



Daniel Hernández, PE, MEM
PRET -Founder & Editor
PRGRIDLLC@YAHOO.COM

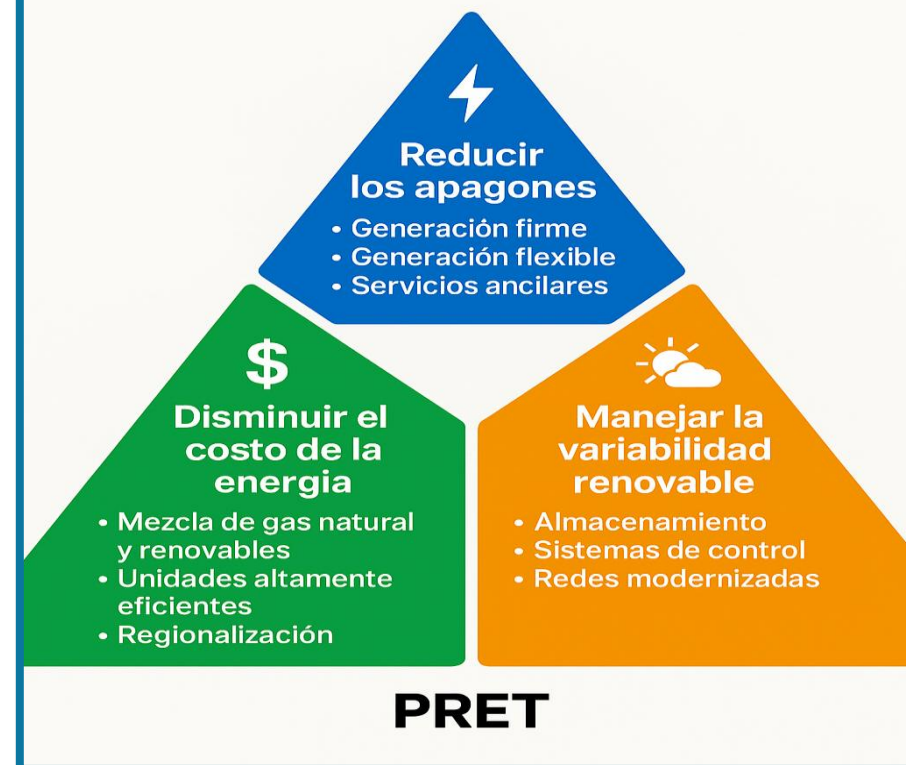
Puerto Rico atraviesa una crisis energética prolongada, marcada por apagones frecuentes, costos de energía excesivos y una creciente desconexión entre el potencial renovable del país y su realidad operativa. La transición energética no puede seguir siendo una consigna abstracta. Debe traducirse en acciones concretas, ancladas en una visión técnica, realista y ejecutable.

Desde PRET proponemos tres prioridades esenciales como base para una verdadera transformación del sistema eléctrico:

1. **Reducir los apagones**, asegurando generación firme, flexible y con servicios ancilares que estabilicen la red.
2. **Disminuir el costo de la energía**, reemplazando tecnologías ineficientes y combustibles costosos por soluciones modernas y sostenibles.
3. **Manejar la variabilidad renovable**, fortaleciendo las redes y capacidades operativas para maximizar la integración de energía limpia.

Esta edición profundiza en cada uno de estos pilares, ofreciendo datos, propuestas y llamados urgentes a la acción.

Tres prioridades esenciales para transformar el sistema energético de Puerto Rico



1 Reducir los apagones

Estabilidad operativa: lo primero es detener el colapso

Puerto Rico ha experimentado más de 100 eventos anuales de *load shedding* (interrupciones) en los últimos años. Estos eventos representan pérdidas económicas, descontento social y erosionan la confianza pública en el sistema. Más del **70%** de la capacidad instalada proviene de unidades viejas, ineficientes, con altos

índices de averías y tiempos de recuperación inaceptables. El sistema carece de reserva operativa suficiente para enfrentar eventos imprevistos, lo que provoca apagones incluso con demanda moderada.

De acuerdo con los datos estadísticos de LUMA, el **75% de estas interrupciones ocurre cuando una unidad de generación se desconecta súbitamente** y el sistema eléctrico no cuenta con la capacidad de respuesta rápida para compensar la pérdida de generación. Esto refleja una **deficiencia crítica en los mecanismos de respuesta primaria** del sistema, como la regulación de frecuencia y la disponibilidad inmediata de generación flexible. Estos eventos tienen una **duración promedio de 18 minutos** y afectan a **más de 93,000 clientes** por incidente.

