



**transmisoras**

Asociación de Transmisoras de Energía

# Resiliencia

## El eslabón débil del marco regulatorio eléctrico

**Javier Tapia C.**

Director Ejecutivo

*“Adaptar para resistir. ¿Está la regulación eléctrica a la altura?”*

Instituto Libertad & Desarrollo

02.08.25



# transmisoras

Asociación de Transmisoras de Energía

Llevamos **energía**,  
estamos comprometidos con un

*futuro más verde*

**Atlantica**  
Sustainable Infrastructure

**conexión**  
Línea Ríosol - Lo Aguirre

**grupo  
saesa**

**transemel**

**engie**

**isa**  
ENERGÍA

**ferrovial**

**redinter**

**ten**

**transelec**

**eletrans**  
Juntos Somos Energía

**celeo**





(1)

*¿De qué hablamos  
cuando hablamos de  
resiliencia?*

## ¿Qué no es resiliencia?

- No es lo mismo que **seguridad, robustez y confiabilidad**
  - Sistemas son tradicionalmente diseñados y operados con estas tres características en vista

Concepto	Definición	¿Por qué no es lo mismo?
Confiabilidad	Rendimiento bajo condiciones normales (alta probabilidad — bajo impacto) Eventos son numerosos, afectan a pocas personas y por un tiempo corto	No contempla respuesta ante eventos disruptivos
Robustez	Busca mantener el sistema estable y con buen rendimiento frente a perturbaciones intrínsecas del sistema (independiente del escenario)	Solo busca resistir, no adaptarse ni recuperarse
Seguridad	Estabilidad ante eventos de corto plazo. Utiliza criterio $N-k$	No considera eventos prolongados ni recuperación sistémica





## ¿Qué sí es resiliencia?

- Es la capacidad del sistema para anticipar, absorber, adaptarse y recuperarse (y aprender) de trastornos extraordinarios
  - Eventos de **alto impacto, pero baja probabilidad de ocurrencia** (HILP)
  - Afectan a mucha gente y son de larga duración
- Generalmente asociada a eventos naturales (e.g., eventos climáticos extremos) o del hombre (e.g., ciberataques)
  - Foco aquí es en cambio climático
- Requiere de una **mirada no tradicional**
  - Decisiones de inversión van más allá de reglas como *N-1* o *N-2*
  - Procesos no son activados en la operación diaria
  - La mirada geográfica es mucho más importante (cada área es diferente)
  - Impactos (y respuestas) de la comunidad se vuelven relevantes





**INCENDIOS FORESTALES**  
**02.23**

## Eventos climáticos extremos: una amenaza creciente

- 2015: Aluvión de Chañaral
- 2022: Tormentas de arena en Diego de Almagro
- 2023: Crecida y desborde del río Tinguiririca
- 2023: Incendios forestales en Región de Valparaíso
- 2024: Lluvias extremas en junio (Ñuble y Biobío) y agosto (Santiago, Ñuble y Maule)

+ vientos, calor extremo...



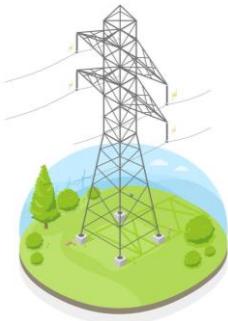


(2)

*La ausencia de un  
marco regulatorio  
adecuado y sus  
consecuencias*



## El problema: el marco regulatorio “no da”



**No hay espacio institucional para proyectos con beneficios “resilientes”**

Nuestra regulación no promueve explícitamente obras por resiliencia: solo realiza su análisis sobre obras ya evaluadas económicoamete. No es posible valorar estos beneficios (ni siquiera es posible considerarlos como servicios complementarios)

**Los modelos actuales ignoran la probabilidad creciente de eventos extremos**

La regulación y metodologías de planificación de la transmisión no están adaptados -ni preparados- para promover obras por resiliencia. Necesitamos una metodología para promover obras por resiliencia, contar con **métricas, métodos de evaluación y de justificación técnico-económicas** para obras resilientes.





