



Integración renovable en la península de Yucatán

Omar José Guerra Fernández
Brian Sergi
Riccardo Bracho

Visión General

- 1 Motivación y preguntas de estudio**

- 2 Metodología del estudio**

- 3 Resultados (escenarios principales, sensibilidades de almacenamiento)**

- 4 Conclusiones**

Motivación

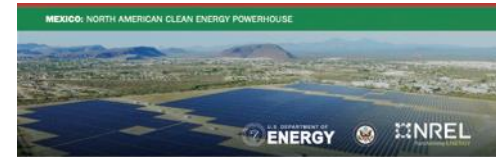
- Análisis previos evaluaron las oportunidades de recursos renovables en la península
(<https://www.nrel.gov/docs/fy21osti/81142.pdf>)
- El estudio de energías limpias a nivel país exploró la operación del sistema con niveles renovables mas altos
(<https://www.nrel.gov/docs/fy22osti/82580.pdf>)
- Este estudio amplía el enfoque anterior para entender los impactos operativos en la península de Yucatán



Evaluación energética de la península de Yucatán: Vías para un sistema energético limpio y sustentable

Riccardo Bracho, Francisco Flores-Espino, Jonathan Morgenstein, Alexandra Aznar, Ricardo Castillo, y Edward Settle

Laboratorio Nacional de Energía Renovable



Mexico Clean Energy Report—Executive Summary

Mexico is ideally positioned to become a clean energy powerhouse given its world-class renewable energy resource potential and the low cost of renewable energy generation. Rapid growth in renewable energy deployment in Mexico could generate high levels of investment, increase energy access, reduce costs to consumers, and—taken together with other actions—improve the reliability and resilience of Mexico's power system.

Mexico's energy transition law established a target for meeting at least 35% of its electricity generation from clean energy sources by 2024. In 2021, Mexico generated 86.27 TWh or 26.7% of its electricity from clean energy resources. By 2024, electricity demand is expected to grow 12.7%.

Deploying renewable energies at scale would allow Mexico to meet its clean energy goals while increasing its energy security, attracting significant new investments, growing its national and regional economies, and creating new high quality jobs. Renewable energy technologies are also the most cost-effective way to provide rural electrification solutions. Access to electricity enhances education, health, and other social services that improve quality of life for underserved communities. Clean energy generation in Mexico is also necessary to power the electrification of the transport sector, which would improve air quality.



Figure 1. Map of Mexico with areas of highest potential for solar, wind, geothermal, and hydro renewable energy resources.



Figure 2. Map of Southeast Mexico with areas of highest renewable potential.

Mexico's large and diverse renewable energy resource base could support significant growth in clean generation capacity. Figure 2 shows that Mexico's renewable resources are well distributed throughout the country. National technical potential includes 24,924 GW¹ of solar photovoltaics, 3,469 GW² of wind, 2.5 GW³ of conventional geothermal, and 1.2 GW⁴ of additional capacity from existing hydropower facilities.

Combining transportation planning with available renewable energy development in key regions can increase energy access, promote economic growth, and reduce electricity prices while increasing system reliability. Figure 2 shows the southeast region's very strong potential to become Mexico's most important clean energy hub, powering sustainable growth throughout the region and exporting clean energy capacities to the rest of the country and to Central America.

The southeast technical potential includes 5,561 GW of solar PV, 744 GW of wind, an additional 272 MW from conventional geothermal, and the largest hydro resources in Mexico.

The U.S. National Renewable Energy Laboratory (NREL) conducted a 2024 renewable integration study for Mexico, utilizing planned project data from developers, and a regional production cost model of the Mexican power system over a 1-year period. The study looked at three different 2024 generation scenarios, focused mostly on wind and solar but including hydro repowering and geothermal projects from

¹ PROCEDE 2021.
² NREL's website using the National Solar Radiation Database, Wind Toolkit and the Renewable Energy Data Explorer for Mexico.
³ Reference: Lopez et al. (2012). Based only on hydrothermal resources at temperatures >100°C.
⁴ Reference: A 20% gain from current facilities.

Preguntas de investigación

- ¿Cuáles son las características de la operación de los sistemas eléctricos con mayores niveles de energía renovable variable (ERV) en Yucatán?
- ¿Cómo afecta la participación relativa de la energía eólica y solar a las operaciones del sistema?
- ¿Qué valor proporciona el almacenamiento para integrar niveles más altos de VRE?

Supuestos en la modelación

- Interconexión con Tabasco modelada como generadora con capacidad de 1,200 MW, igual a la capacidad de transmisión
 - Costo de importación fijado en un 2.5% superior al precio nodal mediano Enel nodo de Tabasco (41 USD/MWh)
 - No se permiten exportaciones desde Yucatán
- Precios de combustible basados en Escenario de Referencia 2021
- Aumento de la demanda/solar distribuida según el escenario de planificación de PRODESEN
- Restricciones de consumo diario de gas natural:
 - Escenarios 2021/2024: 188.779 m³/hora
 - Escenarios 2030: 294.967 m³/hora
- Restricciones de transmisión dentro de la región de Yucatán son ignoradas

Escenarios principales

2021* utilizado como escenario de referencia (REF)

Incrementos de generación del 2024 y 2030 basados en por información de planeación

- “Business as usual” (BAU)
- Despliegue acelerado de energías renovables (RES)
- Despliegue acelerado “plus” de energías renovables (RES+)

Año	Principales escenarios
2021	REF
2024	BAU, RES, RES+
2030	BAU, RES, RES+

* Este escenario fue validado contra resultados reportados por el CENACE

Sensibilidades

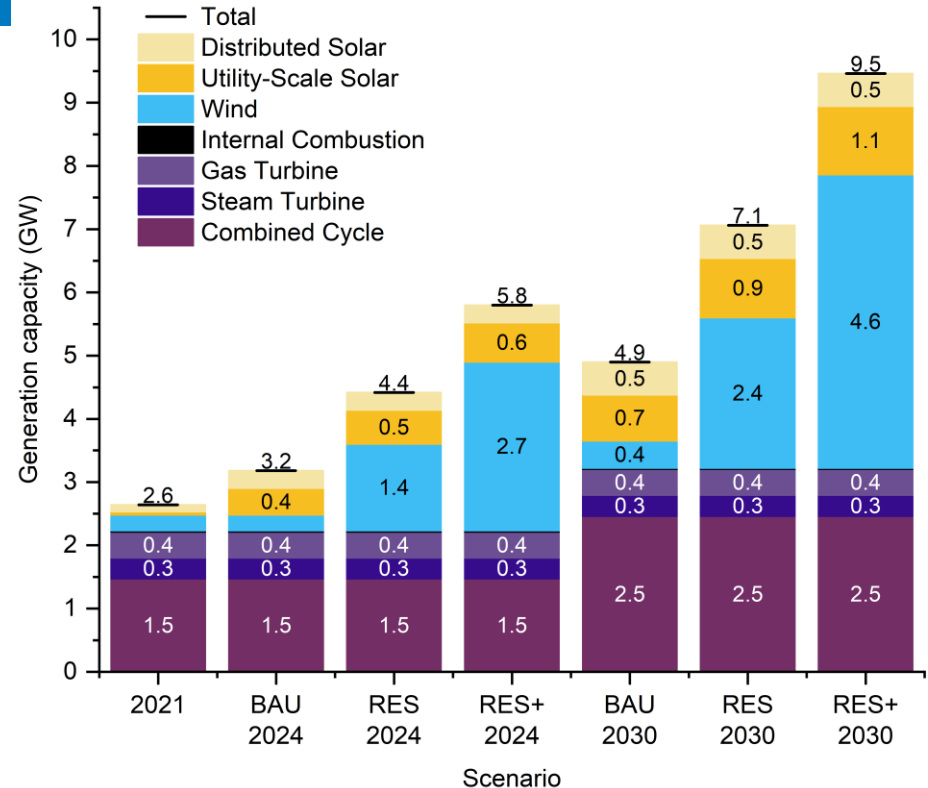
Sensibilidades enfocadas en los casos (RES/RES+) del 2030

