

# **Flexibilidad del sistema eléctrico para la transición energética**

**Opciones tecnológicas para la integración de renovables**

**Emanuele Taibi y Carlos Fernández**

**Taller regional sobre integración de renovables variables en Latinoamérica**

**Taller Virtual**

**28 de octubre de 2020**

- 1. Introducción a la flexibilidad del sistema eléctrico**
- 2. Marco para la valoración del almacenamiento de electricidad**
- 3. Hidrógeno verde**
- 4. Vehículos Eléctricos**
- 5. Flexibilidad de la demanda para la transformación del sector eléctrico**
- 6. Conclusiones**

# Introducción a la flexibilidad del sistema eléctrico

 IRENA  
International Renewable Energy Agency

## FLEXIBILIDAD DEL SISTEMA ELÉCTRICO PARA LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA

PARTE 1:

PANORAMA GENERAL PARA LOS ENCARGADOS DE FORMULAR POLÍTICAS

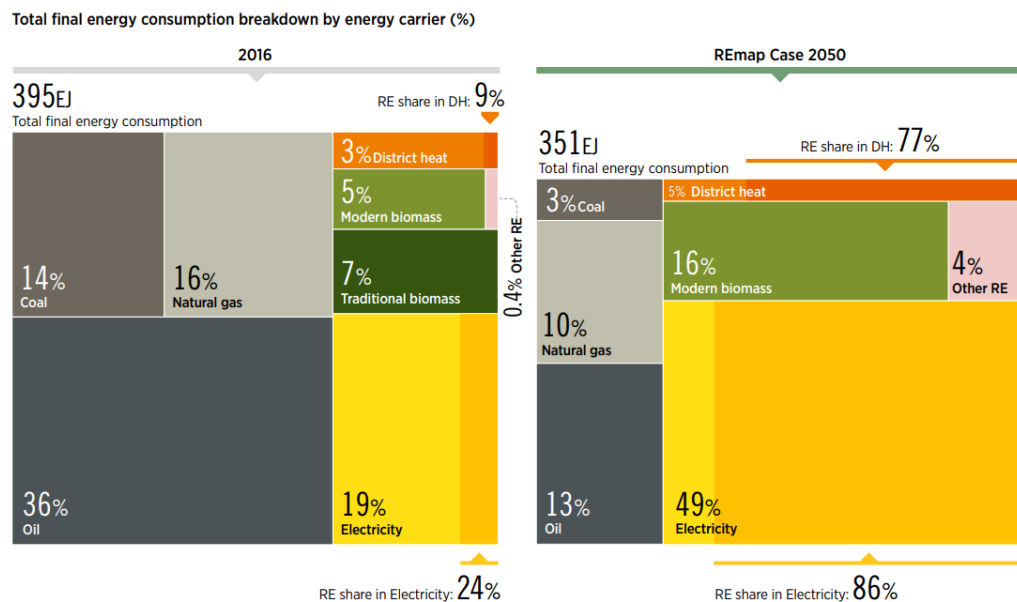


Noviembre de 2018  
[www.irena.org](http://www.irena.org)

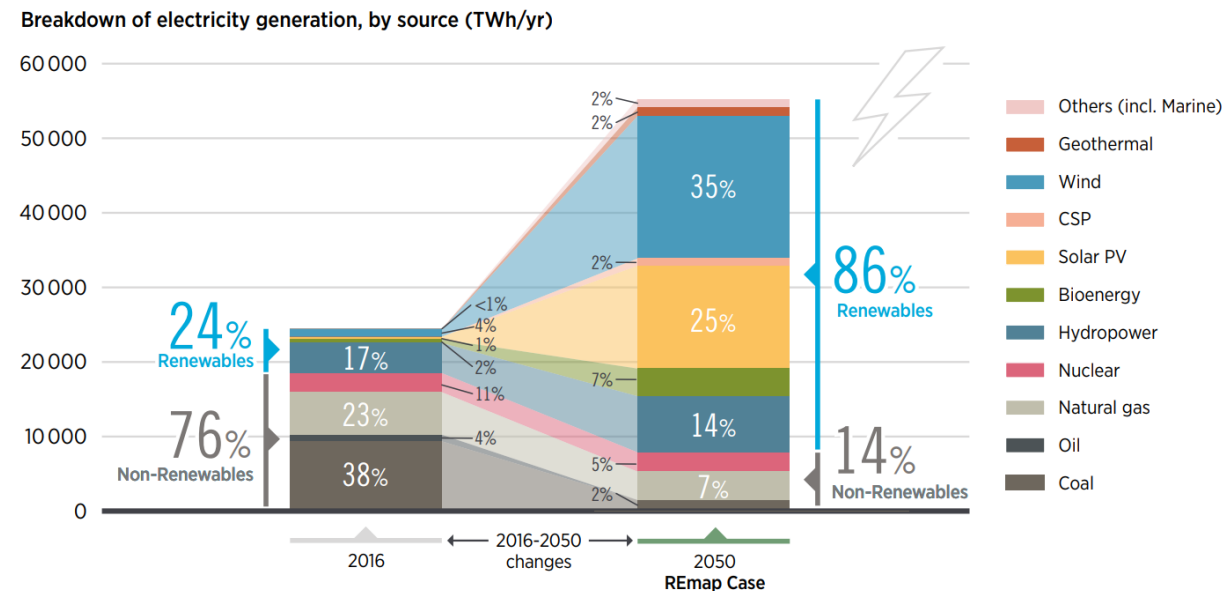
# Escenario de Transformación Energética 2050: Importancia de la electrificación y el dominio de las ERV

## Escenario de Transformación Energética, 2017-2050

### Porcentaje de electricidad en el consumo energético final



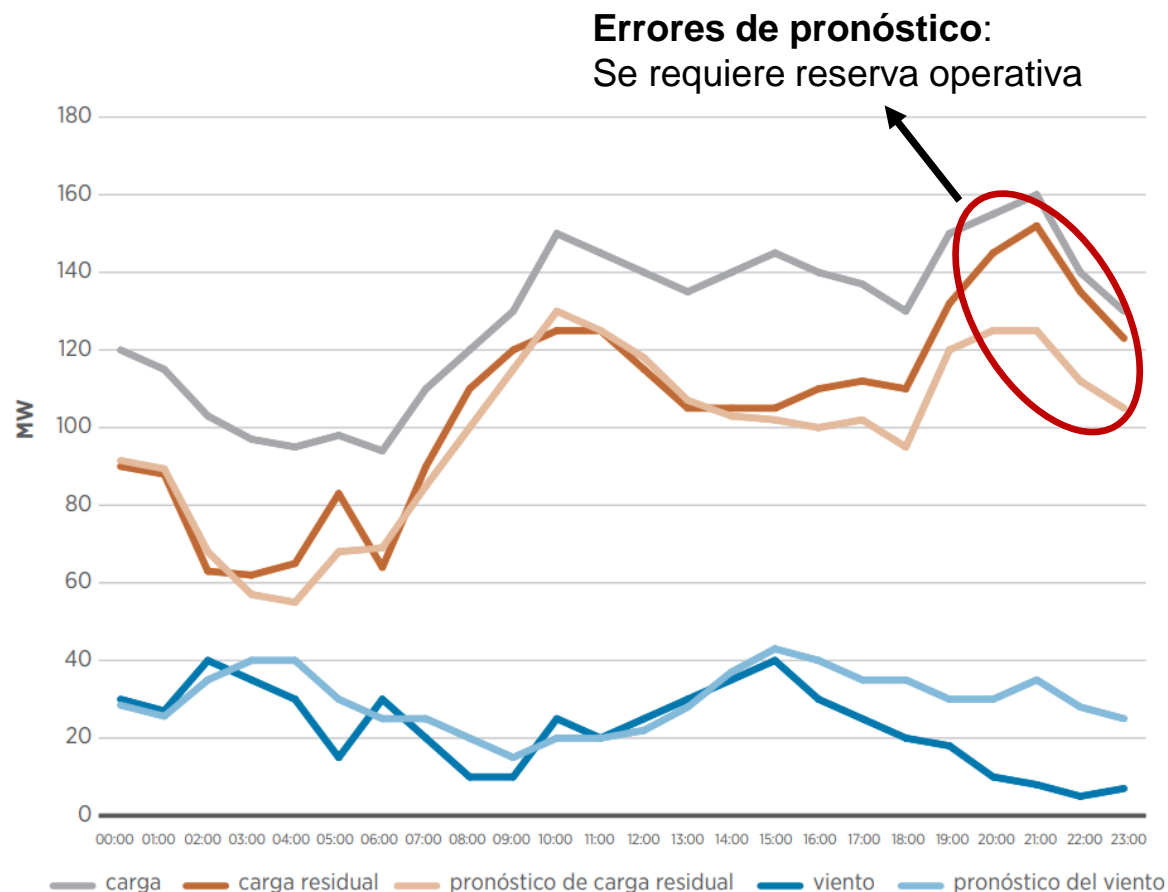
### Un escenario de 2°C para la generación eléctrica Caso REmap 2016-2050



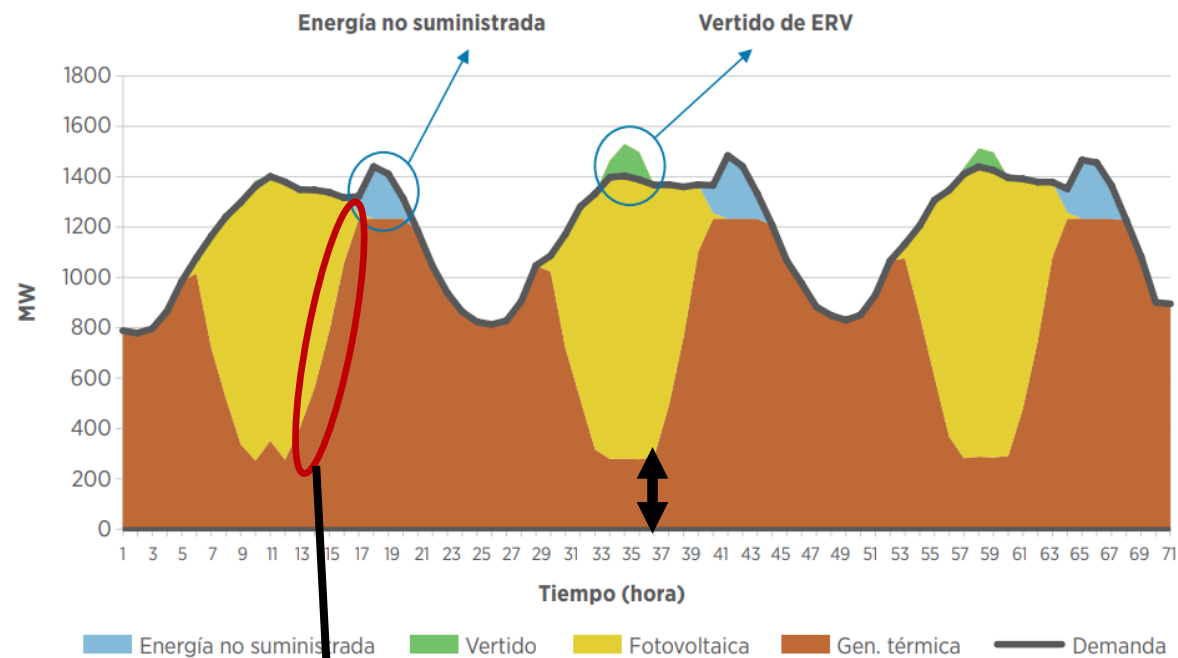
- » El análisis REmap sugiere que el porcentaje de electricidad en el consumo energético final incrementará desde un 19% a un 49% en 2050
- » La energía renovable generará un 86% del total de electricidad mundial
- » Las renovables variables como la solar o la eólica generarán más del 60% de la electricidad total