## Qué dice el marco regulatorio actual

### Ley General de Servicios Eléctricos

No hay mención a la resiliencia. El art. 87º solo refiere a la minimización de riesgos de abastecimiento, considerando “desastres naturales”.

### Reglamentos

Solo el DS N°37/2019 refiere al análisis de resiliencia **en función de la “seguridad al abastecimiento de la demanda de los clientes finales frente a eventualidades de baja probabilidad de ocurrencia y alto impacto”**, pero es un análisis posterior al económico, es decir, sobre las obras ya propuestas en etapas previas.

### Estudios Técnicos

Los estudios técnicos del Coordinador **priorizan EnS** (Energía No Suministrada) y **costos** esperados, por lo que no contemplan escenarios de falla múltiple ni catástrofes naturales de alto impacto. Cuando lo han hecho -como obras resilientes a eventos volcánicos-, se encuentran con la dificultad de evaluarlas económicamente para promoverlas.





## Un ejemplo: la saga de Chañaral

**2015:** Aluvión. Chañaral permanece **128 horas** sin luz

**2019:** Transelec propone un segundo circuito desde El Salado, el que es **rechazado por la CNE**.

**2020:** Transelec propone una nueva solución. En el Panel de Expertos, expone cuatro alternativas para asegurar el suministro de Chañaral ante eventos extremos, siendo la línea Chañaral - Javiera en 110 kV la más conveniente. La **CNE rechaza** nuevamente por ser un evento de muy baja probabilidad, aunque reconoce la situación vulnerable de Chañaral. El Panel recomienda alguna alternativa de generación vía *Servicios Complementarios* (SS.CC.).

**2021:** Se insistió con la obra, siendo nuevamente **rechazada por la CNE**. Coordinador también rechaza la alternativa mediante SS.CC.

**2025:** Se promueve un BESS de 5 MW en S/E Chañaral, en el marco del procedimiento de “obras necesarias y urgentes mandatadas” (art. 91º bis). Dicha obra también fue **rechazada por la CNE** por no encontrarse beneficios económicos en el análisis de seguridad (EnS valorizada a costo de falla de corta duración). La CNE reconoce que el problema de Chañaral “*radica en eventos de alto impacto y de baja probabilidad de ocurrencia*”, por lo que estima, **la mejor solución, es una línea de transmisión**.