El **25% restante de los eventos ocurre cuando la capacidad total disponible del sistema de generación es insuficiente para suplir la demanda**, registrándose un déficit promedio de aproximadamente **100 MW**. En estos casos, los apagones tienen una **duración promedio de dos horas**, afectando a **más de 70,000 clientes** por evento.

Soluciones estratégicas prioritarias:

- **Generación firme:** Es urgente reemplazar las unidades críticas de la flota térmica, especialmente aquellas que no operan o requieren mantenimientos costosos y frecuentes. Ciclos combinados (CC) de alta eficiencia deben ser parte central del nuevo mix energético, y además ofrecen

rampas de carga más rápidas que las tecnologías antiguas.

- **Respuesta primaria con BESS:** Para mejorar la estabilidad del sistema ante desconexiones súbitas, se deben incorporar sistemas de almacenamiento en baterías (BESS) que pueden ofrecer respuesta primaria en menos de un segundo. Esta capacidad permite compensar de inmediato la pérdida de generación, evitando apagones o caídas de frecuencia peligrosas.
- **Servicios ancilares:** Inercia sintética, regulación de frecuencia y voltaje, black start, y otras funciones operativas que garanticen estabilidad en la red. Sin estos servicios, el sistema sigue siendo frágil, incluso si se añade nueva capacidad instalada.

2 Disminuir el costo de la energía

Una tarifa más justa requiere decisiones técnicas, no políticas

El alto costo de la energía en Puerto Rico es una de las principales barreras para el desarrollo económico y la equidad social. Para resolverlo, no basta con enfocarse en quién administra el sistema: **hay que cambiar cómo se genera la electricidad**. En PRET proponemos atacar directamente las dos variables que más inciden en el precio de generación:

- La **baja eficiencia térmica** de las plantas en operación.
- El uso de **combustibles caros y volátiles**, como el diésel y el Bunker C.

1. Eficiencia térmica: cuánta energía útil se obtiene por unidad de combustible

La eficiencia térmica mide qué tan bien una planta convierte el combustible en electricidad útil. Cuanto mayor la eficiencia, **menos combustible se necesita para generar un kWh**, lo que reduce tanto los costos como las emisiones.

Esta eficiencia se expresa como **heat rate**:

- ◆ **Heat rate** = cantidad de energía (en Btu) necesaria para generar 1 kWh
- ◆ Cuanto **más bajo** el heat rate, **mayor** la eficiencia

Actualmente, el sistema térmico en Puerto Rico opera con un **heat rate promedio de 12,379 Btu/kWh**, según datos de LUMA para el primer trimestre de 2025. Esto equivale a una eficiencia de apenas **27%**, muy por debajo del estándar moderno.

En contraste, un ciclo combinado moderno puede operar con **heat rate de 7,000 Btu/kWh o menos**, alcanzando eficiencias del **50% o más**.

✓ **¿Qué significa esto en términos reales?**

“Que una planta moderna necesita solo la mitad del combustible para producir la misma energía.”

2. Costo del combustible: cuánto cuesta el insumo energético

El segundo componente crítico es el tipo de combustible. Puerto Rico sigue dependiendo de combustibles fósiles caros y contaminantes:

- **Bunker C (#6) y Diésel #2** son costosos y volátiles, afectando directamente el costo de generación.
- En contraste, el **gas natural** bajo contratos a largo plazo puede ofrecer precios más estables y bajos.

Además, la expansión de **energía renovable con almacenamiento** permite reducir aún más la dependencia de combustibles importados, estabilizando el costo a largo plazo.

 Comparativo de costos de generación por combustible

(Usando datos reales del sistema de generación en Puerto Rico – LUMA, 2025)

 Comparativo de costos de generación por combustible

(Usando datos reales del sistema de generación en Puerto Rico – LUMA, 2025)

Combustible	Heat Rate (Btu/kWh)	Precio promedio (\$/MMBtu)	Costo estimado de generación (\$/MWh)
Diésel #2	12,379	\$17.09	\$211.60
Bunker C (#6)	12,379	\$13.00	\$160.93
Gas Natural (LNG)	12,379	\$10.46	\$129.49

★ *Estos costos reflejan únicamente el combustible y la eficiencia térmica del sistema actual. No incluyen O&M, CAPEX ni pérdidas.*

🔍 ¿Y si cambiamos la tecnología?

Reemplazar las unidades de generación actuales no es solo una cuestión de cambio de combustible. **Es un rediseño completo del sistema**, que parte de una verdad técnica sencilla: **la tecnología importa**.