- Los casos 2030 Baseline, RES y RES+ incluyen principalmente energía eólica, así que prueba un sistema con una mayor proporción de energía solar
- Escenarios de prueba con el despliegue de almacenamiento (duración de 4 y 8 horas)

	Eólico-dominante	Solar-dominante
<i>Sin almacenamiento</i>	RES, RES+	RES solar, RES+ solar
<i>4-horas duracion</i>	RES 4H, RES+ 4H	RES solar 4H, RES+ solar 4H
<i>8-horas duración</i>	RES 8H, RES+ 8H	RES solar 8H, RES+ solar 8H

Capacidad instalada

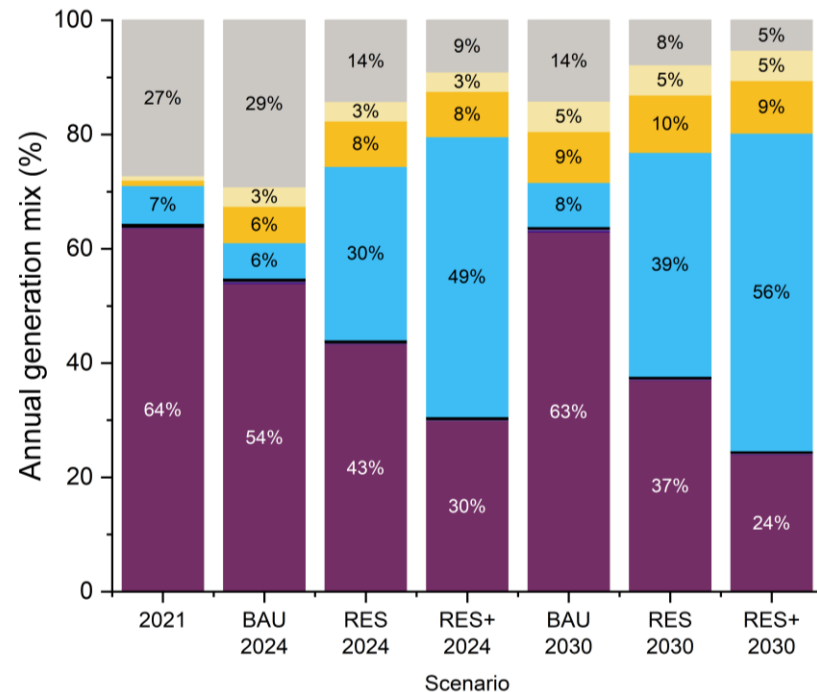
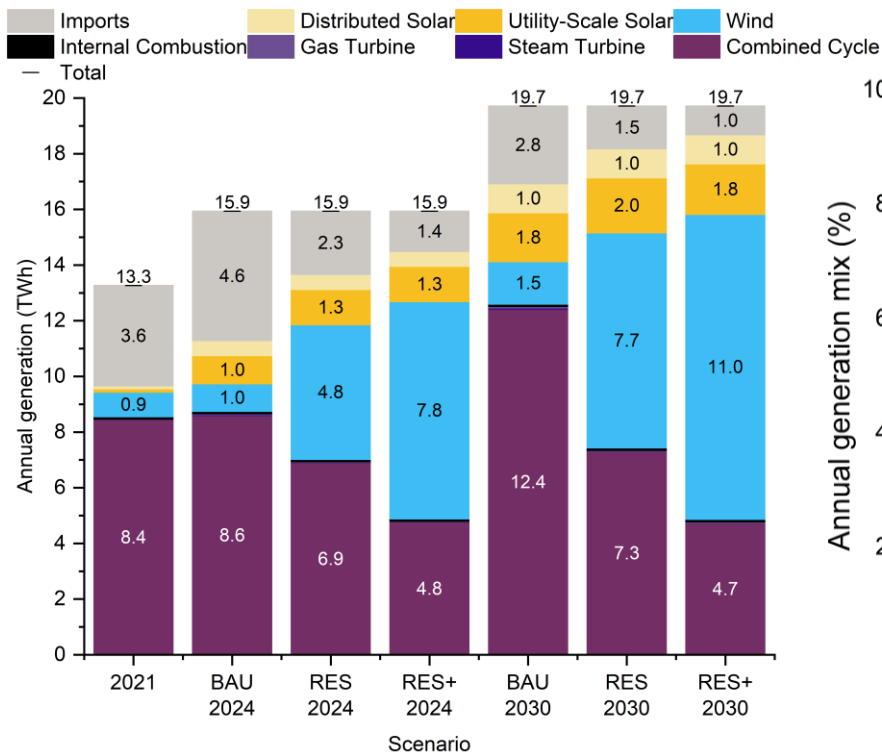
- RES, RES+ incluyen construcciones ERV más altas, particularmente para energía eólica
- Todos los escenarios del 2030 asumen 1 GW adicional de ciclo combinado de gas natural
- Sensibilidades solares dominantes: capacidad derivada de la estimación de generación necesaria para igualar la producción eólica en los casos base
- Sensibilidades de almacenamiento: agregar baterías de 4 y 8 horas de duración