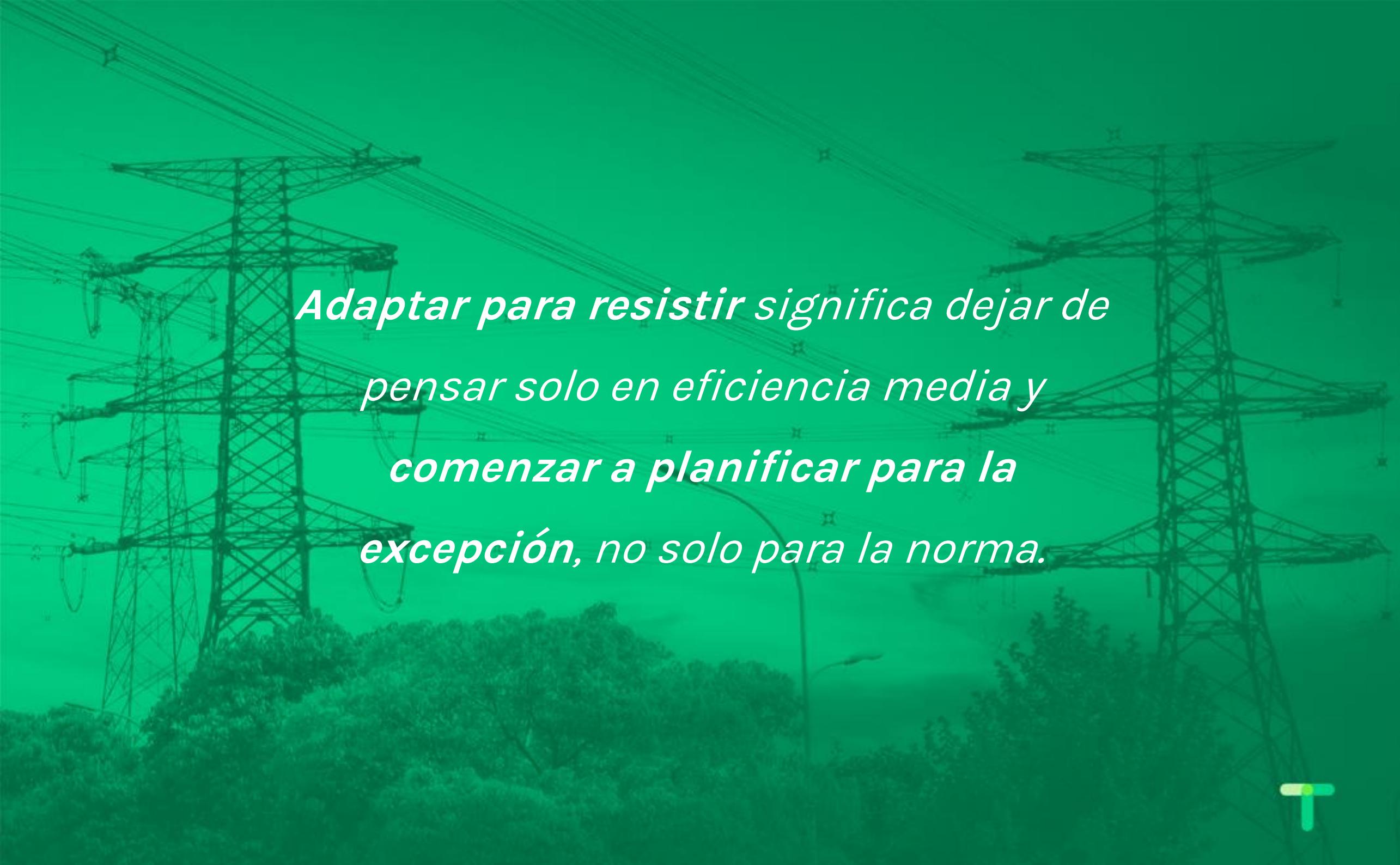
## La proactividad no basta

**Las propuestas sobre resiliencia no son consideradas, porque no hay metodología**

En los procesos de expansión de la transmisión 2021, 2024 y 2025 hubo propuestas tendientes a promover obras por resiliencia. Todas han sido rechazadas (exceptuando la de 2025 que continúa en evaluación hasta septiembre).

Año	Nombre del proyecto	Nombre proponente	Zona del proyecto	Costo total [USD]
2021	Nueva línea 110 kV Nueva Chañaral - Javiera y S/E Nueva Chañaral	Transelec S.A.	Zonal B	22.360.374
2021	Segundo circuito LT 220 kV Charrúa-Lagunillas con seccionamiento en S/E Hualqui	Transelec S.A.	Nacional	16.908.452
2024	Nueva Subestación Seccionadora Patagual	Celeo Redes	Zonal E	19.776.091
2025	Nueva S/E Patagual y Refuerzo de la línea 2x220kV Patagual – Lagunillas	Colbún	Zonal E	35.161.583





*Adaptar para resistir significa dejar de pensar solo en eficiencia media y comenzar a planificar para la excepción, no solo para la norma.*