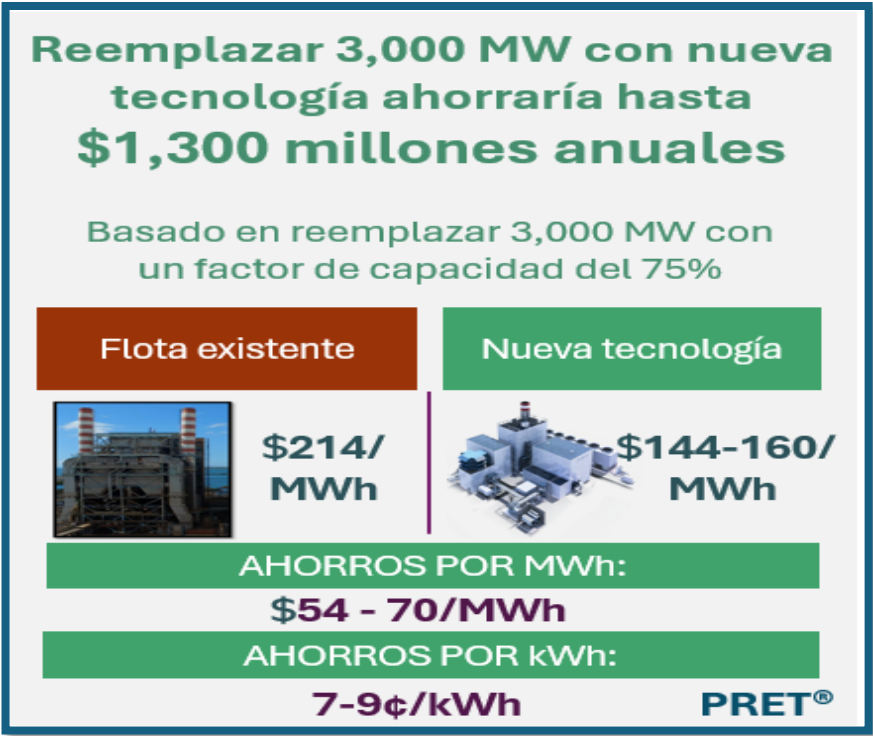
Hoy, gran parte de la energía en Puerto Rico proviene de plantas que queman diésel y Bunker C, con una eficiencia térmica baja y un costo total que ronda los **\$214/MWh**, incluyendo combustible, operación y mantenimiento.

Tecnología	Costo (\$/MWh)	Eficiencia (%)
Flota de Vapor actual de AEE	\$214	27-30%
Tecnología moderna	\$144-\$160 (LCOE)	50-55%

Si esa misma energía se generara con **ciclos combinados modernos alimentados por gas natural**, el costo total estimado (considerando inversión, combustible, O&M y financiamiento) estaría entre **\$144 y \$160/MWh**, según referencias de LCOE para plantas nuevas.

🔍 ¿Qué significa esto?

Una **reducción sustancial en el costo real de generar electricidad**, que se traduce en un **ahorro anual de entre \$1,000 y \$1,300 millones** si se reemplazan **3,000 MW** de capacidad ineficiente.



Más importante aún, ese ahorro podría reflejarse en la factura de cada cliente con una reducción tarifaria estimada de **7 a 9 centavos por kWh**.

Este cambio no es teórico. **El Negociado de Energía de Puerto Rico (PREB) ya ordenó licitar 3,000 MW de nueva generación base**, con el propósito explícito de **reemplazar la flota térmica obsoleta**, mejorar la confiabilidad y reducir el costo de la energía.

Ya existen propuestas concretas como **el proyecto Energiza**, el **Proyecto Hostos**, así como múltiples iniciativas de **BESS (almacenamiento) y energía renovable** que pueden y deben ser parte integral de esta nueva mezcla energética. Lo que falta no es capacidad técnica ni visión: **lo que falta es ejecutar con urgencia y coherencia una transición energética que ya está en marcha por mandato regulatorio**.

Resultado: Sustituir combustibles costosos y contaminantes por alternativas más limpias y económicas reduce el costo directo por MWh generado.

3 Manejar la variabilidad renovable

Integración renovable sin perder estabilidad operativa

Puerto Rico cuenta con uno de los mayores potenciales solares del Caribe. Sin embargo, ese potencial no puede materializarse plenamente si la red eléctrica no está preparada para manejar la variabilidad. A medida que aumenta la penetración de energía solar y eólica, se intensifican los retos de control, balance de carga y estabilidad en tiempo real, especialmente si no se acompaña de almacenamiento, control, planificación y tecnología flexible de respaldo.

