y colectivamente por grupos de la industria alimentaria en todo Puerto Rico.³⁶

A **nivel empresarial individual**, existen dos mejores prácticas que pueden reducir los costos de capital de los sistemas de energía resilientes. Primero, las empresas pueden diferenciar entre usos de electricidad críticos y no críticos y diseñar sistemas que den servicio de prioridad solo a usos críticos durante interrupciones de energía de la red. Hacer esto, evitará la construcción excesiva de sistemas renovables (por ejemplo, que incluyan componentes de batería excesivamente grandes) y, por lo tanto, reducirá los costos. En segundo lugar, también se recomienda implementar la eficiencia energética (EE) antes de invertir en costosos activos de generación de energía y baterías de almacenamiento in situ. Dados los altos precios de la energía de la empresa eléctrica de Puerto Rico, las inversiones en EE a menudo tienen períodos de recuperación cortos y brindan un segundo beneficio de reducir la cantidad de energía crítica que debe ser servida por un sistema de energía renovable durante un apagón. El NRCS del USDA ha apoyado varias inversiones en EE en Puerto Rico, incluida la transición a iluminación de alta eficiencia en granjas avícolas (Cruz-Arroyo, 2020). Múltiples programas de RD del USDA también apoyan las inversiones en EE y energía renovable en Puerto Rico (USDA, 2020b; USDA, 2020c; USDA, 2020d).³⁷

A **nivel de acción colectiva**, los grupos de empresas pueden reducir los costos de capital de la electricidad renovable mediante compras de equipos al por mayor que aprovechan las economías

³⁶ Para obtener un resumen de las políticas alimentarias relacionadas con la resiliencia en Puerto Rico, consulte Vermont Law School, 2019, pp. 31-33.

³⁷ Un mapa que identifica inversiones específicas en energía respaldadas por el USDA en Puerto Rico está disponible en USDA, 2020e.

de escala. Las empresas adyacentes también pueden agregar sus necesidades de electricidad como parte de las microrredes comunitarias. Las agrupaciones comerciales informales o las asociaciones formales de comercio agrícola, como la Asociación de Agricultores de Puerto Rico o la Cooperativa de Productores de Leche, también pueden participar en los procesos de planificación de la empresa eléctrica asociados con la Ley de Política Pública Energética de Puerto Rico de 2019. Esta ley requiere que la electricidad de la empresa eléctrica sea 100 por ciento renovable para 2050, destaca la generación in situ del cliente como clave para satisfacer las necesidades de resiliencia de la isla, agiliza y estandariza las revisiones de interconexión de la empresa eléctrica para sistemas renovables de menos de 25 kW y microrredes de hasta 5 MW de capacidad, y admite la compensación de medición neta por el exceso de energía de los sistemas in situ (SB 1121, 2019). Esta participación organizada de los clientes en los procedimientos de energía puede reforzar el apoyo a las políticas generales y mejorar las posibilidades de que las preocupaciones sobre la resiliencia del suministro de alimentos se reflejen en la implementación de políticas.

Apéndice: Entrevistas Realizadas

Para complementar la investigación de fuentes secundarias y la experiencia directa de los autores, se realizaron entrevistas telefónicas con cuatro personas para dar base a este artículo. Todas estas personas están ubicadas en Puerto Rico, tienen experiencia con el suministro de alimentos, silvicultura, energía y / o problemas ambientales de la isla, y se enumeran en el Anexo 7. Los autores desean agradecer a estas cuatro personas, así como a los expertos de la Asociación de Agricultores de Puerto Rico y la industria del café en la isla, quienes brindaron información, por su tiempo y sus valiosos conocimientos.

ANEXO 7: Entrevistados en Puerto Rico para dar Base al Documento

Nombre	Título	Organización
Luis Cruz-Arroyo	Director del Área del Caribe, Servicio de Conservación de Recursos Naturales del USDA	Departamento de Agricultura de EE. UU.
William Gould	Director, Centro Climático del Caribe del USDA	Departamento de Agricultura de EE. UU.
Guillermo Ortiz-Colón	Profesor Auxiliar	Colegio de Ciencias Agrícolas, Universidad de Puerto Rico en Mayagüez
Josué Rivera	Director Estatal, Puerto Rico, Desarrollo Rural del USDA	Departamento de Agricultura de EE. UU.