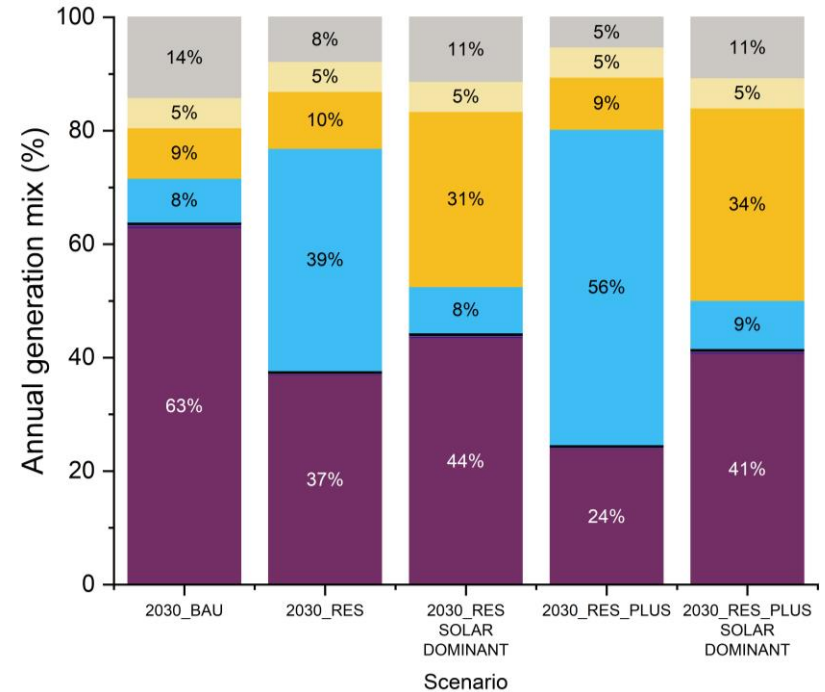
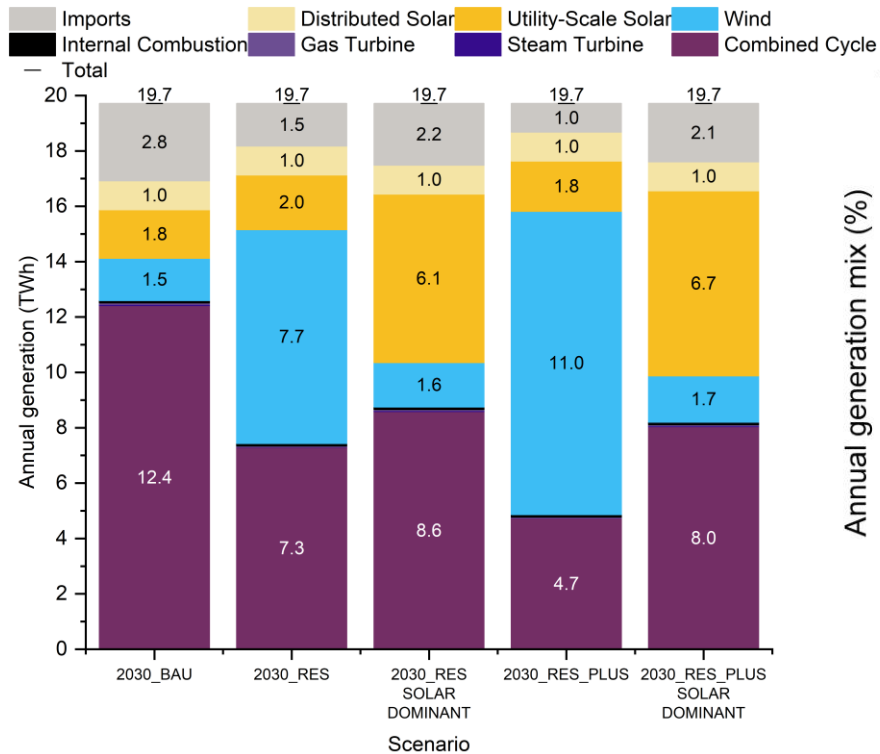
Resultados: escenarios principales

Generación anual (escenarios principales)

Integración de ERV reduce generación con gas e importaciones

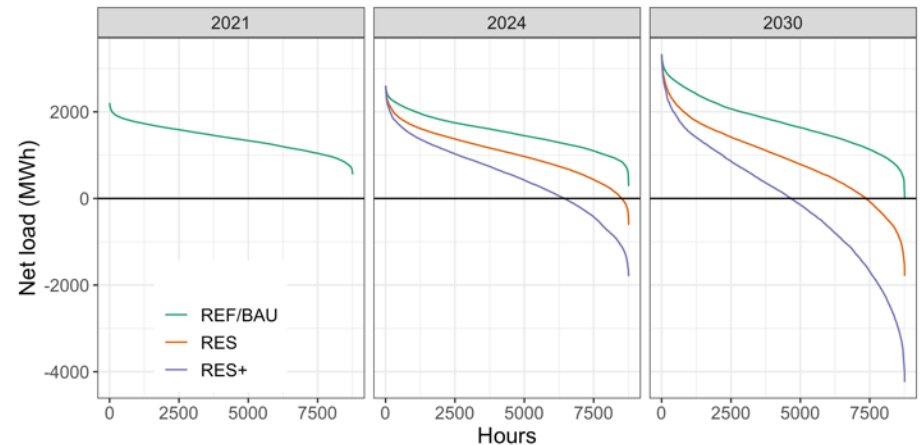
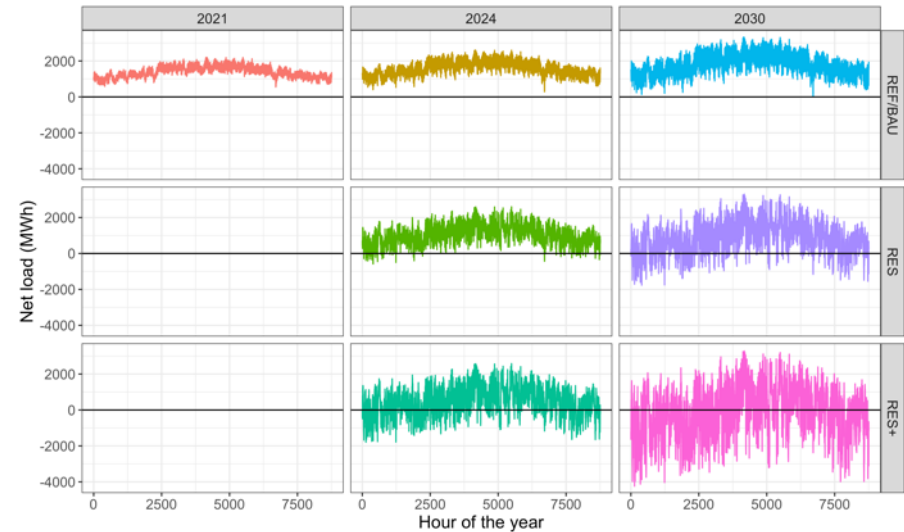


Generación anual (eólica vs solar dominante)



