



La relevancia de la flexibilidad y resiliencia

en la transformación
del Sistema

FOROxm

Jaime Alejandro Zapata Uribe
Gerente CND

Marzo 2022

La flexibilidad es una parte esencial de la resiliencia.

Al aprender a ser más adaptable

(flexible)



Estará mucho mejor equipado para responder a la adversidad o cualquier crisis de la vida que experimente

(resiliente)



En el Sistema eléctrico En las personas

La habilidad que tiene el sistema para responder a las diferentes condiciones de cambio en el balance generación-demanda, en todas las escalas y horizontes de tiempo.

manejar acontecimientos no previstos.

Características:

Características:



Satisfacer la **demanda** con confiabilidad



Apertura a las experiencias



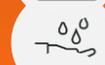
Garantizar disponibilidad de **rampas** para atender demanda neta



Supera **situaciones cambiantes, inesperadas**



Contar con **almacenamiento** suficiente



Mayor **adaptabilidad**



Mitigar desviaciones manteniendo **reservas** adecuadas

Flexibilidad

Marco conceptual



Suficiencia energética: se enfoca en el suministro de electricidad en el mediano y largo plazo.

Flexibilidad por potencia: estudia el balance generación – demanda hora a hora.

Capacidad de transporte: habilidad para transportar energía manteniendo la seguridad.

Seguridad: requerimientos de potencia reactiva y estudios de estabilidad.

¿Qué hemos hecho?

2018

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

2019

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

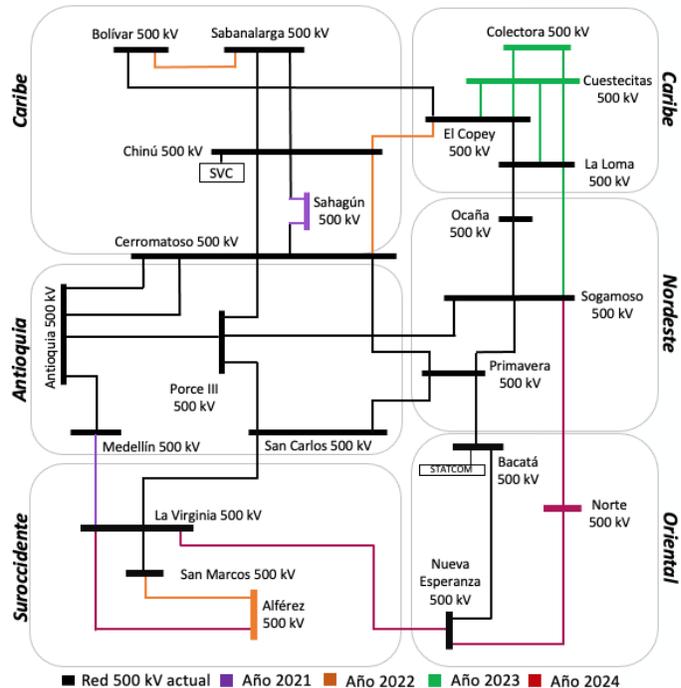
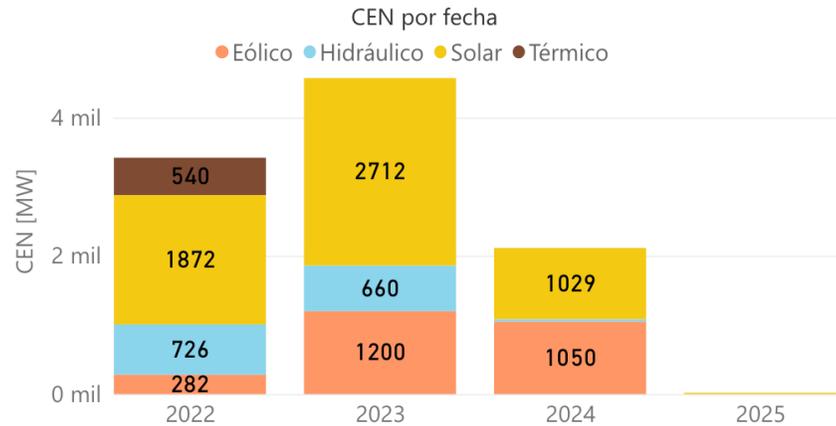
2021

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

Año	Horizonte	Solar [MW]	Eólica [MW]	Total FERNC [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	2a.531	8.165	10.126

Definición escenarios

Supuestos



2022-2023*

2024-2025*

Año histórico	Hidrología	Series FERNC
2015-2016	Baja (HB)	Histórico 2015-2016
2013-2014	Media (HM)	Histórico 2013-2014
2010-2011	Alta (HA)	Histórico 2010-2011

Categoría 2022 2023 2024 2025 Total

Solar	1.872,46	2.712,47	1.029,30	19,90	5.634,13
Eólico	281,80	1.200,00	1.050,00		2.531,80
Hidráulico	725,57	659,90	34,95		1.420,42
Térmico	539,80				539,80
Total	3.419,63	4.572,37	2.114,25	19,90	10.126,15

