



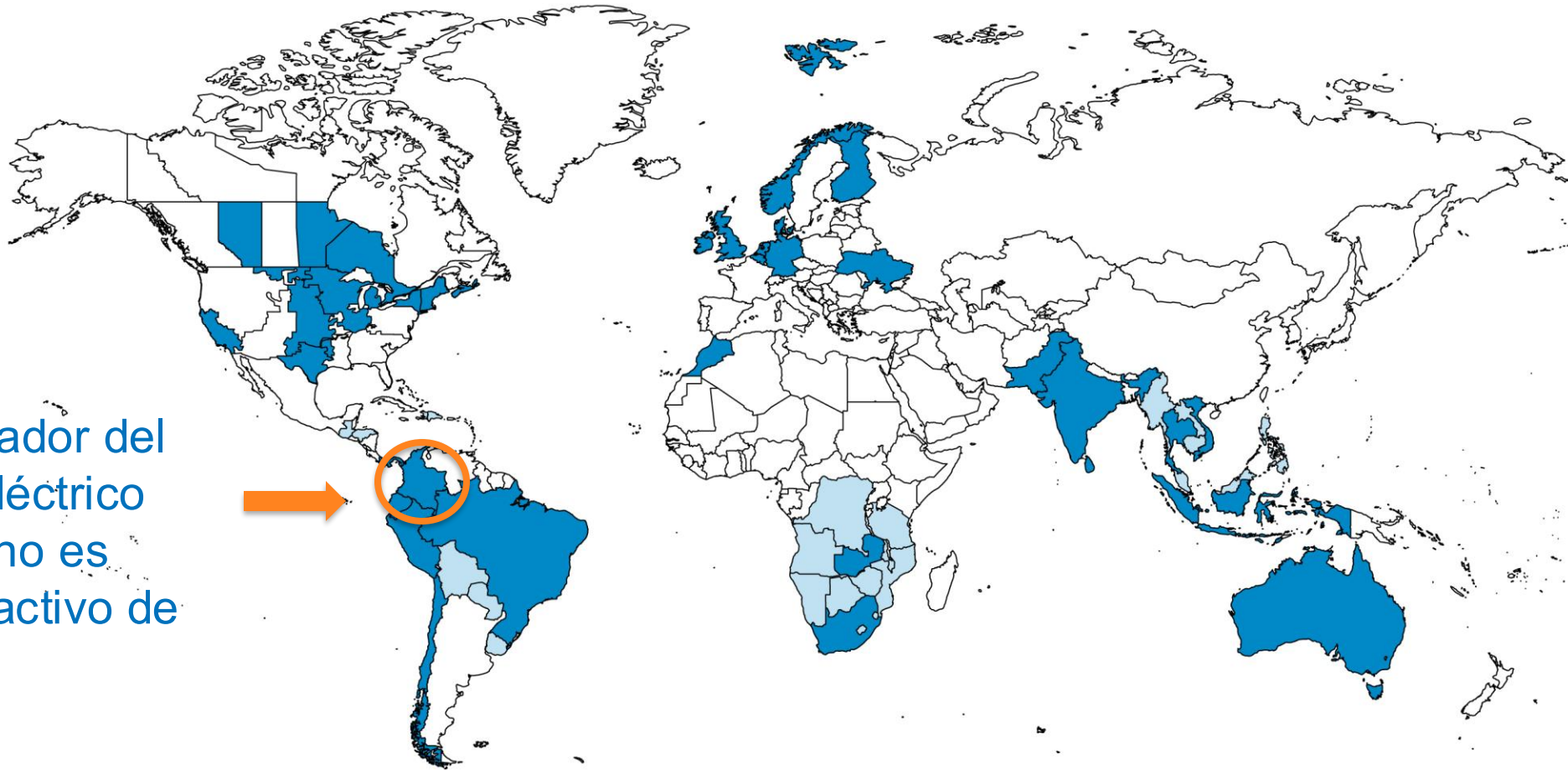
Preparación del Sistema Interconectado Nacional para la Incorporación de Generación Basada en Inversores

Congreso de Energía MEM 2025

Ph.D. Lina Ramirez - Director G-PST System Operator Partnership

Global Power System Transformation Consortium (G-PST)

