

Metodología de selección de escenarios energéticos robustos en una planificación energética de largo plazo en el marco del proyecto de ley de transmisión eléctrica

Descripción metodología y ejemplos ilustrativos

Presentado por Rodrigo Moreno en nombre de:



16 Abril 2018

*Seminario CIGRE: Planificación Energética (PELP) y de Expansión de la Transmisión (PET),
Santiago, Chile*

Objetivo y contextualización

Presentar la metodología PELP propuesta por el Grupo Asesor Académico mediante un **ejemplo ilustrativo** (equipo: Enzo Sauma, Francisco Muñoz, David Pozo, Eduardo Pereira, Rodrigo Moreno).

La **Autoridad** en la época **tomó la mayoría de las recomendaciones** aquí presentes, no obstante algunos aspectos críticos quedaron fuera, especialmente con respecto a los detalles de la modelación matemática.

La implementación que realizó la Autoridad en el primer proceso PELP se demostrará en una presentación posterior a ésta.

Introducción

Revisión internacional:

- Diversos planificadores eléctricos: CAISO, MISO, WECC, ERCOT, EU (proyecto e-highway2025, Colombia, Alemania, Dinamarca)
- Diversos sectores: Transporte, Forestal, Minería

La **metodología considera** distintos elementos recogidos de la revisión:

- Participación de los distintos agentes, un **comité experto** (consultivo)
- Análisis de **incertidumbre** como elemento fundamental
- Uso de herramientas de **Investigación de Operaciones** avanzadas, considerando **co-optimización generación-transmisión**

<http://pelp.minenergia.cl/files/29>

Participación de expertos

- La metodología se entiende como **participativa en diversas etapas/iteraciones**. Esto es clave para que exista una **'credibilidad'** de los escenarios a determinar
- De esta manera los escenarios surgen desde los distintos actores y no son vistos como una imposición ni alejados de la realidad, **disminuye el riesgo de rechazo**
- El proceso servirá para **obtener de los expertos las perspectivas a largo plazo** de los distintos factores e incertidumbres que influyen en los escenarios de generación
- Se espera que **en cada proceso PELP se mejore** y amplíe este proceso **participativo**

5 Etapas propuestas

Las etapas son las siguientes:

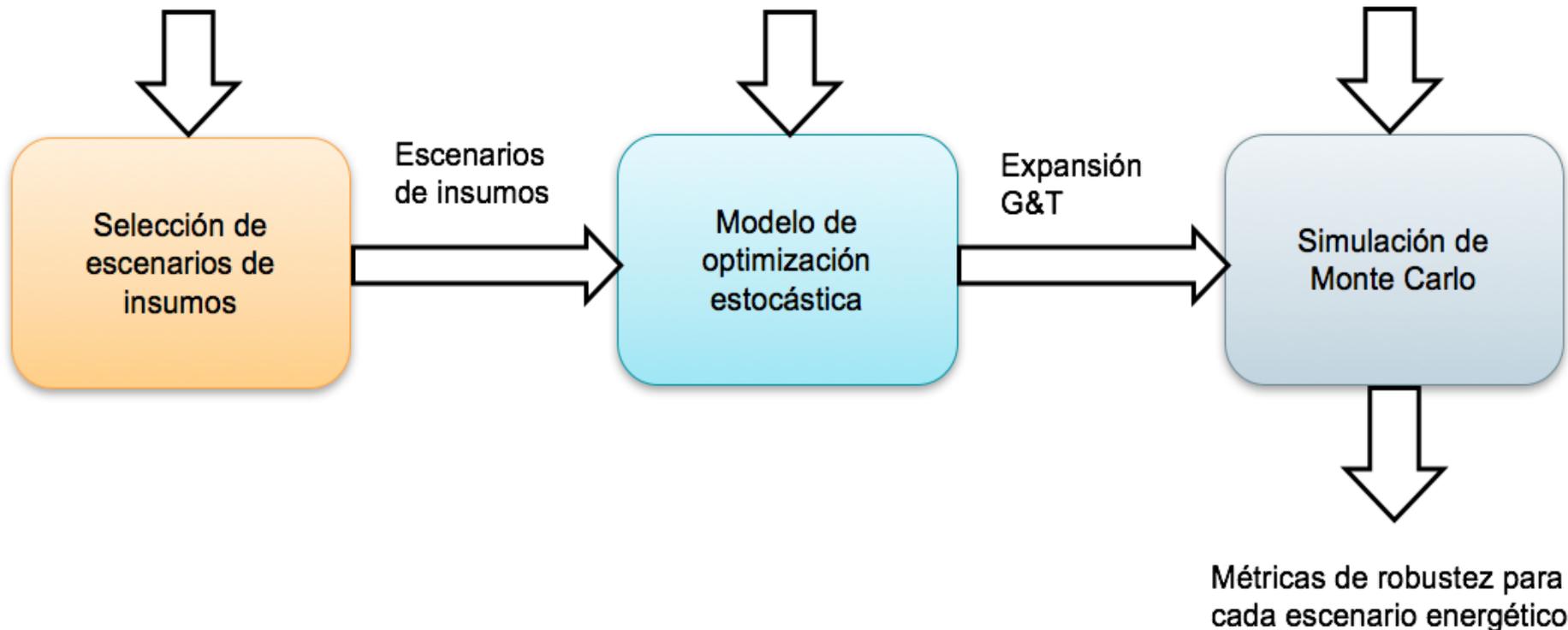
1. Definición de factores
2. Definición de escenarios de insumos
3. Cuantificación de escenarios de insumos
4. Determinación de escenarios de generación
5. Cálculo de indicadores de robustez