*Simulaciones de un año iniciando en junio y terminando en mayo.
Condición terminal año adicional
Corte para proyectos: 25 octubre 2021

Suficiencia energética

Atención a la demanda



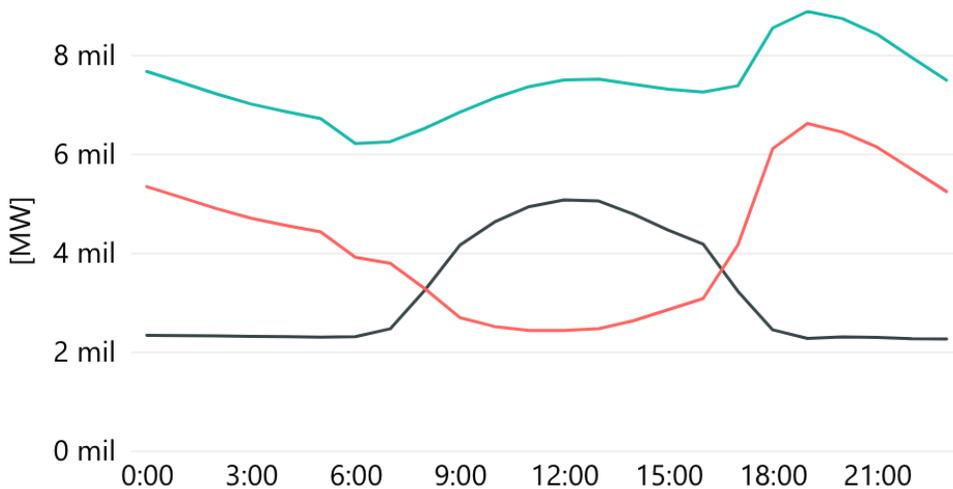
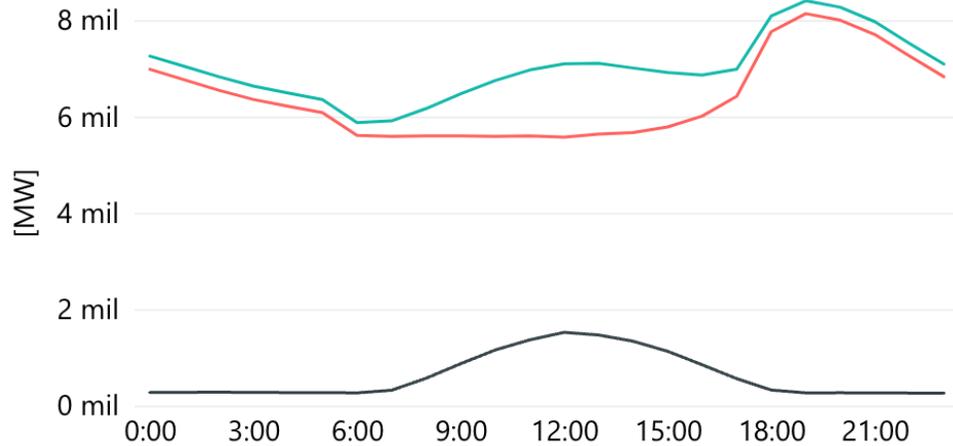
● HIDRO ● TERMICA ● EOLICA ● SOLAR

Conclusiones

- 1 En todas las simulaciones se atiende la demanda en su totalidad.
- 2 Se observa un **comportamiento confiable en las reservas** del sistema.
- 3 A medida que se integran las renovables, se observan **niveles de embalse agregado más altos**.
- 4 Por la naturaleza del sistema, **se encuentran vertimientos significativos ante escenarios de altos aportes** para garantizar el balance energético. En estos casos, el modelo de optimización valora de la misma forma los vertimientos de agua, viento y radiación.
- 5 Las FERNC compiten con la generación convencional y complementan la generación hidráulica en meses de verano.
- 6 Además de seguridad, **la generación térmica es necesaria** para atender la demanda en condiciones de **bajos aportes** hídricos.

Flexibilidad por potencia

Demanda neta



● Demanda ● Despacho FERNC ● Demanda Neta

Conclusiones

1

El sistema cuenta con las reservas y capacidad de rampas suficientes para incorporar 8.1 GW de generación renovable no convencional en los escenarios analizados.

2

Se observa un comportamiento de **curva de pato** en varios días del horizonte **2024-2025**. El efecto en la demanda neta durante el 2022-2023 observado corresponde a un aplanamiento de la curva en las horas de medio día.

3

Se observan **máximas rampas de bajada** de demanda neta de 1000 MW y de subida de 2000 MW.

