

RESULTADOS ESTUDIO DE FLEXIBILIDAD

Junio de 2024

En 2024, la incorporación de generación solar comienza a reflejarse en la curva de demanda neta y los requerimientos de balance.

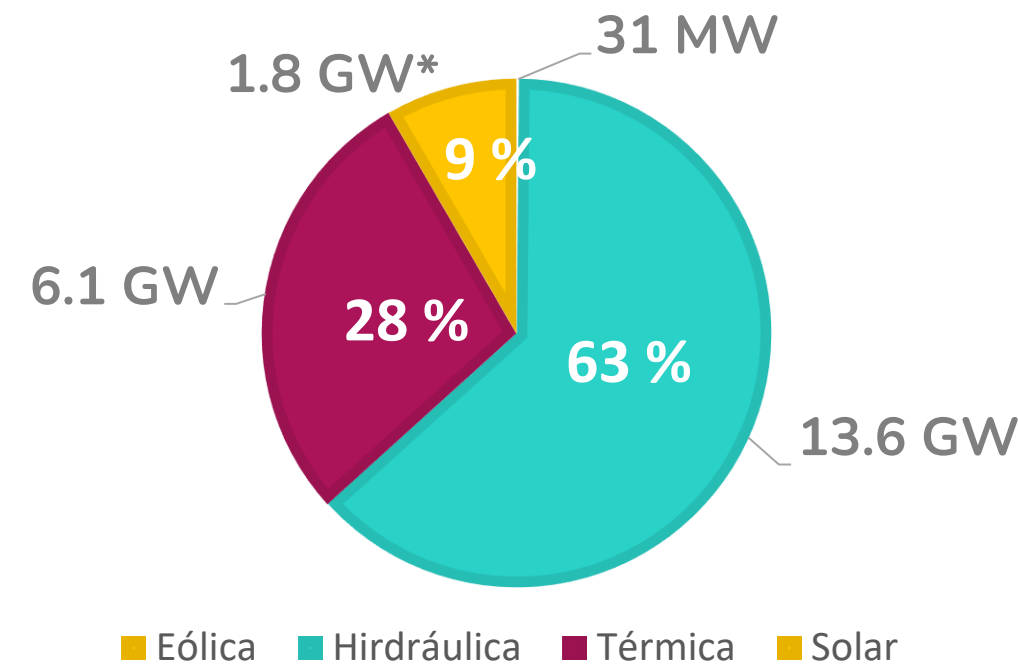


¿Cómo vamos con la incorporación de FERNC?

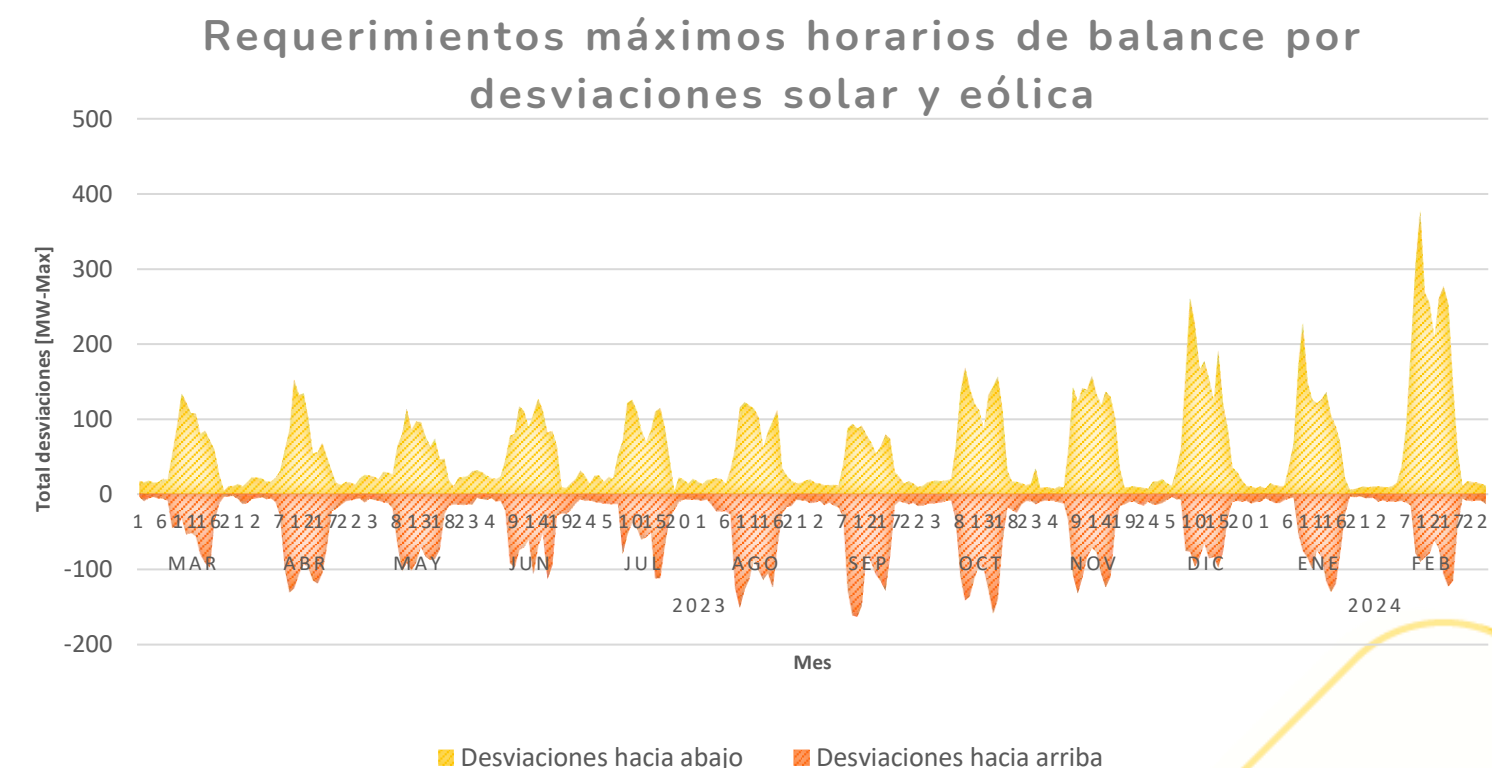
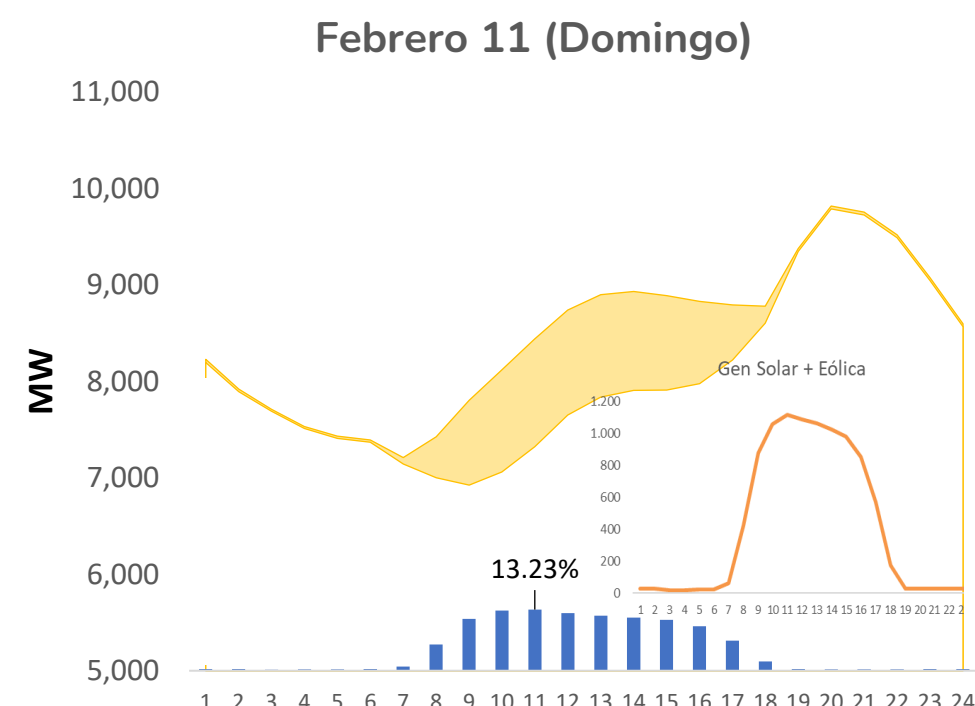
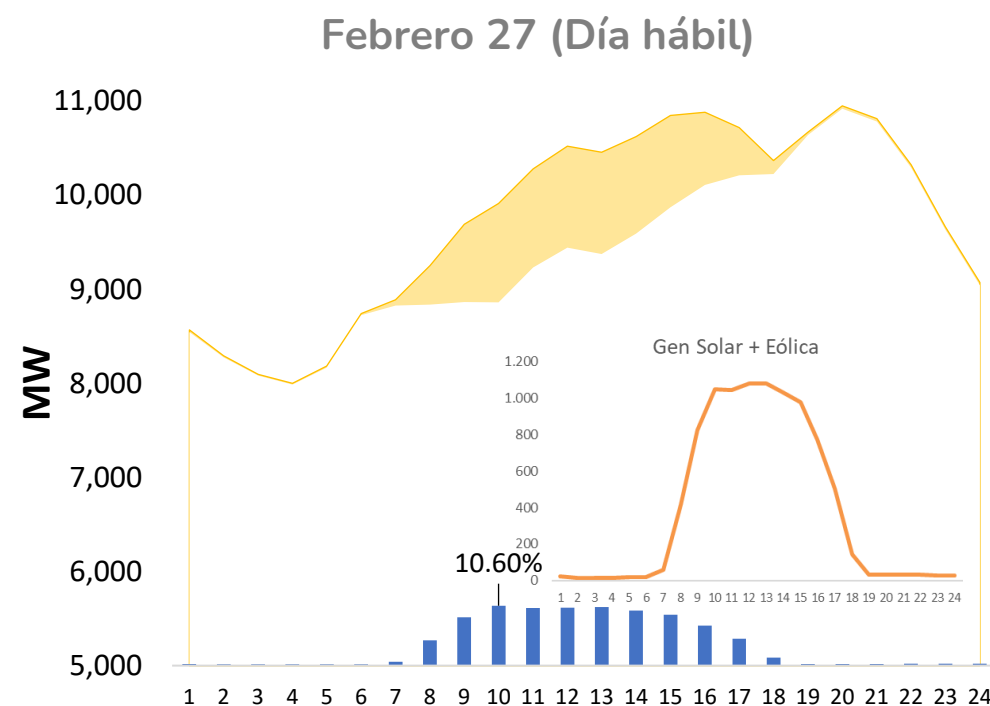
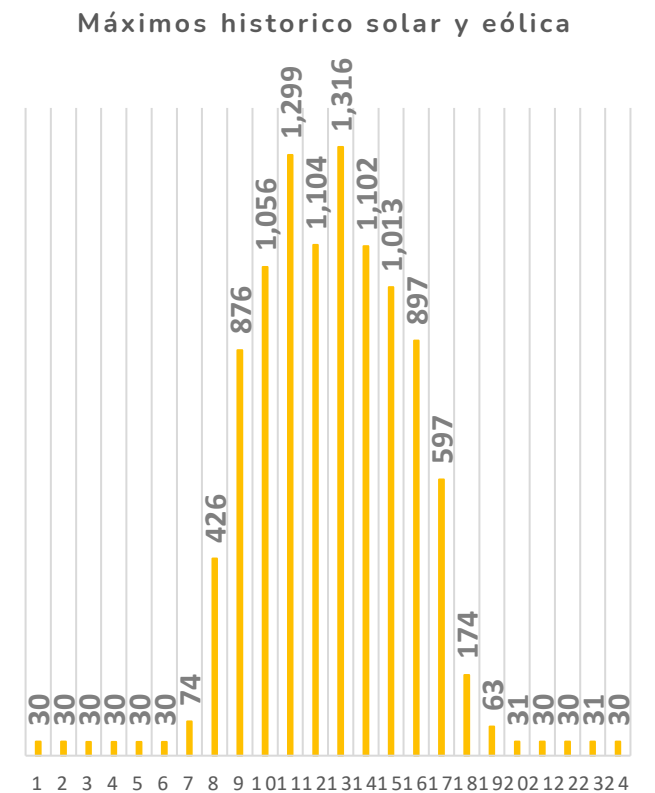
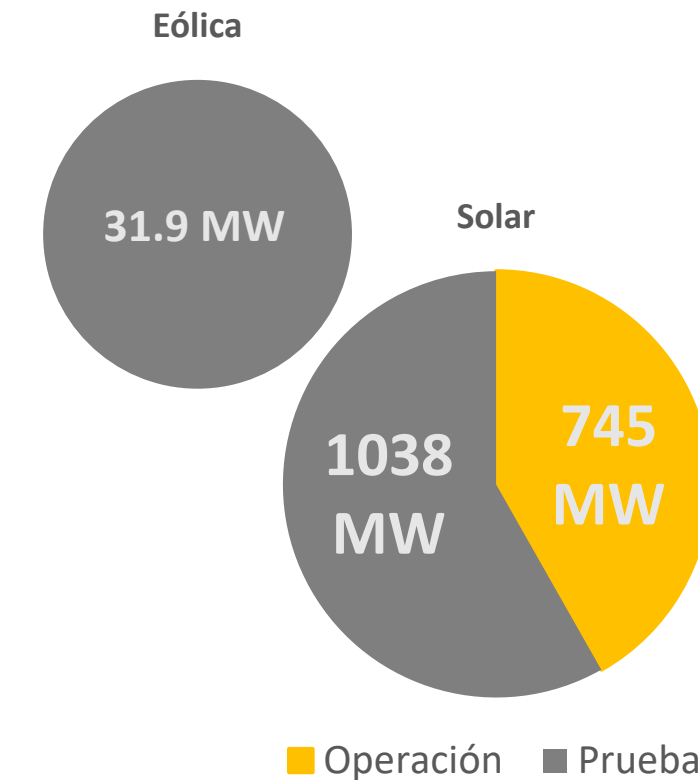
9% de capacidad efectiva neta solar y eólica (1.8GW)

69% de la capacidad efectiva neta solar y eólica en pruebas

1316 MW de máximo real horario producción solar y eólica

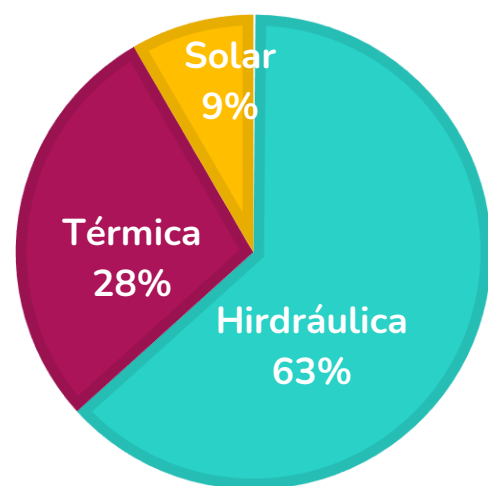


*Corte a Mayo 01 de 2024.