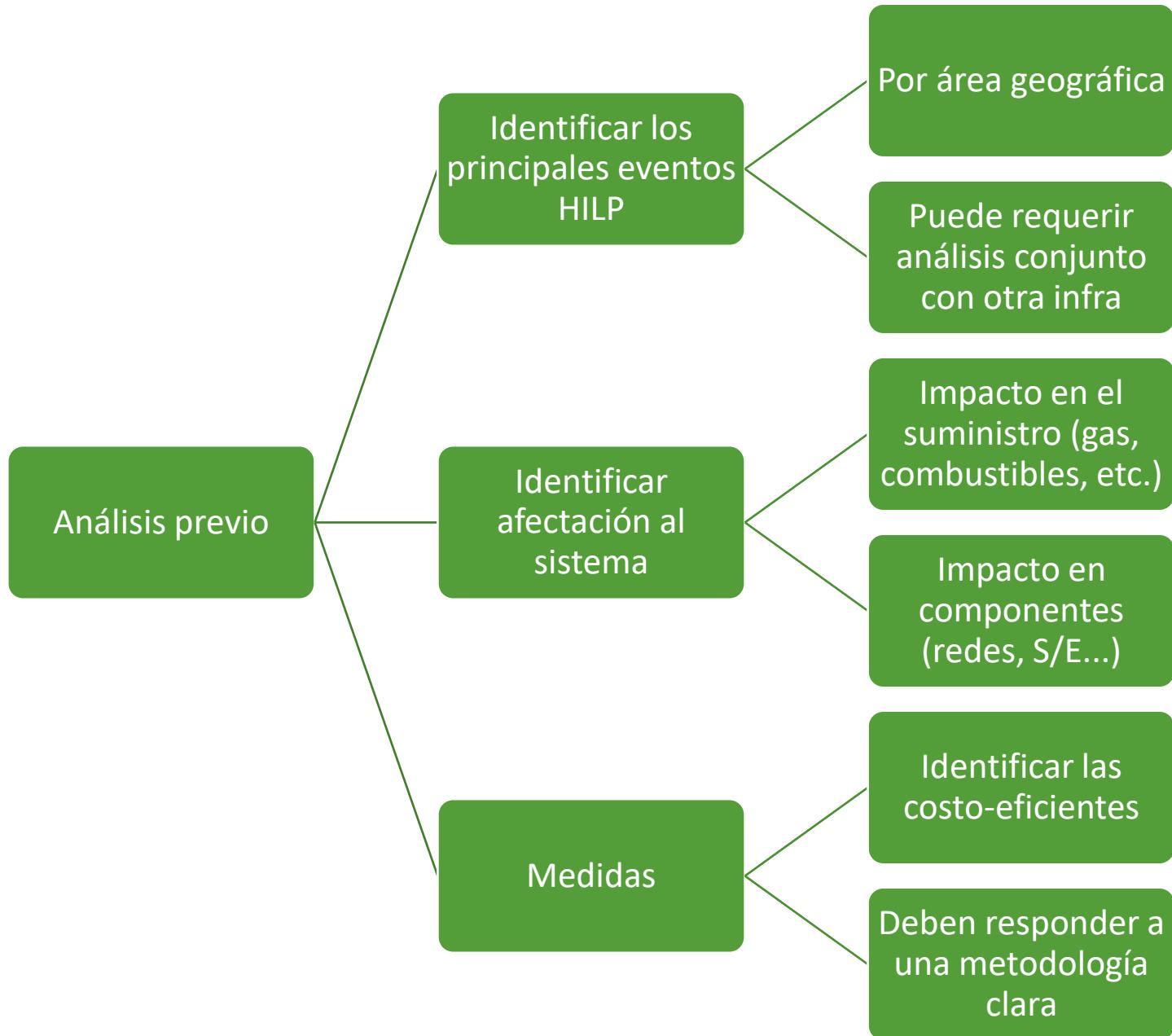
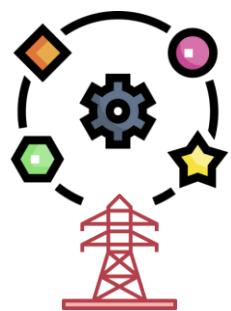


(3)