4

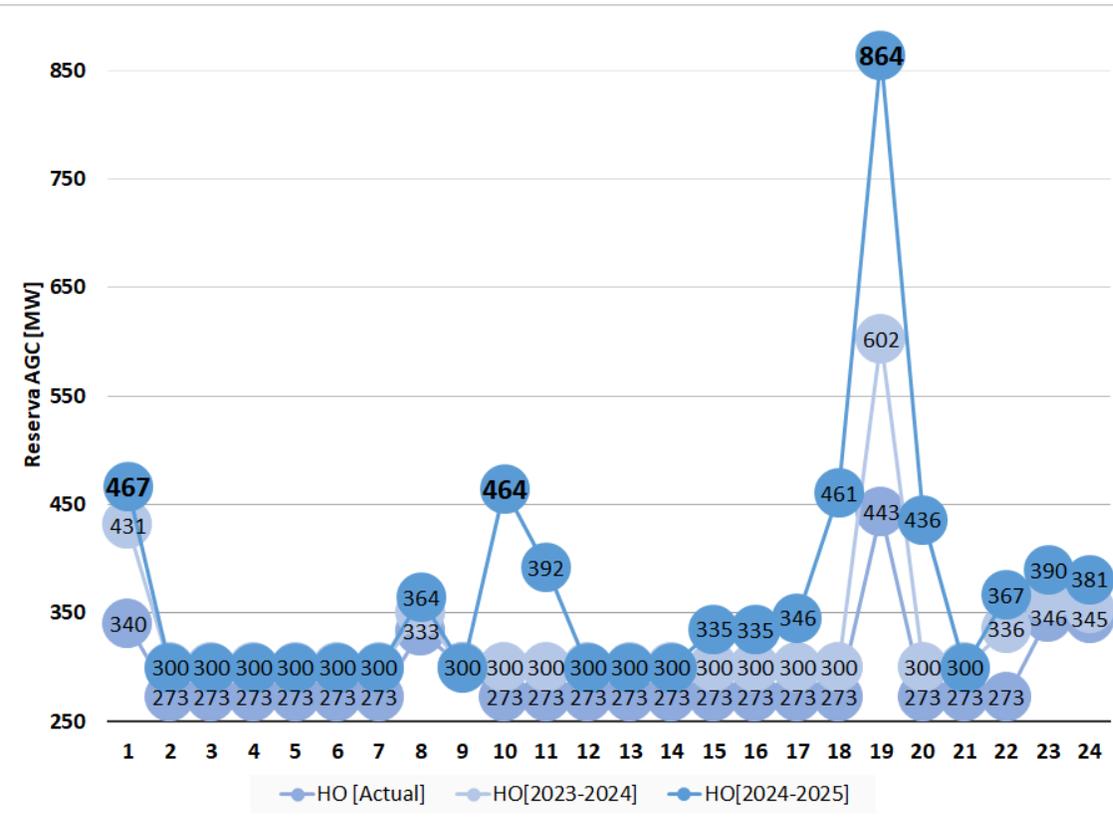
La **generación hidráulica tiene disponibilidad para suministrar las rampas** requeridas por la demanda neta.

5

La **generación térmica se despacha mayoritariamente en la base**, cumple condiciones de seguridad y complementa al sistema en épocas de bajos aportes hídricos.

Flexibilidad por transporte y reservas

Requerimientos de AGC

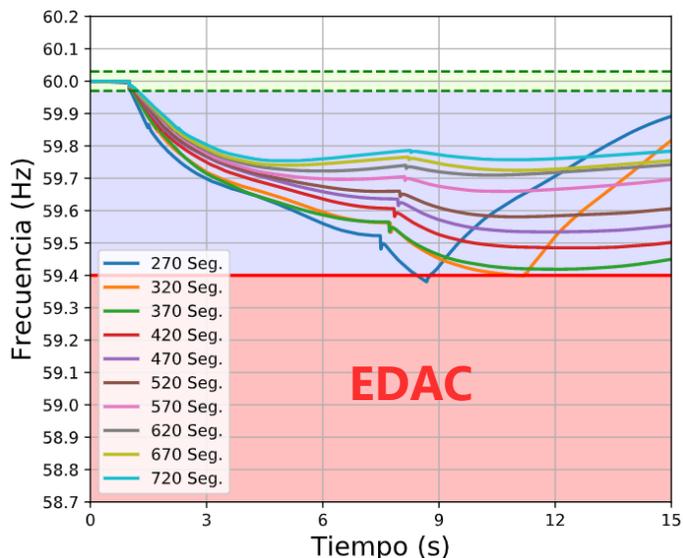


Conclusiones

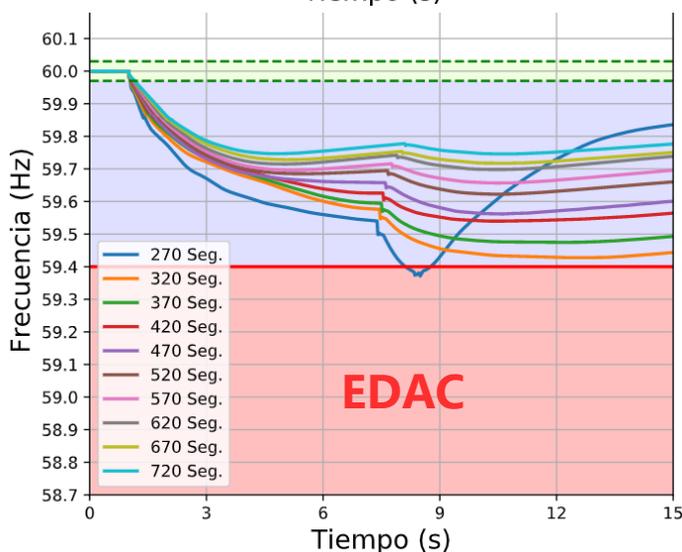
- 1 Revisar aquellos casos en que los proyectos de generación implican nuevas restricciones debido a la **insuficiencia en la capacidad de la red del Sistema de transmisión regional** para evacuar nueva generación en este nivel de tensión.
- 2 **No se observan vertimientos por restricciones eléctricas en el Sistema de transmisión nacional.**
- 3 Se esperan incrementos de los requerimientos de holgura para
 - P1 (explicado principalmente por las rampas de cambio de programa en el cambio de día)
 - P10 y P11 (incremento de la generación solar)
 - P18, P19 y P20 (salida de la generación solar y rampa de incremento de la demanda).