# Impacto de la variabilidad e incertidumbre en las operaciones del sistema eléctrico (I)

## Impacto de la incertidumbre



## Impacto de la variabilidad



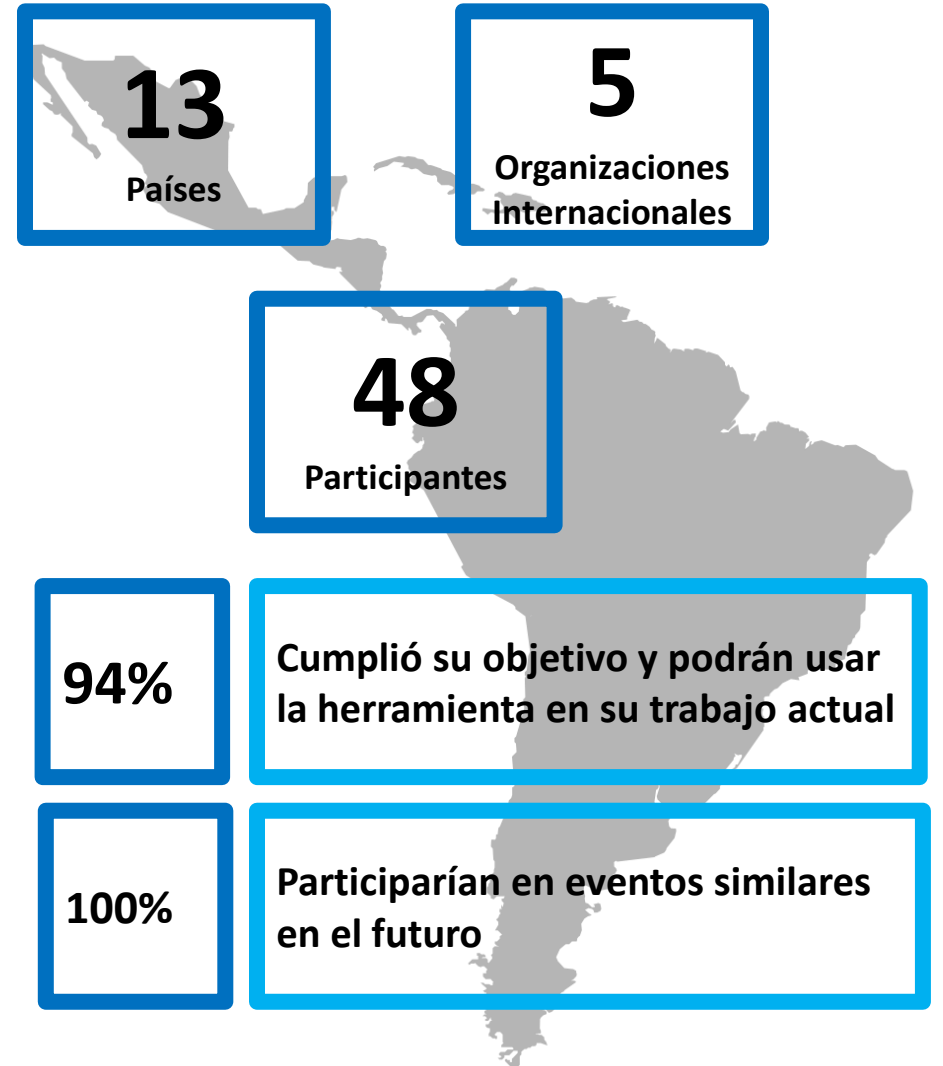
**Las altas rampas  
pueden provocar  
energía no  
suministrada**

**El mínimo técnico de las  
plantas térmicas y la baja  
inercia pueden causar vertido  
de ERV**

# IRENA **FlexTool**

## ENTRENAMIENTO PARA LATINOAMÉRICA

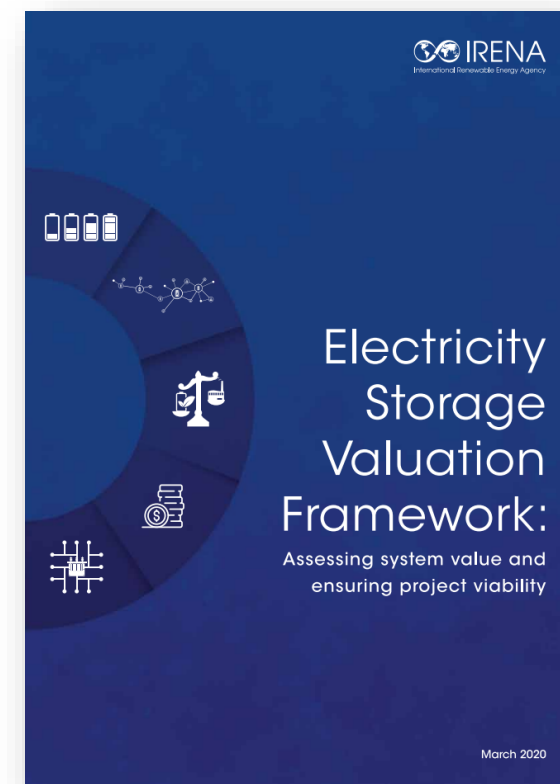
19 de mayo de 2020



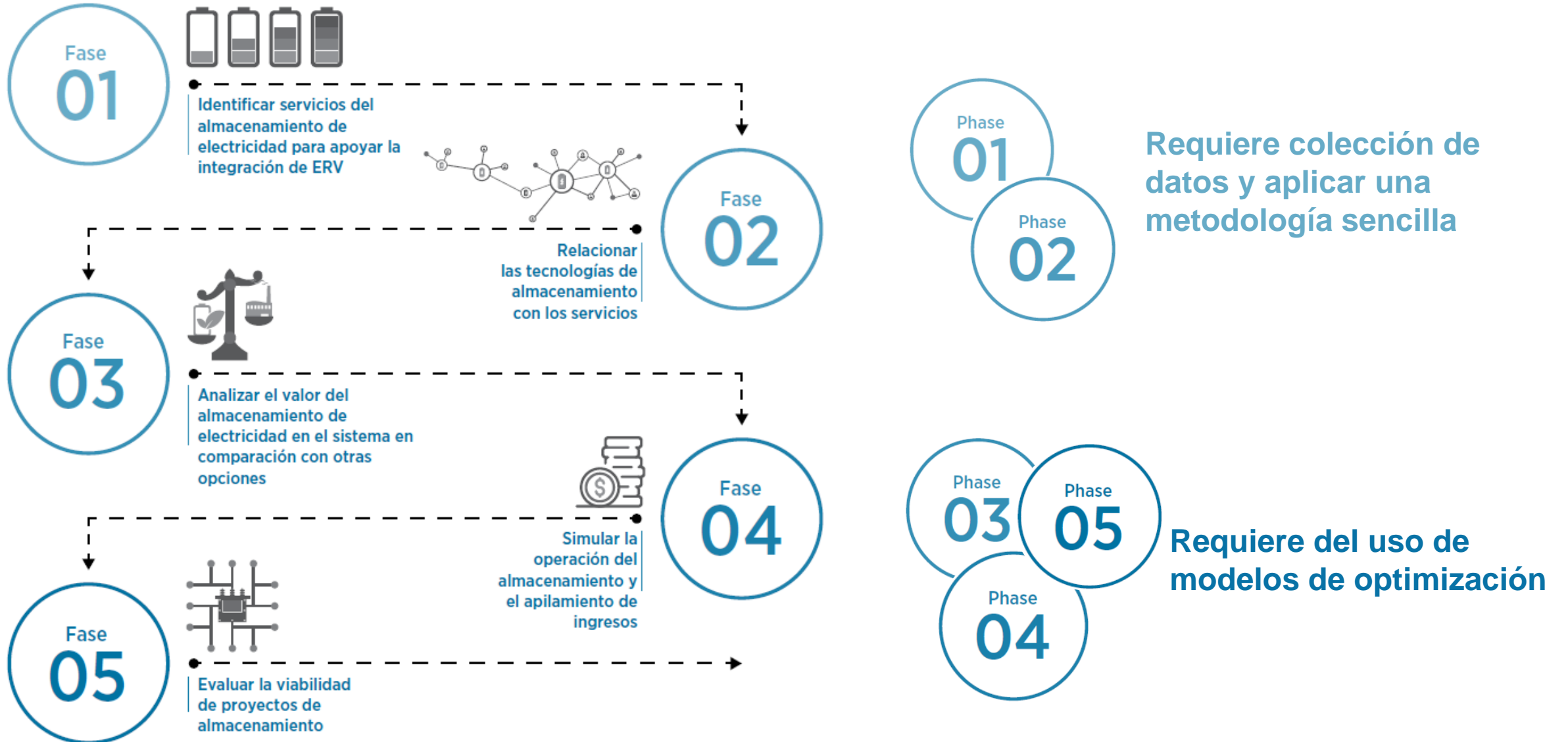
Véanlo de nuevo en:

<https://www.irena.org/events/2020/May/IRENA-FlexTool-Training-for-Latin-America>