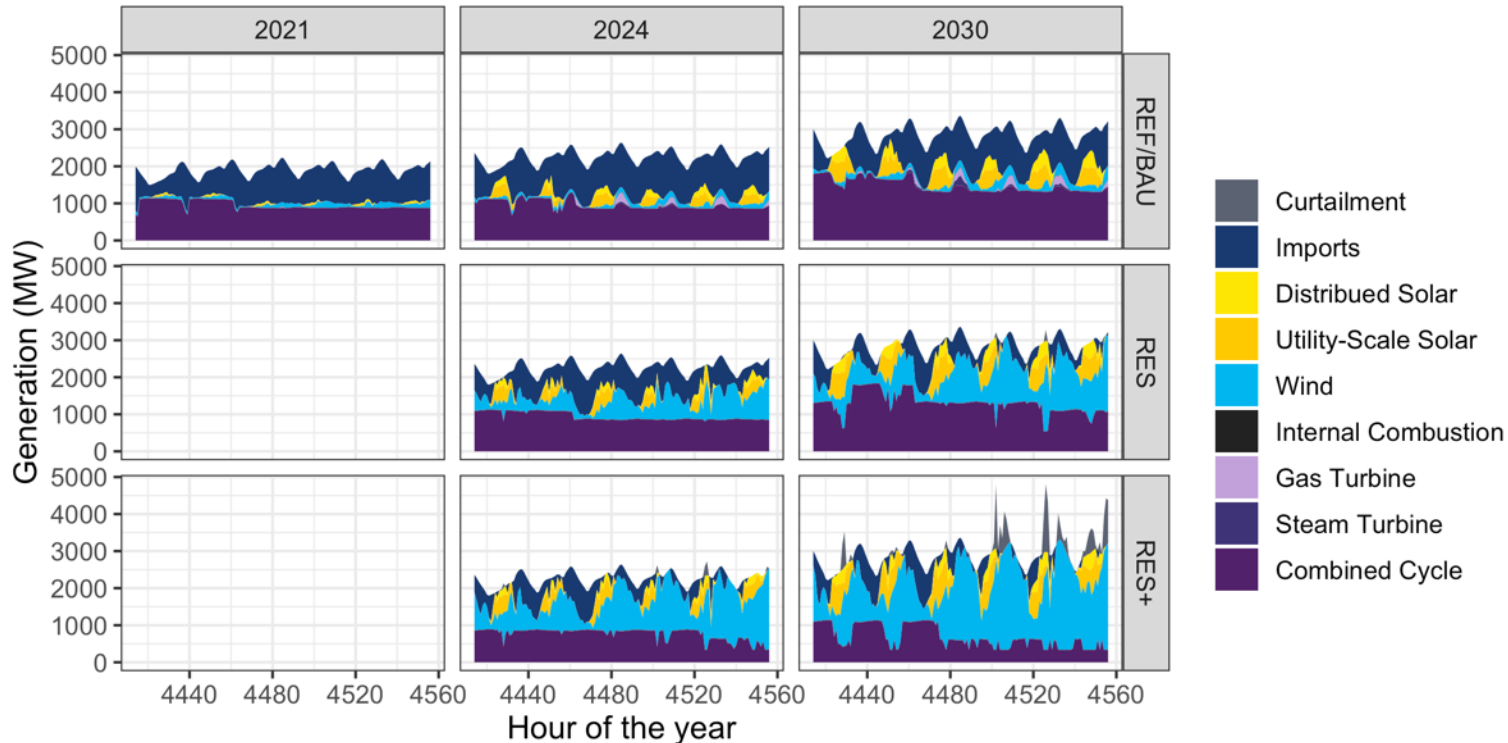
Demanda neta

- Calculada como demanda menos ERV disponible
- Mayores instancias donde la demanda neta es negativa (más energía de la necesaria para satisfacer la demanda)
- Refleja el valor potencial de las exportaciones y posible uso del almacenamiento (más discusión con las sensibilidades del almacenamiento)



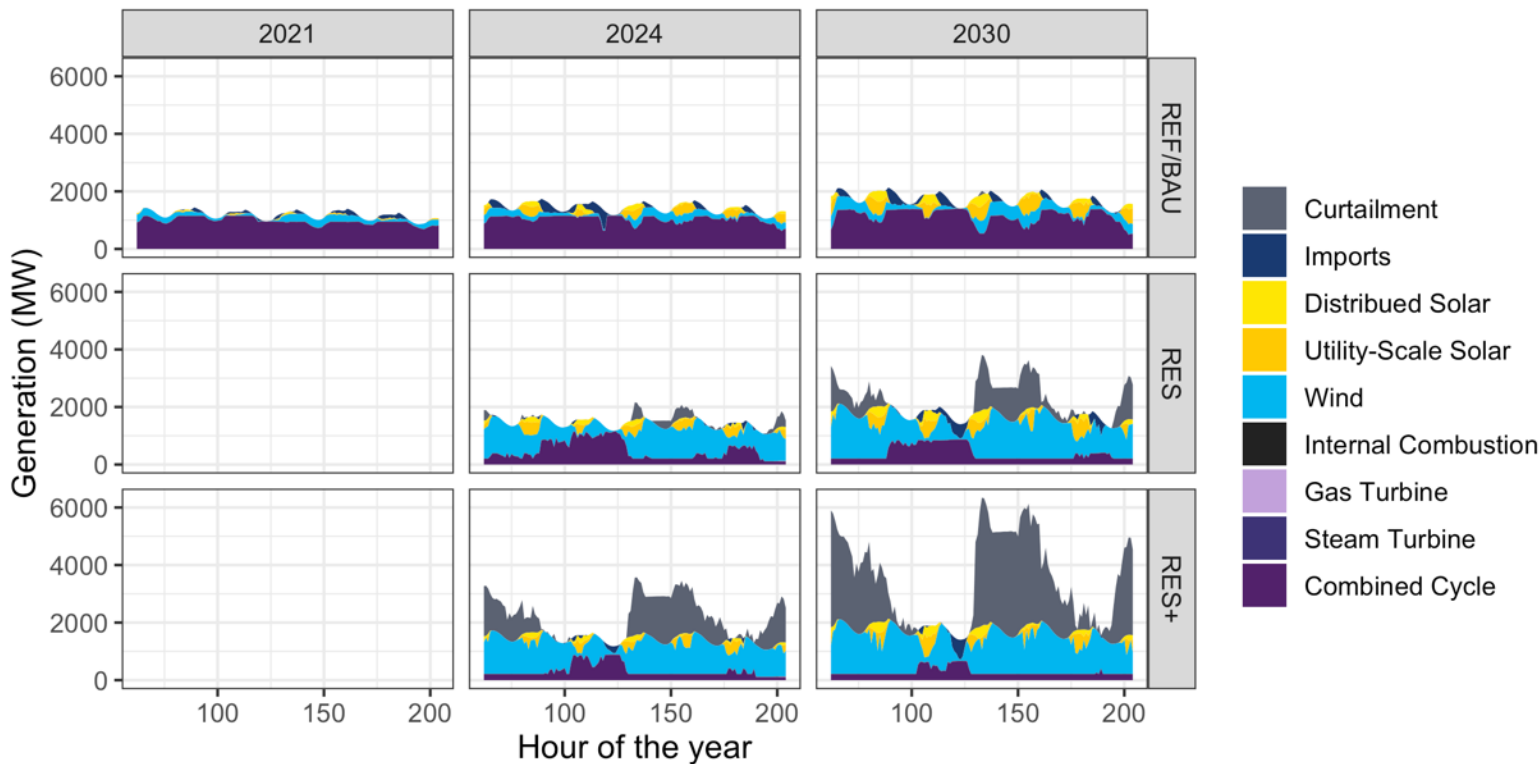
Ejemplo de despacho (demanda pico)