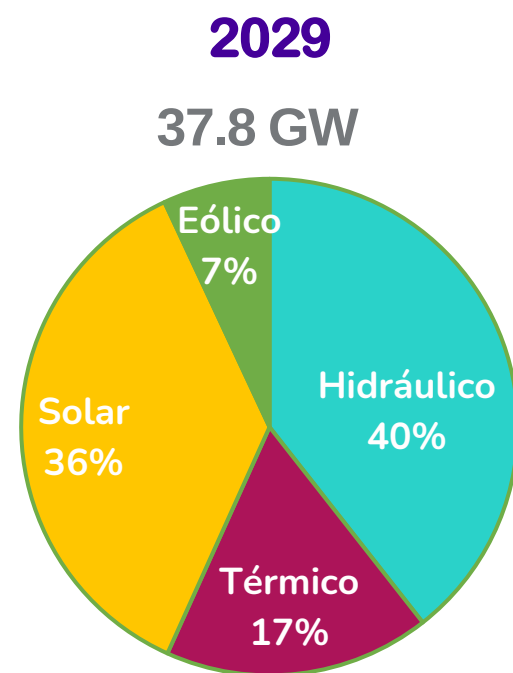
* Considera proyectos en operación comercial y pruebas

Hoy
21.6 GW*

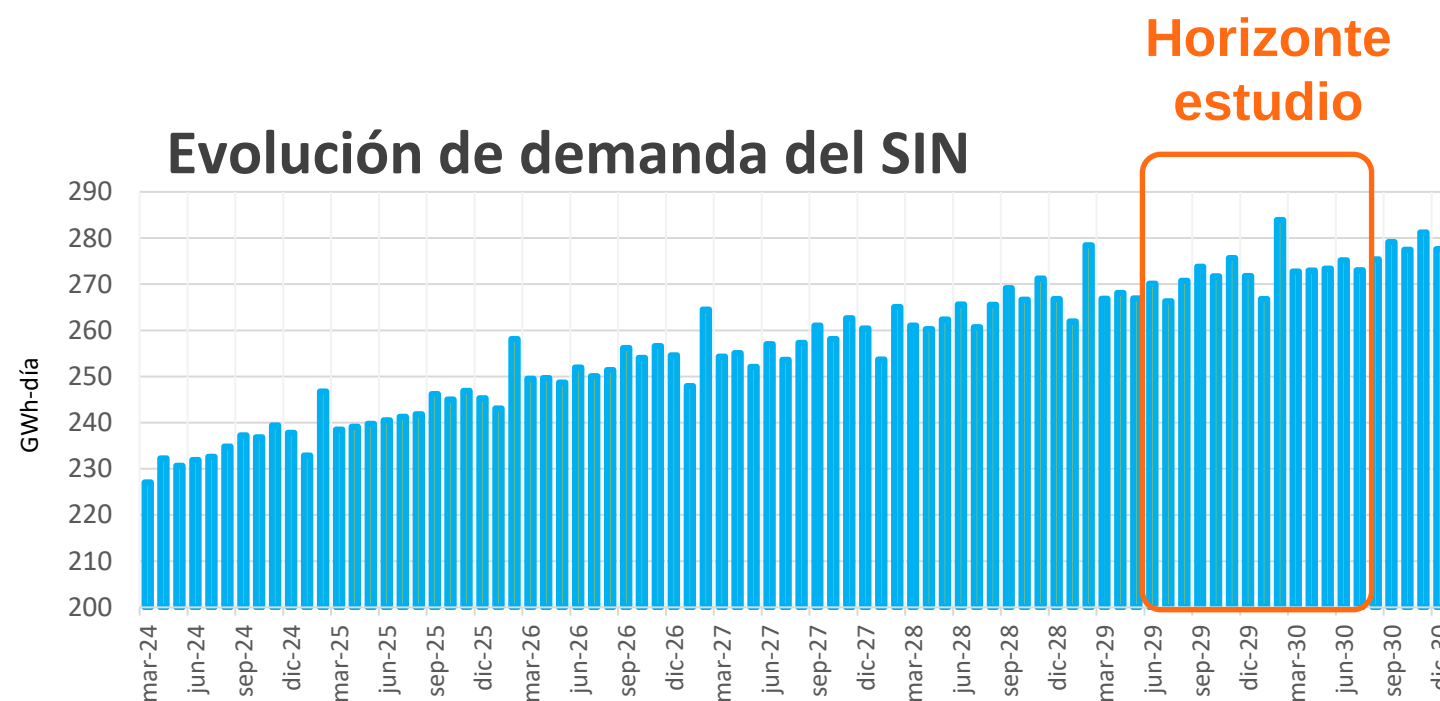


16.2 GW
FERNC

Proyectos
CREG
075 de 2021



¿ A qué posibles
escenarios nos
enfrentamos?



Caribe 9.54 GW (59%)

Subárea	Eólica [MW]	Solar [MW]	TOTAL [MW]
GCM	2403	1634	4037
Cerromatoso	0	440	440
Atlantico	10	1206	1216
Bolivar	200	901	1101
Cordoba-Sucre	0	2750	2750

Antioquia 1.38 GW (9%)

Subárea	Eólica [MW]	Solar [MW]	TOTAL [MW]
Antioquia	0	1382	1382

Sur 2.35 GW (15%)

Subárea	Eólica [MW]	Solar [MW]	TOTAL [MW]
Valle	0	394	394
Cauca-Nariño	0	149	149
CQR	0	687	687
Huila-Tolima	0	1119	1119

Nordeste 1.91 GW (12%)

Subárea	Eólica [MW]	Solar [MW]	TOTAL [MW]
Boyacá	0	588	588
Santander	0	738	738
Arauca	0	49	49
N. de Santander	0	538	538

37.8 GW de
capacidad
instalada al 2029

Oriental 0.84 GW (5%)

Subárea	Eólica [MW]	Solar [MW]	TOTAL [MW]
Meta	0	539	539
Bogotá	0	299	299

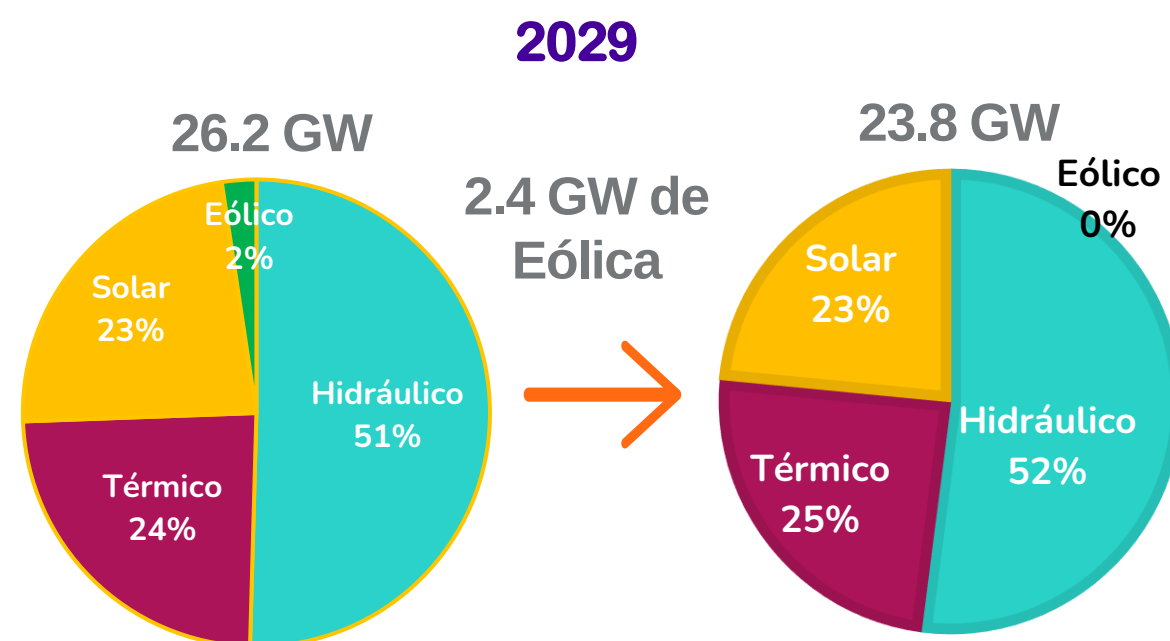
Estudio de flexibilidad 2029-2030

Preparar el sistema para la
incorporación de 16 GW de
generación basada en inversores, con
el objetivo de lograr un
abastecimiento seguro y confiable de
la demanda.

xm
Sumamos energía,
sumamos pasión

Proyectos
con OEF

6.2 GW
FERNC



Proyectos con
OEF – sin Eólica

* Considera proyectos en operación comercial y pruebas

¿Cómo abordamos en XM la seguridad y suficiencia energética?

Estudios de flexibilidad del Sistema

Los estudios realizados por XM permiten Identificar los principales atributos para la operación segura y confiable del sistema en un escenario de alta incorporación de FERNC



Suficiencia Energética

Capacidad de satisfacer las necesidades energéticas de la sociedad de manera adecuada



1 Suficiencia Energética

Contar con el suministro futuro de electricidad en el mediano y largo plazo: Disponibilidad, Complementariedad, Almacenamiento

Seguridad Eléctrica

Propender por la disponibilidad y confiabilidad de suministro de energía a la sociedad, en todos los horizontes temporales



2 Flexibilidad en Potencia

Mantener el balance generación – demanda : Rampas, Desviaciones, Ciclaje.



3 Capacidad de transporte

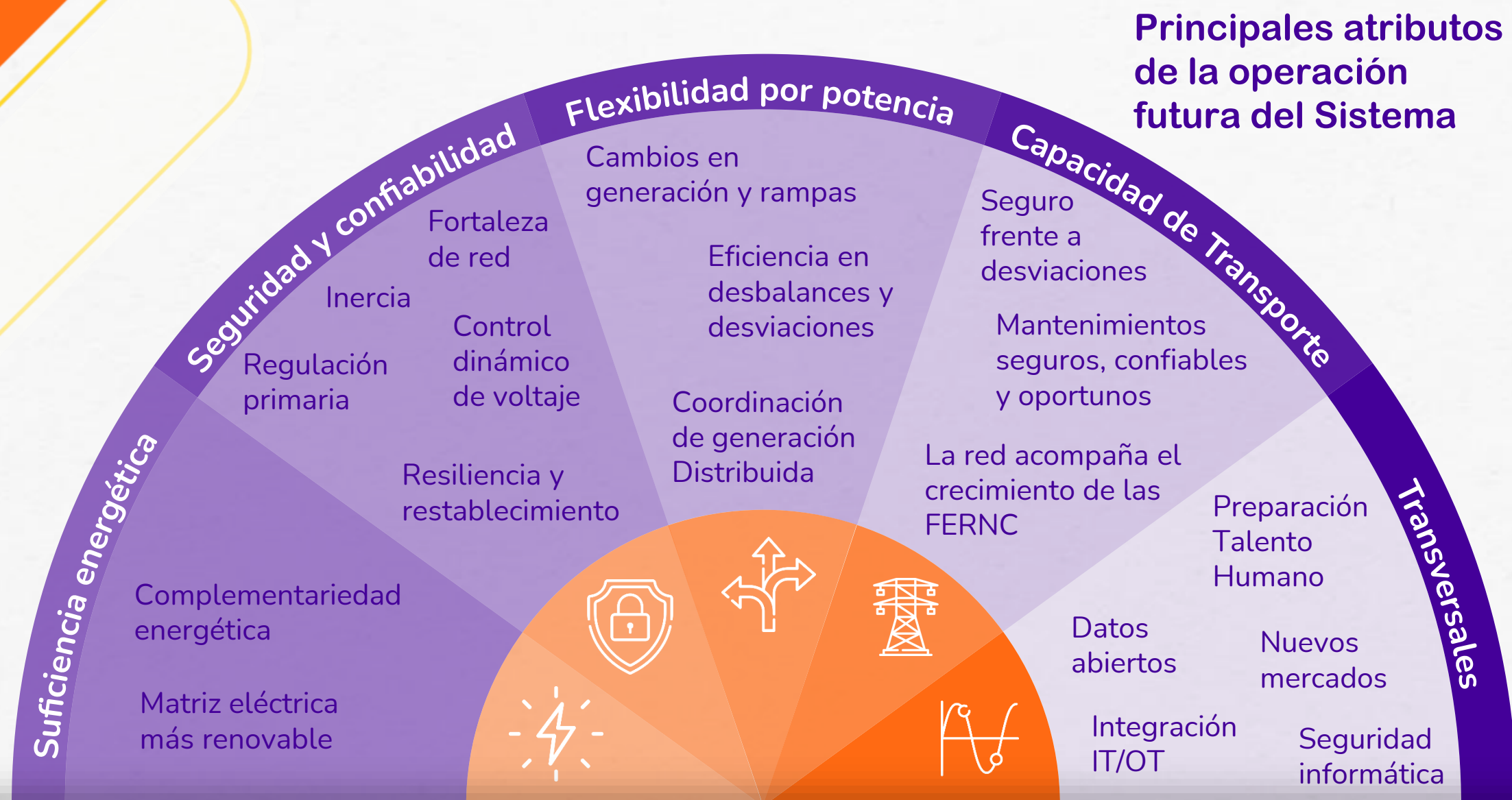
Poder transportar la energía manteniendo la seguridad: Congestionamientos, Control de voltaje, Esquemas de protección.