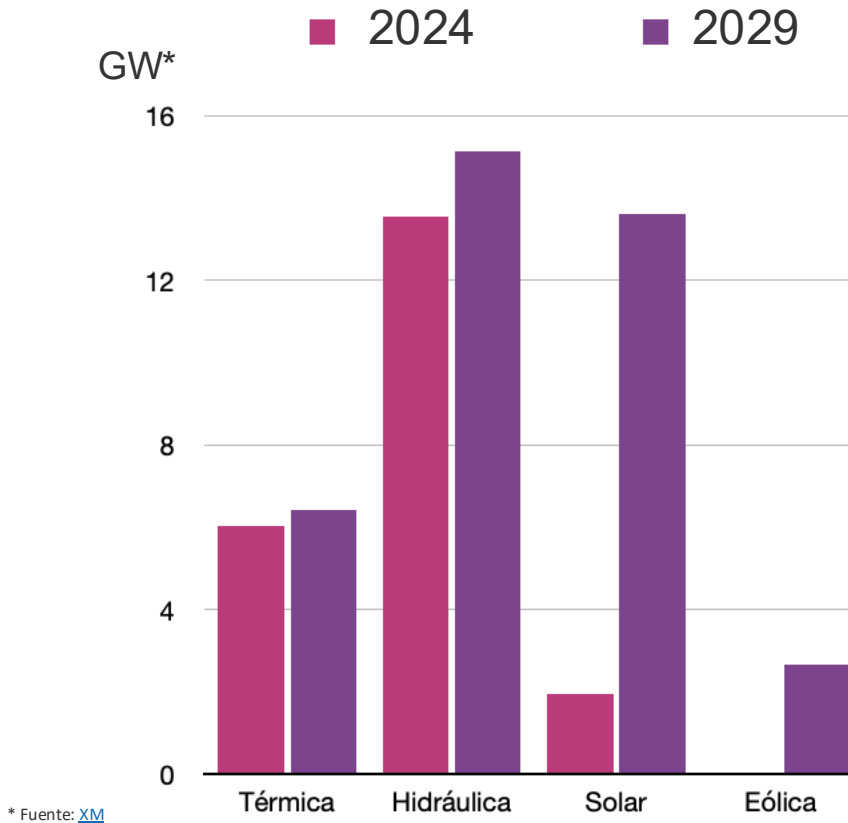
XM, Operador del
sistema eléctrico
Colombiano es
miembro activo de
G-PST



Los participantes activos de G-PST representan el
30% de la generación mundial de electricidad

Los operadores de sistemas de energía tienen el papel vital de administrar los sistemas de energía y evolucionar constantemente, afrontando nuevos desafíos a medida que surgen.

G-PST desarrolló un marco para guiar a los operadores de sistemas en la priorización de las necesidades de alto impacto para lograr los objetivos de descarbonización, particularmente en lo que respecta al despliegue de recursos basados en inversores



* Fuente: XM

Cambios en la Matriz de Generación del Sistema Colombiano*
2024: 21.5 GW
2029: 37.8 GW

En el Sistema Colombiano se espera a 2029:

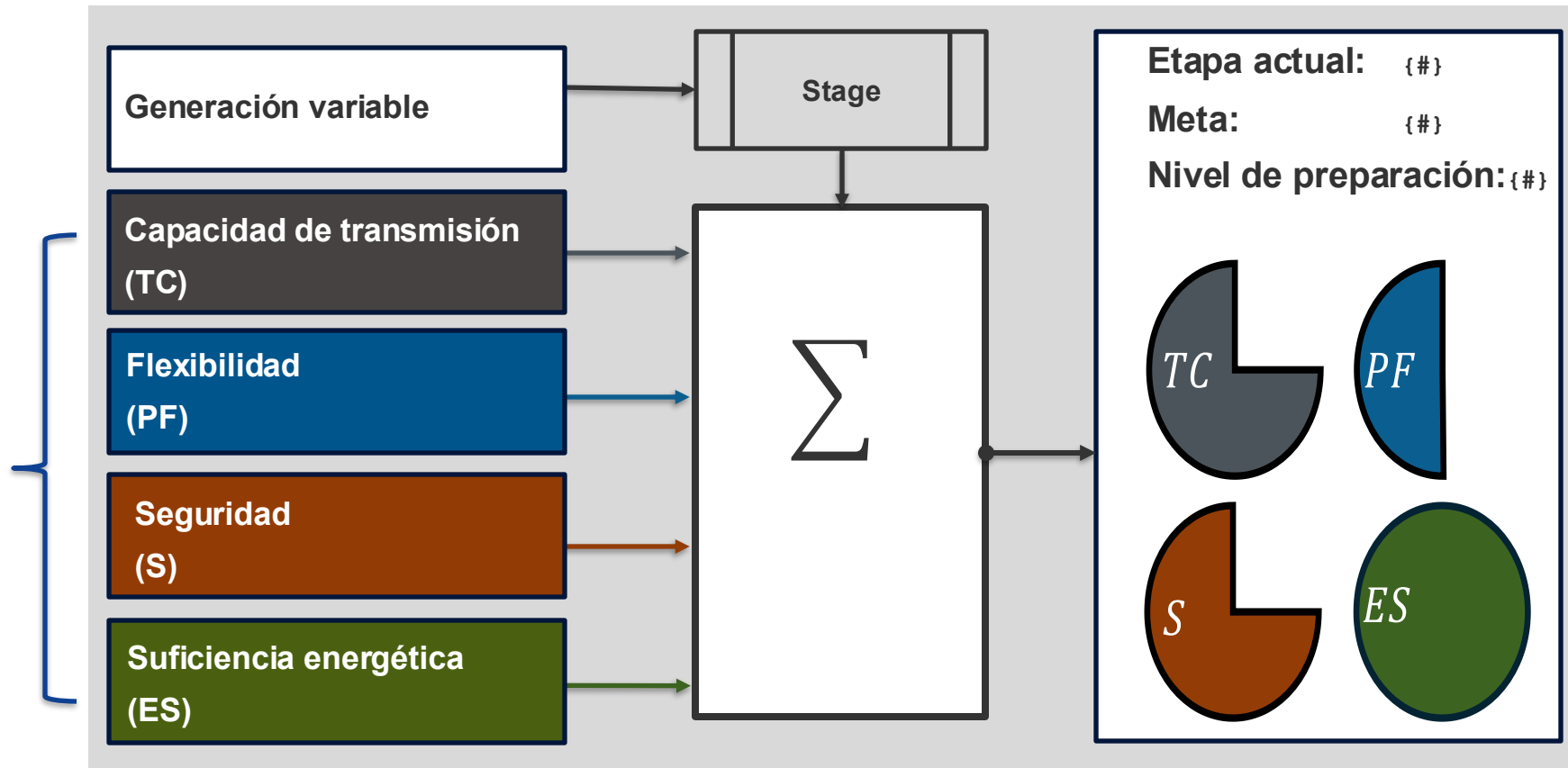
- 14 GW de generación basada en inversores, lo que equivale a un 43% de los recursos esperados.
- 9.5 GW de la generación basada en inversores se concentra en el área caribe
- 4 GW de la generación basada en inversores se concentra en la subárea GCM