Análisis de seguridad

Evento 300 MW – P4



Evento 370 MW – P12



Recomendaciones

Inercia: capacidad de mantener la frecuencia en los rangos definidos ante la ocurrencia de un evento.

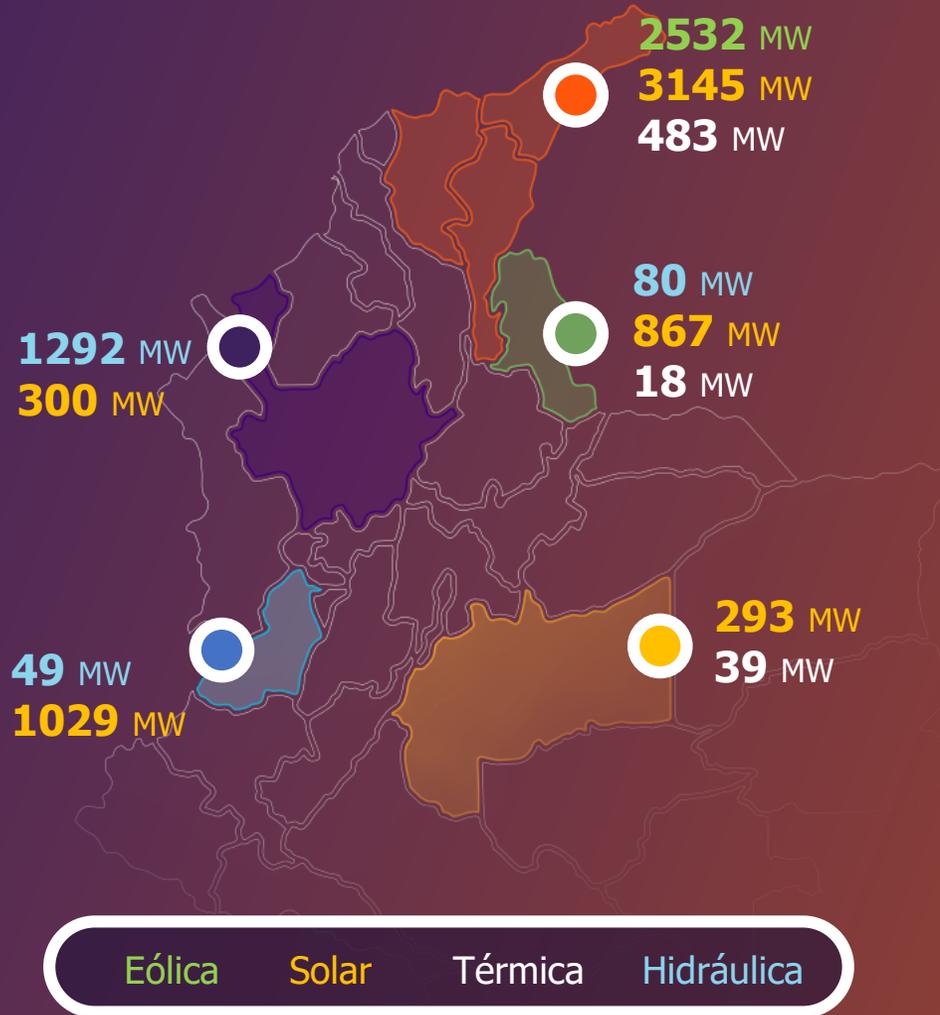
Los niveles de cortocircuito, inercia y reserva primaria del sistema se reducen considerablemente producto del desplazamiento de generación síncrona por generación basada en inversores, lo que podría implicar la necesidad de mantener en línea unidades convencionales como generación de seguridad o limitar generación de FERNC con el impacto que esto tendría sobre los costos de la operación y las emisiones del sector eléctrico. Por lo anterior se recomienda:

1

- Habilitar el requisito de regulación primaria de frecuencia ante eventos de sub-frecuencia en las FERNC.
- Activar las funciones de amortiguamiento de oscilaciones en FERNC (POD) para mitigar el riesgo de oscilaciones no amortiguadas.