4 Calidad, Seguridad y Confiabilidad

Capacidad del sistema para responder de forma adecuada a perturbaciones, manteniendo la estabilidad

Estudio de flexibilidad 2029-2030



Año	Horizonte	Solar [MW]	Eólica [MW]	Tot. FERN [MW]	Proyectos gen. [MW]
2019	2023-2024	527	1.565	2.092	4.287
2021-1	2024-2025	1.941	2.490	4.431	6.812
2021-2	2024-2025	5.634	2.531	8.165	10.126
2022-1	2024-2027	8.451	2.732	11.183	13.278
2024-1	2029 – 2030	13.750	2.432	16.182	17.986

2018 - IRENA hizo el primer estudio para la UPME utilizando la herramienta Flextool.

Segundo y tercer estudio de XM, ajustes metodológicos, 3 hidrologías 2021-22 y 2024-25. Recomendaciones del CNO.

Quinto estudio de XM, Consolidación de la operación con una matriz renovable (2029-2030)

2016

2017

2018

2019

2020

2021

2022

2023

2024

Primer estudio de XM, 3 escenarios de proyectos a 2023-24, 3 hidrologías.

Cuarto estudio de XM, nuevos indicadores, 3 periodos de análisis desde el 2024 hasta el 2027.

Indicadores estudios de flexibilidad

Seguridades			2019 2 GW	2021-I 4.4 GW	2021-II 8.2 GW	2022-I 11 GW	2024-1 16.2 GW
Indicadores estudio de flexibilidad							
Suficiencia energética	1	Atención de la demanda					
	2	Complementariedad					
Flexibilidad de potencia	3	Demanda neta (déficit de reserva a bajar)					
	4	Capacidad de coordinación de cambios de generación					
	5	Rampas horarias					
	6	Rampas cinco minútales					
	7	Desbalances intrahorarios					
	8	Desviaciones					
	9	Reserva caliente y fría					
	10	Reservas de AGC (Horarias)					
Capacidad de transporte	11	Restricciones					
	12	Vertimientos por red (atrapamientos)					
	13	Impacto de desviaciones en límites de seguridad					
Seguridad	14	Inercia					
	15	Regulación primaria					
	16	Corto circuito máximo					
	17	Fortaleza de red					
	18	Soportabilidad de la frecuencia (NADIR)					
	19	Soportabilidad derivada de la frecuencia (ROCOF)					
	20	Suficiencia EDAC					
	21	Oscilaciones					
	22	Propagación huecos de tensión					
	23	Recuperación lenta inducida por fallas (Frecuencia y Voltaje)					
	24	Estabilidad transitoria					
	25	Protecciones					

● Sin Riesgos

● Riesgos Parciales

● Riesgos identificados

Los resultados del presente estudio, representados en 25 indicadores de los cuales 24 se identifican con riesgo, ratifican la necesidad de tomar **acciones frente a la incorporación de la generación no síncrona**, para lo cual, **se requieren cambios en los modelos operativos y de mercado para garantizar el abastecimiento seguro, confiable y económico de la electricidad.**

Es necesario abordar problemáticas como la **complementariedad, el abastecimiento de combustibles, la flexibilidad del parque de generación, la soportabilidad de las tecnologías no síncronas, la fortaleza de la red, la inercia, la variabilidad e incertidumbre de la generación solar y eólica, la controlabilidad y observabilidad del sistema, la calidad de la potencia**, entre otros, de tal forma que se garantice una operación segura y confiable en los escenarios de expansión planeados.

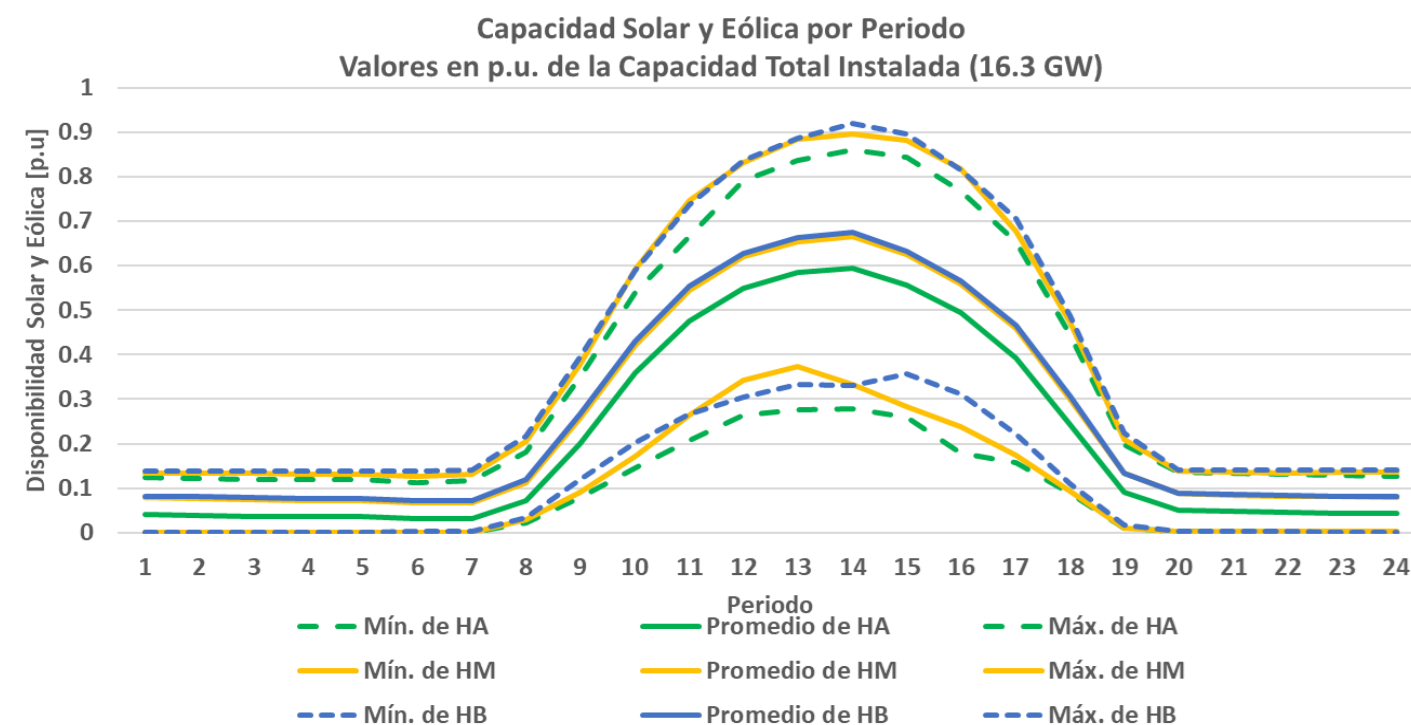


Suficiencia energética

Se debe mantener una matriz diversificada, con fuentes de producción renovable a lo largo del territorio y aprovechar la complementariedad estacional y diaria de los recursos hidráulicos, térmicos, eólicos y solares frente a condiciones meteorológicas como los fenómenos de El Niño y La Niña.

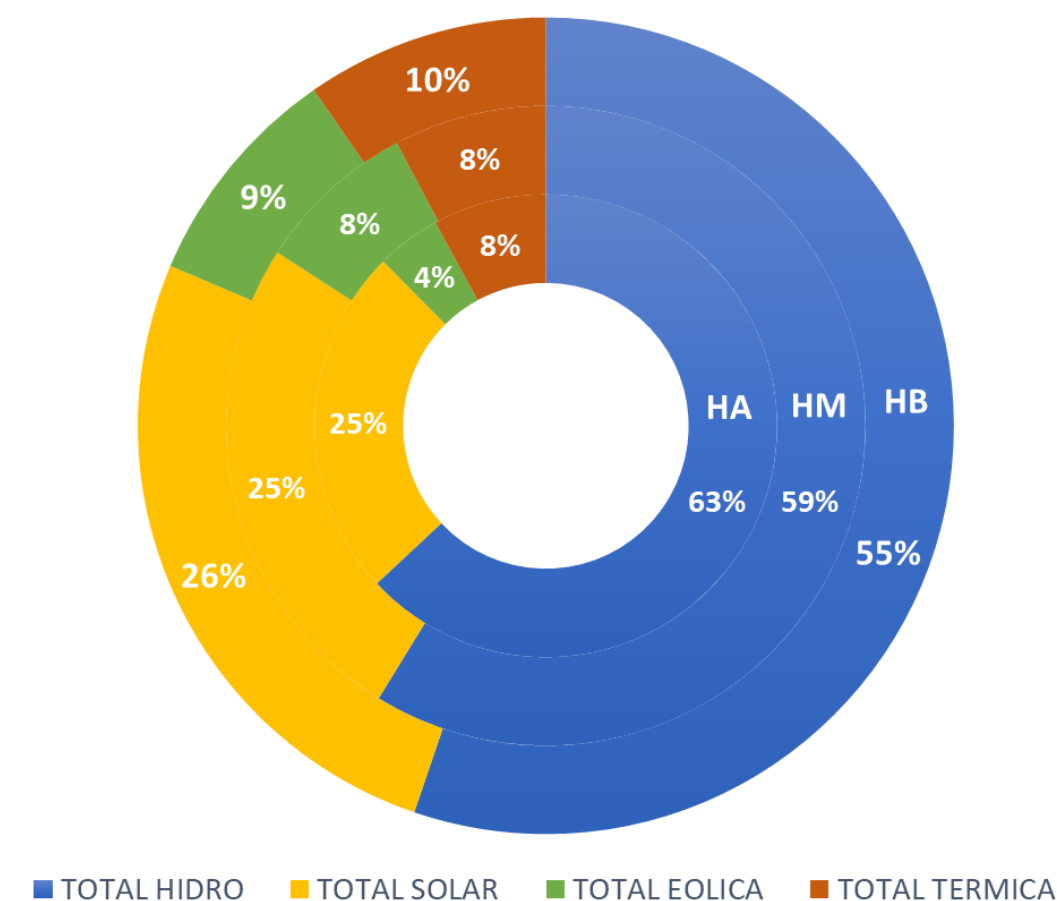


¿Y si se materializan todos los proyectos?



Los resultados indican alta variabilidad del recurso eólico y solar, con disponibilidades del recurso que varían a nivel horario entre el **90% y el 22%** de la capacidad instalada.

CASOS 2029-2030

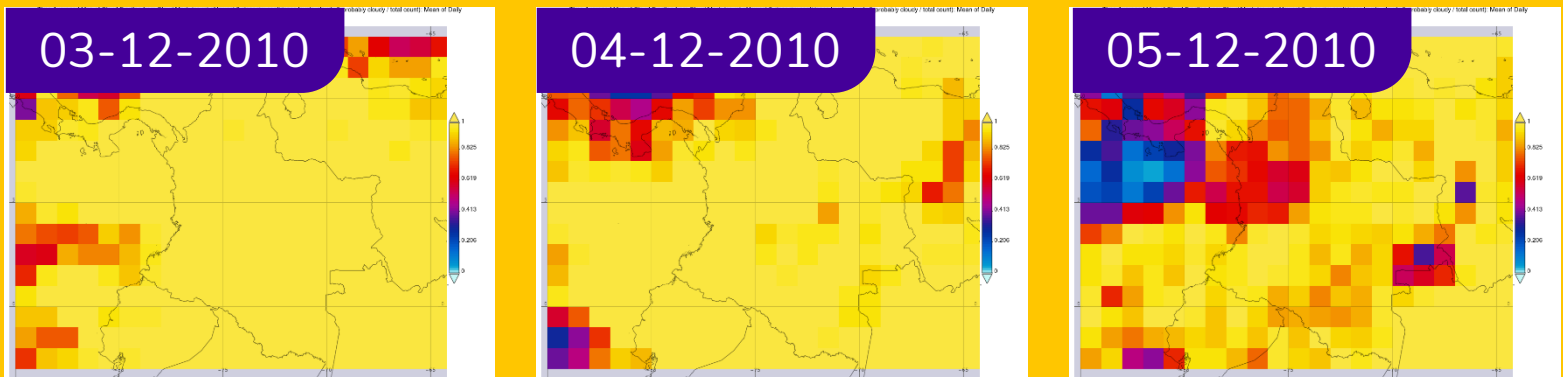


Las fuentes solares y eólicas atienden entre **el 29% y el 35%** de la demanda energética en todos los escenarios, con valores de máxima producción horaria que superan el **85%** de la demanda, el parque térmico complementa los periodos de baja capacidad de producción solar, eólica e hídrica.