Referencias

- AWEA. 2020. *U.S. Wind Industry Quarterly Market Report: Fourth Quarter 2019*. American Wind Energy Association. <https://www.awea.org/resources/publications-and-reports/market-reports/2019-u-s-wind-industry-market-reports> [accessed May 2020].
- Caribbean Business. 2019. Puerto Rico Businesses Receive 9 USDA Grants. <https://caribbeanbusiness.com/puerto-rico-businesses-receive-9-usda-grants/> [accessed May 2020].
- CEG. 2020. *Resilient Power Project Case Study: Cimarron District Forestry Office*. Clean Energy Group. <https://www.cleanegroup.org/wp-content/uploads/Cimarron-Case-Study.pdf> [accessed May 2020].
- Cruz-Arroyo. 2020. ICF Interview with Luis Cruz-Arroyo, Caribbean Area Director, U.S. Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service, May 13, 2020.
- DOE. 2012. *The U.S. Department of Energy's Microgrid Initiative* as printed in *The Electricity Journal*. U.S. Department of Energy. <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2016/06/f32/The%20US%20Department%20of%20Energy%27s%20Microgrid%20Initiative.pdf> [accessed May 2020].
- DOE. 2018a. *Energy Resilience Solutions for the Puerto Rico Grid*. U.S. Department of Energy. <https://www.osti.gov/servlets/purl/1463124> [accessed May 2020].
- DOE. 2018b. *Solar Photovoltaic Systems in Hurricanes and Other Severe Weather*. U.S. Department of Energy. https://www.energy.gov/sites/prod/files/2018/08/f55/pv_severe_weather.pdf [accessed June 2020].
- DOE. 2019. *2018 Distributed Wind Market Report*. U.S. Department of Energy. <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2019/08/f65/2018%20Distributed%20Wind%20Market%20Report.pdf> [accessed May 2020].
- DOE. 2020. *The Role of Microgrids in Helping to Advance the Nation's Energy System*. U.S. Department of Energy. <https://www.energy.gov/oe/activities/technology-development/grid-modernization-and-smart-grid/role-microgrids-helping> [accessed May 2020].
- EIA. 2019. *Puerto Rico Electricity Generation Returned to pre-2017 Hurricane Levels One Year Later*. U.S. Energy Information Administration, DOE. <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=42095> [accessed May 2020].
- EIA. 2020a. *Preliminary Monthly Electric Generator Inventory*. U.S. Energy Information Administration, DOE. <https://www.eia.gov/electricity/data/eia860M/> [accessed May 2020].
- EIA. 2020b. *Puerto Rico Territory Energy Profile*. U.S. Energy Information Administration, DOE. <https://www.eia.gov/state/print.php?sid=RQ> [accessed May 2020].
- EIA. 2020c. *What is U.S. Electricity Generation by Energy Source?* U.S. Energy Information Administration, DOE. <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=427&t=3> [accessed June 2020].