POD: Power Oscillation Damping

Recomendaciones



2

- Regular procedimiento y requisitos para disponer de modelos y estudios EMT para equipos con tecnología basada en inversores.
- **Viabilizar la instalación de equipos de compensación síncrona distribuida en GCM** para mitigación del fenómeno de recuperación lenta inducida de tensión y la operación en red débil.
- **Garantizar el cumplimiento de todos los requisitos técnicos de conexión de las FERNC establecidos en la Resolución CREG 060 de 2019.**
- **Analizar la incorporación de equipos que aporten nivel de corto circuito e inercia al sistema** como compensadores síncronos y baterías equipadas con tecnología *grid forming*.

Conclusiones y Recomendaciones

Las simulaciones muestran que el Sistema cuenta con la flexibilidad necesaria para integrar 8.1 GW de FERNC debido a que:

- Se atiende completamente la demanda considerada.
- Se encuentra un **comportamiento confiable en las reservas hídricas** del sistema.
- Se cuenta con los **recursos suficientes para atender las rampas** de la demanda neta.
- Se observan **suficientes reservas frías y en caliente** según los despachos simulados.
- **No se observan atrapamientos a nivel del Sistema de transmisión nacional** por la integración de FERNC.

También es necesario:

UPME

1

Incorporar en el plan de expansión nuevos equipos con capacidad de aporte de corriente de cortocircuito, que permitan una operación segura en el área GCM para la operación estable de las FERNC.

2

Monitorear la integración de nuevos proyectos de generación (independientemente de la tecnología) en la red del STR para evitar posibles atrapamientos: Antioquia, Magdalena medio, CQR, Nordeste y tener en cuenta esta situación en la aprobación de puntos de conexión.

3

Incorporar criterios de Red débil en el planeamiento de la expansión del sistema (STN, STR y SDL) para la asignación de puntos de conexión y el fortalecimiento la red transmisión y distribución.

CREG

Incorporar requisitos de conexión necesarios para garantizar la incorporación segura de FERNC en condiciones de red débil:

- Activación de la regulación primaria de frecuencia en las FERNC ante eventos de sub-frecuencia.
- Regular el aporte rápido de corriente de secuencia negativa durante fallas.
- Regular la maximización del aporte de corriente durante fallas, la no cesación de la entrega de potencia activa y la limitación al aporte de corriente activa.
- Incluir soportabilidad ante rata de cambio de la frecuencia (ROCOF).
- Regular el reporte de modelos y análisis EMT.
- Regular procedimiento para disponer de un modelo de carga dinámico validado del SIN.
- Regular la contribución al corto circuito e inercia de la tecnología basada en inversores..



Recomendaciones

Promotores de FERNC:

- Tener en cuenta en los diseños y en el ajuste de las funciones de control y protección, la posibilidad de que el SCR sea inferior a 3, de tal forma que los equipos a instalar garanticen la operación estable y segura del parque y el cumplimiento de los requisitos de la resolución CREG 060 de 2019.
- Realizar el ajuste de los controles y protecciones de las plantas considerando el modelo de red completo del área y la interacción con otras plantas de la zona, con ayuda de simulaciones de detalle EMT.
- Ajustar las protecciones por sobre voltaje y bajo voltaje en AC y DC, así como en los inversores, para que las mismas no presenten disparo frente a tensiones en el punto de conexión.

Resiliencia

El otro lado del cambio y la flexibilidad ante lo nuevo es justamente la resiliencia, la cual invita a reinventarse o a transformar nuestro quehacer, requiriendo el trabajar la capacidad para enfrentar situaciones adversas, con una mirada positiva

Características:



Ver las dificultades como una oportunidad para aprender.



Saber cuáles son las fortalezas y áreas de desarrollo.



Manejar situaciones de presión y/o estrés.