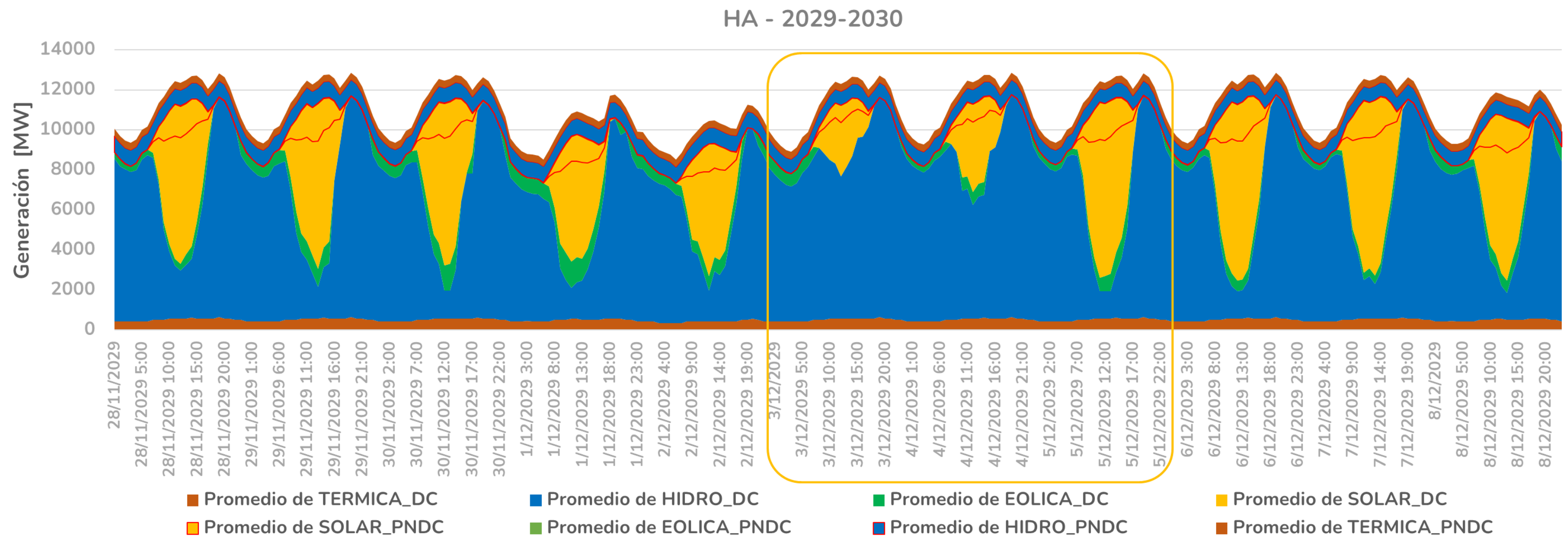


SUFICIENCIA ENERGÉTICA

Se observan periodos de disminución generalizada del recurso solar y eólico, producto de fenómenos meteorológicos que favorecen un clima lluvioso en el país. Frente a lo anterior, **mantener un parque de generación complementario a las fuentes de generación Solar y Eólica se torna indispensable para garantizar el abastecimiento de la demanda.** Lo anterior, cobra aun mayor relevancia en un escenario de crecimiento acelerado de la demanda, producto de la electrificación del sector transporte e industrial.

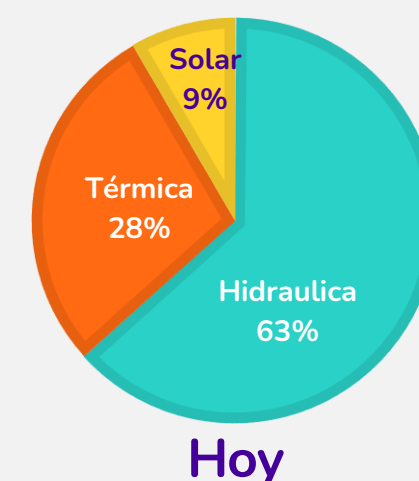


Los registros históricos muestran en todo el territorio colombiano, la consolidación de condiciones de alta nubosidad (amarillo), presentando un cielo totalmente cubierto bajo el cual se disminuye la capacidad de producción Solar y Eólica.



¿Y si el atraso en los proyectos continúa?

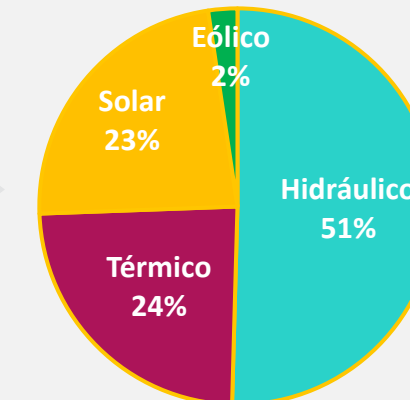
21.5 GW*



Hoy

6.2 GW
FERN

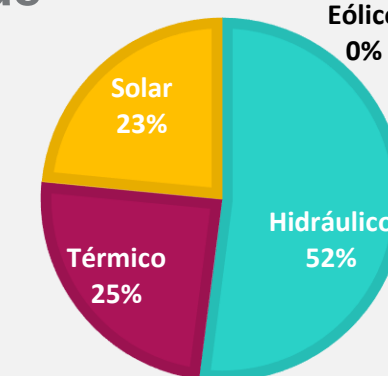
26.2 GW



2029

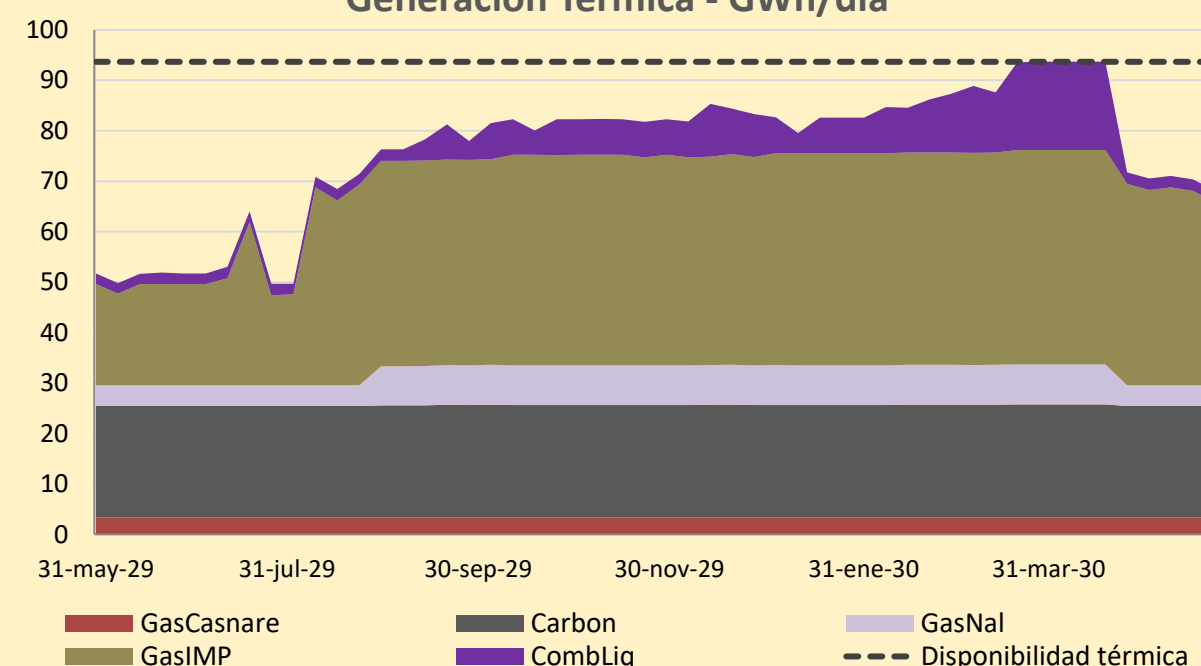
2.4 GW de
Eólica

23.8 GW

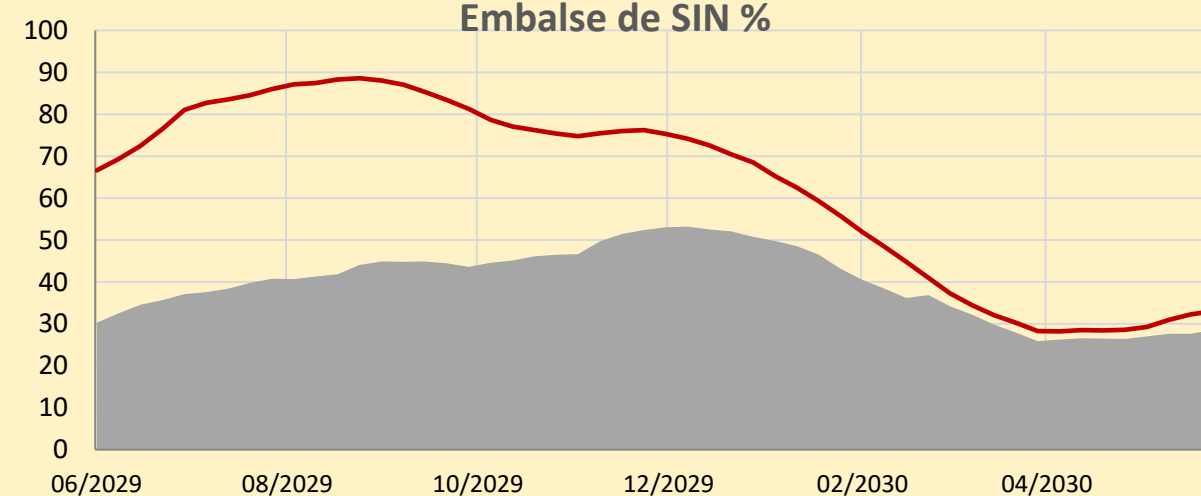


Solo proyectos con OEF

Generación Térmica - GWh/día

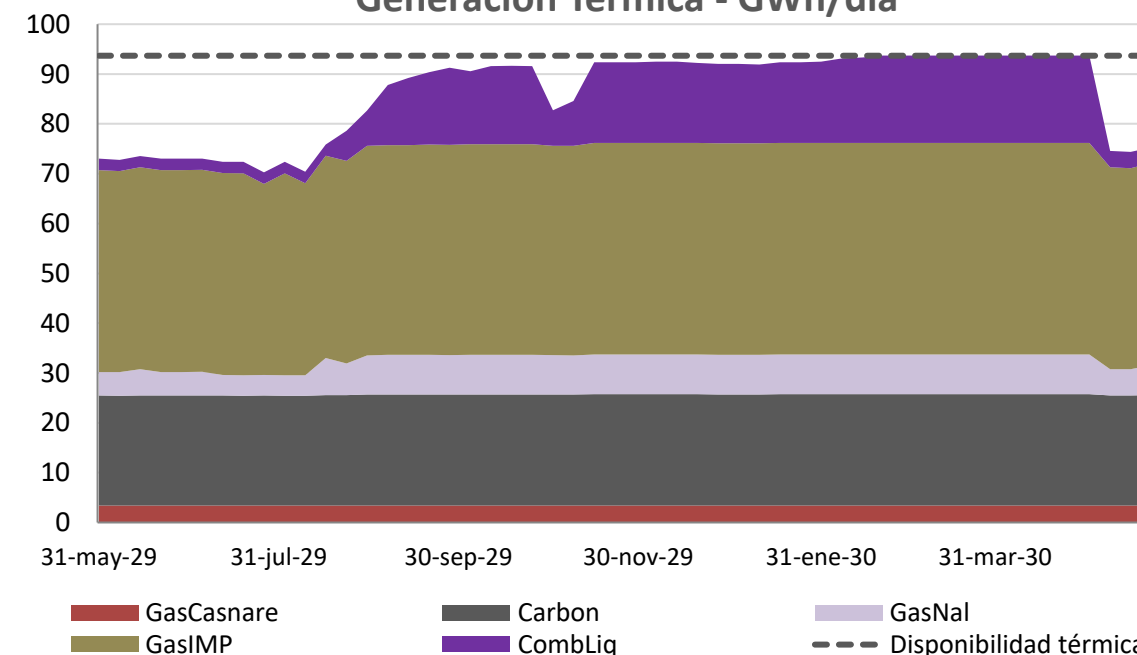


Embalse de SIN %

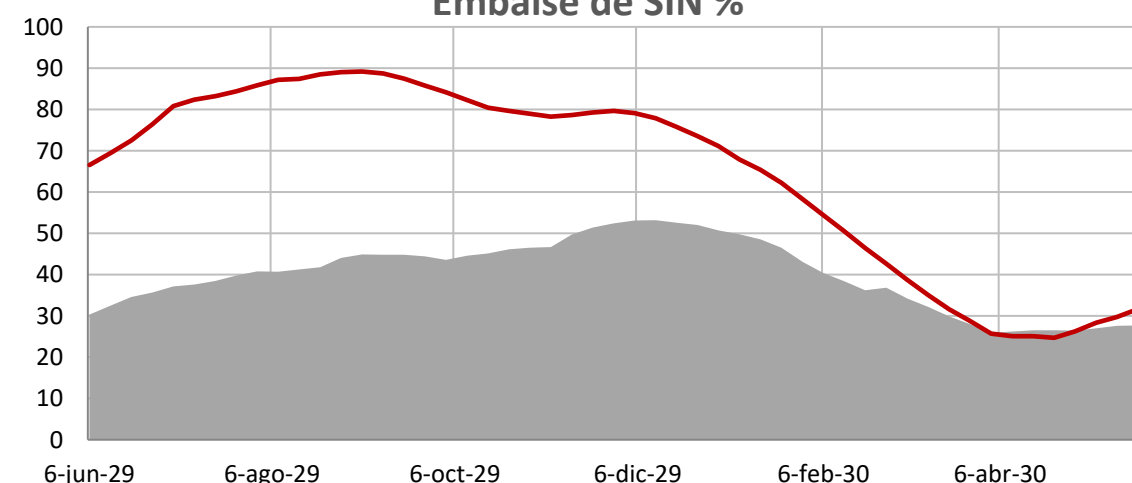


Solo proyectos con OEF y sin eólicas

Generación Térmica - GWh/día



Embalse de SIN %



Ante este escenario y de presentarse un fenómeno de baja hidrología tipo el Niño, los requerimientos de generación térmica se incrementarían a valores superiores a los 90 GWh-día por más de siete meses, por tanto, de presentarse atrasos adicionales en la puesta en operación de la expansión, podrían generarse riesgos para la atención de la demanda ante periodos de bajos aportes tipo El Niño.