*Algunos aspectos  
prácticos*



# Una primera aproximación al análisis



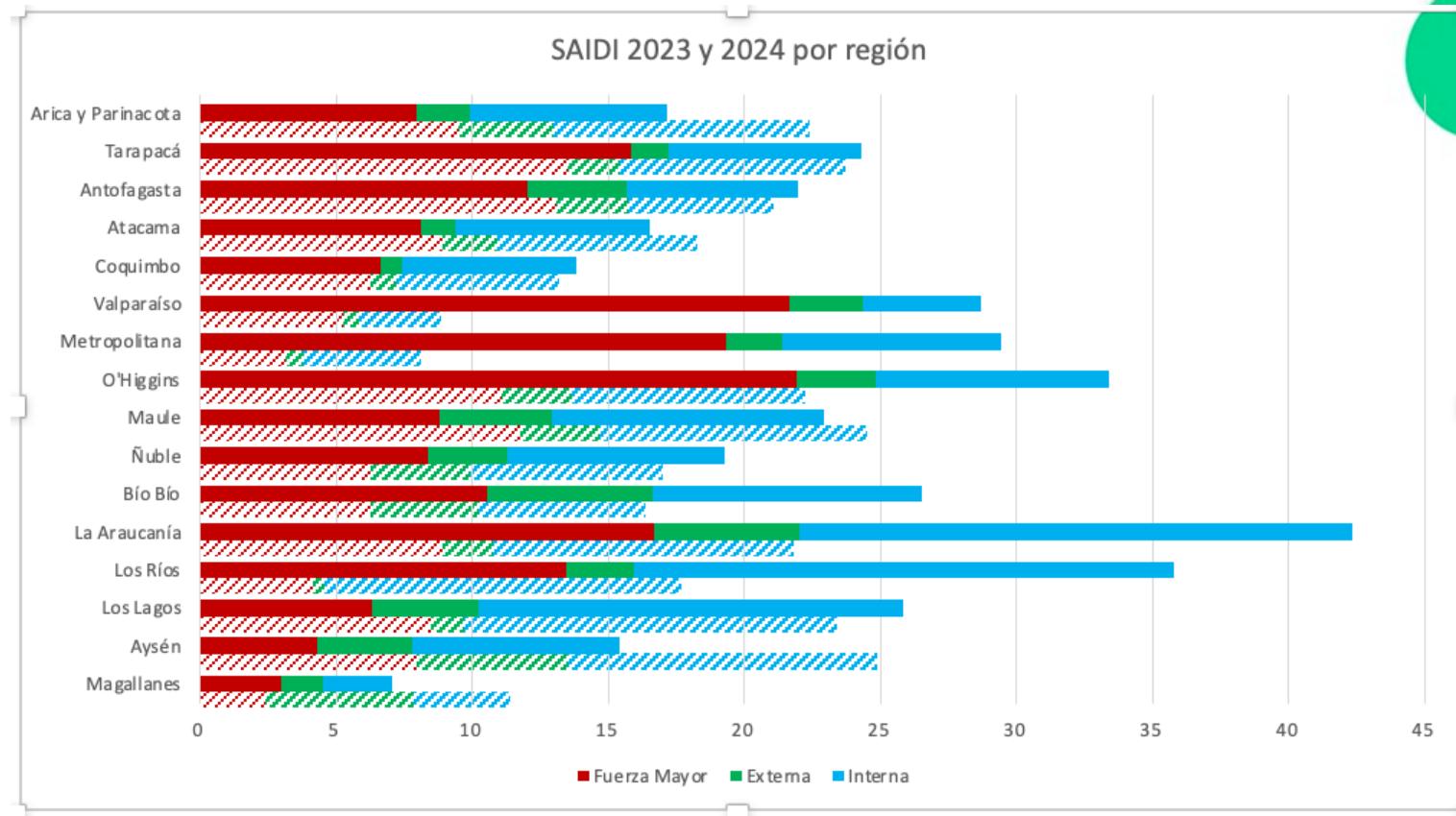
# El problema de la métrica

- Normalmente en Chile utilizamos indicadores de confiabilidad
  - Típicamente el SAIDI. En la literatura, tb. SAIFI o CAIDI
- Dos problemas:
  - Tienen foco en distribución (usuario finales)
    - En Tx existen otros (LOLE o EUE), no usados
  - No capturan adecuadamente pérdida de resiliencia, ni reflejan interdependencias operacionales entre zonas
    - Capturan eventos regulares, no excepcionales. Estos últimos, de hecho, son excluidos
    - ¿Métricas propias de cada sistema?



Hay, por cierto, alguna conexión entre las métricas y deben ser coordinadas

E.g.,  
confiabilidad  
y resiliencia



- El cambio climático ha afectado directamente la indisponibilidad de suministro (sobre todo en la zona centro-sur del país)
- En 2024, en la **Región Metropolitana** el SAIDI aumentó un **280%** respecto de 2023, mientras que en la **Región de Valparaíso** lo hizo en un **239%**.