XM afronta grandes retos para la integración de generación basada en inversores lo cual requiere cambios a nivel sectorial para lograr un abastecimiento seguro y confiable de la demanda, como se detalla en su estudio de Flexibilidad*

G-PST desarrolla las soluciones críticas para acelerar la transición energética



El estudio de flexibilidad de XM cubre estas características



Marco de preparación para la incorporación de IBRs

Características que tienen como objetivo capturar los impulsores de los cambios en la operación de los sistemas eléctricos:

- Generación variable
- Capacidad de transmisión
- Flexibilidad de energía
- Seguridad del sistema
- Suficiencia energética

Marco de preparación para la incorporación de IBRs

Capacidad de transmisión

- Se refiere a la capacidad de transportar energía a través de todo el sistema manteniendo la confiabilidad, la seguridad y la economía.
N-1, Regímenes Especiales de Protección, etc.

Conexiones internacionales
Conexiones regionales

Flexibilidad

- Se refiere a la capacidad del sistema para mantener el equilibrio generación-demanda en diferentes escenarios garantizando la estabilidad de frecuencia y la operación confiable.

Capacidad de rampas
DER

Seguridad

- Se refiere a la capacidad del sistema para proporcionar potencia activa y reactiva en diferentes marcos de tiempo, para evitar inestabilidades locales o sistémicas o violaciones de los niveles seguros de voltaje, frecuencia y calidad de energía.

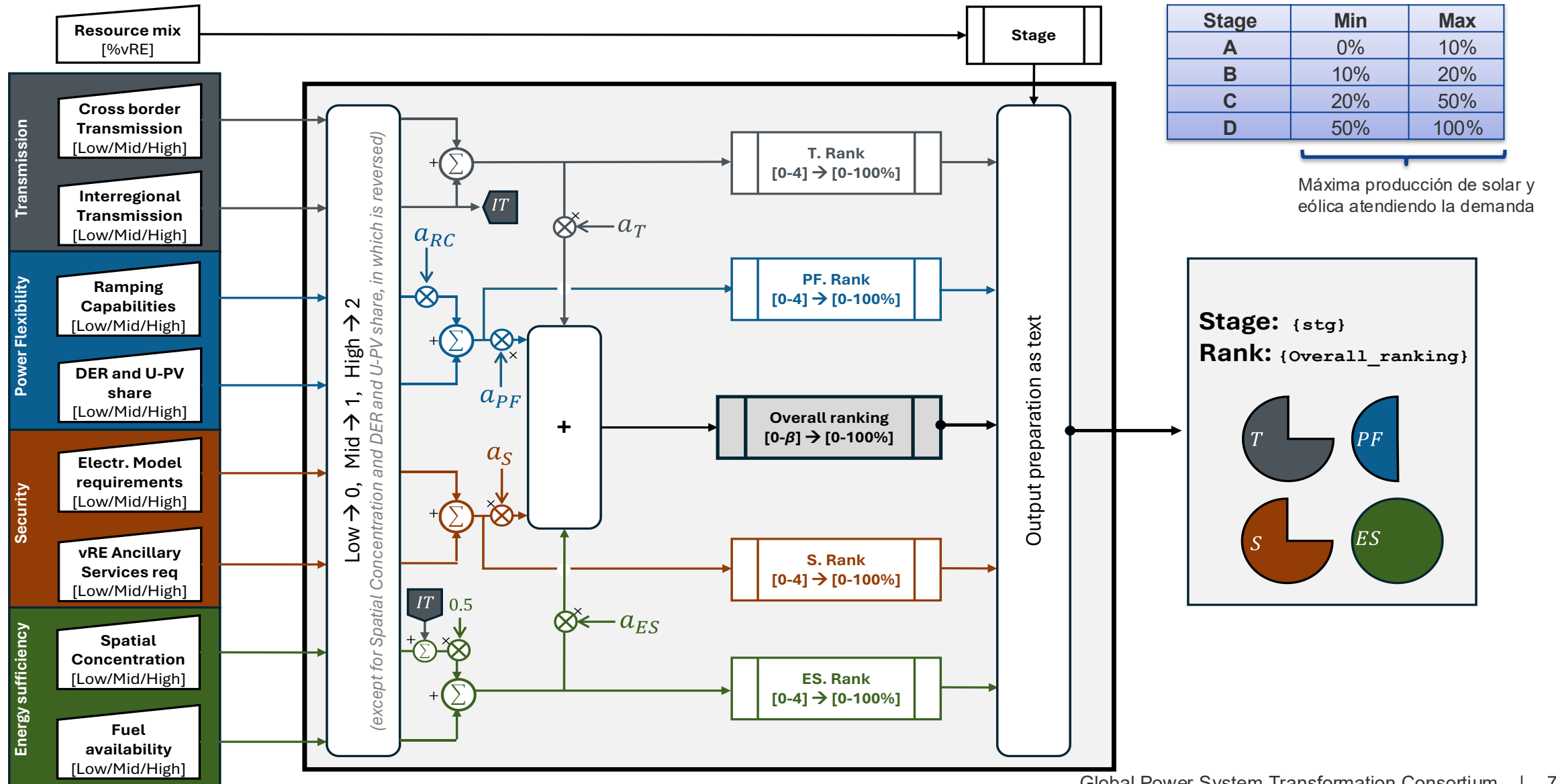
Modelos electricos
Servicios complementarios