* Considera proyectos en operación comercial y pruebas



Brechas Suficiencia Energética

ATRIBUTOS

- Complementariedad Energética
- Matriz eléctrica 100% renovable

RIESGO Falta de complementariedad en la matriz eléctrica

Brecha: Insuficiente predictibilidad del recurso solar, eólico e hídrico

Acción:

- Desarrollar capacidad institucional de medición y predicción de variables meteorológicas e hidrológicas.
- Incentivos para libre acceso, confiabilidad y calidad de las mediciones meteorológicas.

Brecha: Vulnerabilidad de recursos frente a eventos meteorológicos

Acción:

- Seguimiento y monitoreo alarmas meteorológicas.
- Observabilidad de la matriz eléctrica (DER)
- Capacidad de respaldo en plantas térmicas

Brecha: Insuficiente complementariedad de la matriz eléctrica

Acción:

- Ampliar disponibilidad de gas para el parque térmico.
- Almacenamiento diario y estacional (embalses, Bombeo, Baterías a gran escala)

Brecha: No entrada oportuna de proyectos de generación y transmisión

Acción:

- Articulación institucional para materializar los proyectos.

Acciones largo plazo

- Otras fuentes de Energía
- Hidrogeno

Hoy

»» 2GW

»» 4GW

»» 8GW

»» 11GW

»» 16GW

Crecimiento Generación Solar y Eólica

Tener acceso a una cantidad adecuada de energía para cubrir las necesidades de la sociedad y la economía de manera constante, continua y sostenible en todos los horizontes de tiempo

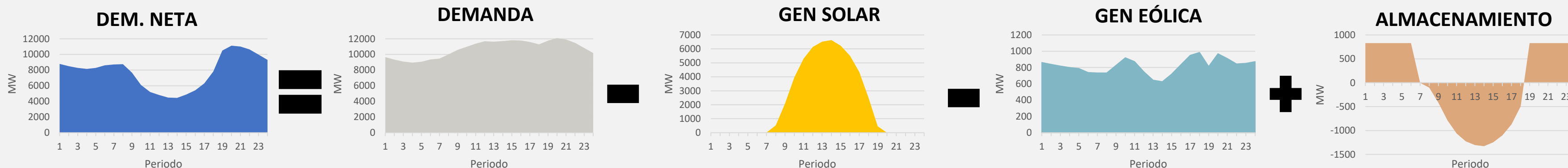


Flexibilidad en potencia

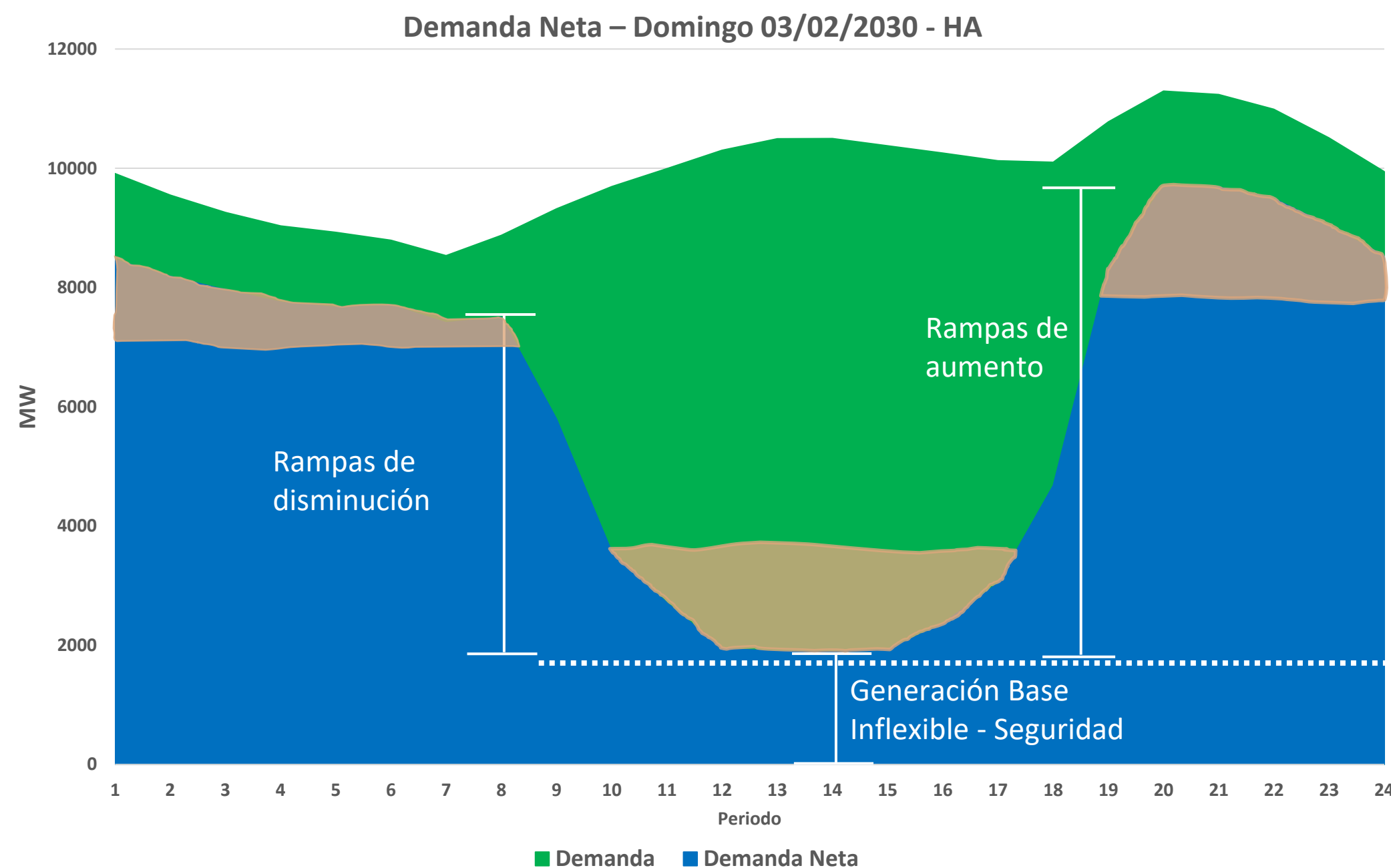
Con la incorporación de 16 GW de generación renovable, el patrón de balance entre la carga y generación a lo largo del día cambia significativamente, producto principalmente del ciclo diario de producción de la generación solar.

Se observan requerimientos de rampas de bajada de generación en la mañana, y de rampas de subida en la tarde, que exigirán mayor flexibilidad del parque generador existente, así como otras dinámicas y comportamientos que revisten importancia para la atención segura y confiable de la demanda.

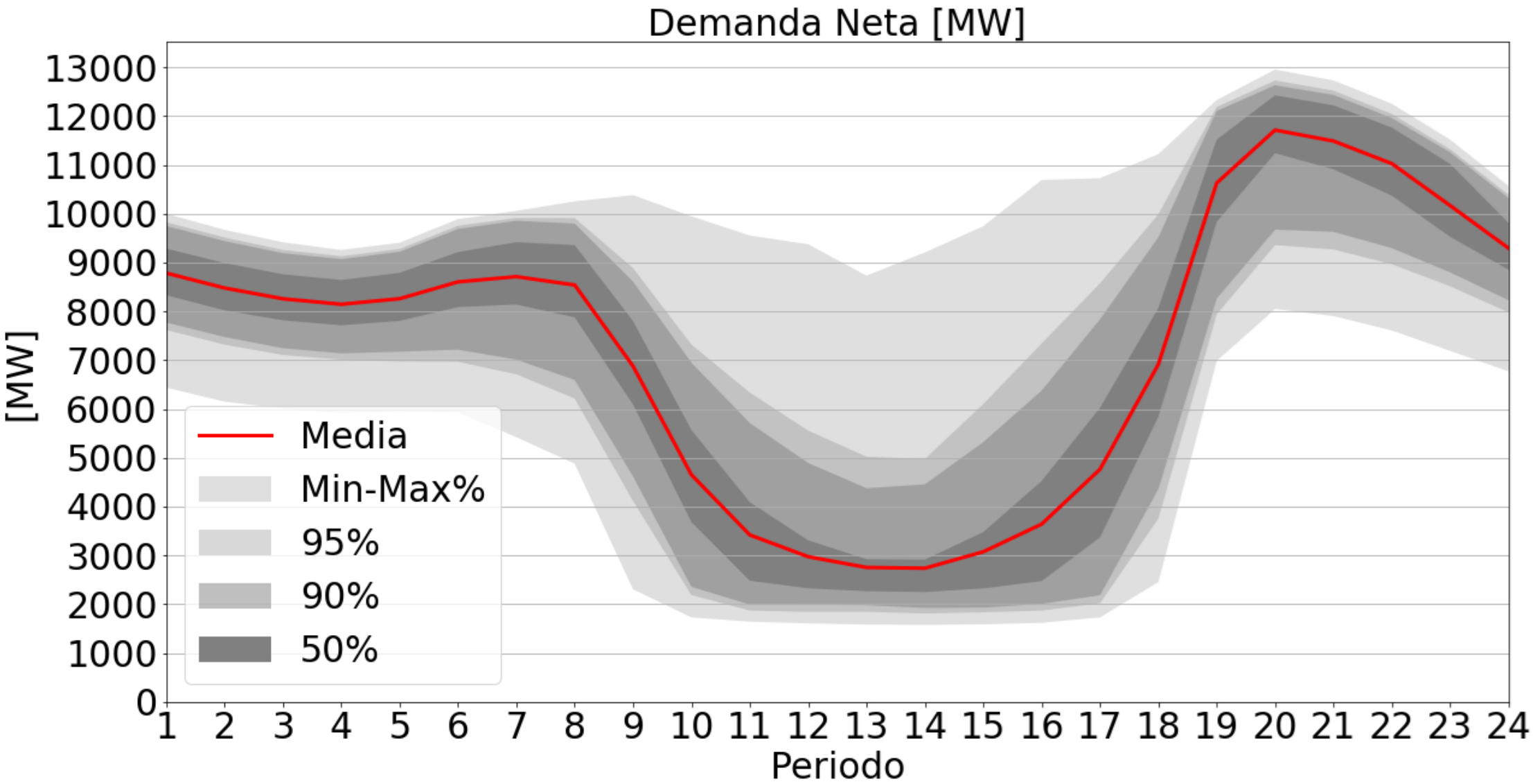
De la curva del pato a la curva tipo Cañón