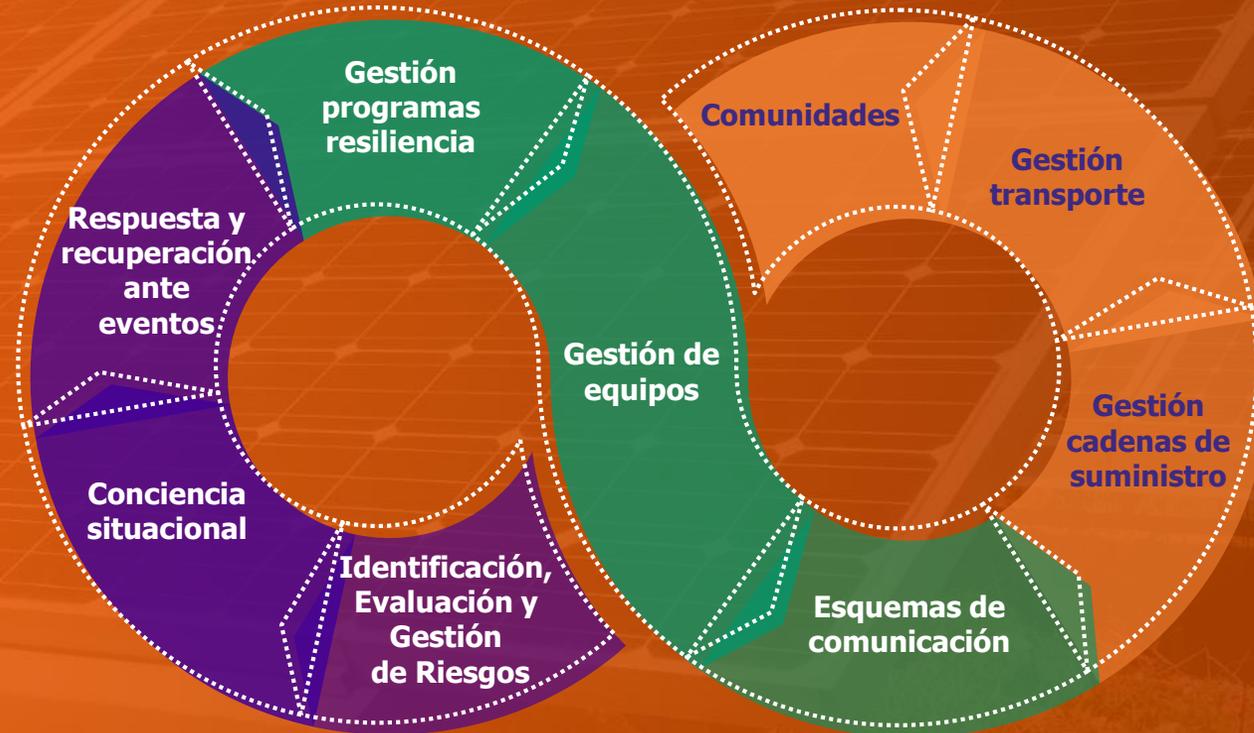


Conciencia del presente y optimismos respecto al futuro.

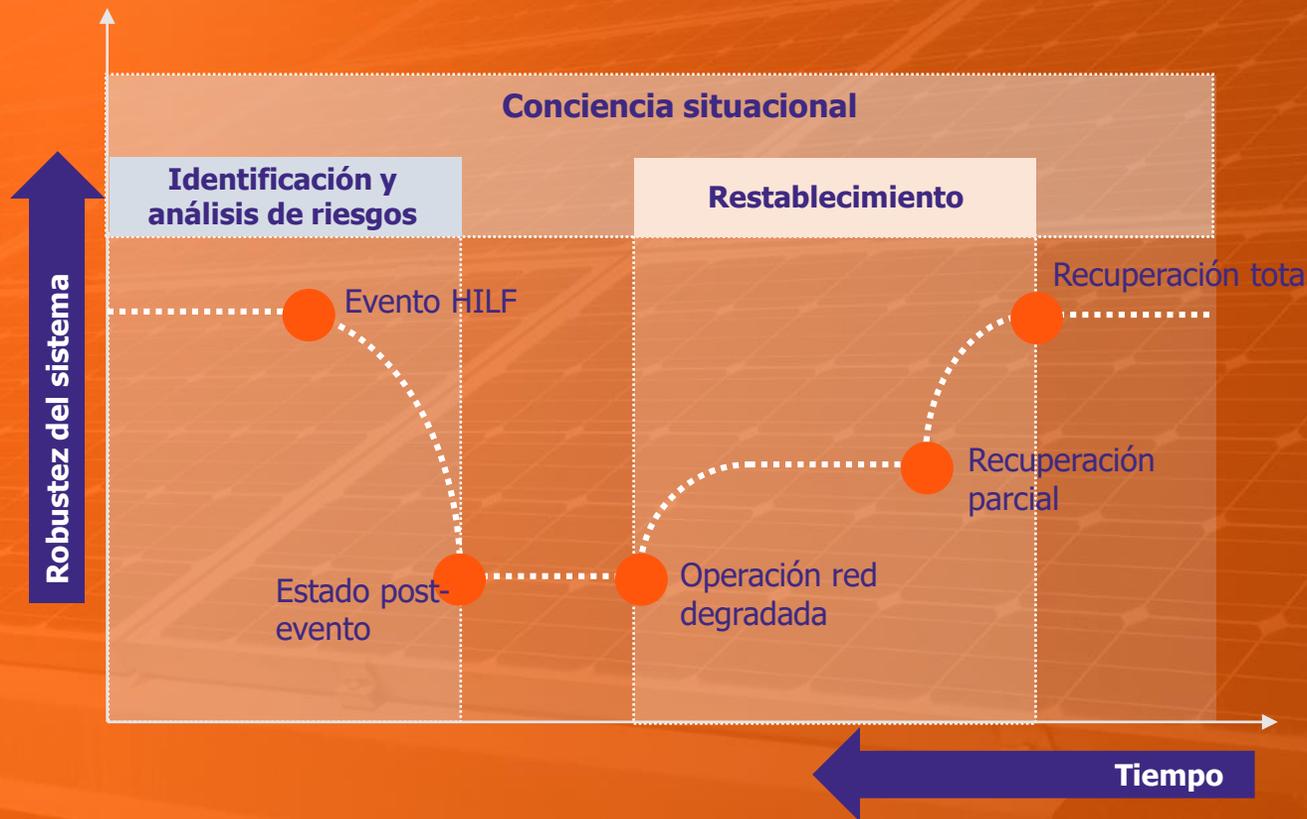
Marco de actuación

XM ■ Sector eléctrico ■ Otros sectores

Capacidad de anticiparse, prepararse, adaptarse, soportar y responder a eventos de baja probabilidad y alto impacto.