Suficiencia energética

- Se refiere a la capacidad del sistema para asegurar el suministro futuro de electricidad a medio y largo plazo.: almacenamiento, combustibles, mantenimientos.

Concentracion espacial
Recursos convencionales

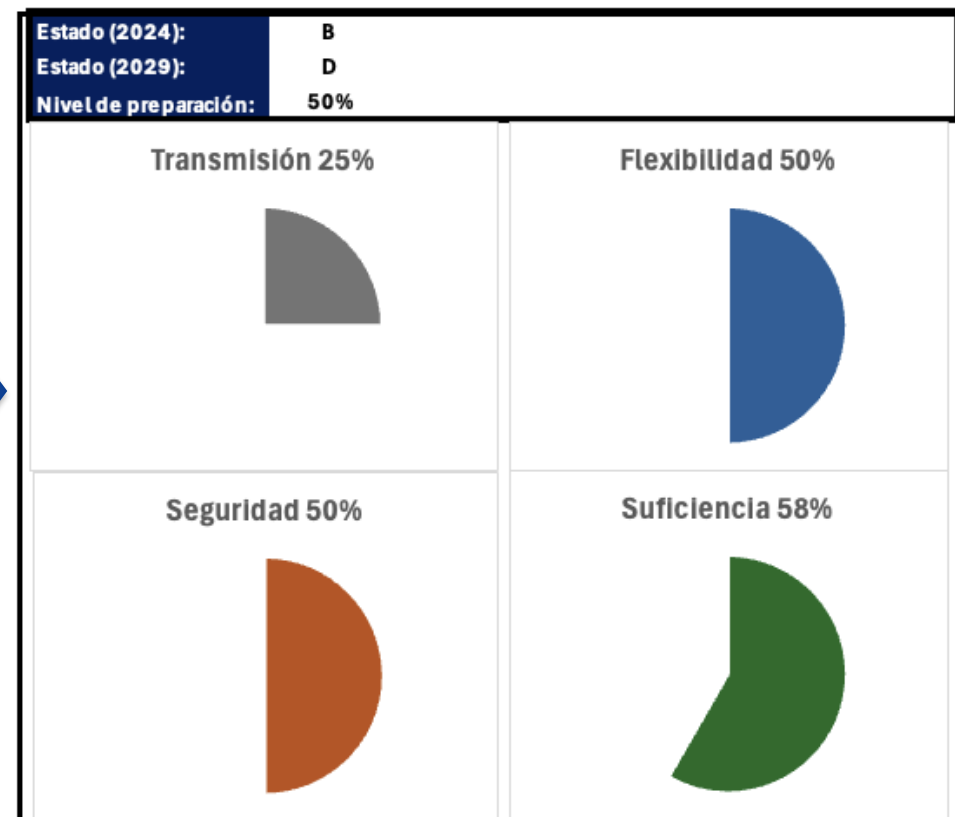
Marco de preparación para la incorporación de IBRs