# Marco para la valoración del almacenamiento de electricidad

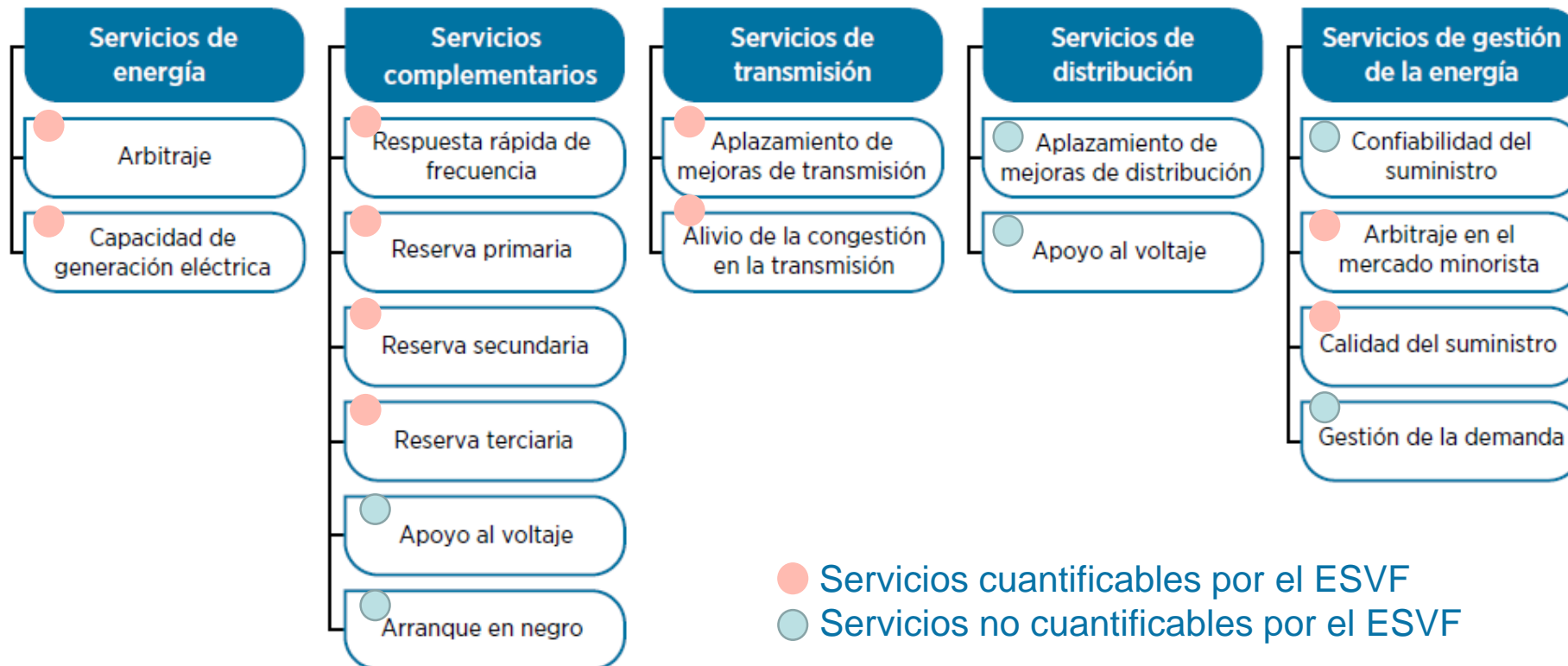


# Marco para la valoración del almacenamiento de electricidad





- El almacenamiento de electricidad es capaz de proveer una variedad de servicios a la red
- El almacenamiento puede proveer múltiples servicios en paralelo (por ejemplo, reserve primaria y arbitraje de electricidad)
- Entender el panorama y las distintas oportunidades donde puede haber valor es el primer paso para desarrollar metodologías de evaluación



- Puntuar y dar un peso a los parámetros no es suficiente
- Una matriz de idoneidad puede ser usada para ajustar los pesos para tener en cuenta la afinidad a distintos casos de uso
- Finalmente las tecnologías se ordenan (ranking) basadas en su idoneidad para cada aplicación usando una escala del 1 al 10

## 1. Matriz de idoneidad para los distintos casos de uso

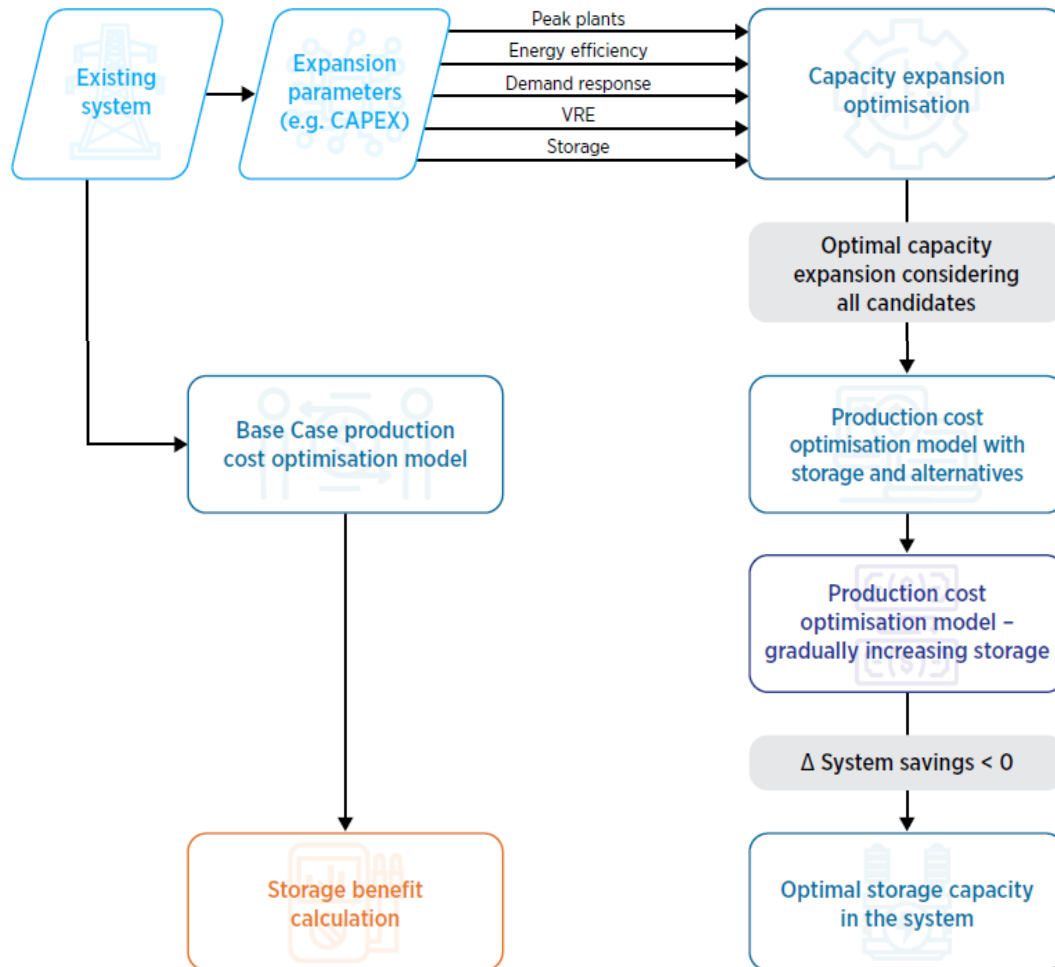
Parameters	VRLA	Pumped Hydro	CAES	Flywheels	NMC	NCA	LFP	LTO	NaS	NaNiCl2 (Zebra)	ZBB	VRB
Renewable Shifting	● 0.8	● 1.0	● 1.0	● 0.3	● 1.0	● 1.0	● 1.0	● 1.0	● 1.0	● 1.0	● 1.0	● 1.0
Renewable Smoothing	● 0.8	● 0.3	● 0.3	● 1.0	● 1.0	● 1.0	● 1.0	● 1.0	● 0.3	● 0.3	● 0.3	● 0.3
Flex Ramping	● 0.8	● 1.0	● 1.0	● 0.5	● 1.0	● 1.0	● 1.0	● 1.0	● 1.0	● 1.0	● 1.0	● 1.0
Ancillary Services	● 0.5	● 0.3	● 0.3	● 1.0	● 1.0	● 1.0	● 1.0	● 1.0	● 0.3	● 0.3	● 0.3	● 0.3
T&D Deferral	● 1.0	● 1.0	● 1.0	● 0.3	● 1.0	● 1.0	● 1.0	● 1.0	● 1.0	● 1.0	● 1.0	● 1.0
Reactive Power Management	● 1.0	● 0.3	● 0.3	● 1.0	● 1.0	● 1.0	● 1.0	● 1.0	● 0.3	● 0.3	● 0.3	● 0.3
BTM Power Management	● 1.0	○ 0.0	○ 0.0	● 0.3	● 1.0	● 1.0	● 1.0	● 1.0	● 1.0	● 1.0	● 1.0	● 1.0

## 2. Pesos para cada tecnología y servicio

Parameters	VRLA	Pumped Hydro	CAES	Flywheels	NMC	NCA	LFP	LTO	NaS	NaNiCl2 (Zebra)	ZBB	VRB
Renewable Shifting	2.81	3.97	3.68	0.71	3.80	3.79	3.56	3.23	3.39	3.35	2.76	3.29
Renewable Smoothing	2.96	0.95	0.87	3.26	4.00	3.81	3.82	3.62	0.82	0.80	0.69	0.81
Flex Ramping	2.81	3.97	3.68	1.41	3.80	3.79	3.56	3.23	3.39	3.35	2.76	3.29
Ancillary Services	1.98	0.95	0.87	3.26	4.00	3.81	3.82	3.62	0.82	0.80	0.69	0.81
T&D Deferral	3.88	3.32	3.31	0.75	4.04	4.01	3.86	3.47	3.55	3.46	2.94	3.33
Reactive Power Management	3.43	0.91	0.84	2.85	3.75	3.71	3.52	3.36	0.79	0.77	0.66	0.77
BTM Power Management	3.62	-	-	0.71	3.93	3.86	3.70	3.43	3.17	3.10	2.57	2.95

## 3. Ránking de aplicación (1: Mejor, 10: Peor)

Parameters	VRLA	Pumped Hydro	CAES	Flywheels	NMC	NCA	LFP	LTO	NaS	NaNiCl2 (Zebra)	ZBB	VRB
Renewable Shifting	10	1	4	12	2	3	5	9	6	7	11	8
Renewable Smoothing	6	7	8	5	1	3	2	4	9	11	12	10
Flex Ramping	10	1	4	12	2	3	5	9	6	7	11	8
Ancillary Services	6	7	8	5	1	3	2	4	9	11	12	10
T&D Deferral	3	9	10	12	1	2	4	6	5	7	11	8
Reactive Power Management	4	7	8	6	1	2	3	5	9	10	12	11
BTM Power Management	4	11	11	10	1	2	3	5	6	7	9	8