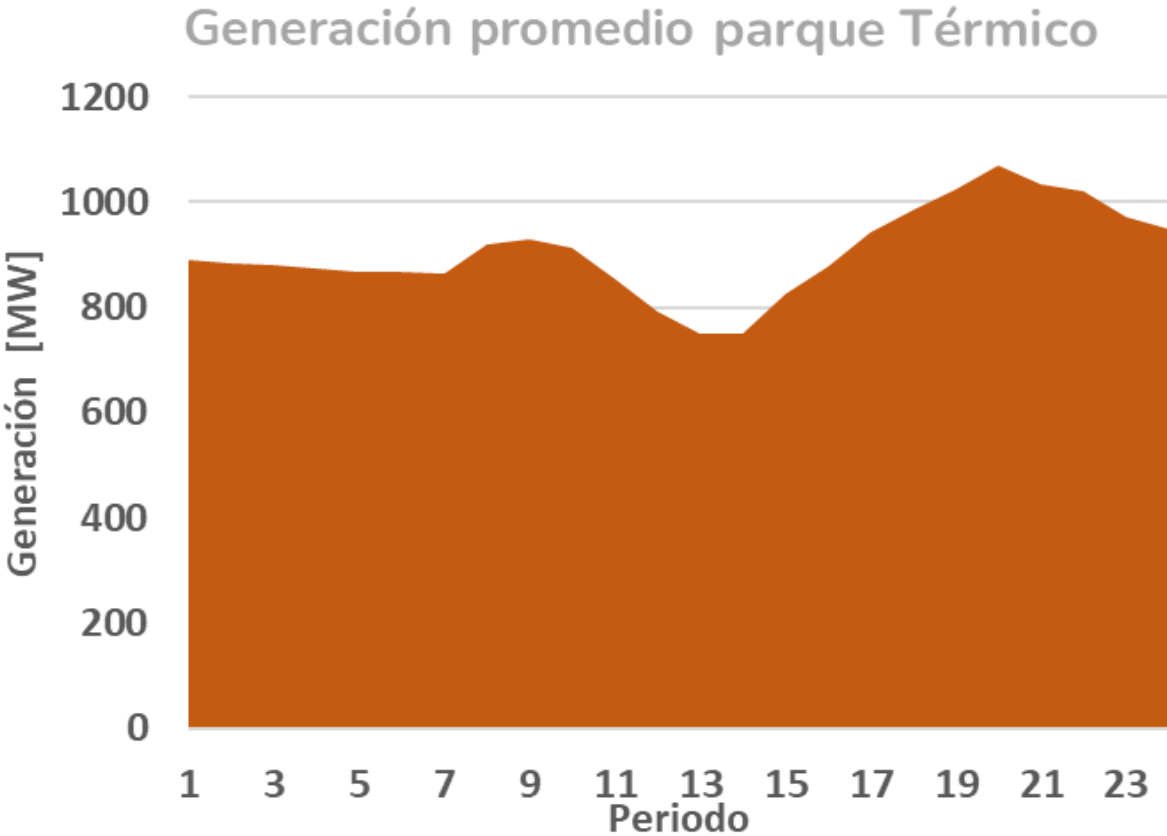
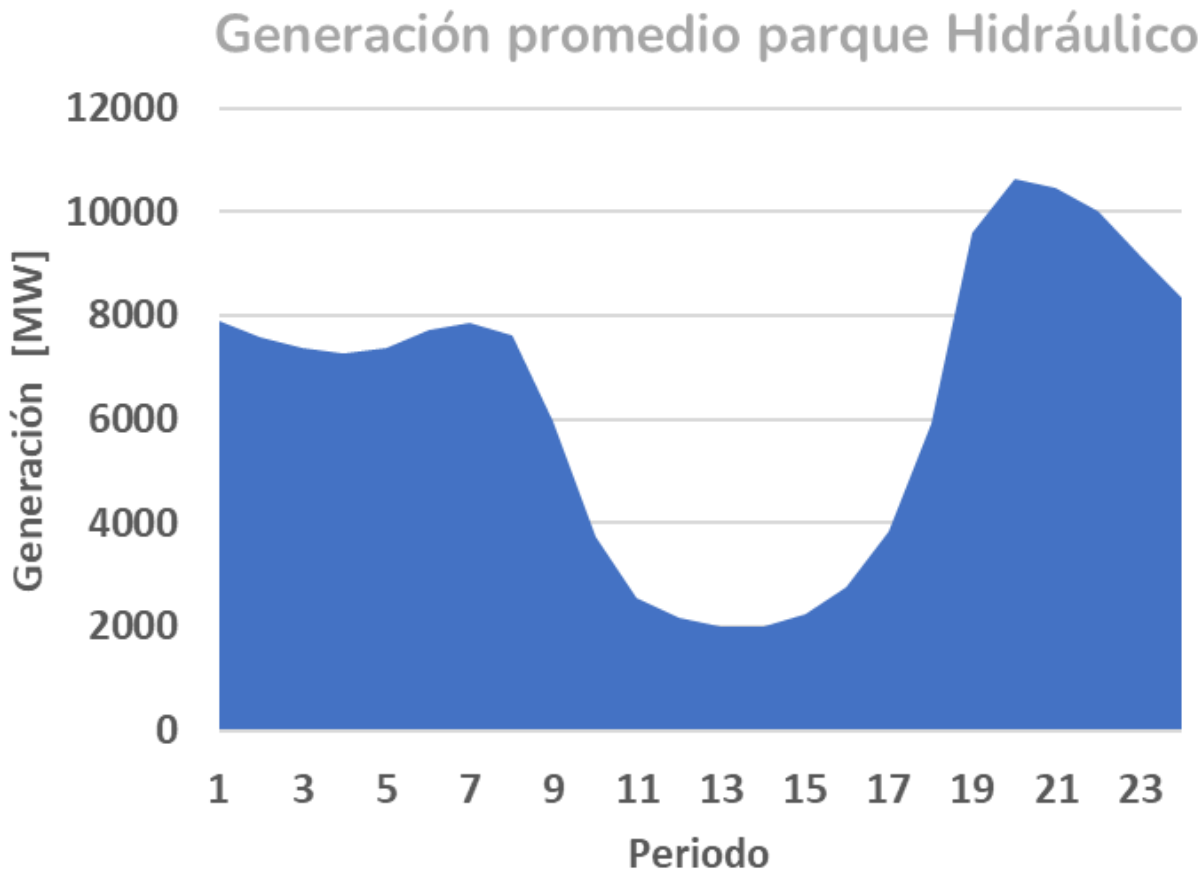
La disponibilidad y variabilidad del recurso primario se refleja en la demanda neta, la cual refleja **un patrón de “cañón”** que, sin las herramientas y flexibilidad del parque convencional adecuadas, puede generar riesgos para la operación estable y segura del sistema.



¿Qué tan flexibles lograremos ser?



Curvas de demanda neta



La generación hidráulica es la tecnología que brindará la flexibilidad requerida por el sistema para la incorporación masiva de FNCER, actuando como almacenador de energía en las horas de alta producción solar, y liberando esta energía en horas de demanda máxima y mínima. **Mantener la flexibilidad en la operación de los embalses es indispensable para minimizar riesgos en el abastecimiento seguro y confiable de la demanda.**





Brechas Flexibilidad por potencia



ATRIBUTOS

- Capacidad de Coordinación cambios en generación y rampas
- Capacidad de administrar desbalances y desviaciones
- Capacidad de coordinación de generación distribuida

RIESGO Falta de controlabilidad de la frecuencia (DNA y cortes de FERNC)

Brecha: Controlabilidad parque generador disperso y con menor disponibilidad de reservas individuales.

Acción:

- Automatización de las instrucciones operativas
- Disminución granularidad despacho.

Brecha: Desviaciones entre los programas horarios y la operación continua del sistema

Brecha: Incremento requerimiento reservas

Acción:

- Incentivos mejores pronósticos (demanda y generación)
- Automatización instrucciones operativas
- Mecanismos de balance tiempo real
- Despachos intradiarios

Brecha: Mayor velocidad y duración de las rampas de demanda neta

Acción:

- Control automático de generación
- Nuevos servicios auxiliares (rampas)
- Mercados en tiempo real con participación de la demanda y la generación

Brecha: Falta de observabilidad y predictibilidad de las desviaciones de las DER

Acción:

- Supervisión de las DER; coordinación DSO-CND; Agregadores y participación de DER en el mercado

Brecha: Cortes de producción por falta de flexibilidad.

Brecha: Impactos en la seguridad del sistema por incrementos de las DER

Acción:

- Flexibilizar el suministro de gas.
- Conservar flexibilidad del parque hidroeléctrico
- Flexibilización de mínimos operativos y fitosanitarios.
- Flexibilización parque térmico.
- Agregadores y participación de demanda.
- Almacenamiento a gran escala (arbitraje diario y aplanamiento de curva).
- Servicios complementarios y controlabilidad de las DER.

Hoy

»» 2GW

»» 4GW

»» 8GW

»» 11GW

»» 16GW

Crecimiento Generación Solar y Eólica

Garantizar la capacidad del sistema para ajustar rápidamente y de forma eficiente la producción o el consumo para mantener la estabilidad, la confiabilidad y economía en la operación

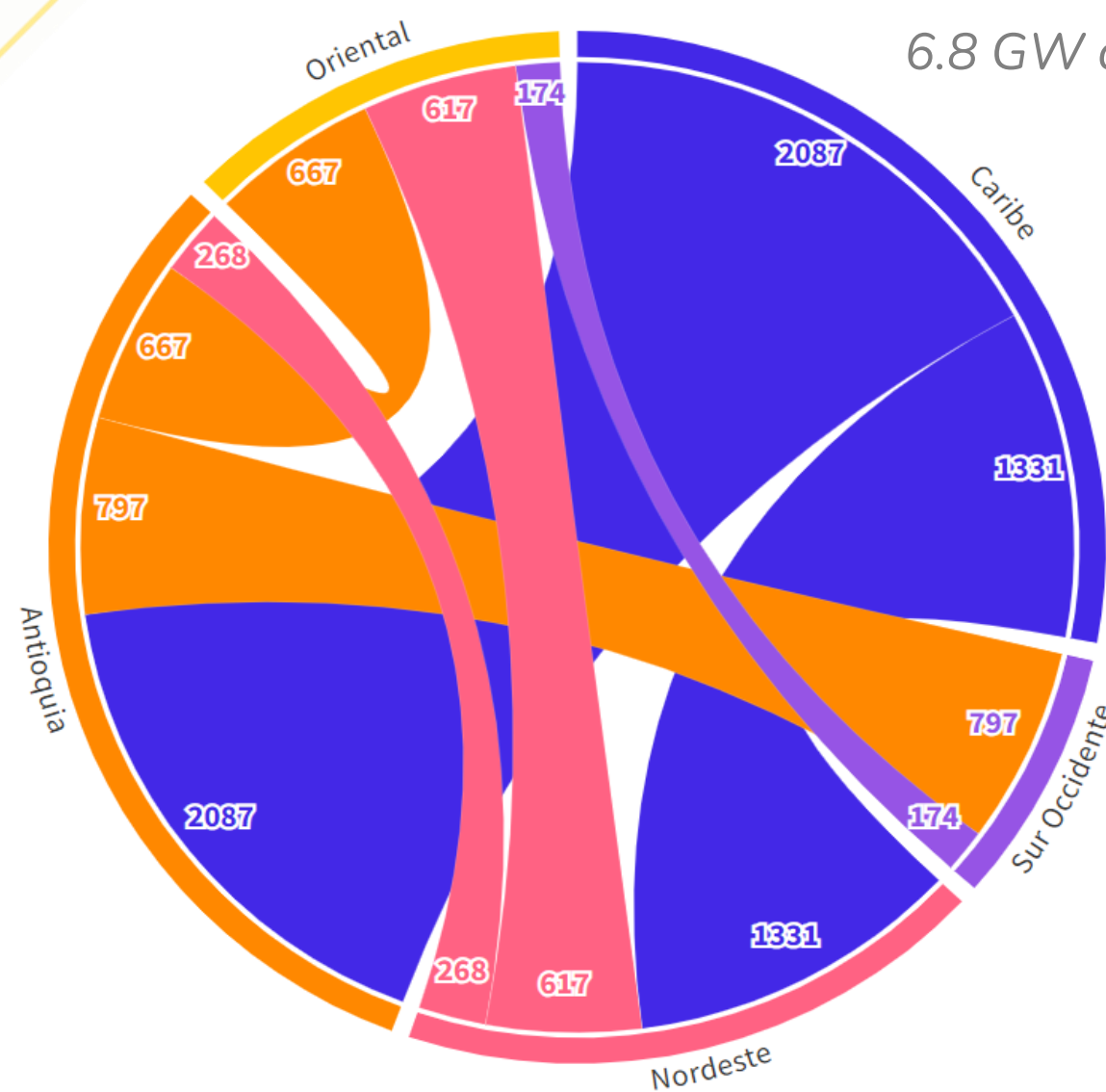


Capacidad de transporte

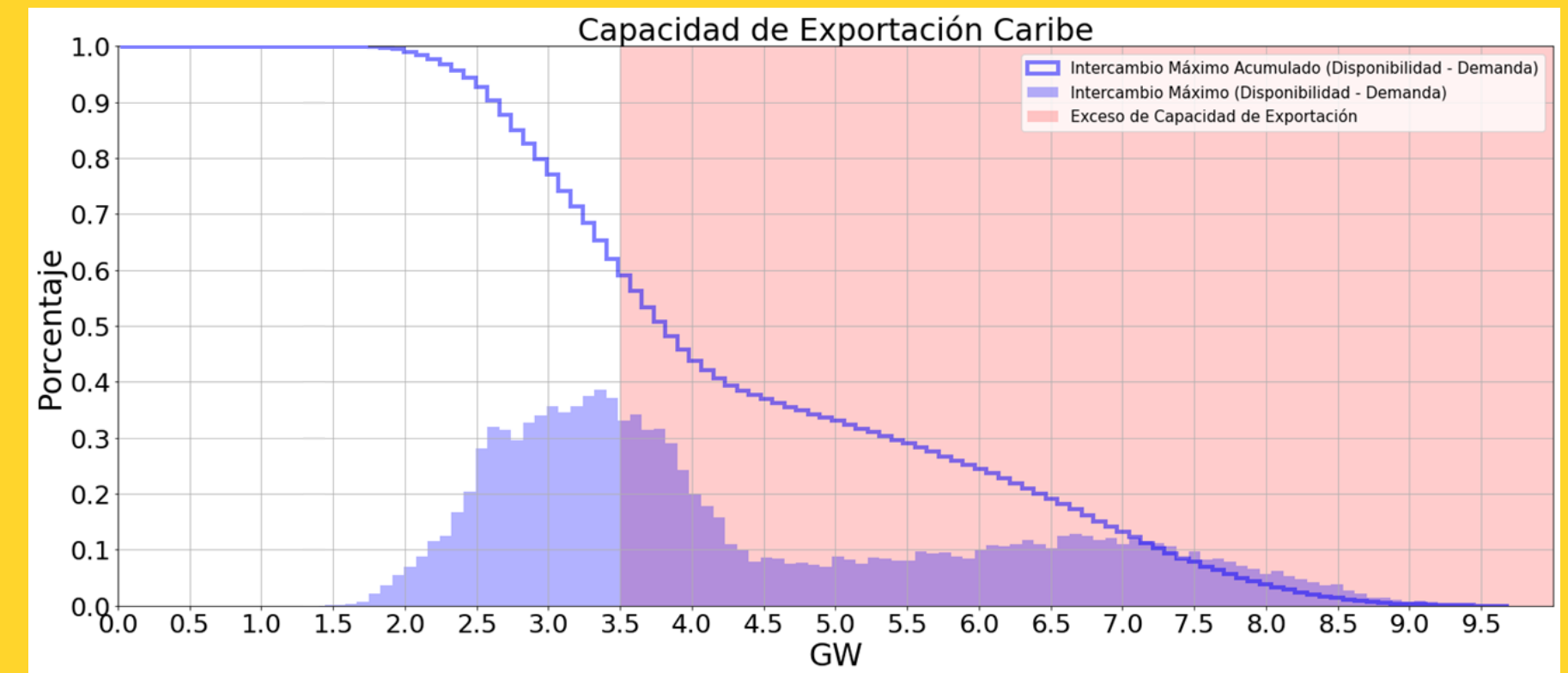
La red de transporte es un actor clave para el aprovechamiento eficiente de la matriz de generación, garantizar la entrada oportuna de proyectos de expansión, desplegar nuevas tecnologías, repotenciar la red existente y abordar las problemáticas asociadas al envejecimiento de la infraestructura y el aumento de los niveles de cortocircuito, resulta indispensable para incorporar 16 GW de generación renovable al sistema.