Caso Colombia usando datos públicos

Utilizando los datos públicos (Estudio de Flexibilidad XM 2024)*

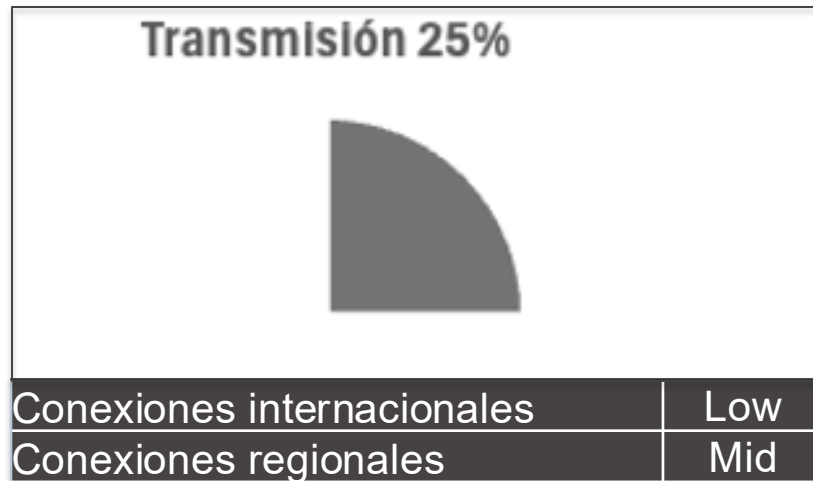
Maxima producción Solar - Eólica cubriendo demanda (2024)	13%
Conexiones internacionales	Low
Conexiones regionales	Mid
Capacidad de rampas	Mid
DER	Mid
Modelos electricos	Mid
Servicios complementarios	Mid
Concentracion espacial	High
Disponibilidad de recursos convencionales	Mid
Maxima produccion Solar - Eolica cubriendo demanda (2029)	85%



* Fuente: [XM](#)

Capacidad de Transmisión

Utilizando los datos públicos
(Estudio de Flexibilidad XM 2024)*



Datos públicos (Estudio de Flexibilidad XM 2024)*

Insuficiente capacidad de transporte (retrasos o falta de definición)

Atrapamientos por superación de soportabilidad frente a cortocircuitos en los equipos

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

Atrapamientos por la Imposibilidad de desarrollar nuevos proyectos de expansión

* Fuente: [XM](#)

Capacidad de Transmisión - Preparación al 100%

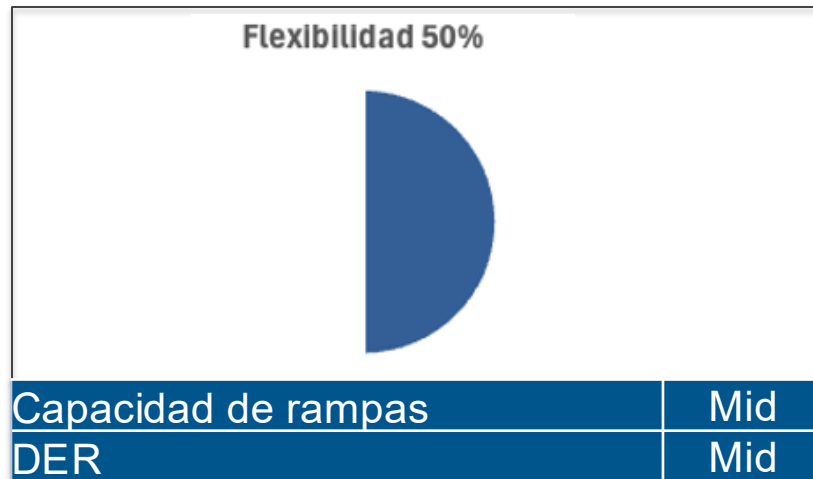
Hay pocos casos de cortes de generación renovable (menos de X%/año) causados para evitar violaciones térmicas de las líneas de transmisión según los escenarios de planificación.

Todas las áreas eléctricas están fuertemente interconectadas.

Existen interconexiones con otros sistemas y son suficientes para proporcionar apoyo en forma de servicios auxiliares o importaciones/exportaciones de energía.