- 
- EIA. 2020d. Electric Power Monthly: Estimated Net Summer Solar Photovoltaic Capacity from Utility and Small Scale Facilities (data for February 2020). U.S. Energy Information Administration, DOE. https://www.eia.gov/electricity/monthly/epm_table_grapher.php?t=epmt_6_01_a [accessed May 2020].
- EPA. 2018. *Market Opportunities for Biogas Recovery Systems at U.S. Livestock Facilities*. U.S. Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/sites/production/files/2018-06/documents/epa430r18006agstarmarketreport2018.pdf> [accessed June 2020].
- EPA. 2019. *Interconnection: Plugging RE-Powering Sites into the Electric Grid*. U.S. Environmental Protection Agency. https://www.epa.gov/sites/production/files/2019-10/documents/interconnection_plugging_re_powering_sites_into_the_electric_grid_oct2019_508.pdf [accessed May 2020].
- EPRI. 2018. *Energy Storage Technology and Cost Assessment: Executive Summary*. Electric Power Research Institute. <https://www.epri.com/#/pages/product/000000003002013958/?lang=en-US&lang=en-US&lang=en-US&lang=en-US> [accessed May 2020].
- FAO. 2018. Growing an Agricultural Revolution in Puerto Rico. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/in-action/agronoticias/detail/en/c/1095391/> [accessed June 2020].
- Gallucci, Maria. 2018. Rebuilding Puerto Rico's Power Grid: The Inside Story. IEEE Spectrum. <https://spectrum.ieee.org/energy/policy/rebuilding-puerto-ricos-power-grid-the-inside-story> [accessed May 2020].
- Government of Puerto Rico, et al. n.d. *The Grid Modernization of Puerto Rico*. Government of Puerto Rico, Puerto Rico Electric Power Authority, and Central Office for Recovery, Reconstruction, and Resiliency. <https://recovery.pr/documents/Grid%20Modernization%20for%20Puerto%20Rico-English1.pdf> [accessed May 2020].
- GTM Research. 2019. Levelized Cost of Energy for Lithium-Ion Batteries is Plummeting. <https://www.greentechmedia.com/articles/read/report-levelized-cost-of-energy-for-lithium-ion-batteries-bnef> [accessed May 2020].
- IEC. 2018. How Well Can Wind Turbines Cope with Hurricanes? International Electrotechnical Commission. <https://blog.iec.ch/2018/09/how-well-can-wind-turbines-cope-with-hurricanes/> [accessed June 2020].
- INL. 2016. *Cyber Threat and Vulnerability Analysis of the U.S. Electric Sector*. Idaho National Laboratory. <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2017/01/f34/Cyber%20Threat%20and%20Vulnerability%20Analysis%20of%20the%20U.S.%20Electric%20Sector.pdf> [accessed May 2020].
- IRENA. 2012. *Renewable Energy Technologies: Cost Analysis Series: Biomass for Power Generation*. International Renewable Energy Agency. <https://www.irena.org/publications/2012/Jun/Renewable-Energy-Cost-Analysis---Biomass-for-Power-Generation> [accessed May 2020].
- Juwi. 2014. Poppy and Solar Farm. Juwi Renewable Energies Limited. <https://www.flickr.com/photos/126337375@N05/15756820490/> [accessed June 2020].

- Lazard. 2017. *Lazard's Levelized Cost of Energy Analysis – Version 11.0*.
<https://www.lazard.com/media/450337/lazard-levelized-cost-of-energy-version-110.pdf>
[accessed May 2020].
- Lazard. 2019. *Lazard's Levelized Cost of Energy Analysis—Version 13.0*.
<https://www.lazard.com/media/451086/lazards-levelized-cost-of-energy-version-130-vf.pdf>
[accessed June 2020].
- LBNL. 2019. *Tracking the Sun: Pricing and Design Trends for Distributed Photovoltaic Systems in the United States - 2019 Edition*. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory.
https://emp.lbl.gov/sites/default/files/tracking_the_sun_2019_report.pdf [accessed May 2020].
- Mueller, et al. 2010. New Seismic Hazard Maps for Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands. Charles Mueller, Arthur Frankel, Mark Petersen, and Edgar Leyendecker, *Earthquake Spectra*, Volume 26, No. 1 (February 2010). <https://journals.sagepub.com/doi/10.1193/1.3277667>
[accessed May 2020].
- NAB. 2019. *Resolution 19-23*. Northwest Arctic Borough Assembly. <http://www.nwabor.org/wp-content/uploads/Signed-Res-19-23-High-Energy-funds.pdf> [accessed June 2020].
- NCCETC. 2020. (Federal) Programs. NC Clean Energy Technology Center.
<https://programs.dsireusa.org/system/program?state=US> [accessed May 2020].
- NIBS. 2016. *Whole Building Design Guide, Biomass for Electricity Generation*. National Institute of Building Sciences. <https://www.wbdg.org/resources/biomass-electricity-generation> [accessed May 2020].
- NREL. 2015. *Energy Snapshot: Puerto Rico*. National Renewable Energy Laboratory.
<https://www.nrel.gov/docs/fy15osti/62708.pdf> [accessed May 2020].
- NREL. 2016. *Assessing the Future of Distributed Wind: Opportunities for Behind-the-Meter Projects*. National Renewable Energy Laboratory. <https://www.nrel.gov/docs/fy17osti/67337.pdf>
[accessed May 2020].
- NREL. 2018. *U.S. Solar Photovoltaic System Cost Benchmark: Q1 2018*. National Renewable Energy Laboratory. <https://www.nrel.gov/docs/fy19osti/72399.pdf> [accessed May 2020].
- NREL. 2019. *Beneath Solar Panels, the Seeds of Opportunity Sprout*. National Renewable Energy Laboratory. <https://www.nrel.gov/news/features/2019/beneath-solar-panels-the-seeds-of-opportunity-sprout.html> [accessed June 2020].
- Ortiz-Colón, Guillermo. 2018. *Food Systems, Development, and Sustainability: The Case Study of the Dairy Industry of Puerto Rico*. College of Agricultural Sciences, University of Puerto Rico at Mayagüez.
- Pagani, et al. 2018. *OpenQuake Global Seismic Hazard Map*. M. Pagani, J. Garcia-Pelaez, R. Gee, K. Johnson, V. Poggi, R. Styron, G. Weatherill, M. Simionato, D. Viganò, L. Danciu, D. Monelli.
<https://maps.openquake.org/map/global-seismic-hazard-map/#3/4.13/-114.26> [accessed May 2020].
- Port Authority. 2017. *Port Authority of NY & NJ Support to Puerto Rico*. Port Authority of New York & New Jersey. https://corpinfo.panynj.gov/files/uploads/documents/board-meeting-information/board-committee-meeting-presentations/10-26-17-Board_-_PA_Support_to_Puerto_Rico_-_Hurricane_Maria.pdf [accessed May 2020].