### Modelo de expansión de la capacidad

- Comparar almacenamiento contra alternativas
- Principales resultados:
  - Estimación del almacenamiento necesario
  - Estimación del beneficio CAPEX

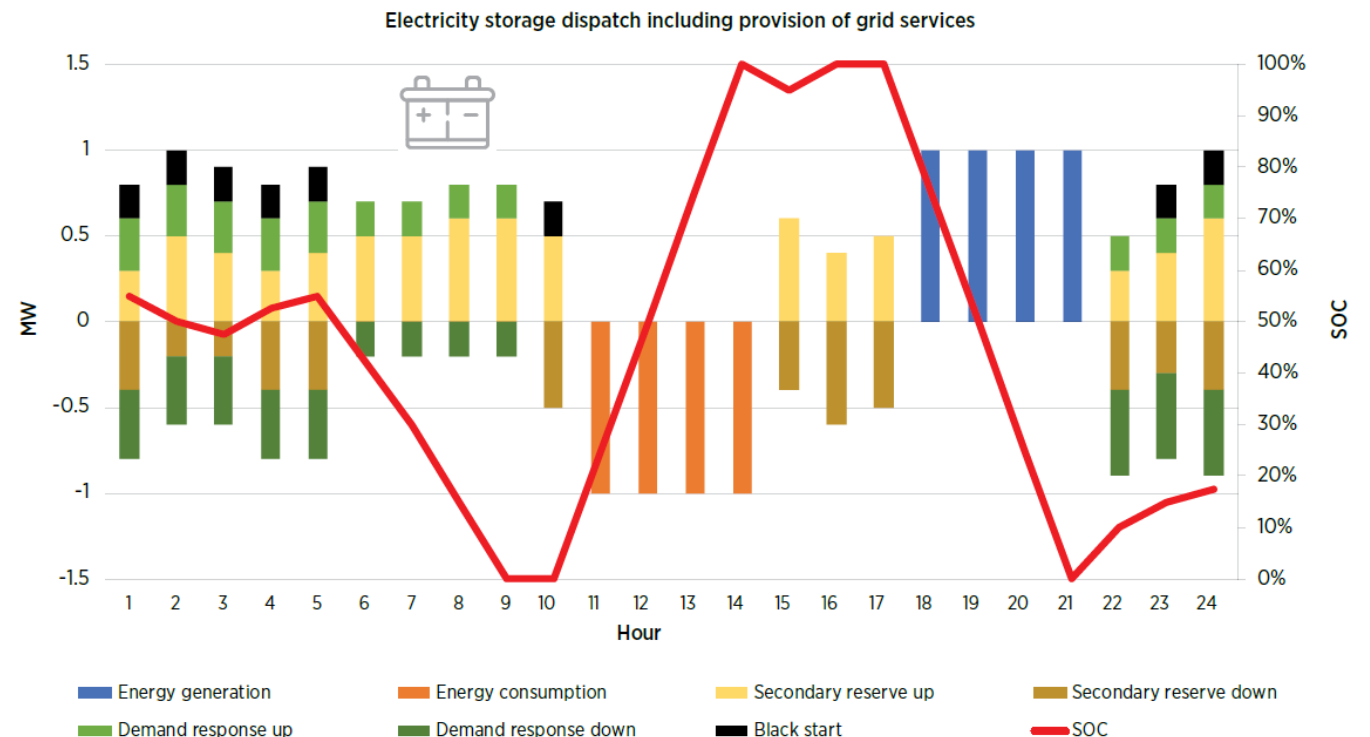
### Modelo de costos de producción

- Simula la operación a corto plazo del almacenamiento
- Principales resultados:
  - Capacidad óptima de almacenamiento
  - Estimación del beneficio OPEX

**La clave es usar primero un modelo de expansión de la capacidad para una primera estimación y luego un modelo de costos de producción de manera incremental para optimizar la cantidad óptima exacta**

- La viabilidad del proyecto se evalúa con un modelo de despacho basado en precios (price-taker)
- **Datos de entrada** del modelo:
  - **Del análisis del sistema:** precios de energía y reservas, demanda, generación renovable
  - **Del usuario:** parámetros del proyecto
  - El usuario selecciona los servicios a proveer

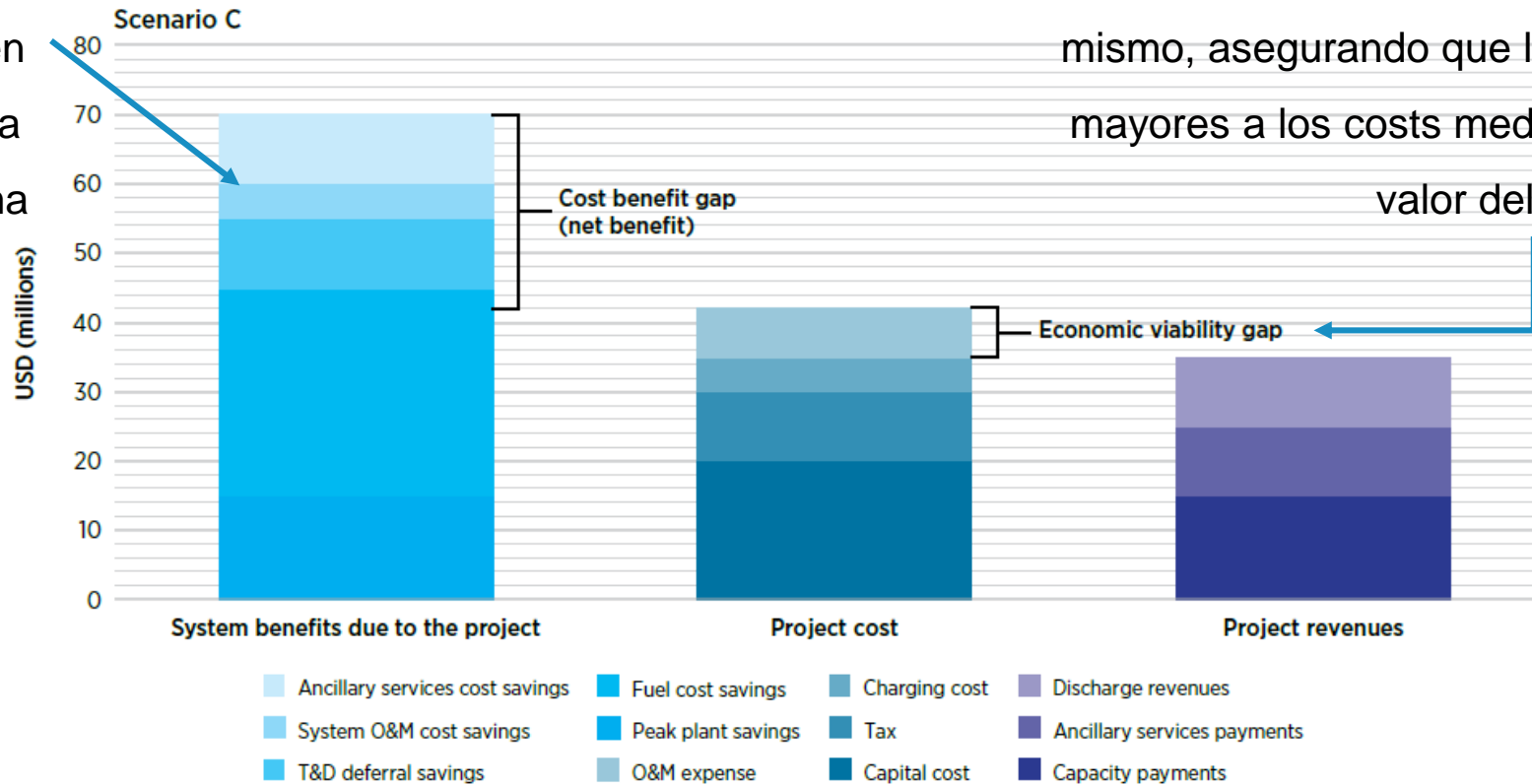
- El modelo optimiza únicamente el despacho del almacenamiento:
  - Aporta percepciones para un proyecto marginal
  - **Es importante considerar el efecto de la implantación de almacenamiento en los precios del sistema**



### Razonamiento:

Algunos beneficios del sistema no se pueden monetizar debido a la regulación del sistema

**Objetivo:** identificar la brecha económica entre los ingresos monetizables del proyecto y los costos del mismo, asegurando que los ingresos son iguales o mayores a los costs mediante la monetización del valor del sistema



**Un proyecto solo se materializará si los ingresos monetizables son mayores que los costos del proyecto**

# Caso de Uso 1: Reservas operativas

## 1. Desafío – Aumento de la necesidad de reservas operativas y de una respuesta más rápida

- La generación y demanda deben ser iguales todo el tiempo
- Las reservas operativas son la capacidad adicional (por encima de la que cubre la demanda) que se necesita para asistir en caso de variación de la generación o la demanda

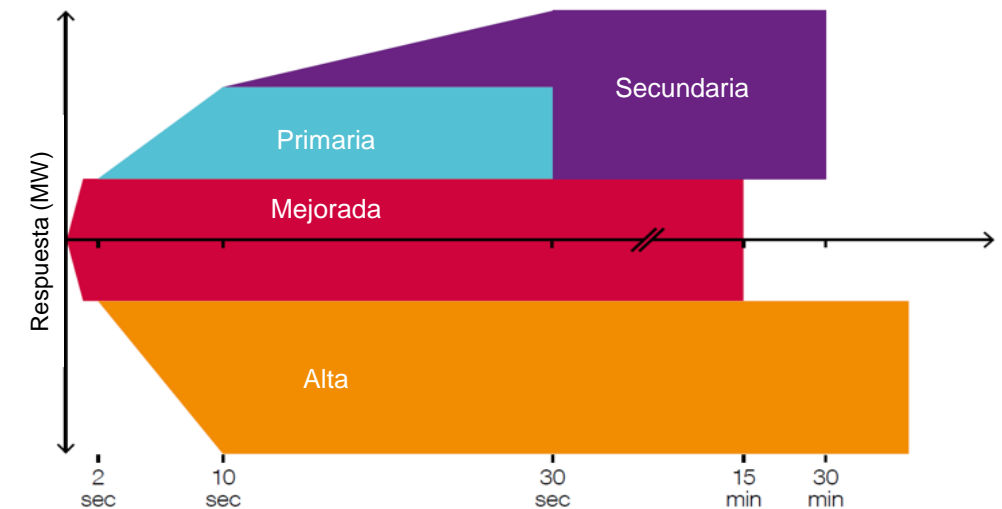


## 2. Solución – Productos innovadores para proveer reservas

- El almacenamiento es un recurso ideal para proveer reserva operativa
- Es útil tener productos innovadores donde pueda participar de manera más eficiente e incrementar así sus ingresos
- El operador del sistema de Reino Unido (National Grid) desarrolló la respuesta de frecuencia mejorada (EFR)