Resultados operativos mostrados para los 3 días anteriores y posteriores de la hora de demanda máxima



Ejemplo de despacho (demanda neta mínima)

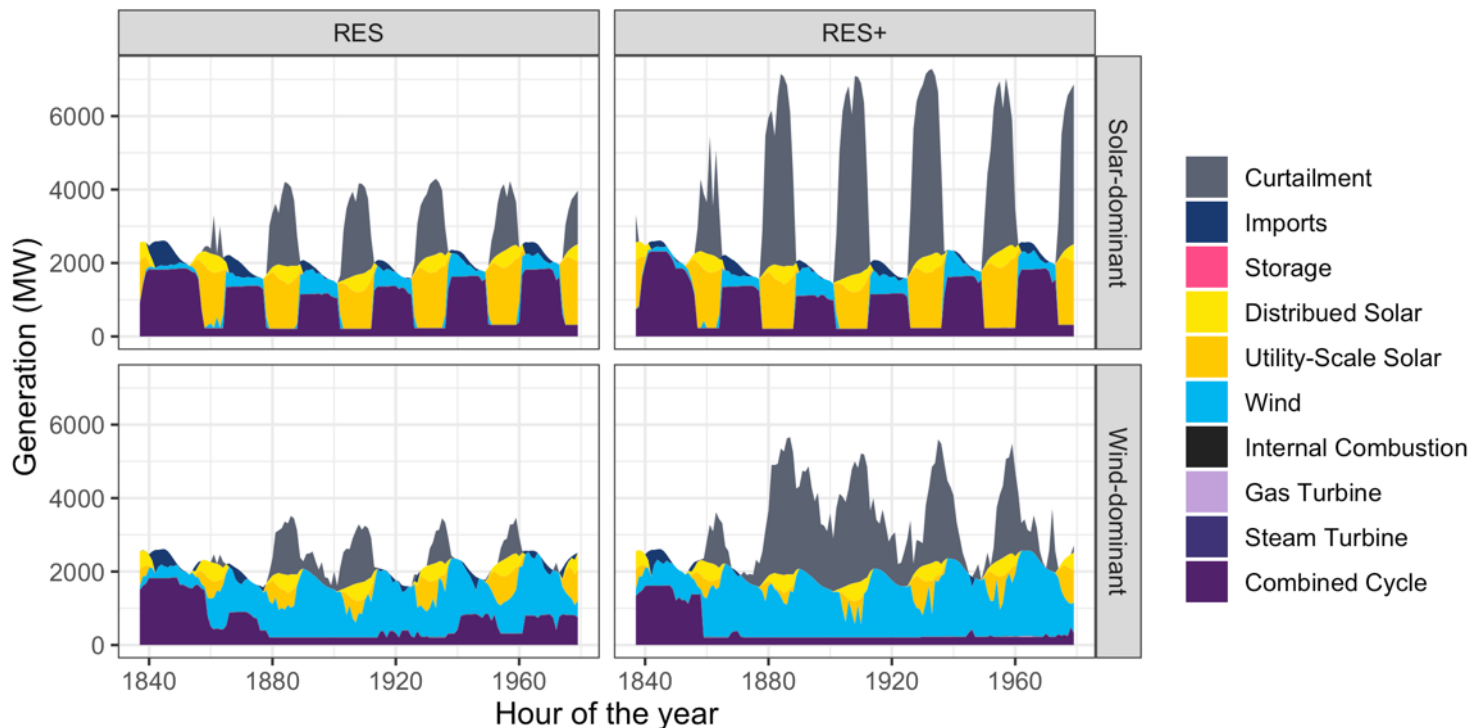
Resultados operativos mostrados para los 3 días anteriores y posteriores a la hora con menor demanda neta (calculada como demanda – ERV disponibles)



Ejemplo de despacho (2030 eólica vs. solar dominante)

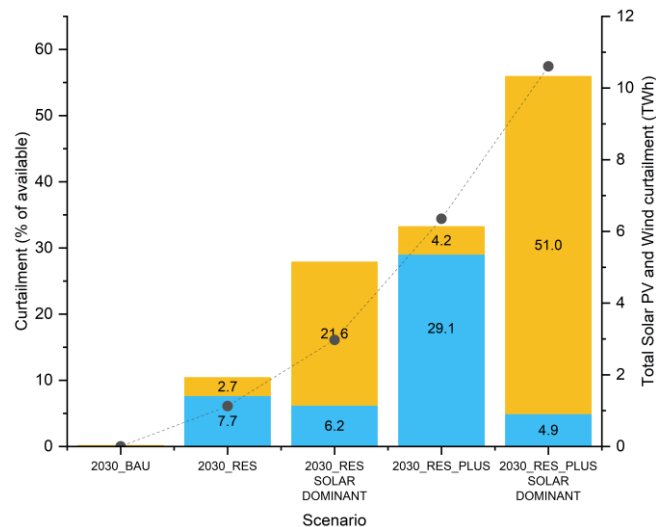
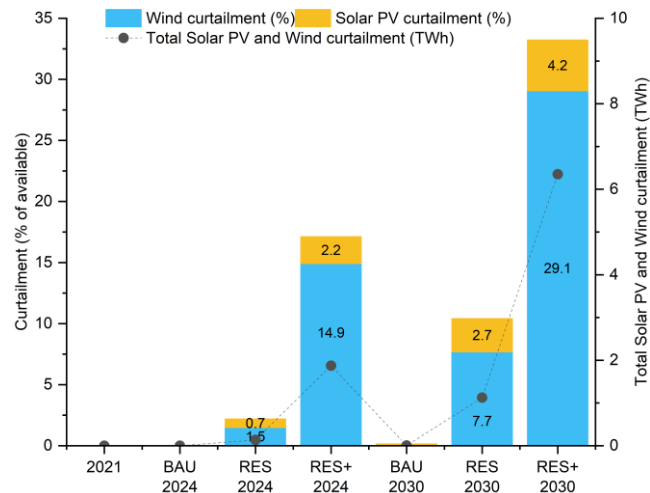
Resultados operativos a los 3 días anteriores y posteriores a la hora de demanda neta mínima (calculada como demanda – ERV disponibles)

Nota. La hora de carga neta mínima para los escenarios de dominancia solar es diferente de la de los escenarios de dominancia eólica