- 
- Powering Agriculture. n.d. Smart Grid on Main Street: Electricity and Value-added Processing for Agricultural Goods. <https://poweringag.org/innovators/smart-grid-main-street-electricity-value-added-processing-agricultural-goods> [accessed June 2020].
- PR DOH. 2019. *Puerto Rico Disaster Recovery Action Plan*. Puerto Rico Department of Housing. https://www.cdbg-dr.pr.gov/wp-content/uploads/2019/10/111618_PRDOH-Action-Plan_Substantial-Amendment.pdf [accessed June 2020].
- PREB. 2018. *Regulation on Microgrid Development*. Puerto Rico Energy Bureau. http://www.pridco.com/real-estate/Pages/RFP_FY2018-2019-002_Anasco/Regulation_9028-Regulation_on_Microgrid_Development.pdf [accessed June 2020].
- PREPA. 2017. *Puerto Rico Electric Power Authority Fiscal Plan*. Puerto Rico Electric Power Authority. <http://www.aafaf.pr.gov/assets/fiscal-plan---pr-electric-power-authority.pdf> [accessed May 2020].
- PREPA. 2019. *2019 Fiscal Plan for the Puerto Rico Electric Power Authority*. Puerto Rico Electric Power Authority. https://aeepr.com/es-pr/Documents/Exhibit%201%20-%202019%20Fiscal_Plan_for_PREPA_Certified_FOMB%20on_June_27_2019.pdf [accessed May 2020].
- Rivera. 2020. ICF Interview with Josué Rivera, State Director, Puerto Rico, U.S. Department of Agriculture Rural Development, May 13, 2020.
- RMI. 2019. 10 Puerto Rican Schools Receive Resilient Microgrids. Rocky Mountain Institute. <https://rmi.org/press-release/10-puerto-rican-schools-receive-resilient-microgrids/> [accessed June 2020].
- RPRAC. 2018. *Reimagina Puerto Rico: Energy Sector Report*. Resilient Puerto Rico Advisory Commission. <https://reimaginepuertorico.org/resources/> [accessed May 2020].
- SB 1121. 2019. *Puerto Rico Energy Public Policy Act*. Puerto Rico Senate Bill 1121. <https://aeepr.com/es-pr/QuienesSomos/Ley17/A-17-2019%20PS%201121%20Politica%20Publica%20Energetica.pdf> [accessed May 2020].
- Schneider Electric. 2015. 5 Places Where Critical Power Plays a Crucial Role. <https://blog.se.com/power-management-metering-monitoring-power-quality/2015/06/18/5-places-where-critical-power-plays-a-crucial-role/> [accessed May 2020].
- Siemens. 2019. *Puerto Rico Integrated Resource Plan 2018-2019*. Siemens Industry, Inc. <https://aeepr.com/es-pr/QuienesSomos/Ley57/Plan%20Integrado%20de%20Recursos/IRP2019%20-%20Ex%201.00%20-%20Main%20Report%20%20REV2%2006072019.pdf> [accessed May 2020].
- USAID. 2018. Bamiyan Renewable Energy Program. U.S. Agency for International Development. <https://www.usaid.gov/energy/mini-grids/case-studies/afghanistan-hydropower/> [accessed June 2020].
- USDA. 2011. *Solar Energy Use in U.S. Agriculture: Overview and Policy Issues*. U.S. Department of Agriculture. https://www.usda.gov/oce/reports/energy/Web_SolarEnergy_combined.pdf [accessed April 2020].