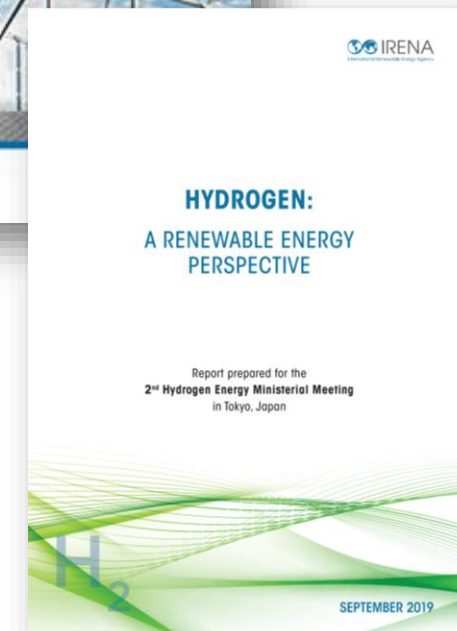
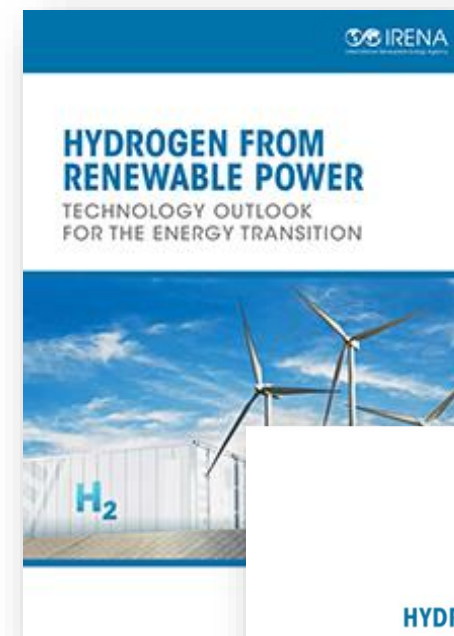
## 3. Escenario del mundo real

- En Agosto de 2015, National Grid lanzó una subasta de 200 MW para proveer EFR
- 2 proyectos premiados de la empresa Low Carbon – Glassenbury (40MW) y Cleator (10 MW)
- Producción anual de 28MWh y 7MWh respectivamente
- Los 2 proyectos proveen  $\frac{1}{4}$  de la capacidad de EFR total en el Reino Unido y ayudan a estabilizar la frecuencia de la red del país



Servicios de respuesta en frecuencia de Reino Unido  
(Fuente: National Grid, 2016)

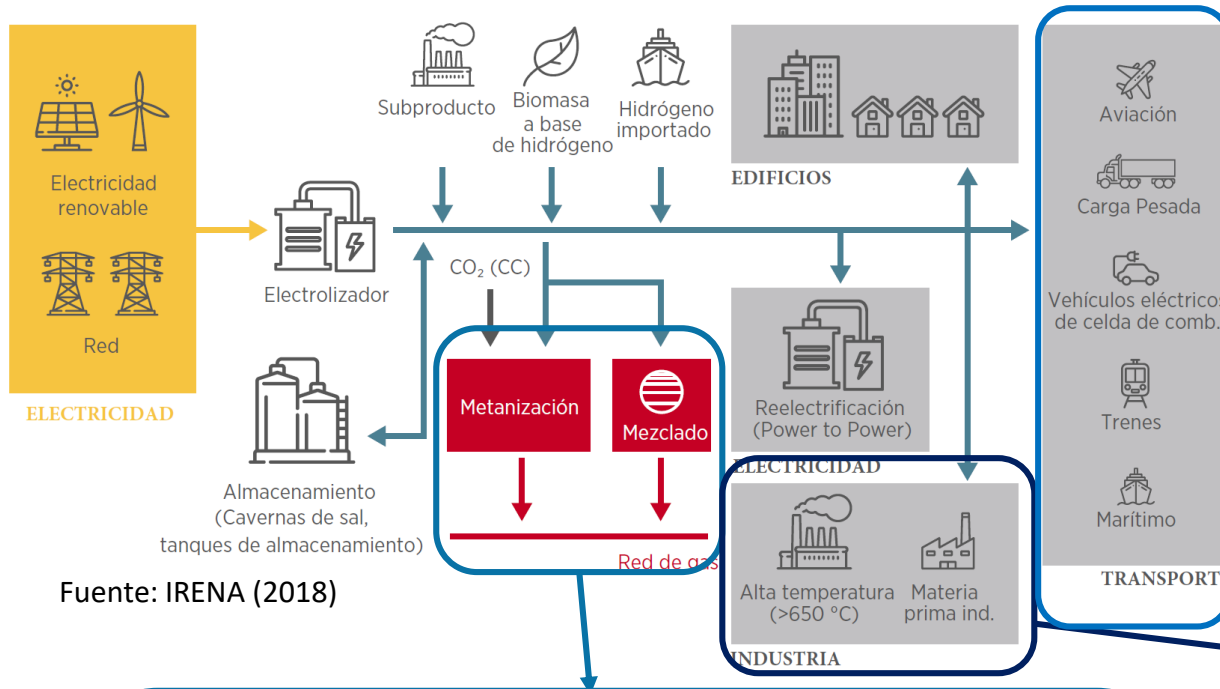
# Hidrógeno





# Hidrógeno en la transición energética

Descarbonización  
 Descarbonización total



Fuente: IRENA (2018)

## Descarbonizando el transporte

- ✓ FCEVs: rendimiento de vehículos convencionales
- ✓ FCEVs son complementarios a los BEVs en la descarbonización del transporte de carretera
- ✓ FC/E-fuels para trenes, aviación y sector marítimo (descarbonización total)

## Descarbonizando la red de gas

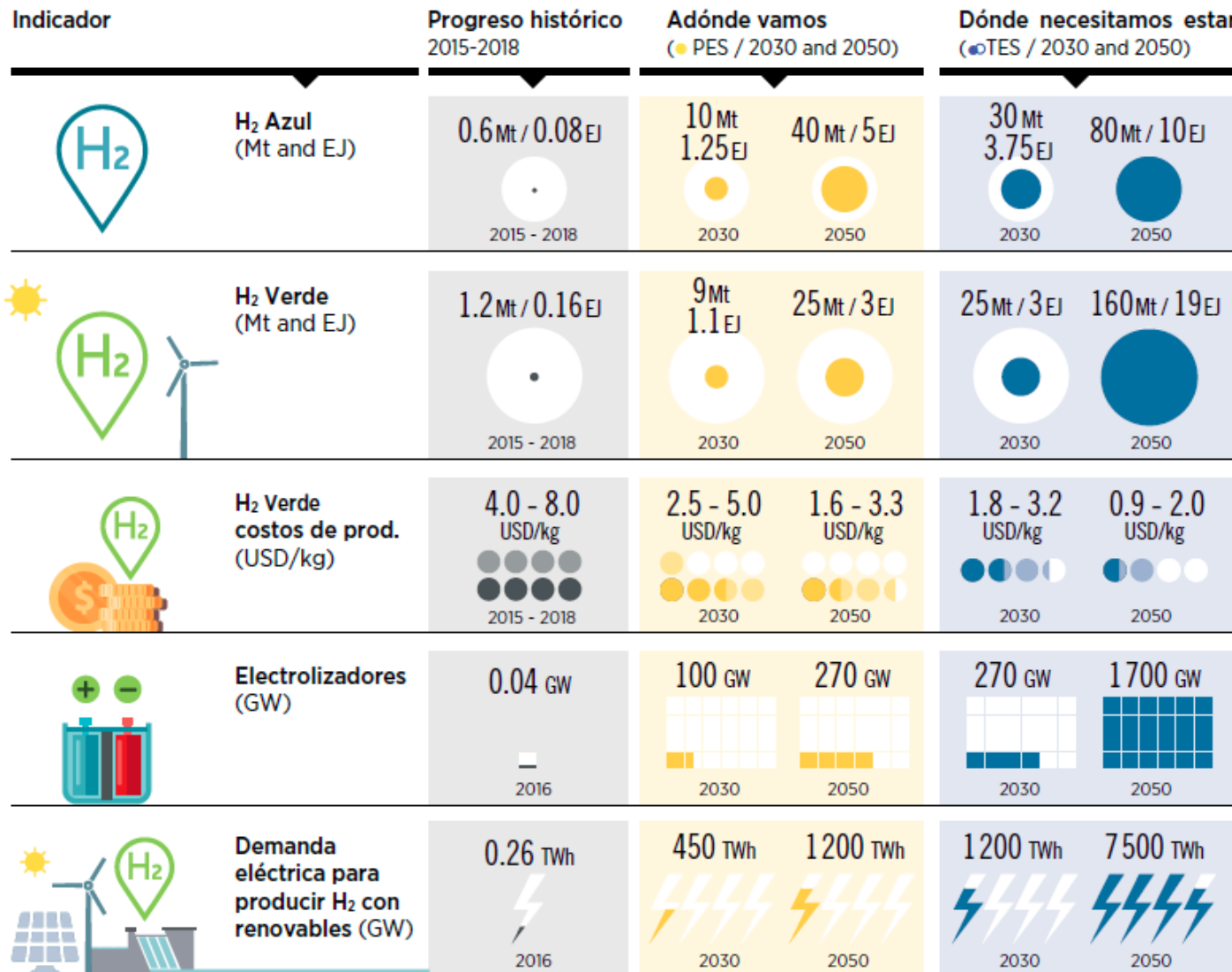
- ✓ Beneficiarse de los bajos precios de electricidad
- ✓ Prover alm. estacional de solar y eólica
- ✓ Servicios de red con los electrolizadores
- ✓ Celdas de combustible para generación de calor y electricidad

## Descarbonizando la industria

- ✓ Reemplazar combustibles fósiles con H<sub>2</sub>
- ✓ Reemplazar materias primas basada en combustibles fósiles
- ✓ Nuevos productos e.g. pellets de hierro (DRI)