Flexibilidad

Utilizando los datos públicos
(Estudio de Flexibilidad XM 2024)*



Datos públicos (Estudio de Flexibilidad XM 2024)*

Cortes de producción por falta de flexibilidad

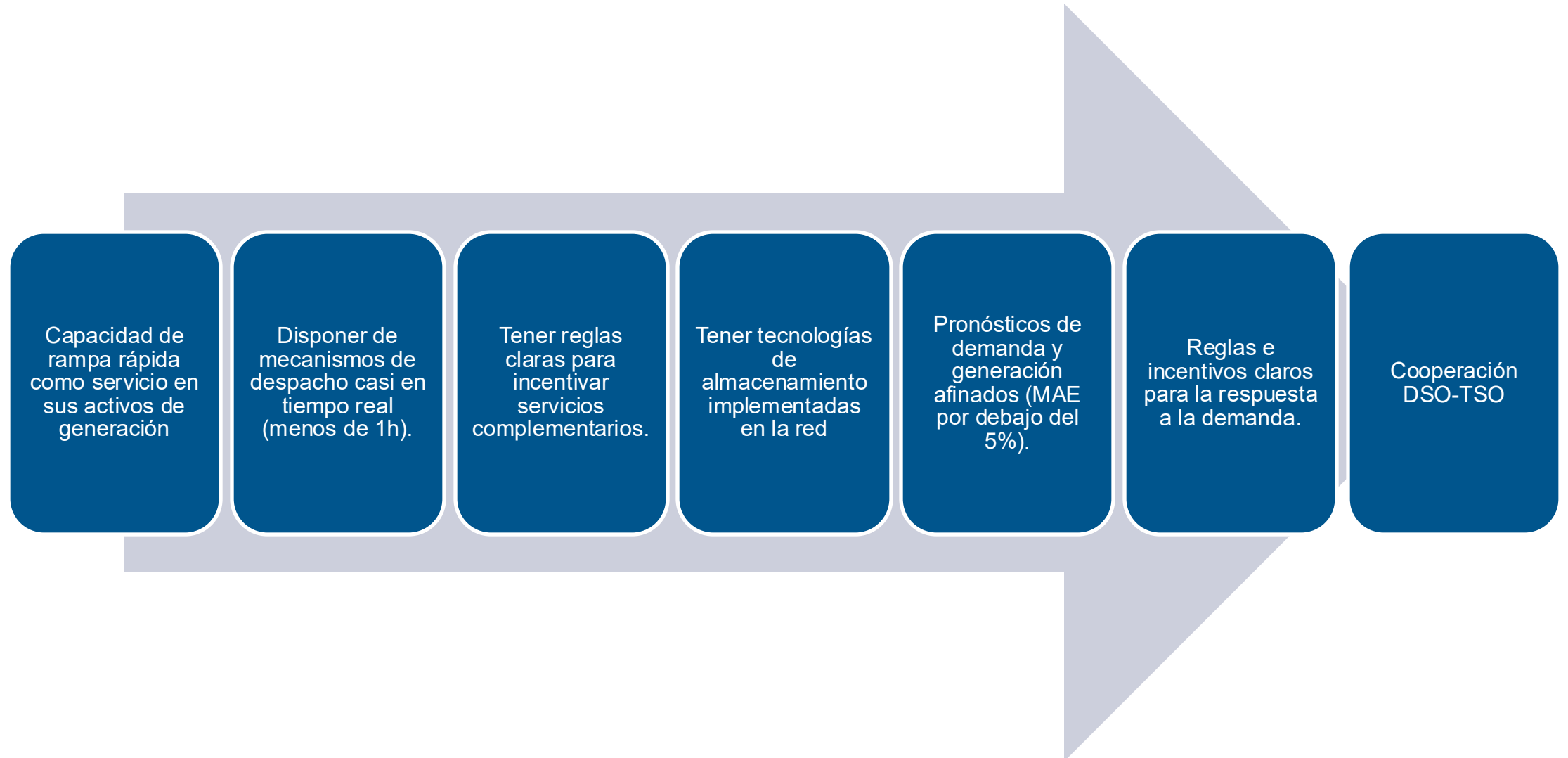
Mayor velocidad y duración de las rampas de demanda neta

Incremento de los requerimientos de balance y reservas (desbalances, desviaciones)

Falta de observabilidad y predictibilidad de las desviaciones de las DER

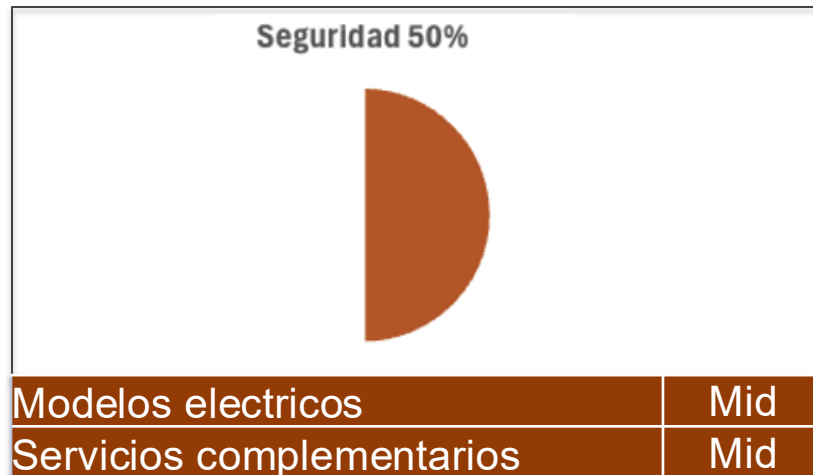
* Fuente: [XM](#)

Flexibilidad- Preparación al 100%



Seguridad

Utilizando los datos públicos
(Estudio de Flexibilidad XM 2024)*



Datos públicos (Estudio de Flexibilidad XM 2024)*

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

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

Inestabilidad del sistema por bajos niveles de fortaleza de red

Reducción de la capacidad de regulación de frecuencia

Insuficiente soportabilidad de la frecuencia (NADIR y ROCOF)

Desconexiones masiva de DER frente eventos en el sistema

* Fuente: [XM](#)

Seguridad- Preparación al 100%

Modelo eléctrico sólido para simulaciones de EMT, RMS y flujo de carga.

Personal altamente capacitado en modelación eléctrica, energética y de mercado

Disponer de técnicas avanzadas de monitorización del 100% del sistema de potencia

Tener la capacidad de encontrar fuentes de oscilaciones y evitar que ocurran.

Tener reglas claras para despachar servicios como inercia, fortaleza de red, potencia activa y reactiva en diferentes rangos de tiempo y otros servicios relacionados con la estabilidad del sistema.