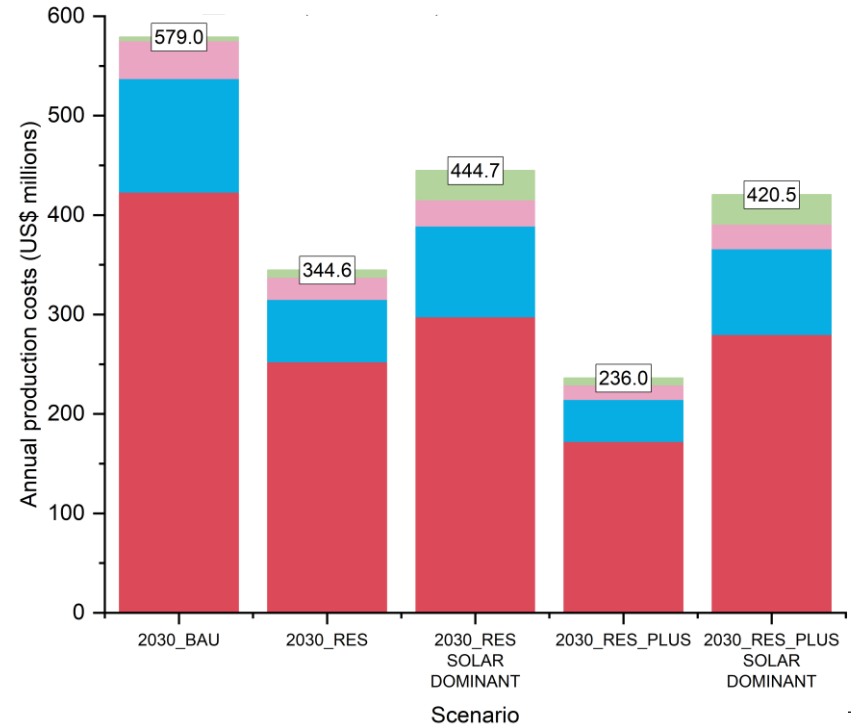
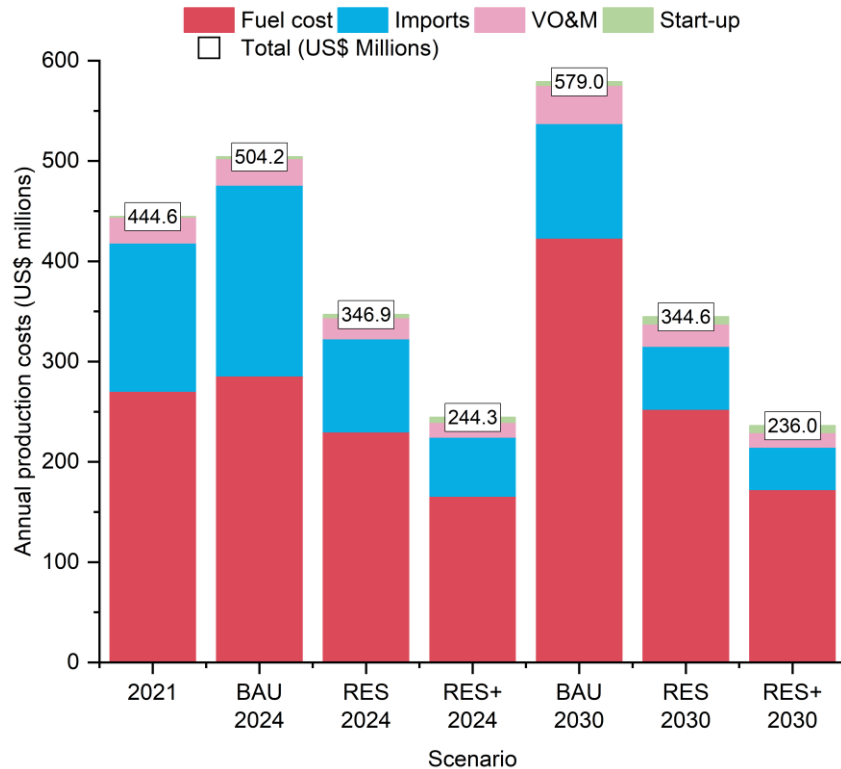
Recortes de ERV

- Los recortes aumentan a medida que aumentan los niveles de ERV
- Los sistemas solares dominantes tienden a requerir mayores recortes de debido al patrón diario de disponibilidad solar

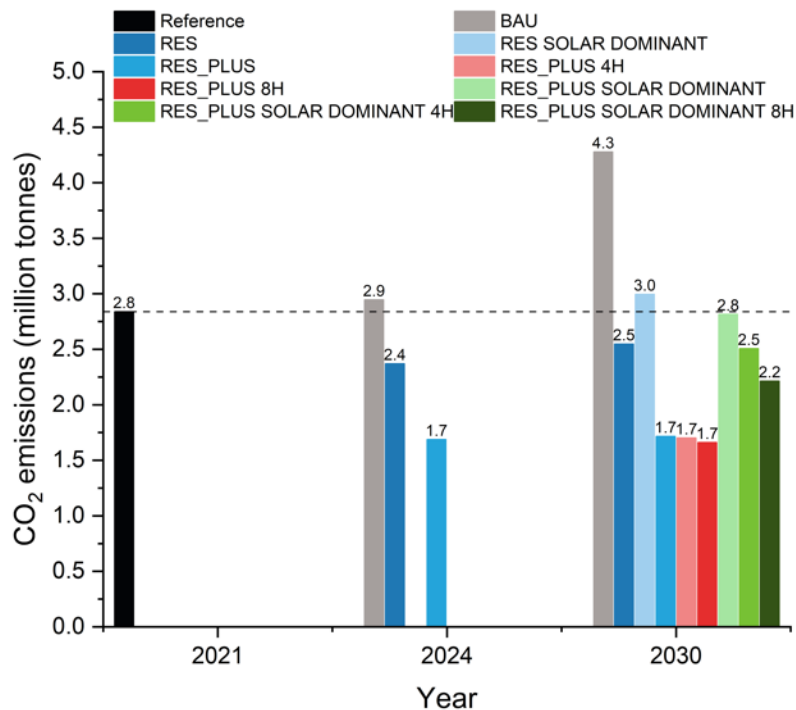


Costos de producción

- Los costos de producción reducen con mayor ERV (Estos costos no incluyen los costos de inversión)
- Escenarios solares predominantes tienen costos de producción mayores en relación con los predominantes eólicos para una capacidad comparable, debido a mayores recortes requeridos