Marco conceptual



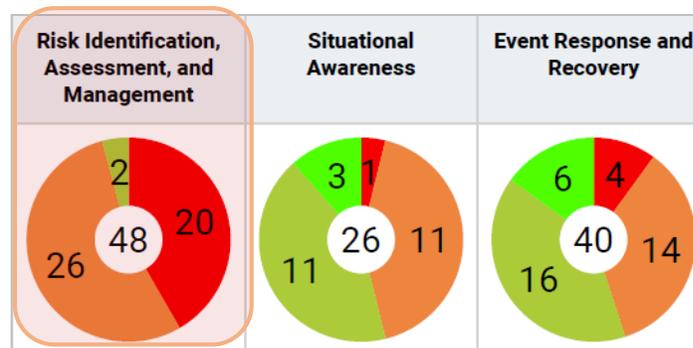
- Para **incrementar la resiliencia** del sistema se debe **mejorar la robustez** del sistema y **reducir el tiempo** de recuperación.
- Desde la **Planeación** del sistema se deben **analizar los posibles eventos HILF** (High Impact Low Frequency) y su impacto en el sistema (determinar el estado post-evento).
- La **conciencia situacional** debe monitorear las variables del sistema **en todo momento**.
- Los procesos de **restablecimiento** son los encargados de recuperar el sistema en el tiempo.

Evaluación de madurez en el marco de resiliencia

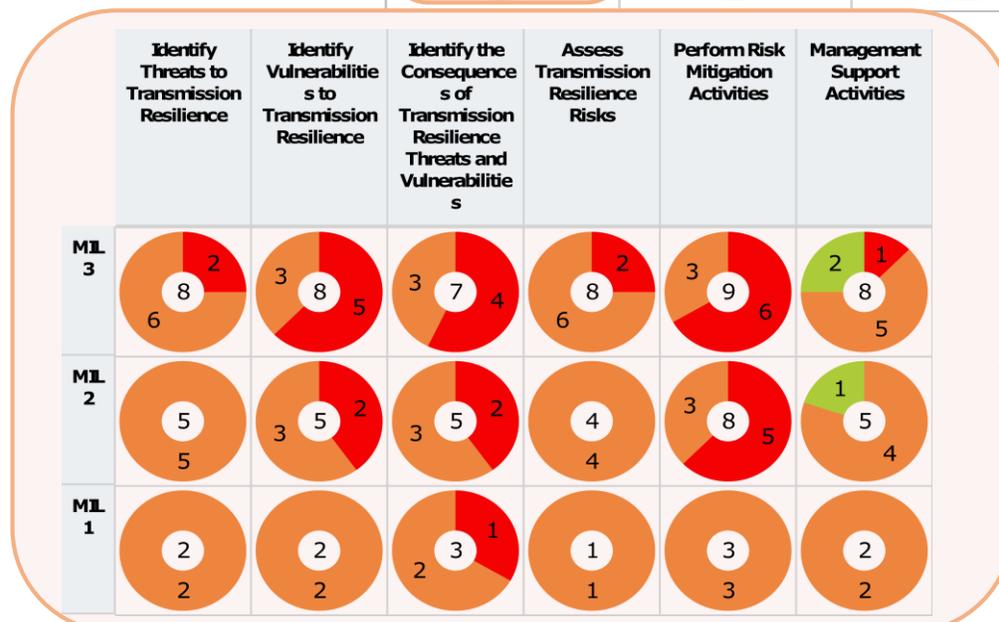
06/2021

Nivel implementación ■ Completamente ■ Altamente ■ Parcialmente ■ Nulo

Resultados de la primera autoevaluación de madurez en la operación de XM



Motivación de prácticas: Oportunidades de mejora en el nivel de resiliencia en la **identificación, evaluación y gestión de riesgos**