Los IBRs conectadas al nivel de transmisión y distribución pueden proporcionar servicios auxiliares para la contención de frecuencia y la estabilidad de voltaje

Tener métodos sólidos para evaluar la participación adecuada de cada recurso en el sistema a los servicios auxiliares.

Implemente GFM IBR
Los DSO actúan como un operador activo del sistema y tienen un modelo eléctrico de su red de baja tensión para realizar simulaciones de confiabilidad y estabilidad.

Los DSO verifican que los DER cumplan con las regulaciones relacionadas con el voltaje y la frecuencia, Ride Through y otros.

Los DSO realizan acciones de monitoreo y control en sus sistemas de distribución

Emplea un enfoque sistemático de la vigilancia tecnológica particularmente en el contexto de tecnologías emergentes como GFM IBR, FACTS, GET y otras, y adaptar estrategias para garantizar la estabilidad del sistema a largo plazo.

Suficiencia

Utilizando los datos públicos
(Estudio de Flexibilidad XM 2024)*



Datos públicos (Estudio de Flexibilidad XM 2024)*

9.5 GW de la generación basada en inversores se concentra en el área caribe

Insuficiente predictibilidad del recurso solar, eólico e hídrico

No entrada oportuna de proyectos de generación y transmission

Vulnerabilidad de recursos frente a eventos meteorológicos (fenómenos del Niño y la Niña, tormentas tropicales, huracanes, fenómenos estacionales, etc)

Dependencia de plantas de generación con combustibles fósiles en algunas zonas del país

Insuficiente complementariedad de la matriz eléctrica

* Fuente: [XM](#)

Suficiencia- Preparación al 100%

La disponibilidad de combustible convencional (agua, gas, carbón, nuclear) se pronostica con precisión en períodos a largo plazo.

La energía eólica y la solar se pronostican en períodos de corto plazo (menos de 24h) con MAE < 5%.

La demanda se pronostica a corto plazo (menos de 24h) con MAE < 5% y a medio plazo (menos de 10 días) con MAE < 10%.

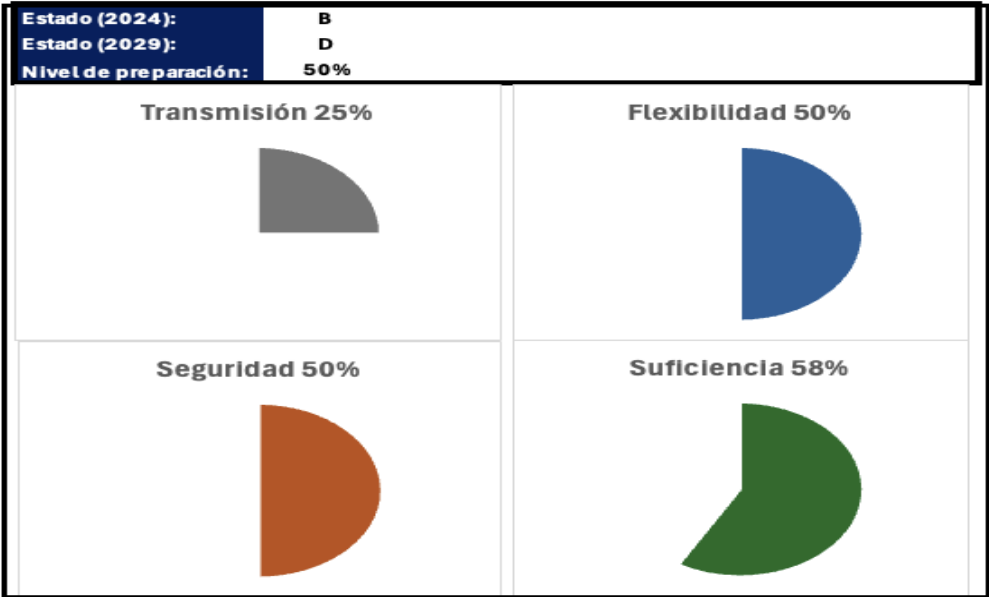
Las previsiones de demanda a largo plazo (más de 10 días) tienen un intervalo de confianza de +/- 10% en torno a la demanda máxima prevista. Esto incluye la electrificación del transporte y los edificios del sistema.

La forma más predominante de generación convencional (no IBR) tiene un suministro esperado alto garantizado.