Esquemático de propuesta

- Incertidumbre largo plazo
- Factores relevantes

Incertidumbre corto plazo

Out-of-sample de los estados del sistema



E1: Definición de factores (1)

En la Etapa 1, se realizarán sesiones de **'brainstorming'** para identificar los factores económicos, tecnológicos y regulatorios relevantes. Una primera **lista extensa y preliminar** resultante de este ejercicio puede ser:

- Intercambios energéticos con otros países
- Aumento en el costo y restricciones al desarrollo de transmisión
- Baja aceptación social de proyectos termoeléctricos
- Nivel de penetración de generación distribuida y/o vehículos eléctricos
- Restricciones asociadas a las emisiones de gases de efecto invernadero
- Costos de capital de tecnologías de generación de energías renovables
- Costos de capital de tecnologías de generación termoeléctrica
- Evolución de la demanda eléctrica (en crecimiento por región y en forma)
- Precios de combustibles
- Disponibilidad de afluentes para generación hidroeléctrica

E1: Definición de factores (2)

Luego de elaborar una lista extensa de factores potenciales, se determina la siguiente **lista reducida** de 4 factores con **incertidumbre**:

- **Crecimiento de la demanda eléctrica**. Un crecimiento de la demanda producto de la **electrificación** de diversos sectores implica una necesidad significativa de ampliar el parque de generación.
- **Precio de los combustibles**. En particular, **el costo y la disponibilidad de gas natural (GNL)** influye directamente en la composición de la oferta de generación termoeléctrica, así como en la capacidad de otorgar flexibilidad al sistema para integrar más energía renovable.
- **Costos de inversión de tecnologías de generación renovable**. Es el principal factor que determina la composición de la matriz futura, en consideración de ausencia de políticas de fomento a tecnologías particulares. Se pueden esperar tendencias a la baja mucho más agresivas principalmente de tecnologías **solares fotovoltaicas y CSP**.
- **Disponibilidad de afluentes para generación hidroeléctrica**. **Dado el cambio climático**, la eventual disminución de las precipitaciones puede tener un alto impacto en la generación hidroeléctrica. Se reconoce que el aumento en la temperatura también podría tener otros impactos a nivel de transmisión y eficiencia del parque termoeléctrico.