## Necesitamos nuevos indicadores para Tx

Métricas con un enfoque moderno y preventivo son clave para justificar **inversiones resilientes** en un contexto de **cambio climático** y mayor penetración de **energías renovables variables**.

Concepto	Definición	Ventajas principales
<b>Área bajo la curva de resiliencia</b>	Representa la magnitud total de la degradación del sistema en el tiempo	Captura el impacto acumulado del evento y la calidad de la recuperación
<b>Tiempo de recuperación</b>	Tiempo que tarda el sistema en volver a niveles normales tras el evento	Evalúa la capacidad y velocidad de respuesta del sistema
<b>Energía no Suministrada (EnS) bajo contingencia</b>	Total de carga que no puede ser abastecida durante y después del evento	Relaciona impacto físico con efecto económico o social
<b>Profundidad del deterioro</b>	Caída máxima del desempeño del sistema	Mide la vulnerabilidad estructural ante eventos severos
<b>Capacidad de reconfiguración operativa</b>	Habilidad del sistema para redistribuir flujos o topología tras fallas	Refleja adaptabilidad operativa en tiempo real, relevante para sistemas flexibles
<b>Resiliencia ante eventos climáticos extremos (<math>N - k</math>)</b>	Evaluación del sistema ante múltiples fallas o condiciones adversas	Permite simulación de eventos reales, incluyendo cambio climático, incendios, etc.
<b>Índice compuesto de resiliencia</b>	Combinación ponderada de varios de los anteriores	Permite ajuste a realidades locales, objetivos regulatorios o tipos de infraestructura

## Algunas **medidas** que pueden ser adoptadas

Planificación	O&M	Innovación
Reforzar torres y líneas	Reforzamientos  Identificar activos en pronto desuso (fin de vida útil)	Desarrollar tecnología para identificar componentes en riesgo o riesgosos <ul style="list-style-type: none"><li>• Smart grids / Medidores inteligentes (en Dx)</li><li>• SCADAS</li></ul>
Soterrar <ul style="list-style-type: none"><li>• Es caro</li><li>• Identificar zonas de factibilidad</li></ul>	Realizar podas	Tecnologías de monitoreo y control remoto en tiempo real
Considerar resiliencia en obras nuevas	Robustecer entrenamientos de operadores	Análisis de Big Data (histórico)
		Creación de DSO, microrredes, etc.

Importante es la **cooperación**  
(entre compañías y con el operador)



- Una nota sobre los entrenamientos de operadores
  - Simulacros son cruciales para desafíos tradicionales; lo mismo para eventos de resiliencia
    - Se requiere desarrollar destrezas tácticas y operacionales que hoy no tenemos en el sistema
  - Hay eventos reiterados que permitirían hacer ejercicios basados en escenarios reales
  - Simuladores tradicionales (OTS/DTS) deben ser adaptados para representar escenarios más reales



(4)

*Algunas propuestas*

- 
- (1) Incorporar una definición explícita de resiliencia en el marco normativo.
  - (2) Permitir criterios de evaluación alternativos para promover obras por resiliencia, tales como análisis de vulnerabilidad climática o “*value at risk*”, efectos de eventos catastróficos y costos de recuperación, entre otros.
  - (3) Crear una categoría especial de “proyectos estratégicos resilientes” en la Planificación Energética.
  - (4) Facultar al Coordinador y a la CNE para considerar “servicios complementarios resilientes”.
  - (5) Realizar el “análisis de resiliencia” en la etapa de prefactibilidad en el proceso de planificación definido en el DS N°37/2019.