# Hidrógeno: Clave en los futuros sistemas energéticos



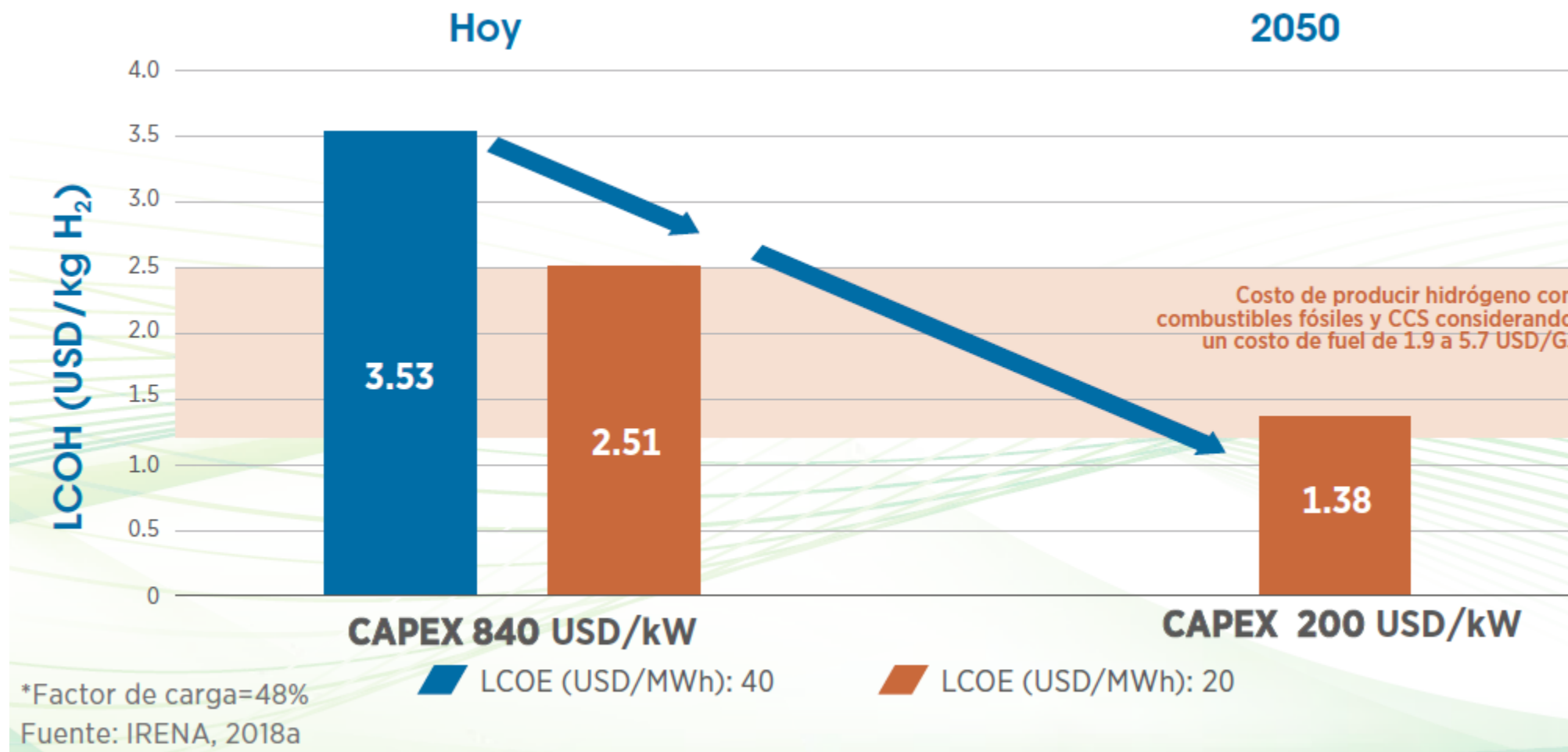
- El hidrógeno puede ser una **solución para demandas energéticas que son difíciles de electrificar.**
- El hidrógeno verde **será competitivo con el hidrógeno azul en los próximos años** en localizaciones favorables con un bajo costo de la electricidad renovable.
- El hidrógeno **puede ser convertido en hidrocarburos o amoníaco**, lo cual puede ayudar a reducir las emisiones en navegación y aviación.

**Nota:** El hidrógeno producido con combustibles fósiles sin CCS se llama hidrógeno gris, con CCS se llama hidrógeno azul y si se produce con energía renovable a través de electrólisis se llama hidrógeno verde.

# Costos de producción del hidrógeno

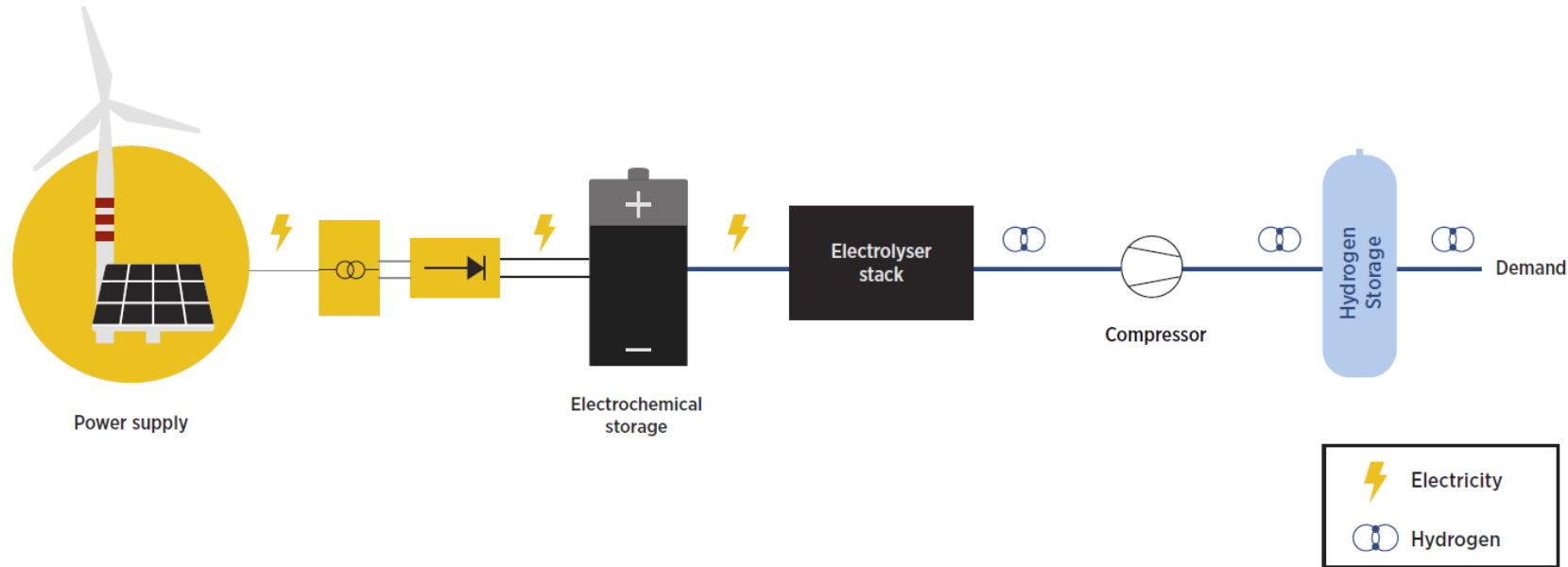
## Acelerando inversiones en electrolizadores a nivel mundial

El hidrógeno renovable tiene un gran potencial pero los costos de los electrolizadores deben disminuir



**Hipótesis del electrolizador:** Factor de carga: 4200 horas (48%), eficiencia de conversión 65% (hoy), 75% (2050)

# Informe tecnológico de IRENA sobre electrolizadores para la producción de hidrógeno verde

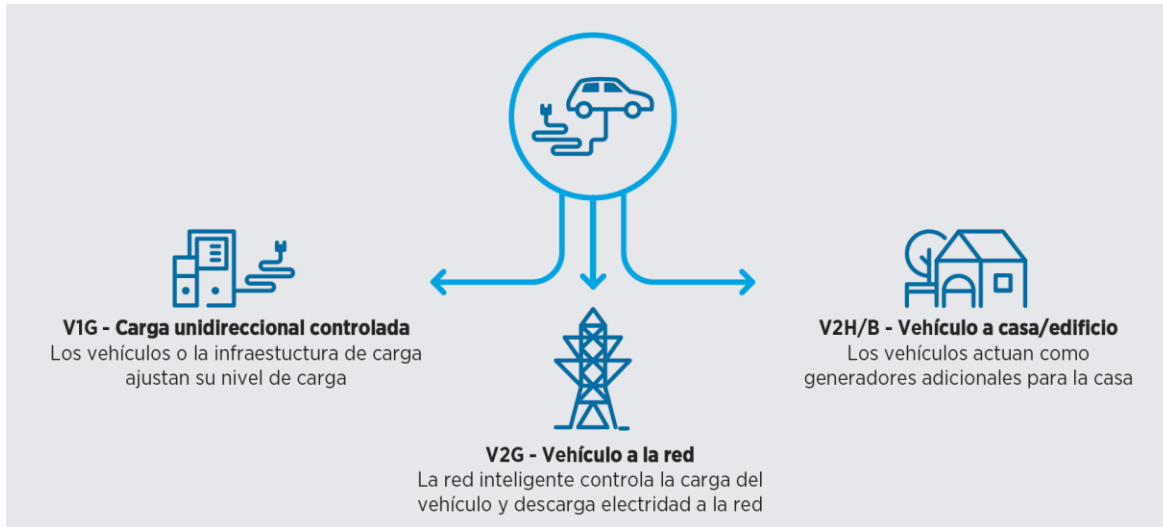


## Mensajes principales:

- Los electrolizadores pueden proveer flexibilidad pero son más relevantes como almacenamiento estacional que como balanceadores de la red
- Hay un costo de oportunidad entre durabilidad, eficiencia y costo, lo cual hace difícil conseguir un rendimiento alto en estas tres categorías a la vez. Otros aspectos como la tasa de producción (es decir, la densidad de corriente) y la aplicación, hacen este costo de oportunidad mucho más difícil
- Algunos de los elementos clave para determinar la flexibilidad del sistema no están en el electrolizador en sí sino más en los componentes del sistema, como los compresores

# Vehículos Eléctricos





- » El número de vehículos eléctricos a nivel mundial incrementará a 1200 millones según REmap
- » Si la carga de los EVs es incontrolada estos pueden suponer un desafío para la operación del sistema
- » Se necesitan **estrategias de carga inteligente**:
  - » V1G – Carga unidireccional
  - » V2G – Carga bidireccional