E2: Definición de escenarios de insumos: aspectos preliminares

- Los mismos agentes formarán grupos de trabajo y cada grupo deberá construir un **‘escenario de insumos’ futuros en base a factores**.
- Se entenderá como **escenarios un conjunto de factores** ocurriendo al mismo tiempo. Debe ser una **‘narrativa coherente’** del futuro
- Para cada escenario se definirá de **manera cualitativa el nivel de cada insumo** (de allí viene el nombre de ‘escenarios de insumos’)
- Los escenarios deberán tener **consistencia interna** (por ejemplo, decomisionado no sería compatible con bajo desarrollo ERNC)
- Los escenarios **no deben ser fácilmente agrupables**

E2: Definición de escenarios de insumos: ejemplo

		Escenario de insumos				
		Tendencia Actual	Alta disponibilidad GNL	Alta electrificación	Alta integración energías renovables	Cambio climático
FACTOR	Crecimiento demanda	normal	bajo	alta	normal	normal
	Precio GNL	normal	bajo	normal	normal	normal
	Costos de inversión energías renovables	normal	normal	normal	bajo	normal
	Restricción Afluentes	normal	normal	normal	normal	alta

E2: Definición de escenarios de insumos: Narrativa escenario #1

El escenario de insumos #1 **llamado tendencia actual** representa lo que los distintos agentes entienden como **el desarrollo futuro manteniendo lo que sucede en la actualidad**. Este escenario de insumos se entiende como el “***business as usual***” **aunque en estricto rigor las distintas variables no seguirán igual que ahora**. Por ejemplo, los costos de inversión de las tecnologías de energías renovables como solar fotovoltaica o los costos del almacenamiento en baterías tendrán tendencias a la baja según lo “esperado”.

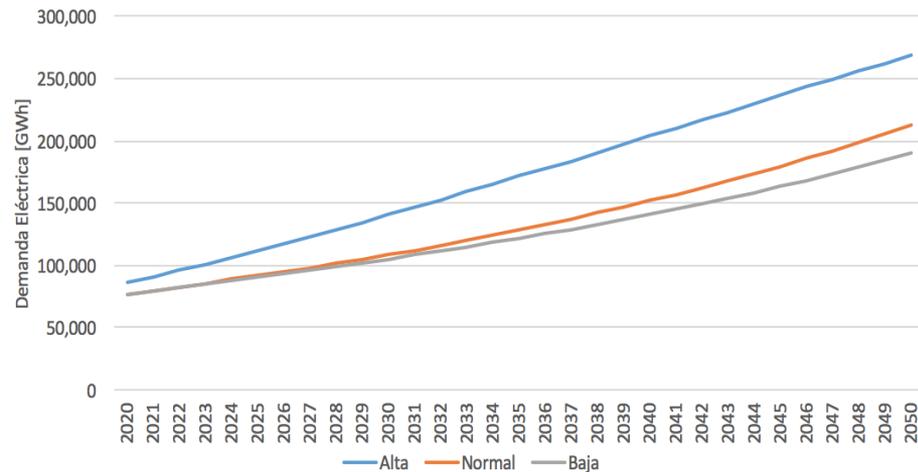
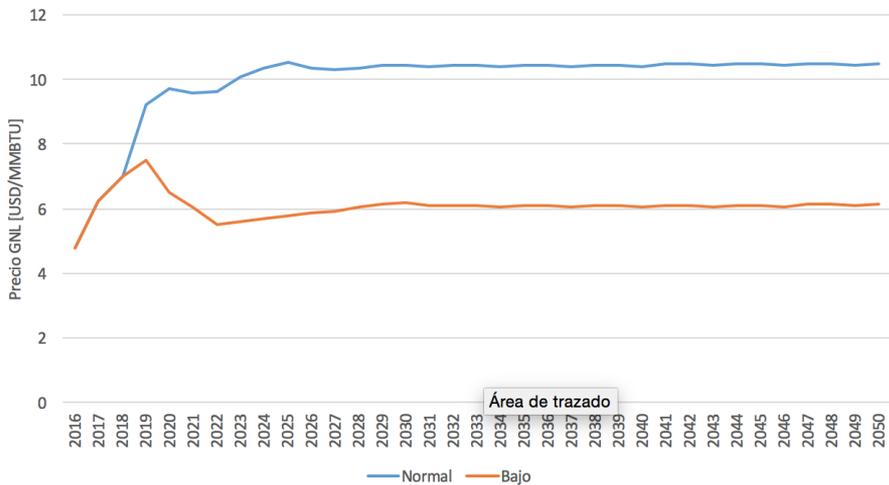
E2: Definición de escenarios de insumos: Parámetros escenario #1