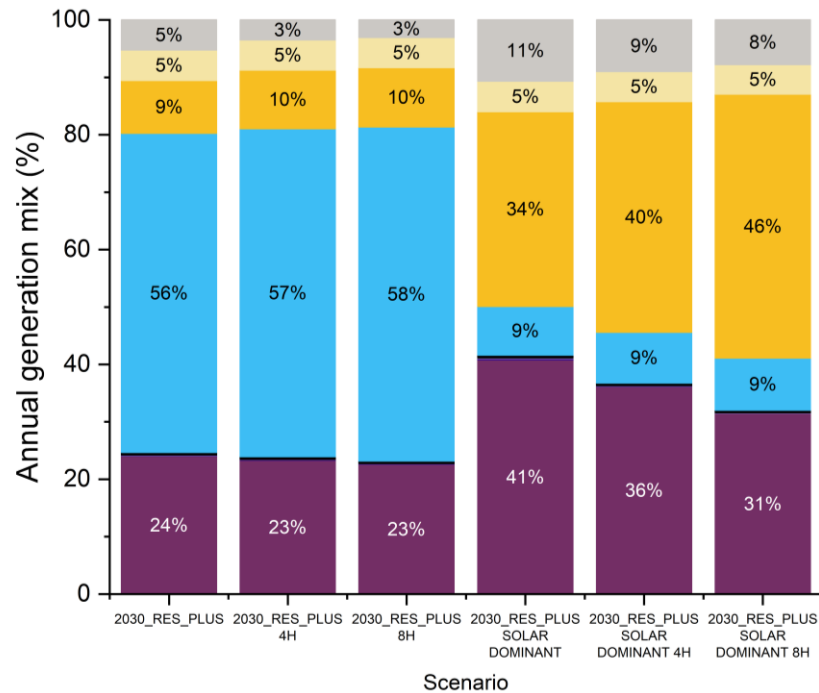
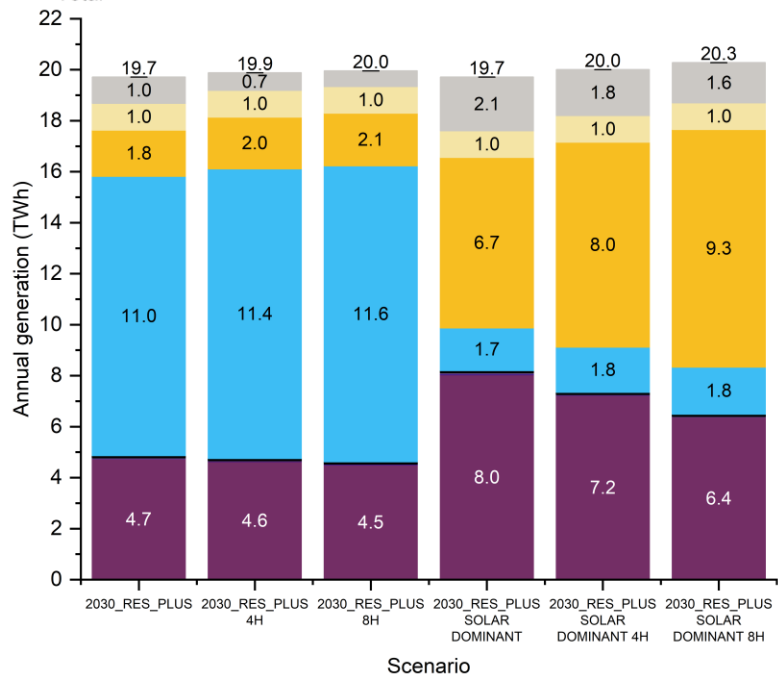
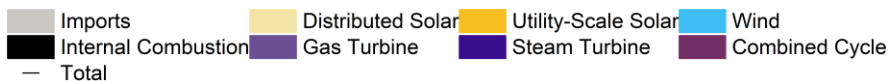
Emisiones



- Si se consigue un crecimiento moderado de ERV (RES) o alto (RES PLUS) para el 2024, las emisiones pudieran disminuir 14% y 39%, respectivamente
- Para 2030 las emisiones del sector eléctrico crecerán un 53% comparado con el 2021, en el escenario BAU
- En el 2030, el escenario RES comparado contra RES solar dominante, las emisiones crecen 20% por la necesidad de utilizar mayor generación fósil.
- El almacenamiento produce las mayores reducciones de emisiones en escenarios de grandes penetraciones de ERV y donde la tecnología solar es la predominante

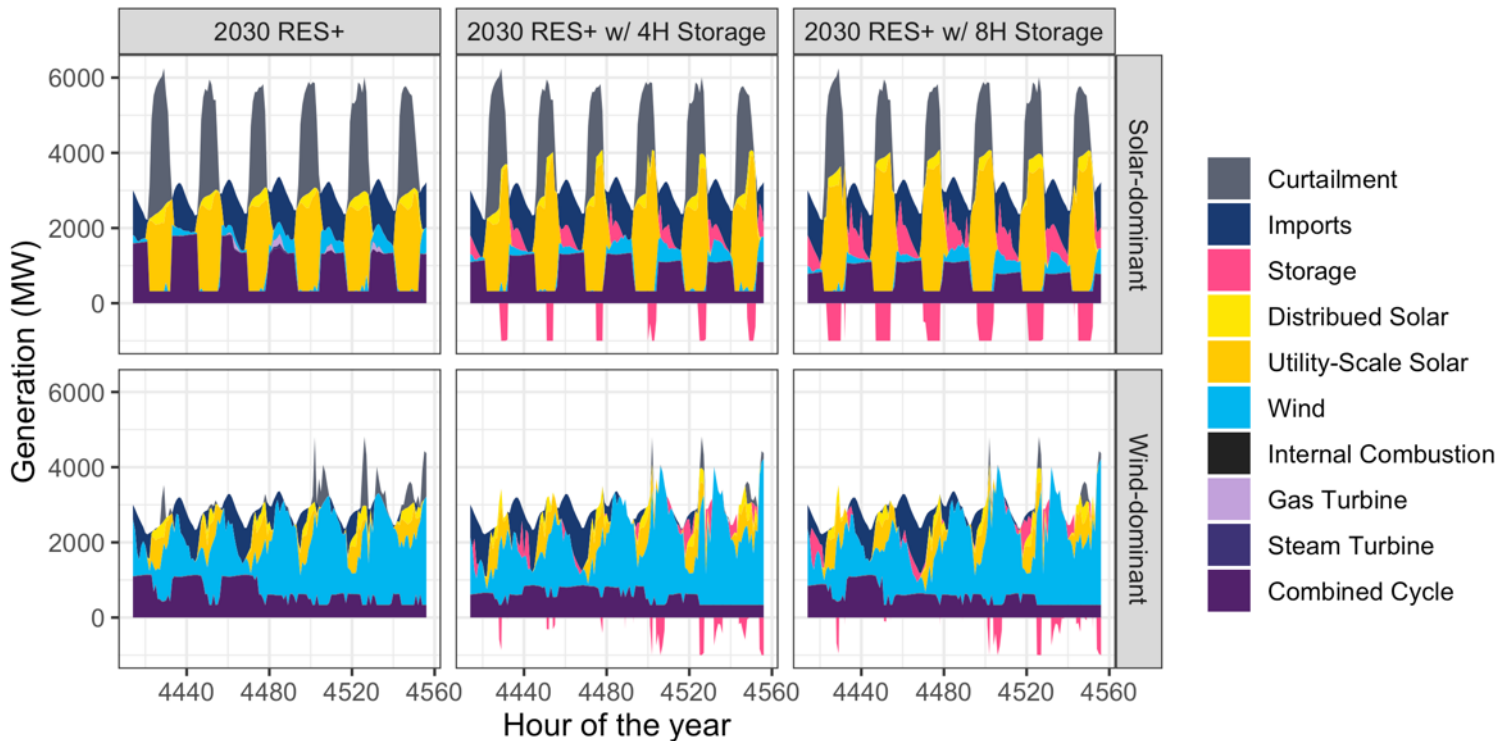
Resultados: Escenarios de almacenamiento