¿Tendremos las redes suficientes para llevar la energía a nuestros hogares?

Distribución de los intercambios [MW] por los cortes entre áreas [2030-02-16 HB]
6.8 GW de generación en caribe

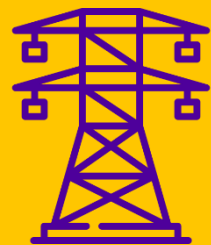


Para maximizar el uso de la red de 500 kV actual y futura, se requiere nueva infraestructura de red a niveles de 230 kV y STR.



Con el fin de lograr utilizar la capacidad de generación futura del área Caribe se requiere reforzar la infraestructura de transporte de exportación de dicha área y de importación de las demás áreas del SIN.





Brechas capacidad de transporte

ATRIBUTOS

- Capacidad de transporte
- Capacidad de administrar el Impacto de las desviaciones (seguridad)
- Mantenimientos seguros y confiables

RIESGO Vertimientos o DNA por insuficiente capacidad de transporte (cuellos de botella)

Brecha: Insuficiente capacidad de transporte (retrasos o falta de definición)

Acción:

- Materializaciónn proyectos de expansión
- Planeación de la expansión de largo plazo (> 20 Años)
- Optimización de la red (Repotenciación-SSSC-DLR)

Brecha: Controlabilidad de límites de seguridad

Acción:

- Incentivos a mejores pronósticos de demanda (por barra) y generación
- Incentivos para mejorar la observabilidad el sistema.

Brecha: Desviaciones por falta de coordinación DSO-TSO

Acción:

- Fortalecimiento de los SDL
- Definición del DSO y sus funciones de coordinación y control

Brecha: Atrapamientos por superación de soportabilidad frente a cortocircuitos en los equipos

Acción:

- Reconfiguración de la red, reposición de equipos, instalación de nuevas tecnologías.

Brecha: Capacidad para mantener la operación segura durante mantenimientos de la infraestructura de transporte

Acción:

- Incluir planeamiento N-1-1 en la expansión
- Incentivar mantenimientos preventivos
- Desincentivar los trabajos de oportunidad o emergencia.
- Incentivar los trabajos en caliente

Brecha: Resiliencia del sistema frente a apagones

Acción:

- Servicios de arranque en negro, nuevas tecnologías como grid forming, baterías etc.

Brecha: Atrapamientos por la Imposibilidad de desarrollar nuevos proyectos de expansión

Acción:

- Repotenciación de la infraestructura
- Migración a HVDC e Hibridación
- Repotenciación con Superconductores y otras aleaciones

Hoy

»» 2GW

»» 4GW

»» 8GW

»» 11GW

Crecimiento Generación Solar y Eólica

Una red de transporte Eficiente, Redundante y Adaptable que garantice que la electricidad producida pueda ser entregada de manera efectiva a los usuarios

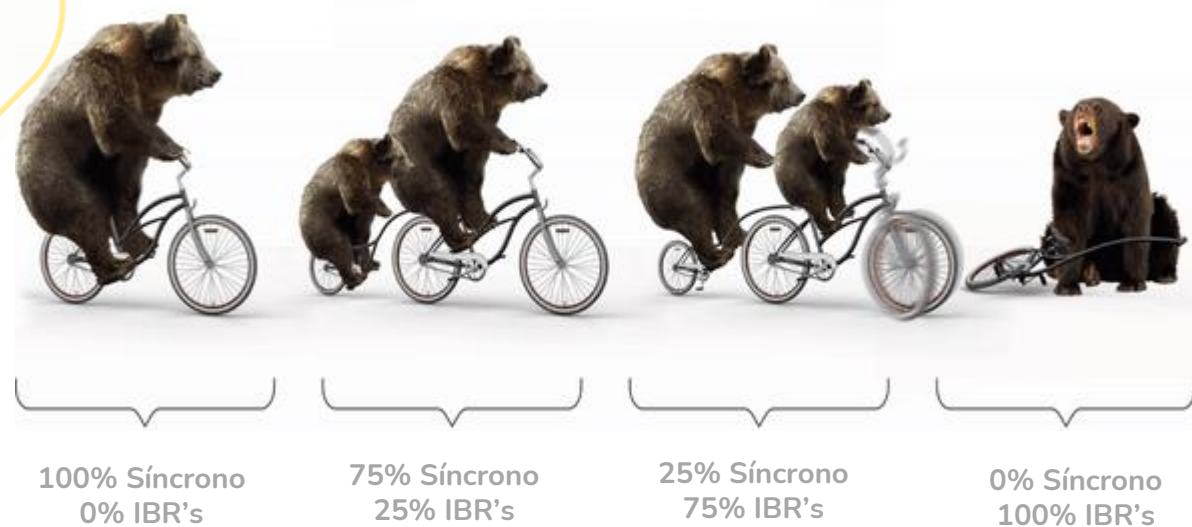


Calidad, seguridad y confiabilidad

La calidad seguridad y confiabilidad en la operación del sistema eléctrico con la incorporación de 16 GW de generación no síncrona, será posible en la medida que los déficits de fortaleza de red (aporte de corto circuito “real”), inercia y servicios de contención de la frecuencia sean abordados desde la regulación y la planeación de la expansión, y desplegadas las herramientas requeridas para mantener la operación estable en este escenario.



Déficit de corto circuito e inercia



Adaptada de : <https://www.youtube.com/@PowerSystemsOperation/videos>

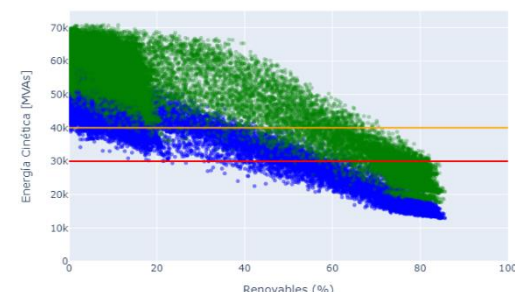
Inercia

Es la habilidad de los sistemas de potencia de oponerse a cambios en frecuencia.

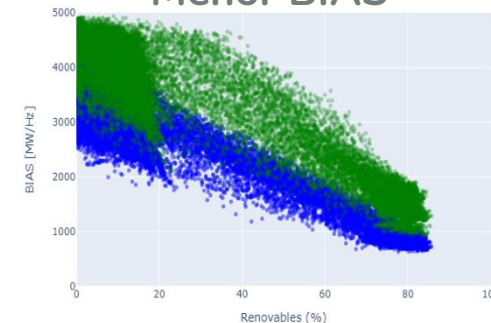
Corto Circuito

En la habilidad de los sistemas de potencia de mantener una forma de onda estable frente a perturbaciones