En este escenario de insumos se asume que:

- La nueva **capacidad de generación** entrará en el mercado meramente por **aspectos económicos**, sin regulación especial que fomente o facilite el ingreso de tecnologías específicas.
- El crecimiento de la **demanda** eléctrica mantendrá la tendencia actual, entre un **2 y 3,5%** de crecimiento anual.
- La proyección de **costos de combustibles** se basa en el escenario de referencia entregado por la **autoridad**.
- Respecto de los **costos de inversión** de las distintas tecnologías de generación, **se considera una tendencia a la baja** de los costos de inversión de la generación **solar fotovoltaica y de concentración solar**.
- No se asume una tendencia significativa a la baja en las precipitaciones, por lo que la disponibilidad de **afluentes** para generación hidroeléctrica mantiene la **tendencia actual**.

E3: Cuantificación de escenarios de insumos

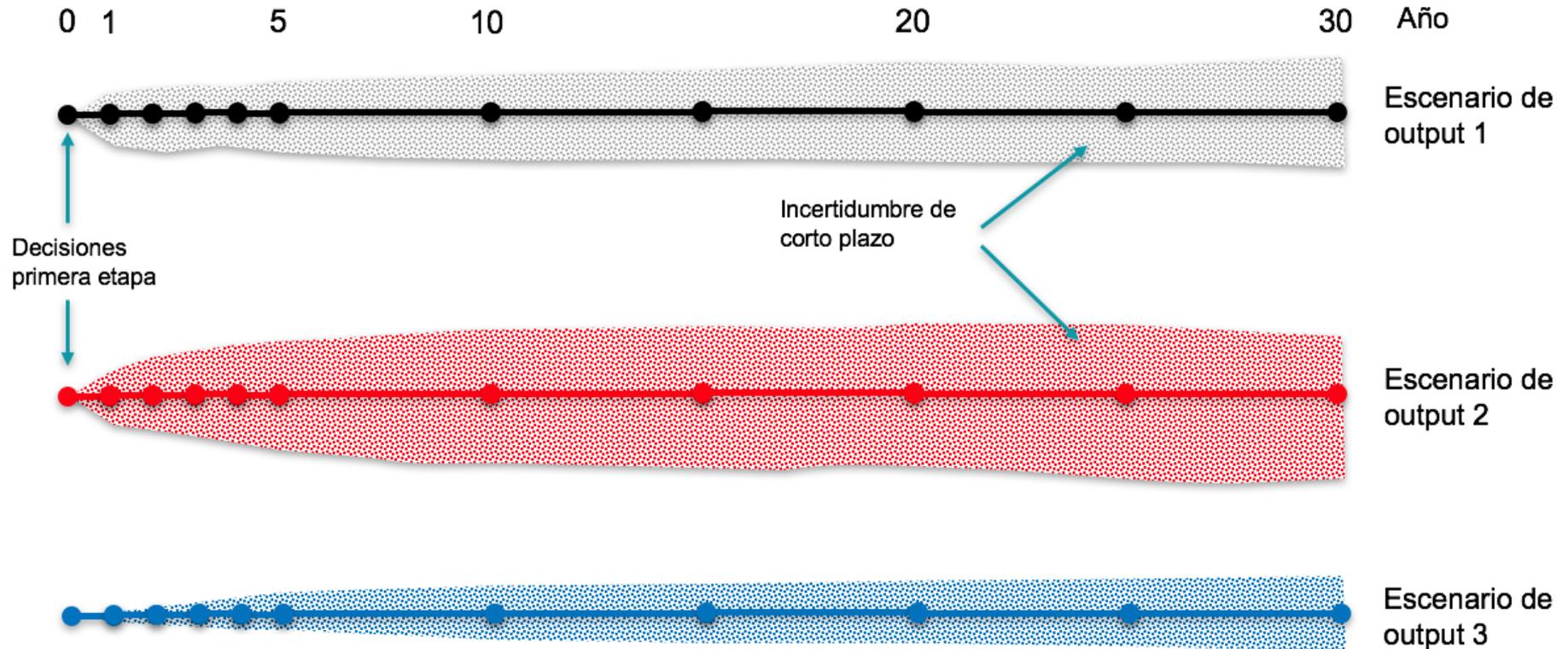
Ejemplo: Precio GNL y Demanda



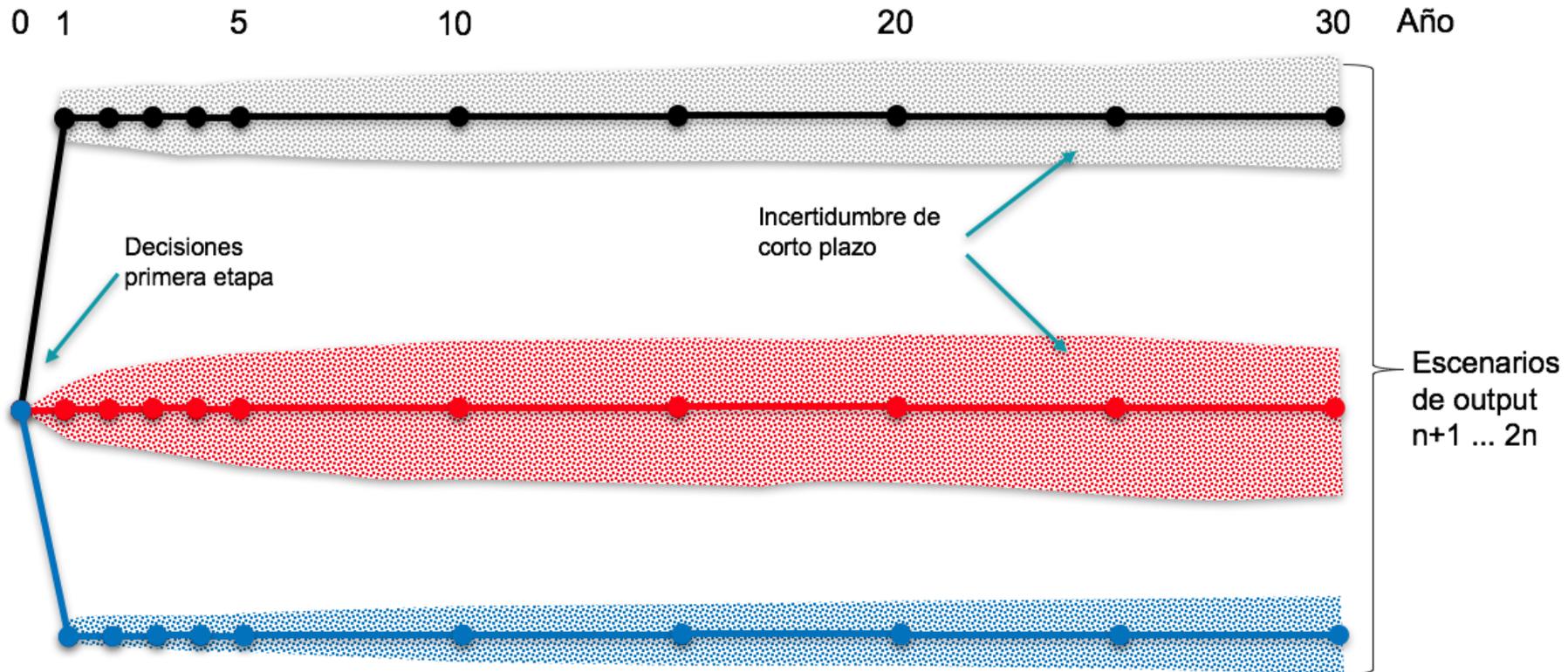
E4: Determinación de escenarios de generación: Modelación