Renovables variables vs. no variables

Las energías renovables se dividen en dos tipos:

- **Renovables variables**, como la solar y la eólica, dependen del clima y su producción fluctúa constantemente.
- **Renovables no variables**, como la hidroeléctrica, geotermia y biomasa, ofrecen una producción más firme y predecible.

En Puerto Rico, el recurso disponible es exclusivamente solar y eólico, por lo que no se puede contar con renovables firmes como respaldo. Esto impone la necesidad urgente de incorporar **soluciones firmes y flexibles**, como baterías, ciclos combinados

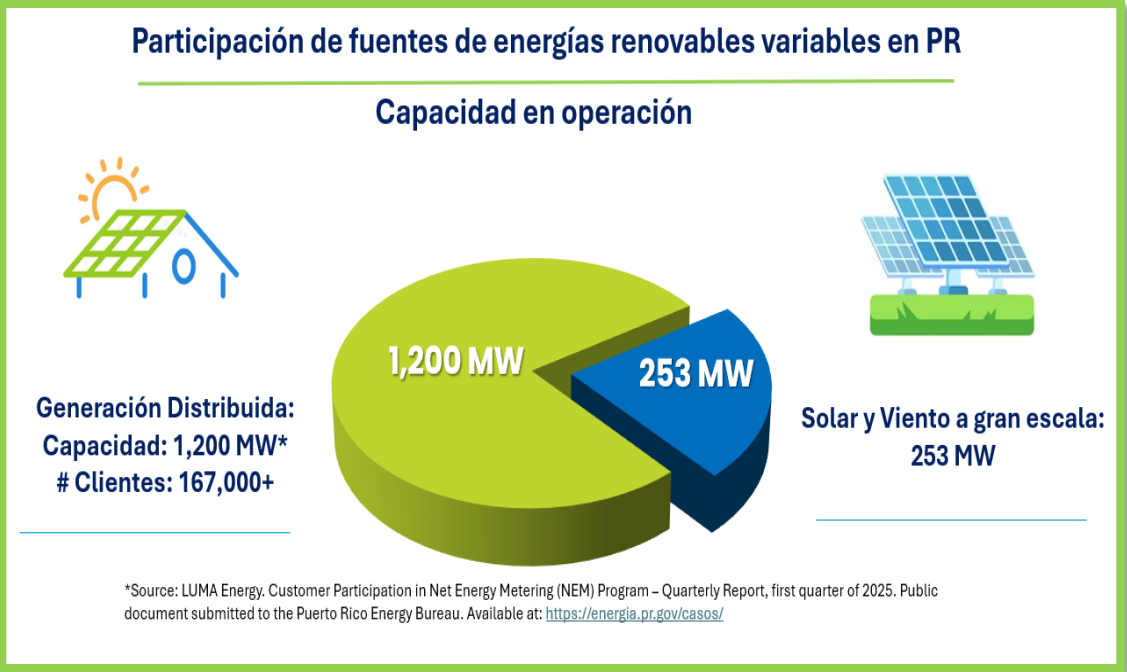
modernos o interconexiones, para asegurar una operación estable.

La generación renovable es variable. La estabilidad no puede serlo.

Uno de los mayores desafíos en sistemas con alta penetración solar es el manejo de rampas —cambios abruptos en la producción por el paso de nubes o eventos meteorológicos— que pueden representar variaciones de cientos de megavatios en minutos.

Para evitar desequilibrios, caídas de frecuencia o apagones localizados, el sistema debe contar con recursos que puedan responder inmediatamente. Aquí, algunas soluciones estructurales para una red que soporte renovables:

- **Almacenamiento:**
Incorporar baterías de respuesta rápida (BESS) y almacenamiento de larga duración (LDES) para absorber los picos de producción solar y cubrir los valles de generación.
- **Regulación del almacenamiento distribuido:**
Establecer reglas claras para que los sistemas solares con baterías a nivel residencial y comercial contribuyan activamente al **control de rampa**. De esta manera, sus baterías podrán descargar de forma coordinada al caer la producción solar en la tarde, reduciendo la presión sobre la flota térmica y mejorando la estabilidad del sistema.
- **Nueva generación flexible:**



El sistema requiere **un nuevo bloque de generación firme y flexible**, compuesto por **ciclos combinados (CC), turbinas de combustión modernas y almacenamiento**. Estas tecnologías permiten **responder en segundos o minutos** a cambios inesperados en la producción renovable o en la demanda, y son esenciales para el **manejo de rampas solares**.