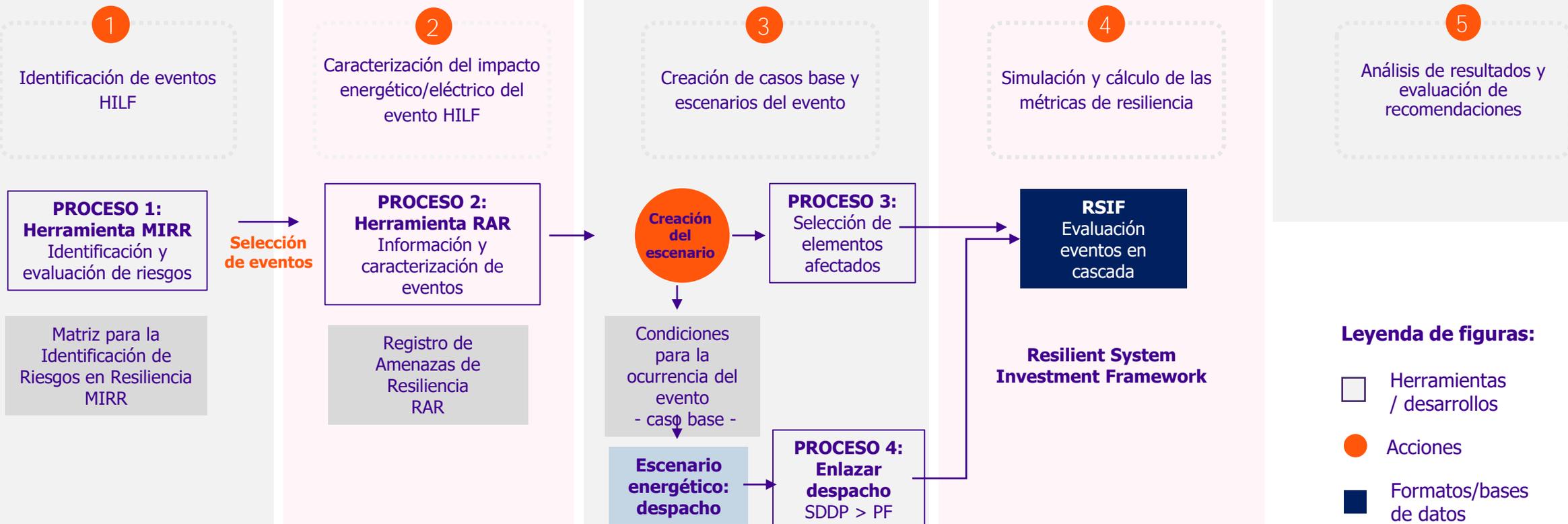
Falta

- Identificación continua de posibles amenazas y vulnerabilidades no habituales
- Base de datos con fuentes de información para monitorear las amenazas
- Clasificar, caracterizar y evaluar impactos de riesgos al sistema
- Estudiar medidas de mitigación

Metodología: análisis e impacto

Identificación de eventos y riesgos asociados

Gestión de riesgos y marco de inversión



El desarrollo realizado en el contexto mundial

Socialización con expertos mundiales



Creador del RSIF en EPRI

Eknath Vittal

- Many of the post-initiating events result in a diverged power Flow case.
- At some point of power Flow case becomes too ill-conditioned to solve numerically or does not make engineering sense:
 - The Jacobian is too ill-condition due to the outaged elements
 - Voltage has collapsed



Pionero de la resiliencia mundial

Mathaios Panteli

Trabajos con

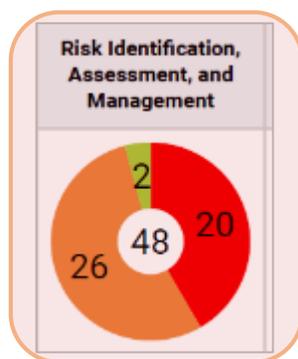
- National Grid (UK).
- CEN (Chile).

Recomendaciones para

- Análisis estocásticas de eventos.
- Casos iniciales divergentes.
- Consideraciones de frecuencia.

Evaluación de madurez

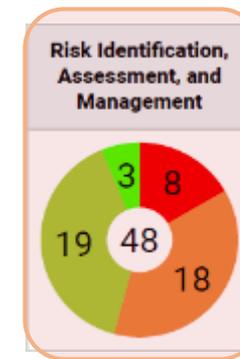
12/2021



Implementación

Consultoría

+ Prácticas



- Metodología para la identificación y calificación de riesgos
- Herramienta para la evaluación del impacto de riesgos
- Base de datos con fuentes de información para monitorear las amenazas
- Esfuerzos y tareas específicas relacionadas con la resiliencia del Sistema

Avanzó

	Identify Threats to Transmission Resilience	Identify Vulnerabilities to Transmission Resilience	Identify the Consequences of Transmission Resilience Threats and Vulnerabilities	Assess Transmission Resilience Risks	Perform Risk Mitigation Activities	Management Support Activities
MIL 3						
MIL 2						
MIL 1						

Mapa de ruta

Caso de estudio del SIN



Riesgos

Identificación y análisis

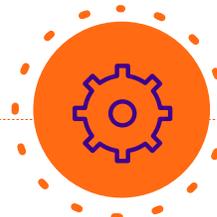
Talleres para la identificación y análisis de riesgos



Eventos

Selección evento HILF

Selección y caracterización de evento de resiliencia a estudiar.



Impacto

Análisis de robustez

Uso de las herramientas para estimar la robustez del sistema ante el evento seleccionado.



Restablecimiento

Herramientas

Integración de las herramientas de restablecimiento en la metodología propuesta.



Apoyo

Política y regulación

Apoyo en el desarrollo de políticas y regulación orientada a la resiliencia.

4^{TO} FOROxm
Una mirada integral de la transición del sector eléctrico.

xm
Sumando energías

**Transitar hacia lo nuevo,
es siempre retador.**

Reinventarse y transformar el entorno requiere de capacidades técnicas y humanas para **enfrentar situaciones adversas**, con una **mirada positiva**.

El reto es técnico y también adaptativo.





Sumando energías



XMSAESP



XM_SA_ESP



XM Filial de ISA



XM SA ESP