- **Co-optimización** de expansión de generación y transmisión, costos de operación, falla y vertido
- **Detalles de operación** incorporados, aunque con un nivel de simplificación (*puntos o series e tiempo* representativas)
- Consideración de **incertidumbre de corto plazo** (ej. variabilidad de renovables, rango de precios de combustibles, etc.)
- Uso de **optimización estocástica de dos etapas**:
 - Primera etapa → inversión en líneas, grandes centrales de generación y polos de generación
 - Segunda etapa → inversión en pequeñas centrales y operación óptima del sistema
- **Posible diferenciación/simplificación temporal** → resolución anual primeros 5 años y quinquenal en los siguientes.

E4: Determinación de escenarios de generación: Plan determinístico vs estocástico (1)



E4: Determinación de escenarios de generación: Plan determinístico vs estocástico (2)



E4: Definición de escenarios de generación: Resultados

Escenario	Tecnología	Solución método determinista							Solución método estocástico						
		2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Tendencia Actual	Geotermia														
	Biomasa		188	747	1,475	2,022	2,400	2,440			744	2,157	3,000	3,000	3,000
	Carbón					172	172	344					78	172	172
	GNL					2,063	3,377	4,529					273	1,941	3,628
	Hidro				197	197	518	1,405		1,596	1,596	1,596	1,739	2,317	2,317
	CSP														
	Solar PV		445	3,639	5,627	9,969	13,750	15,492			1,450	4,918	6,775	11,107	14,669
	Eólico			922	2,686	2,951	7,085	10,388				341	2,803	6,435	10,264
Alta disponibilidad de GNL	Geotermia														
	Biomasa			158	1,493	2,375	2,872	3,000			744	978	2,193	3,000	3,000
	Carbón														
	GNL				1,053	3,491	6,814	8,377				766	2,590	5,541	8,185
	Hidro									1,596	1,596	1,596	1,596	1,596	1,596
	CSP														
	Solar PV				247	1,517	1,517	3,026					1,405	1,800	3,291
	Eólico				182	182	442	2,515				182	182	182	365
Alta disponibilidad de Biomasa	Geotermia														
	Biomasa	2	1,730	2,185	2,394	2,439	2,477	2,833			744	3,000	3,000	3,000	3,000
	Carbón			130	276	363	784	2,469				221	299	1,926	2,225
	GNL			633	1,761	4,181	6,035	6,934				1,218	3,558	5,456	6,860
	Hidro			375	998	1,863	3,465	3,674		1,596	1,596	2,104	2,317	2,920	3,596
	CSP														
	Solar PV														
	Eólico														