Preparación del Sistema Colombiano necesario a 2029

Seguridades	Indicadores estudio de flexibilidad		2019	2021-I	2021-II	2022-I	2024-1
			2 GW	4.4 GW	8.2 GW	11 GW	16.2 GW
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

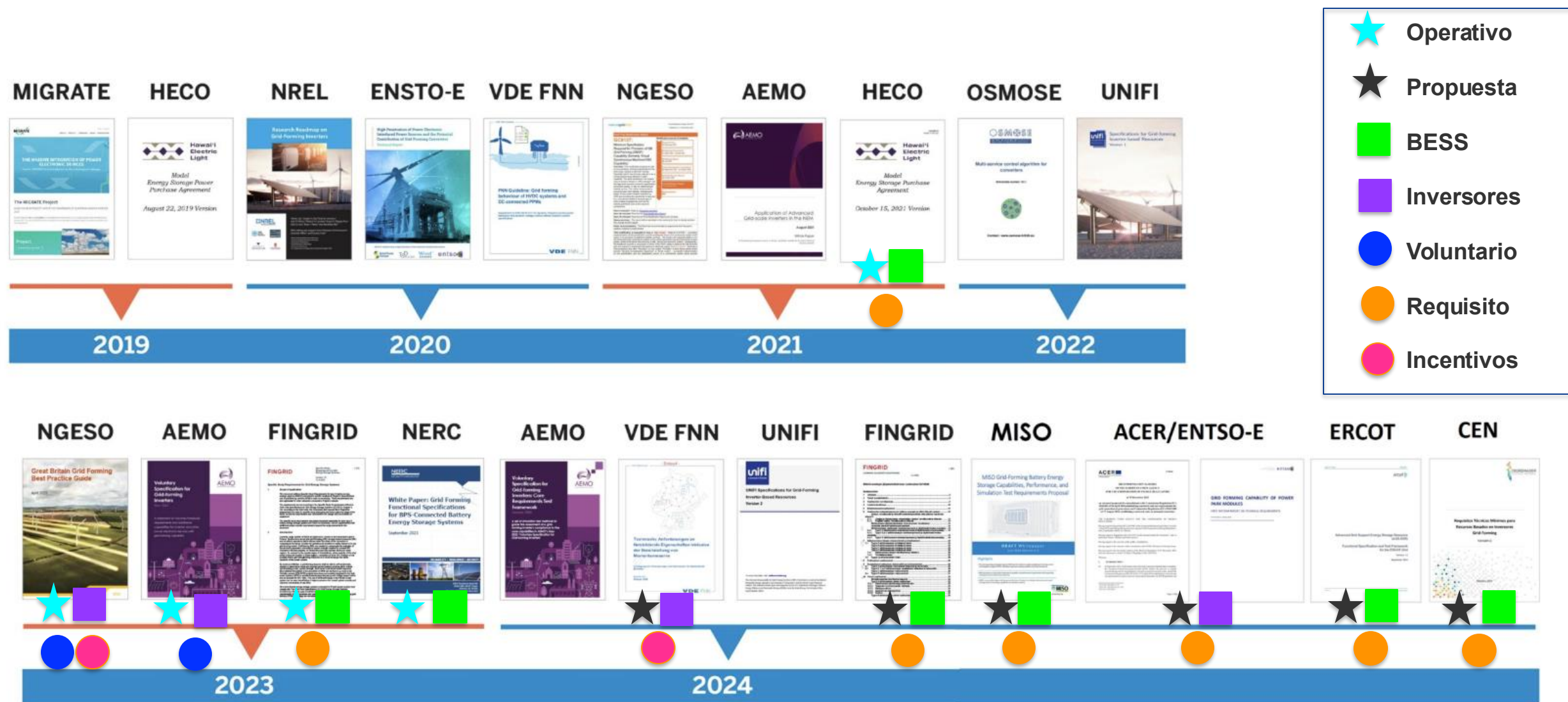


Nivel de preparación del SIN para afrontar los retos a 2029 según G-PST es del 50%

XM realiza un estudio de flexibilidad alineado con el framework de G-PST definiendo riegos y acciones claras a realizar para preparar el sistema a 2029

Se requiere una cooperación de todas las entidades del sector para mitigar los riesgos y preparar el sistema para 2029

Se requiere seguir trabajando a nivel sectorial para integrar soluciones avanzadas como GFM, GETs, etc.



Fuente: [ESIG](#)

Servicios de sistemas de almacenamiento de energía GFM

GFM en Operación

- 5.2 GW de GFM en operación sin incluir HVDC a nivel mundial
- AEMO (Australia) tiene 1.1 GW de BESS GFM en operación
- NESO (UK) tiene 250 MW de BESS GFM en operación
- HECO (US) tiene 227 MW de BESS GFM operación

Ubicación	Tamaño (MW)	OEM	Tecnología
Australia	666	SMA	BESS
Saudi Arabia	600	Sungrow	BESS
China	300	NR Electric	STATCOM
China	295	NR Electric	BESS
China	250	Sungrow	BESS
China	250	NR Electric	BESS
Saudi Arabia	240	Huawei	BESS
China	200	NR Electric	BESS
Great Britain	200	SMA	BESS
USA	185	Tesla	BESS
Saudi Arabia	160	Sungrow	BESS
Australia	150	Tesla	BESS
Australia	150	Tesla	BESS
China	108	NR Electric	BESS

Fuente: [ESIG](#),2025

- Los operadores del sistema están llamados a ser los arquitectos ante la modernización de los sistemas de potencia, adaptando continuamente los procedimientos, las herramientas y las capacidades humanas. Este esfuerzo debe ir acompañado de cambios sectoriales en las políticas y regulación para garantiza el suministro con confiabilidad, seguridad, resiliencia y asequibilidad.