- 
- USDA. 2015. Puerto Rico's Secretary of Agriculture visits NIFA, Addresses Food Security Issues. U.S. Department of Agriculture. <https://nifa.usda.gov/announcement/puerto-rico%E2%80%99s-secretary-agriculture-visits-nifa-addresses-food-security-issues> [accessed June 2020].
- USDA. 2018. Caribbean Area Agriculture, Watershed Recovery One Year Post María. U.S. Department of Agriculture. <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detailfull/pr/newsroom/features/?cid=nrcseprd1420889> [accessed May 2020].
- USDA. 2019a. *High Energy Cost Grants, 2019 High Energy Cost Grant Awardees*. U.S. Department of Agriculture. <https://www.rd.usda.gov/programs-services/high-energy-cost-grants> [accessed June 2020].
- USDA. 2019b. *USDA Rural Development, Rural Energy for America Program* (grant list, August 19, 2019). U.S. Department of Agriculture. https://www.rd.usda.gov/files/REAP_NR_CHART_under200000k81919.pdf [accessed May 2020].
- USDA. 2019c. *2017 Census of Agriculture: United States Summary and State Data*, Volume 1, Geographic Area Series, Part 51. U.S. Department of Agriculture. https://www.nass.usda.gov/Publications/AgCensus/2017/Full_Report/Volume_1,_Chapter_1_US/usv1.pdf [accessed April 2020].
- USDA. 2020a. *Puerto Rico (2018) Island and Regional Data, Census of Agriculture*. U.S. Department of Agriculture. https://www.nass.usda.gov/Publications/AgCensus/2017/Full_Report/Outlying_Areas/Puerto_Rico/prv1.pdf [accessed June 2020].
- USDA. 2020b. *USDA Rural Development: Programs & Services*. U.S. Department of Agriculture. <https://www.rd.usda.gov/programs-services> [accessed June 2020].
- USDA. 2020c. *Rural Energy for America Program: Renewable Energy Systems & Energy Efficiency Improvement Guaranteed Loans & Grants*. U.S. Department of Agriculture. <https://www.rd.usda.gov/programs-services/rural-energy-america-program-renewable-energy-systems-energy-efficiency> [accessed June 2020].
- USDA. 2020d. *Rural Energy for America Program: Energy Audit & Renewable Energy Development Assistance Grants*. U.S. Department of Agriculture. <https://www.rd.usda.gov/programs-services/rural-energy-america-program-energy-audit-renewable-energy-development-assistance> [accessed June 2020].
- USDA. 2020e. *Energy Investment Map*. U.S. Department of Agriculture. <https://www.usda.gov/energy/maps/maps/Investment.htm> [accessed June 2020].
- U.S. Global Change Research Program. 2017. *Climate Science Special Report: Fourth National Climate Assessment, Volume I*. <https://science2017.globalchange.gov/> [accessed May 2020].
- Vermont Law School. 2019. *Food Systems Resilience: Concepts & Policy Approaches*. Center for Agriculture and Food Systems at Vermont Law School, with support from USDA National Agricultural Library. https://www.nal.usda.gov/sites/www.nal.usda.gov/files/food_systems_resilience_concepts_policy_approaches_final.pdf [accessed June 2020].