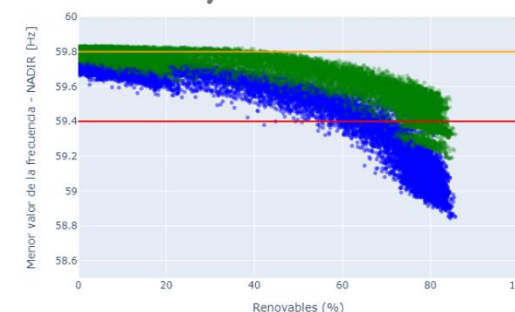
Menor Energía Cinética



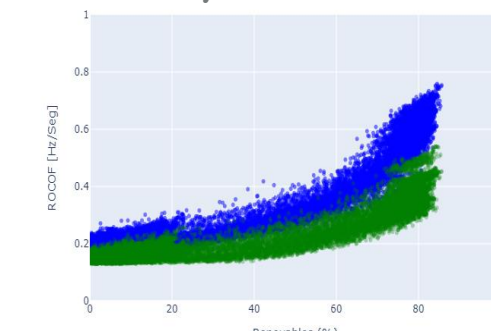
Menor BIAS



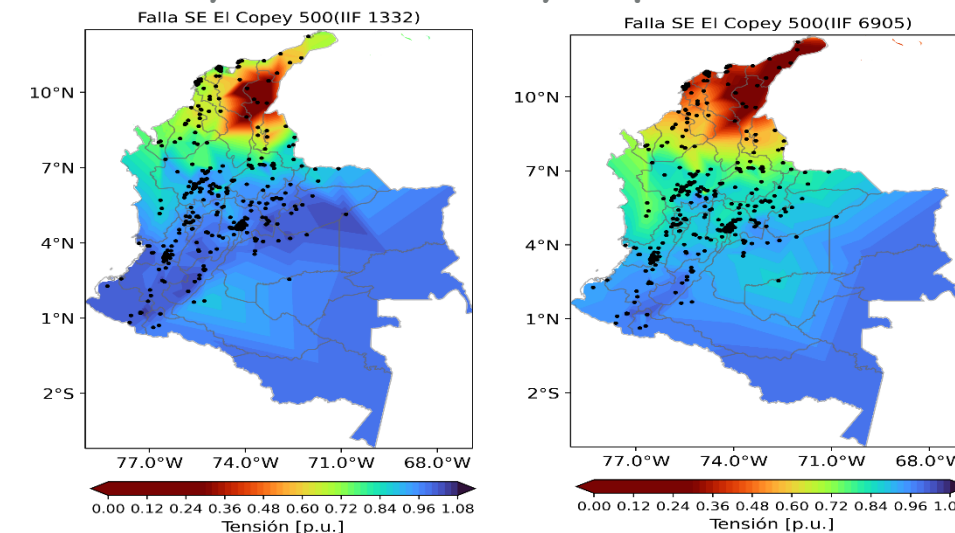
Mayor NADIR



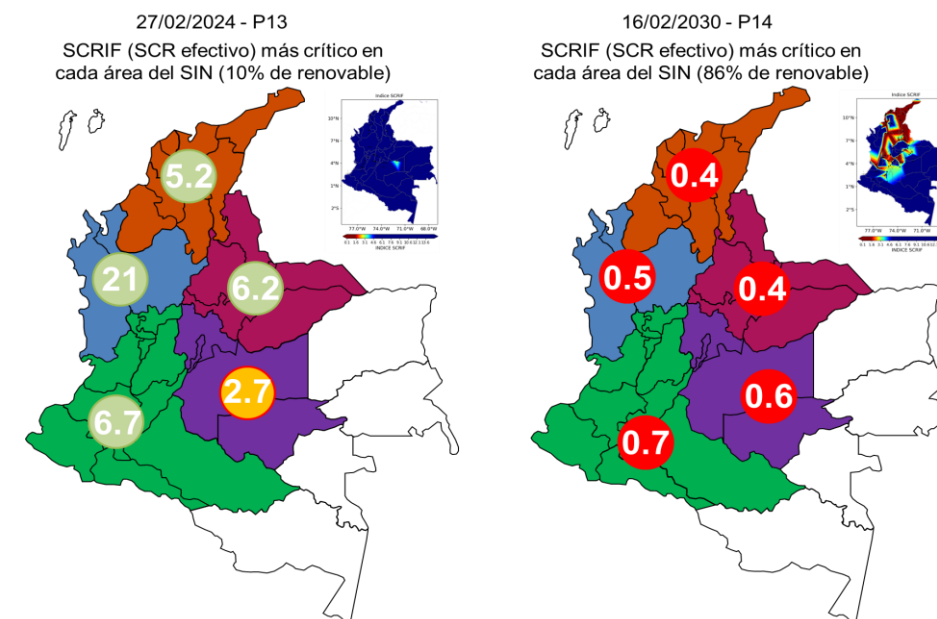
Mayor ROCOF



Mayor Profundidad y amplitud de fallas

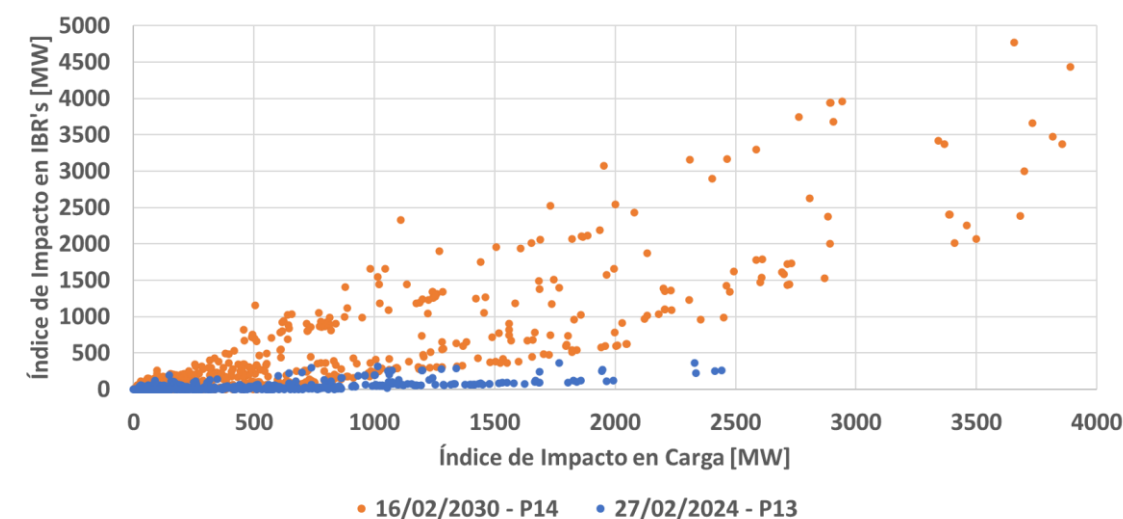


Menores índices de fortaleza

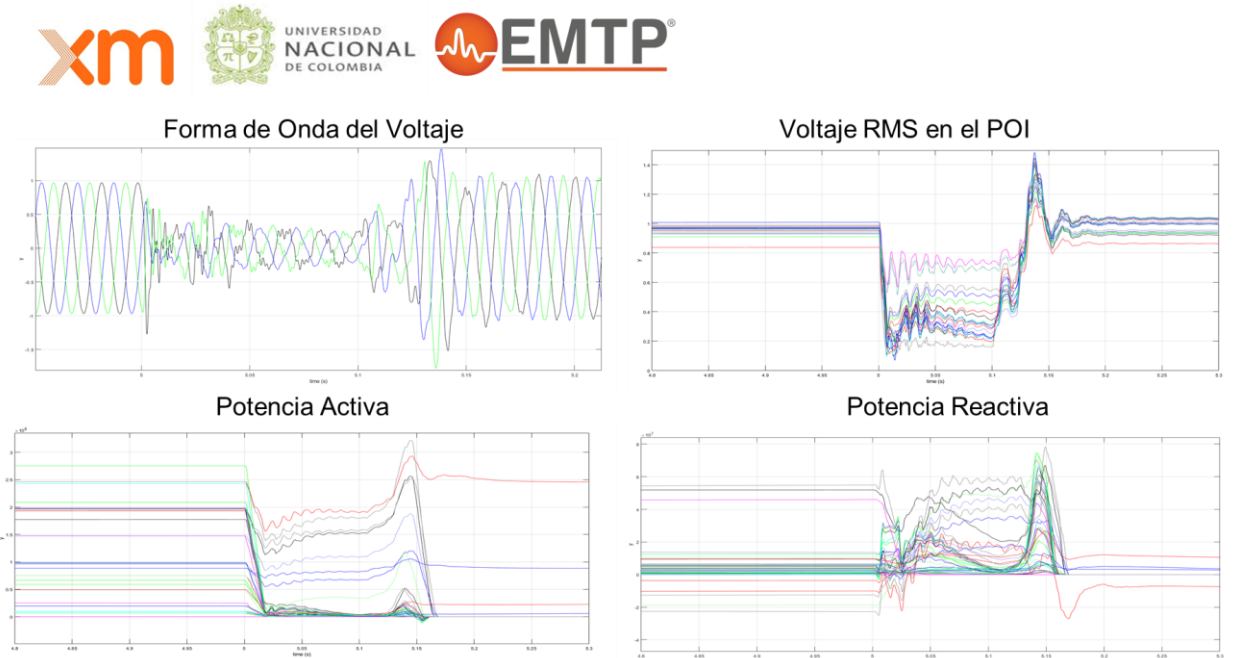


Mayor impacto de fallas en cargas y Generación

Componentes de la métricas de IIF



Desconexión masiva de inversores frente a contingencias



Es preciso anticiparse y definir planes de trabajo interinstitucionales articulados para la implementación de las medidas y equipos requeridos para lograr una incorporación exitosa de las nuevas fuentes de generación, dado que se observa una disminución de los niveles de fortaleza del sistema, con posibles afectaciones a la capacidad de este para mantener la calidad y confiabilidad en la atención de la demanda.





Calidad, seguridad y confiabilidad

ATRIBUTOS

- Inercia real
- Regulación primaria
- Fortaleza de red, aporte de Corto Circuito real
- Resiliencia y restablecimiento

RIESGO Cortes de producción y DNA por inestabilidad del sistema o deterioro de los estándares de calidad y confiabilidad en el suministro de la energía

Brecha: Inestabilidad del sistema por bajos niveles de fortaleza de red

Brecha: desconexiones e Inestabilidad (FIDVR) de la demanda frente a huecos de tensión

Acción:

- Fortalecer requisitos técnicos asociados a las FERNC (sincronización, soportabilidad, aporte rápido de corriente reactiva)
- Definir mínimos niveles de fortaleza para la operación de la red y requisitos de los nuevos elementos conectados al sistema.
- Establecer requisitos prestación servicio Aporte de Corto Circuito Real y desplegar soluciones en áreas críticas.

Brecha: Reducción capacidad regulación de frecuencia

Acción:

- Habilitar la presentación del servicio de regulación primaria de frecuencia en FERNC

Brecha: Inercia insuficiente para soporte de la frecuencia y la estabilidad el sistema

Acción:

- Establecer mínimos de inercia.
- Definir criterios técnicos para operación con bajos niveles de inercia.

Brecha: Insuficiencia del EDAC por pérdida de inercia

Brecha: Desconexiones masiva de DER ante eventos en el SIN

Acción:

- Modernizar el EDAC (DER)
- Definir criterios técnicos asociados a las desconexiones de carga y la operación en modo Isla de las DER.

Brecha: Insuficiente soportabilidad de la frecuencia (NADIR y ROCOF)

Acción:

- Establecer criterios técnicos de soportabilidad ante ROCOF
- Establecer respuesta rápida en frecuencia a todas las tecnologías.
- Servicios de desconexión rápida de demanda

Brecha: Sistemas de protección no adecuados

Acción:

- Protecciones diferenciales redundantes en el STN-STR.
- Despeje de fallas en tiempos cercanos a 3- 4 ciclos en el STN y STR.

Brecha: Insuficiente predictibilidad de problemas de inestabilidad el sistema por falta de modelos adecuados.

Acción:

- Requisito de estudios de conexión EMT para los promotores
- Regulación de Modelos EMT y RMS de detalle

Hoy

» 2GW

» 4GW

» 8GW

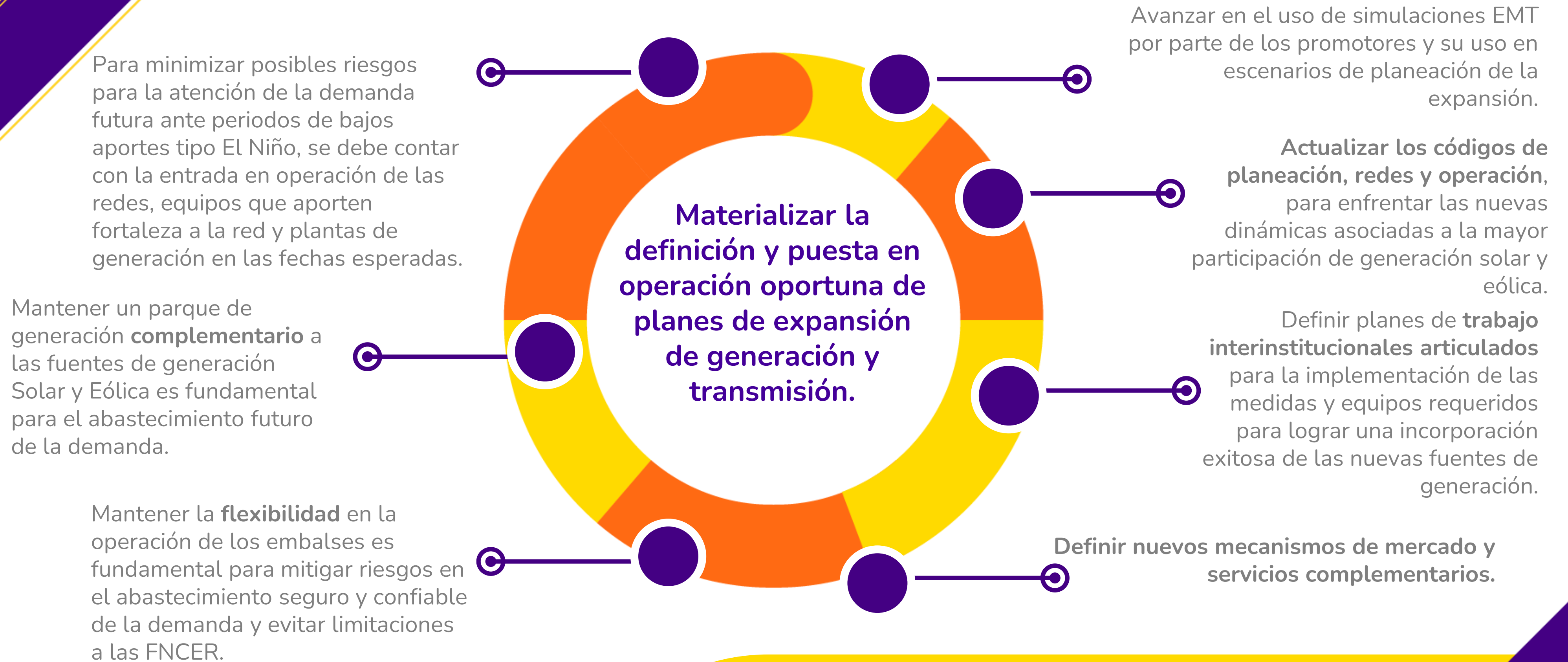
» 11GW

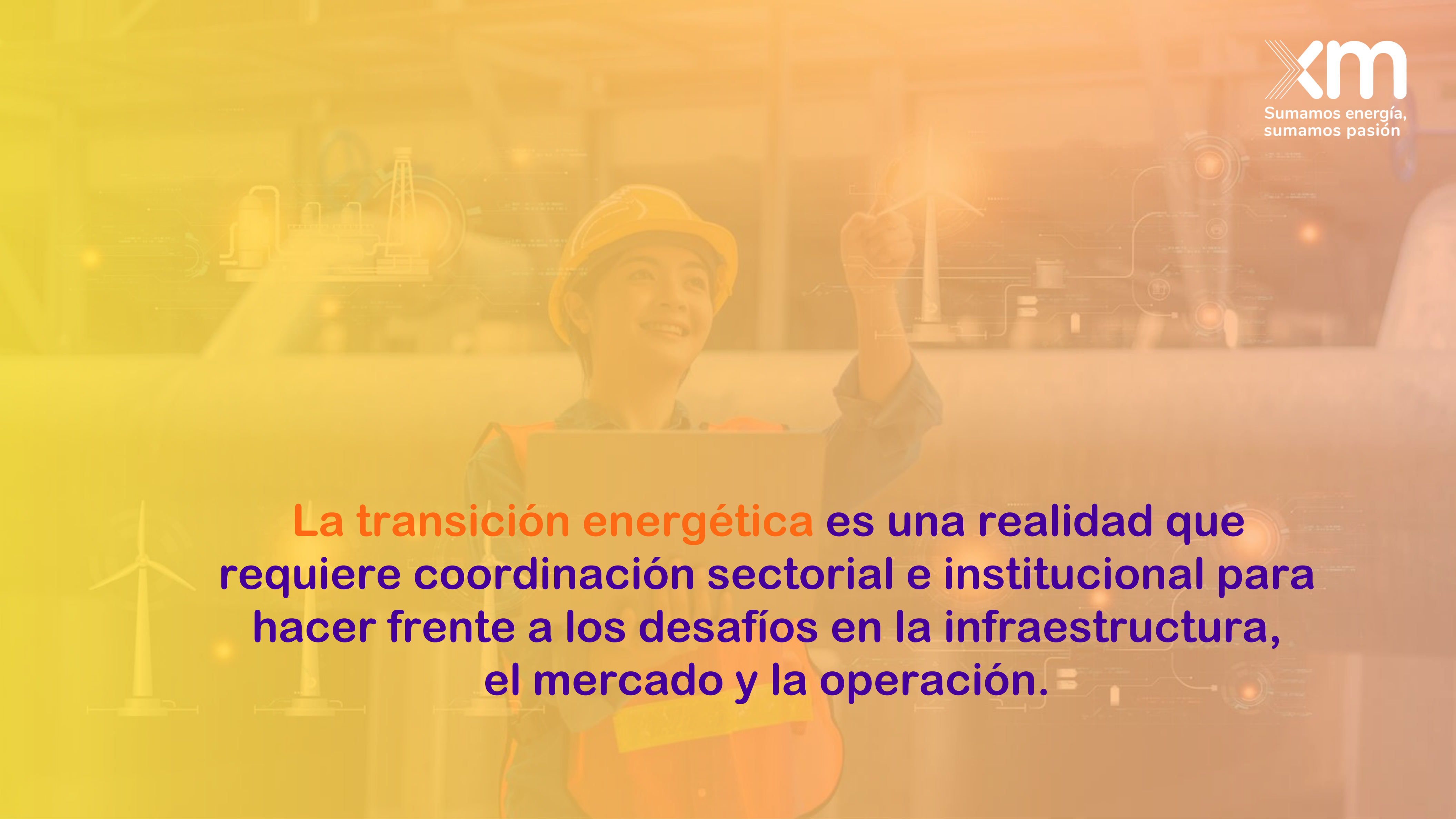
Crecimiento Generación Solar y Eólica

Mantener las luces encendidas en todo lugar y en todo momento, en condición normal y frente a la ocurrencia fallas en la infraestructura manteniendo los estándares de calidad en el suministro



Aspectos clave para la transición





La transición energética es una realidad que requiere coordinación sectorial e institucional para hacer frente a los desafíos en la infraestructura, el mercado y la operación.



Sumamos **energía,**
sumamos **pasión**