# Gracias



transmisoras

Asociación de Transmisoras de Energía



# Literatura

Año	Título	Autores	Objetivo / Tesis	Conclusión	DOI / URL
2024	Review of Power System Resilience Concept, Assessment, and Enhancement Measures	Lin J.-H. & Wu Y.-K.	Revisar conceptos, métricas y medidas para mejorar la resiliencia en sistemas eléctricos.	Propone un nuevo marco multitáctico para evaluar resiliencia y destaca la necesidad de indicadores robustos.	<a href="https://www.mdpi.com/2076-3417/14/4/1428">https://www.mdpi.com/2076-3417/14/4/1428</a>
2024	Towards a Framework for Measurements of Power Systems Resiliency	Varios	Proponer un marco armonizado con indicadores clave vinculando fases de resiliencia y metodologías evaluativas.	Avanza en estandarización de métricas y orienta su aplicación práctica.	<a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210670724003433">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210670724003433</a>
2023	Power Systems' Resilience: A Comprehensive Literature Review	Chivunga J.N., Lin Z. & Blanchard R.	Revisar exhaustivamente definiciones, métricas y marcos de resiliencia en sistemas de potencia.	No hay métrica universal; requiere enfoques adaptados por contexto.	<a href="https://www.mdpi.com/1996-1073/16/21/7256">https://www.mdpi.com/1996-1073/16/21/7256</a>
2023	Advancements in Enhancing Resilience of Electrical Distribution Systems	Dwivedi D., Mitikiri S.B., etc.	Revisar sistemas de referencia y métricas modernas, así como IA, microrredes y trading P2P para mejorar resiliencia en distribución.	Nuevas tecnologías y precios dinámicos pueden mejorar resiliencia distributiva.	<a href="https://arxiv.org/abs/2311.07050">https://arxiv.org/abs/2311.07050</a>
2022	A Systematic Review on Power System Resilience from the Perspective of Generation, Network, a Load	Wang C., Ju P., Wu F., Pan X. & Wang Z.	Analizar resiliencia desde perspectivas de generación, red y demanda; proponer métricas y recomendaciones.	Necesaria coordinación integral entre generación, red y consumidores.	<a href="https://wzy.ece.iastate.edu/CV/c205.pdf">https://wzy.ece.iastate.edu/CV/c205.pdf</a>
2020	A Review of the Measures to Enhance Power Systems Resilience	Mahzarnia M., Moghaddam M.P., Baboli P.T. & Siano P.	Analizar medidas técnicas y políticas para incrementar la resiliencia en sistemas de energía.	Planificación integrada, tecnología y regulación son esenciales.	<a href="https://ieeexplore.ieee.org/document/8989307">https://ieeexplore.ieee.org/document/8989307</a>
2020	Modeling of Natural Disasters and Extreme Events in Power System Resilience Enhancement and Evaluation Methods	Bhusal N., Gautam M., Abdelmalak M. & Benidris M.	Evaluar modelos para eventos extremos como huracanes, terremotos y su impacto en sistemas eléctricos.	Identifica lagunas en técnicas existentes y propone modelos más exactos y eficientes.	<a href="https://arxiv.org/abs/2008.07560">https://arxiv.org/abs/2008.07560</a>
2019	Microgrid Resilience: A holistic approach for assessing threats, identifying vulnerabilities, and designing corresponding mitigation strategies	Mishra S. et al.	Analizar microrredes como mecanismo resiliente evaluando vulnerabilidades y estrategias de mitigación.	Microrredes fortalecen resiliencia ante contingencias locales y globales.	<a href="https://arxiv.org/abs/1910.01234">https://arxiv.org/abs/1910.01234</a>
2018	Definition and Quantification of Resilience (IEEE PES Task Force)	IEEE PES Industry Technical Support Task Force	Estandarizar definición, atributos y métricas de resiliencia para sistemas eléctricos.	Establece marco base para evaluación en organismos técnicos.	<a href="https://grouper.ieee.org/groups/transformers/subcommittees/distr/C57.167/F18-Definition&amp;QuantificationOfResilience.pdf">https://grouper.ieee.org/groups/transformers/subcommittees/distr/C57.167/F18-Definition&amp;QuantificationOfResilience.pdf</a>
2017	A Quantitative Method for Assessing Resilience of Interdependent Infrastructures	Nan C. & Sansavini G.	Presentar un método cuantitativo híbrido para medir resiliencia estructural en infraestructuras interdependientes.	El método es eficaz para diseño e ingeniería resiliente en sistemas eléctricos.	<a href="https://doi.org/10.1016/j.ress.2016.08.013">https://doi.org/10.1016/j.ress.2016.08.013</a>