- **Servicios ancilares obligatorios:**
No hay red estable sin servicios como **regulación de frecuencia, control de voltaje, reserva rodante, black start e inercia**. Estos servicios deben estar integrados al diseño y operación diaria del sistema.
- **Sistemas de control avanzados:**
Centros de despacho modernos, **SCADA unificado a nivel isla**, y **sistemas de gestión de energía (EMS)** son

esenciales para coordinar recursos distribuidos y centrales en tiempo real.

- **Redes modernizadas:**
Inversiones en automatización, protección avanzada y comunicaciones que permitan gestionar de forma segura **recursos distribuidos (DER)**, microrredes y proyectos virtuales de energía.

Lecciones internacionales:

Países como **Chile, Australia** y regiones como **Texas** han logrado integrar más de un 30–40% de energía renovable

gracias a una **planificación robusta** y una inversión masiva en **almacenamiento, servicios ancilares y generación flexible**. La red no se transforma sola; necesita ingeniería, inversión y disciplina operativa.

“No hay red renovable sin una red estable. Y no hay red estable sin servicios ancilares” PRET

Por eso, toda aprobación de proyectos renovables en Puerto Rico debe estar **condicionada a la integración simultánea de almacenamiento, control y respaldo flexible**, evitando repetir errores de expansión descoordinada que ponen en riesgo la confiabilidad del sistema.

Conclusión: De la crisis a la transformación

Puerto Rico no necesita más diagnósticos. Necesita decisiones. La crisis energética que enfrentamos —marcada por apagones constantes, tarifas insostenibles y una transición renovable mal implementada— no es un destino inevitable. Es el resultado de inacción, descoordinación y decisiones políticas sin fundamento técnico.

Desde PRET, proponemos un camino claro y ejecutable, centrado en tres pilares fundamentales:

- ✓ **Estabilizar el sistema eléctrico**, reemplazando generación obsoleta por tecnologías firmes, flexibles y con servicios ancilares que garanticen confiabilidad operativa.
- ✓ **Reducir el costo de la energía**, atacando la ineficiencia térmica y la dependencia de combustibles caros, mediante tecnologías modernas y una nueva mezcla energética más limpia, económica y resiliente.
- ✓ **Manejar la variabilidad renovable**, reforzando la red, el almacenamiento y los sistemas de control para maximizar el potencial solar sin comprometer la estabilidad.

El Negociado de Energía ya dio el primer paso al ordenar 3,000 MW de nueva generación base. Existen propuestas viables — como Energiza, Hostos, los BESS adjudicados y cientos de



megavatios en proyectos solares listos para interconectar. El momento de actuar es ahora.

Transformar nuestro sistema energético no es solo posible: es urgente. Cada mes de atraso se traduce en apagones, sobrecostos y oportunidades perdidas. Puerto Rico tiene la capacidad técnica, el talento y los recursos para lograrlo.

Cita Clave

“Lo que falta es la decisión de ejecutar con valentía, transparencia y sentido de urgencia. El sistema debe salir de su inmovilización estructural —resultado de una combinación de visión estratégica limitada, falta de reconocimiento pleno de los retos técnicos del sistema y ausencia de prioridades claras alineadas a un plan integral, realista y libre de influencias particulares.”

BIO Daniel Hernández Morales

Daniel Hernández es ingeniero electricista con más de 35 años de experiencia en generación, transmisión y distribución de energía en Puerto Rico. Ha liderado iniciativas clave en el sector público y privado, entre ellas:

- **Vicepresidente de Operaciones en Genera PR (2023–2025):** dirigió la estabilización de la flota generatriz, el lanzamiento de 430 MW en almacenamiento con baterías (BESS) y proyectos críticos de recuperación.
- **Director de Renovables a Gran Escala en LUMA (2021–2023):** lideró la interconexión técnica y regulatoria de proyectos solares y eólicos.
- **Director de Generación en la AEE (2018–2021):** supervisó la operación de la flota durante eventos como los terremotos de 2020 y la pandemia.

Durante su carrera en la AEE (1989–2018) fue jefe de subestaciones y líder en protección eléctrica, impulsando la modernización e innovación de sistemas críticos. Actualmente es Director Técnico del Proyecto Hostos, donde lidera la coordinación estratégica, regulatoria y técnica de esta iniciativa binacional. Es también fundador y editor de PRET – Puerto Rico Energy Transformation, una plataforma técnica dedicada a la política energética y la planificación del sistema. Además, se desempeña como consultor estratégico independiente, asesorando a agencias, reguladores y desarrolladores en temas de integración de energías renovables, interconexión, protección eléctrica y planificación regional.