Generación anual



Ejemplo de despacho (casos almacenamiento, demanda pico)

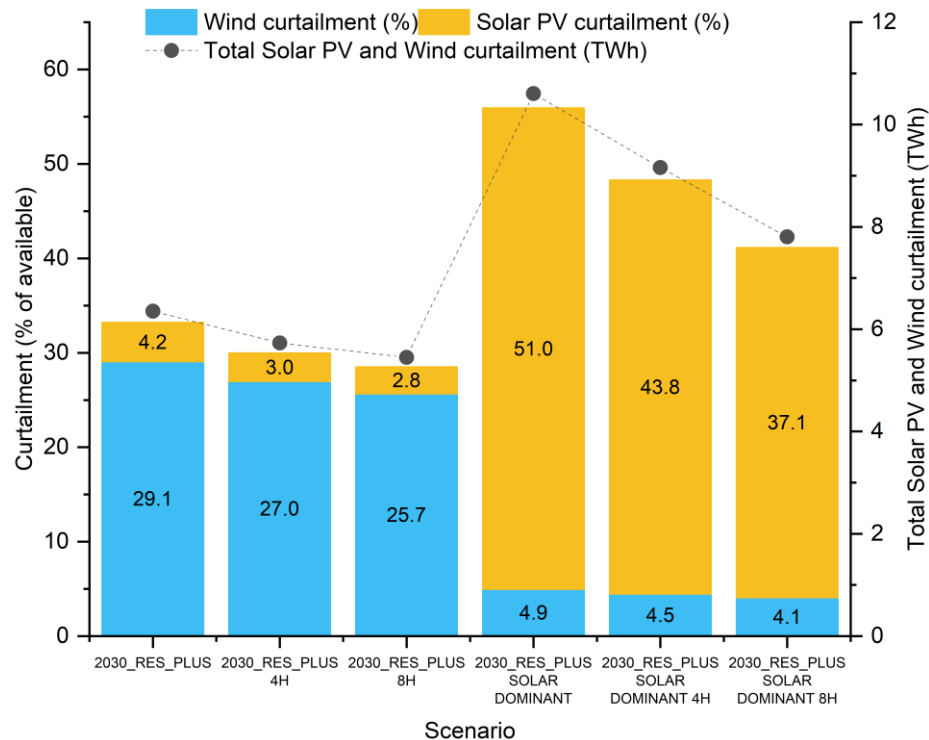
Se muestran los resultados operativos de los 3 días anteriores y posteriores a la hora de demanda pico



Recortes de ERV

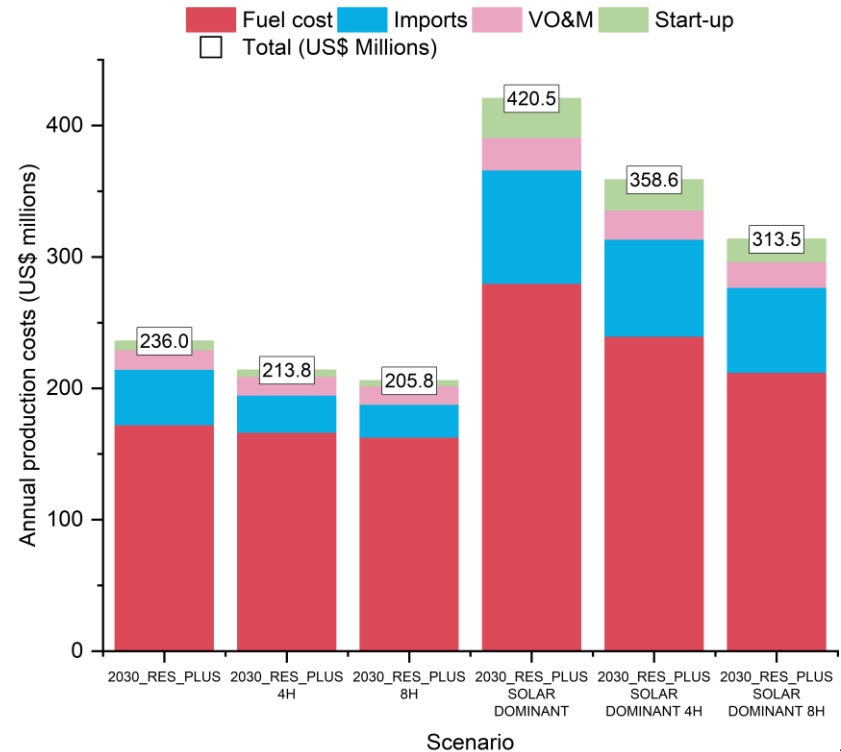
Almacenamiento puede reducir recortes

- La implementación de almacenamiento para reducir recortes depende del costo
- En algunos casos, la reducción puede ser la solución de menor costo



Costos de producción

- “Valor del almacenamiento” = Ahorro de costos operativos por la implementación del almacenamiento
- Un análisis futuro podría comparar el beneficio al costo de inversión para diferentes tecnologías de almacenamiento



Conclusiones

- Los escenarios estudiados ilustran las operaciones del sistema de energía en Yucatán para despliegues altamente renovable
 - No hubieron horas con demanda no satisfecha
- Los niveles más altos de energía eólica y solar conducen a instancias en las que la generación disponible es mayor que la demanda
 - Resultan crecientes niveles de recortes de ERV
 - Las opciones para administrar incluyen almacenamiento (depende del costo) o exportaciones (depende del estado de la transición del sistema de energía en el resto de México)
 - Se exploraron sistemas con 4- y 8-horas de almacenamiento, pero sistemas con penetraciones de ERV muy grandes (>80% de la generación anual) puede beneficiarse con almacenamiento de mayor duración o estacional
- Los costos de producción caen con niveles más altos de energías renovables
 - Los escenarios predominantemente solares pueden tener costos operativos mayores dada la necesaria alineación de la disponibilidad solar y la demanda eléctrica
- Mayores penetraciones de ERV contribuyen con grandes reducciones de emisiones. El almacenamiento proporciona los mayores beneficios en escenarios muy altos de penetración donde la energía sola es predominante, al suplir almacenamiento por generación fósil que fuera necesaria para el balance del sistema

Gracias?

www.nrel.gov

Agradecemos a Carlo Brancucci, José Alvarez,
y Will Frazier de encoord por su apoyo con la
modelación de este estudio

This work was authored by the National Renewable Energy Laboratory, operated by Alliance for Sustainable Energy, LLC, for the U.S. Department of Energy (DOE) under Contract No. DE-AC36-08GO28308. Funding provided by The Children's Investment Fund Foundation. The views expressed in the article do not necessarily represent the views of the DOE or the U.S. Government. The U.S. Government retains and the publisher, by accepting the article for publication, acknowledges that the U.S. Government retains a nonexclusive, paid-up, irrevocable, worldwide license to publish or reproduce the published form of this work, or allow others to do so, for U.S. Government purposes.