- » Los EVs pueden proveer **flexibilidad de la demanda** a la red:
  - » Cargando en períodos en los que la disponibilidad de ERV es alta y los precios son bajos (Carga unidireccional)
  - » Realizando arbitraje y proveyendo servicios de balanceo a la red (Carga bidireccional)
- » Aplicable en los sectores residencial y comercial

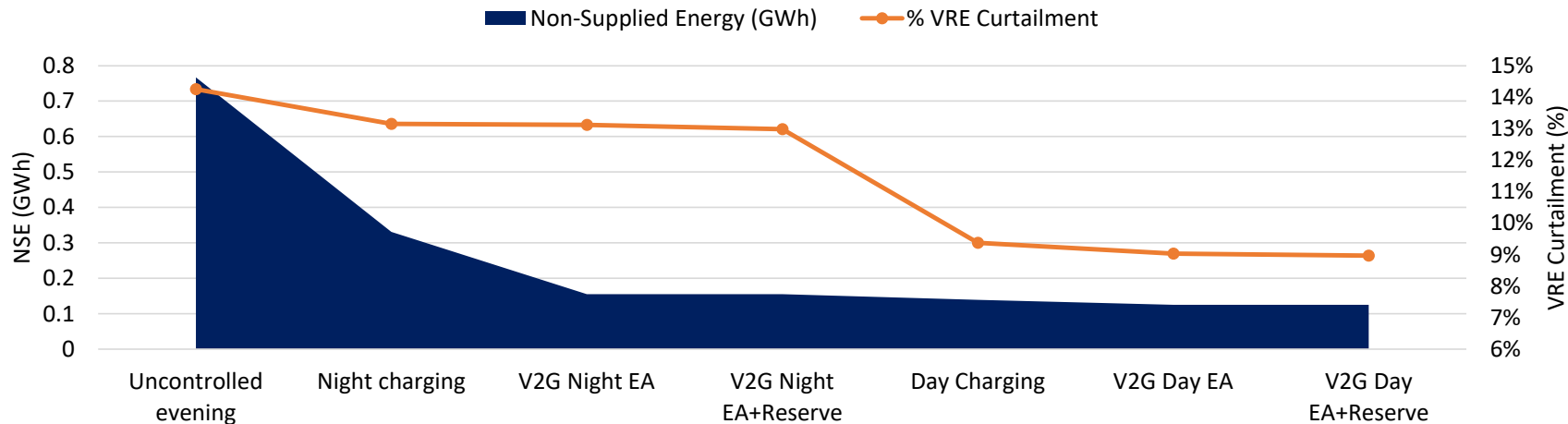
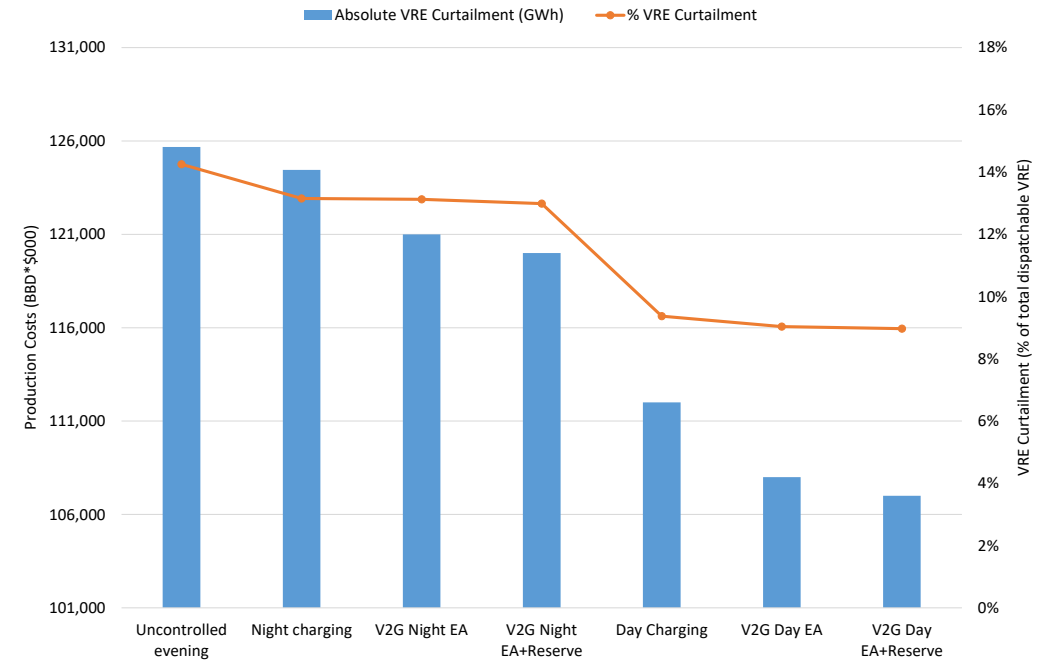


# Aplicación real a Barbados

## Impactos de EVs en los costos de producción

### » Costos de producción

- » Los EVs aumentan los costos de producción
- » El V2G durante el día puede ahorrar hasta un 85% en comparación a la carga no controlada
- » Cargar durante el día es más ventajoso
- » La mayoría de la reducción en costos de producción es debida a la reducción del vertido de ERV – mayormente solar FV
- » Los ahorros en costos de reservas son debidos a la eólica



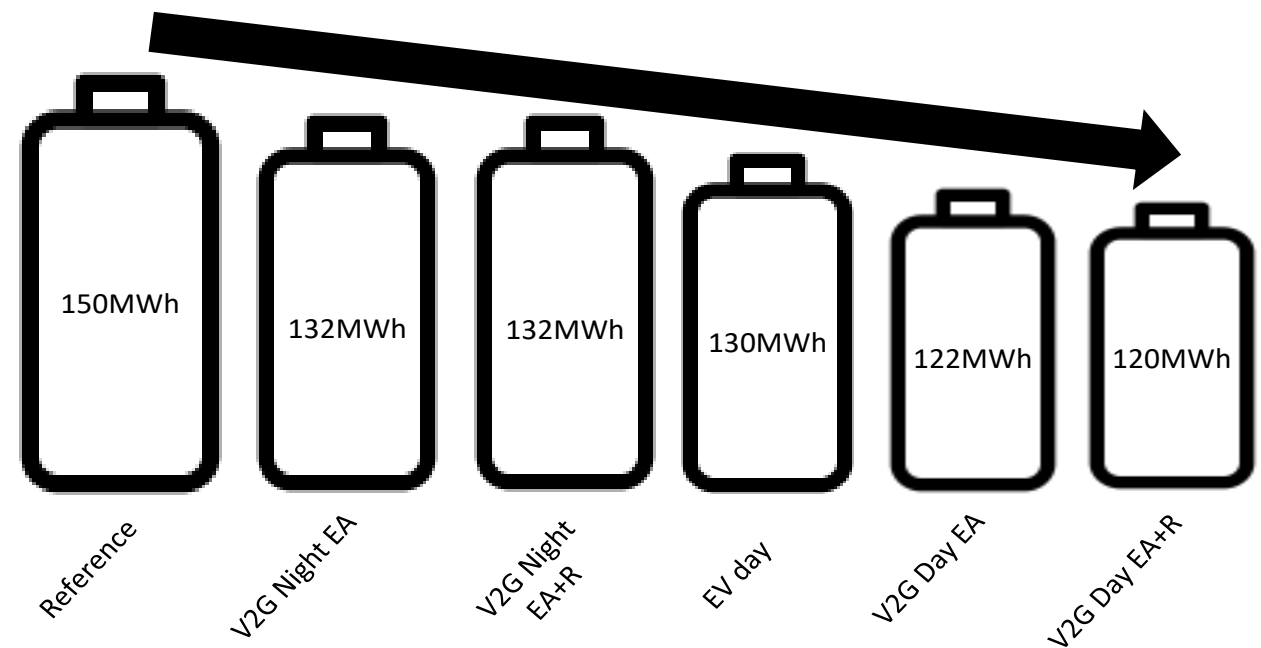
### » Metodología

- » ¿Cuánto almacenamiento puedo evitar manteniendo el mismo nivel de confiabilidad?
- » Similar al cálculo del ELCC

1. Calcular la cantidad de energía no suministrada (ENS) en cada escenario, usando el de referencia como base
2. Identificar los escenarios que reducen la ENS comparados al de referencia
3. Empezar a reducir los MWh de almacenamiento conectado a la red progresivamente
4. Parar cuando la cantidad de ENS se iguale a la del escenario de referencia
5. Calcular la cantidad de almacenamiento conectado a la red que se evitaría

### » Resultados

- » Todos los escenarios V2G reducen la cantidad de almacenamiento conectado a la red
- » El “EV Static day” también reduce el almacenamiento incluso más que los V2G durante la noche
- » El V2G puede reducirlo hasta un 20%