E4: Definición de escenarios de generación: Resultados

Escenario	Solución método determinista							Solución método estocástico							
	Tramo	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Tendencia Actual	Paposo -> Etaltal														
	Paposo -> Lalackama													2	2
	Etaltal -> Diego_de_Almagro														
	Lalackama -> Diego_de_Almagro													2	2
	Maitencillo -> Pan_de_Azucar														
	Pan_de_Azucar_220 -> Polpaico_220														
	Nogales -> Polpaico														2
	Quillota -> Polpaico														
	Polpaico -> Cerro_Navia-Lo_Aguirre														
	Cerro_Navia-Lo_Aguirre -> Alto_Jahuel														1
	Alto_Jahuel -> Ancoa_220							2	3		1	1	2	3	3
	Itahue -> Ancoa_220				2	2		2	2			1	1	1	1
	Ancoa_220 -> Charrua							1	3		1	1	1	2	3
Pichirropulli -> Charrua								4					2	2	4
Temuco-Cautin -> Valdivia-Ciruelos										1	1	1	1	1	1
Pichirropulli -> Valdivia-Ciruelos													1	1	1
Alta disponibilidad de GNL	Paposo -> Etaltal														
	Paposo -> Lalackama														
	Etaltal -> Diego_de_Almagro														
	Lalackama -> Diego_de_Almagro														1
	Maitencillo -> Pan_de_Azucar							2	2						
	Pan_de_Azucar_220 -> Polpaico_220							3	3					2	2
	Nogales -> Polpaico														
	Quillota -> Polpaico														
	Polpaico -> Cerro_Navia-Lo_Aguirre								1						
	Cerro_Navia-Lo_Aguirre -> Alto_Jahuel														
	Alto_Jahuel -> Ancoa_220										1	1	1	1	1
	Itahue -> Ancoa_220												1	1	1
	Ancoa_220 -> Charrua										1	1	1	1	1
Pichirropulli -> Charrua															
Temuco-Cautin -> Valdivia-Ciruelos								2		1	1	1	1	1	
Pichirropulli -> Valdivia-Ciruelos				2	2		2	2					1	1	1
	Paposo -> Etaltal												1	1	1
	Paposo -> Lalackama														
	Etaltal -> Diego_de_Almagro											1	1	1	1
	Lalackama -> Diego_de_Almagro												1	1	1
	Maitencillo -> Pan_de_Azucar														
	Pan_de_Azucar_220 -> Polpaico_220								1						1

E5: Cálculo de indicadores de robustez

Económicos

- Costo total esperado
- Beneficio social esperado
- Riesgo o máximo arrepentimiento
- Precios, promedios e indicadores de dispersión tempo-espaciales

Eléctricos

- ENS
- EENS
- CEENS, otros indicadores de resiliencia como tiempos de recuperación o índices de robustez de infraestructura
- Energía vertida

Otros

- Emisiones
- % renovables
- Indicadores de flexibilidad sistémica

E5: Cálculo de indicadores de robustez: Ejemplo

		Escenarios simulados caso determinístico				
	Indicadores	Tendencia Actual	Alta disponibilidad de GNL	Alta electrificación	Alta integración de energías renovables	Cambio climático
Económicos	Costo esperado	1	0.9	0.5	0.8	0.7
	Máximo arrepentimiento	0.05	0.3	0.8	0.9	0.8
Eléctricos	Energía no suministrada	0.1	0.2	0.3	0.5	0.8
	Vertido de energía renovable	0.1	0	0.1	0.7	0.6
Otros	Emisiones	1	0.7	0.8	0.4	0.6

		Escenarios simulados caso estocástico				
	Indicadores	Tendencia Actual	Alta disponibilidad de GNL	Alta electrificación	Alta integración de energías renovables	Cambio climático
Económicos	Costo esperado	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	Máximo arrepentimiento	0.3	0.9	0.7	0.9	0.8
Eléctricos	Energía no suministrada	0.2	0.1	0.9	0.8	0.2
	Vertido de energía renovable	0.1	0.1	0.3	0.3	0.1
Otros	Emisiones	0.9	0.3	0.9	0.5	0.6

Conclusiones y recomendaciones

- Se ha propuesto una metodología basada en las **mejores prácticas** a nivel internacional y basada en **modelación avanzada** de sistemas eléctricos.
- Se destaca la característica **participativa** del proceso, con expertos que representen el sector eléctrico (comité consultivo) con el fin de construir visiones consensuadas de futuro.
- Se destaca la necesidad de modelos de **co-optimización generación-transmisión** capaces de enfrentar **incertidumbre** y así construir soluciones coherentes con dicha incertidumbre, balanceando tanto las necesidades de robustez en el corto plazo como de adaptabilidad en el largo plazo.