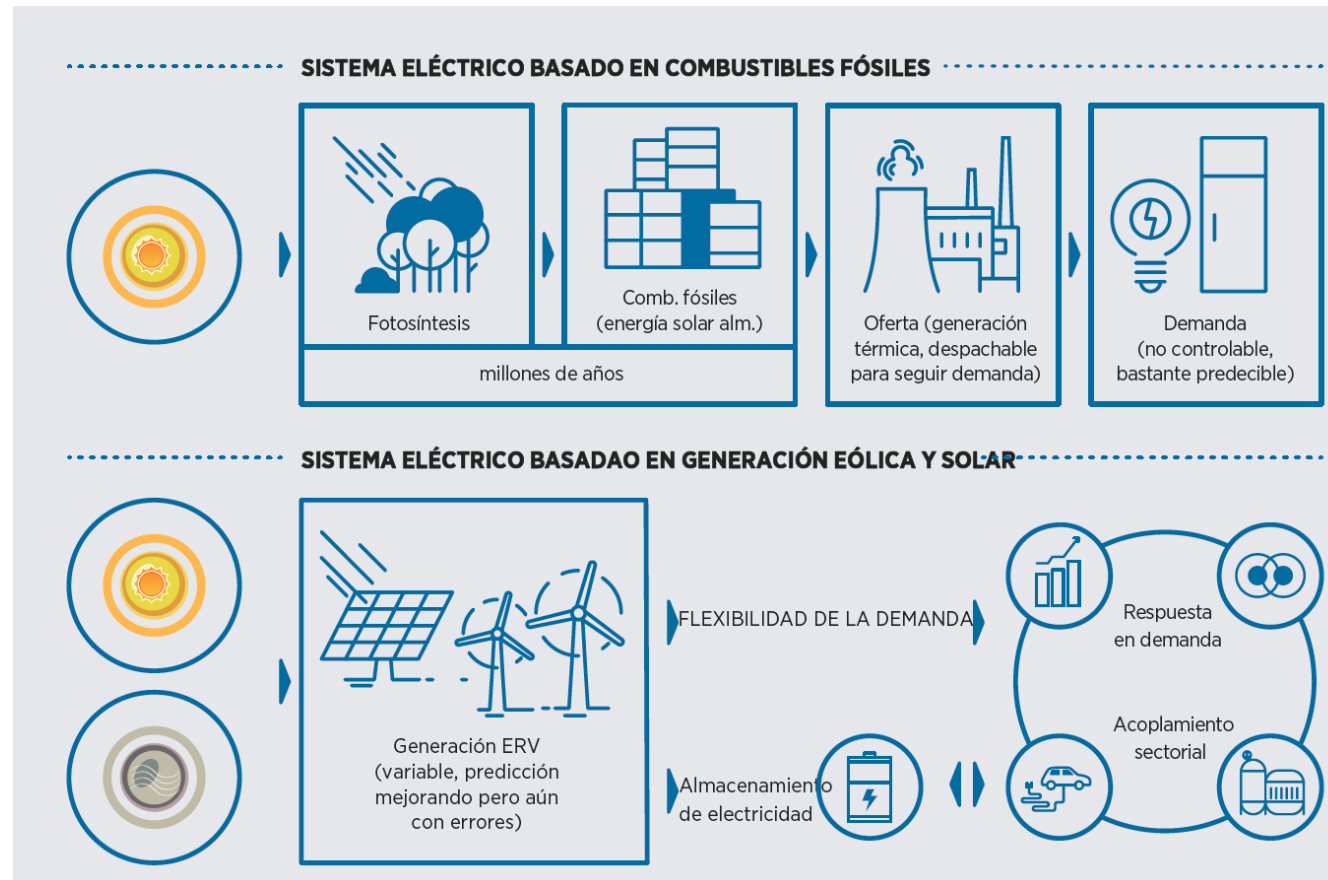
# Flexibilidad de la demanda para la transformación del sistema eléctrico





























“La flexibilidad de la demanda es la parte de la demanda, incluyendo aquella procedente de la electrificación de otros sectores que puede ser reducida, incrementada o desplazada en un periodo de tiempo específico para:


- (1) Facilitar la integración de las ERV para **cambiar la forma de los perfiles de carga para que se ajusten a la generación de ERV**
- (2) **Reducir los picos de carga y la sesionalidad**
- (3) **Reducir los costes totales de generación** desplazando carga desde períodos con altos precios a períodos con precios más bajos.”



# Soluciones para proveer flexibilidad de la demanda

		 Industrial	 Comercial	 Residencial
	Electricidad a calor			
	Electricidad a hidrógeno			
	Vehículos eléctricos			
	Electrodomésticos inteligentes			
	Procesos industriales			

 La solución sería competitiva/viable en ese sector de uso final

 La solución probablemente no sería competitiva/viable en ese sector de uso final

## Electrodomésticos inteligentes



- » Los electrodomésticos se pueden emplear para proveer flexibilidad de la demanda si la correcta infraestructura de ICT está instalada
- » **Electrodomésticos más relevantes:** secadoras, lavadoras, lavavajillas, frigoríficos y congeladores
- » El uso de los mismo depende del comportamiento del consumidor y la idea es que reacciones a señales de precios y que los usen cuando el precio es bajo
- » Factible en los sectores comercial y residencial

- » Las industrias tienen una serie de procesos que requieren electricidad más allá del calor o el hidrógeno
- » Estos procesos también pueden cambiar su carga si se requiere
- » **Ejemplos:** cementeras, hornos de arco eléctrico, producción de aluminio, producción de celulosa, fabricación de papel
- » Solo competitivo para el sector industrial

## Respuesta en demanda industrial



# Ejemplo – Respuesta en demanda industrial proveyendo reservas

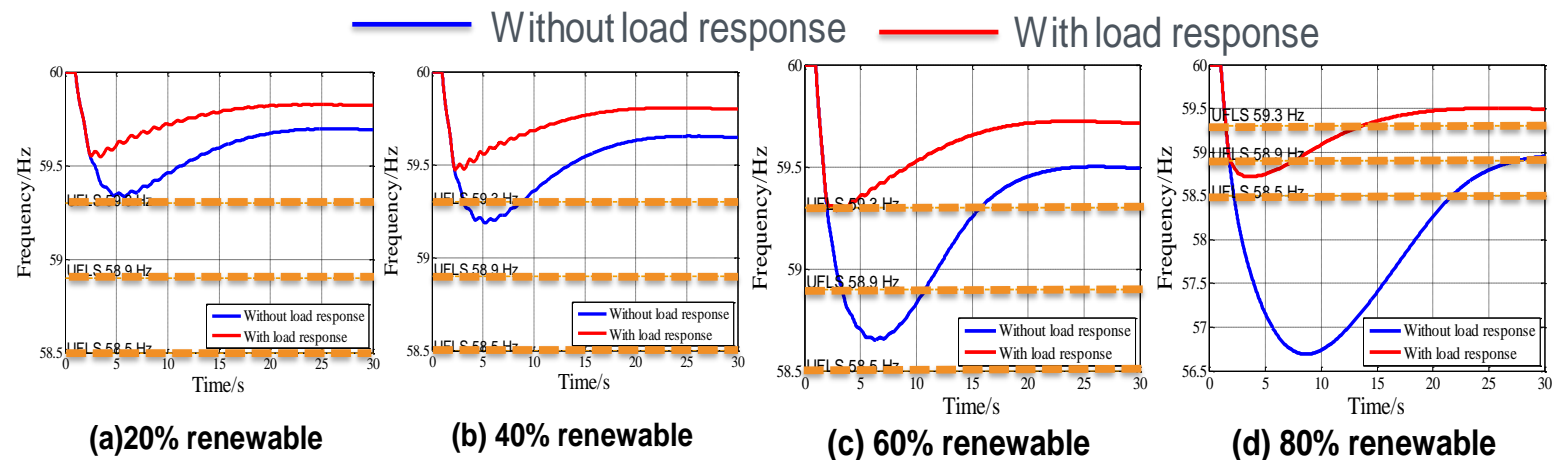
- » El Consejo de Fiabilidad Eléctrica de Texas (ERCOT) ha permitido la participación de la demanda en los servicios complementarios desde 2002



- » Inicialmente la máxima participación de la demanda en el servicio de reserva primaria (**RRS**) era de 25% e incrementó al 60% en 2018 (Participación de ERV era un 19%)
- » La mayoría de la demanda participante en el RRS era del sector industrial y en **2018 ERCOT tenía un total de 4200 MW** que podían participar

- » Desde 2019 un servicio de **respuesta rápida en frecuencia (FFR)**, donde la demanda puede participar, se incluyó en ERCOT

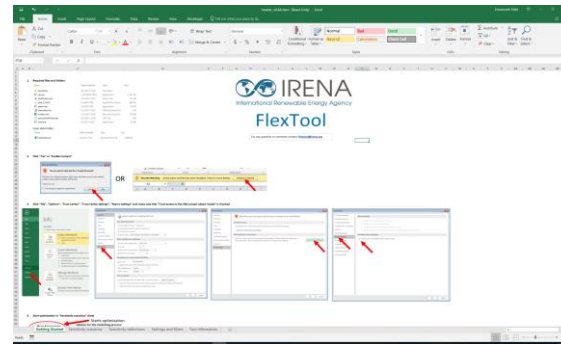
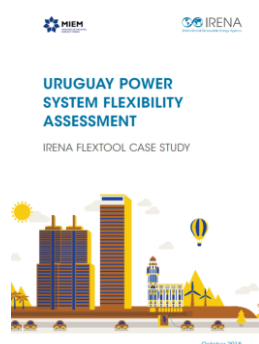
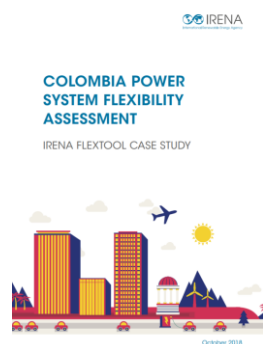
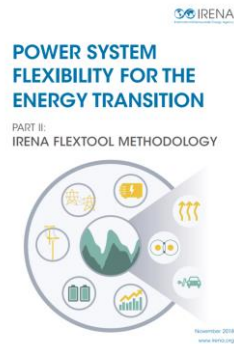
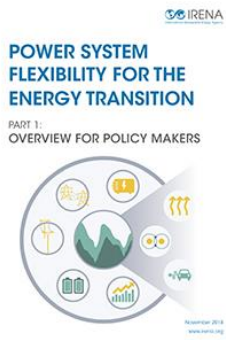
- » Las figuras muestran como la demanda actuaría al proveer este servicio de FFR



# Conclusiones

- » La creciente penetración de energías renovables variables, caracterizadas por la variabilidad e incertidumbre pueden suponer desafíos para la operación del sistema eléctrico
- » La flexibilidad es un elemento muy importante en un sistema eléctrico con alta penetración de renovables y es necesario planificarla con antelación para evitar vertido innecesario de energía o energía no suministrada
- » La flexibilidad se debe buscar en todos los sectores del sistema energético. Ya no se encuentra solo en la generación si no también en la demanda, almacenamiento y a través del acoplamiento sectorial con sectores como el hidrógeno o los vehículos eléctricos.
- » IRENA ha desarrollado la herramienta FlexTool para hacer un análisis rápido de la flexibilidad de un sistema eléctrico y analizar las diferentes opciones de flexibilidad existentes y cómo influirían sobre el sistema
- » IRENA ya tiene experiencia con este tipo de análisis con el desarrollo de los casos de estudio de Colombia, Panamá, Tailandia y Uruguay y con el desarrollo actual del caso de Centroamérica.





**Emanuele Taibi**, *Power Sector Transformation Strategies*, [ETaibi@irena.org](mailto:ETaibi@irena.org)

**Carlos Fernández**, *Associate Professional, Power System Flexibility*, [CFernandez@irena.org](mailto:CFernandez@irena.org)

<https://irena.org/energytransition/Power-Sector-Transformation/Power-System-Flexibility>



[www.irena.org](http://www.irena.org)



[www.instagram.com/irenaimages](https://www.instagram.com/irenaimages)



[www.twitter.com/irena](https://www.twitter.com/irena)



[www.flickr.com/photos/irenaimages](https://www.flickr.com/photos/irenaimages)



[www.facebook.com/irena.org](https://www.facebook.com/irena.org)



[www.youtube.com/user/irenaorg](https://www.youtube.com/user/irenaorg)