Ministerio de Energía

Gobierno de Chile

PELP

PLANIFICACIÓN ENERGÉTICA DE **LARGO PLAZO**

TALLERES PARTICIPATIVOS
CICLO 1
SEMANA 03 MARZO 2026

Unidad de Metodologías y Estándares de Participación y Asociatividad
Unidad de Planificación y Cambio Climático

PROCESO PARTICIPATIVO

OBJETIVO SESIÓN VIRTUAL

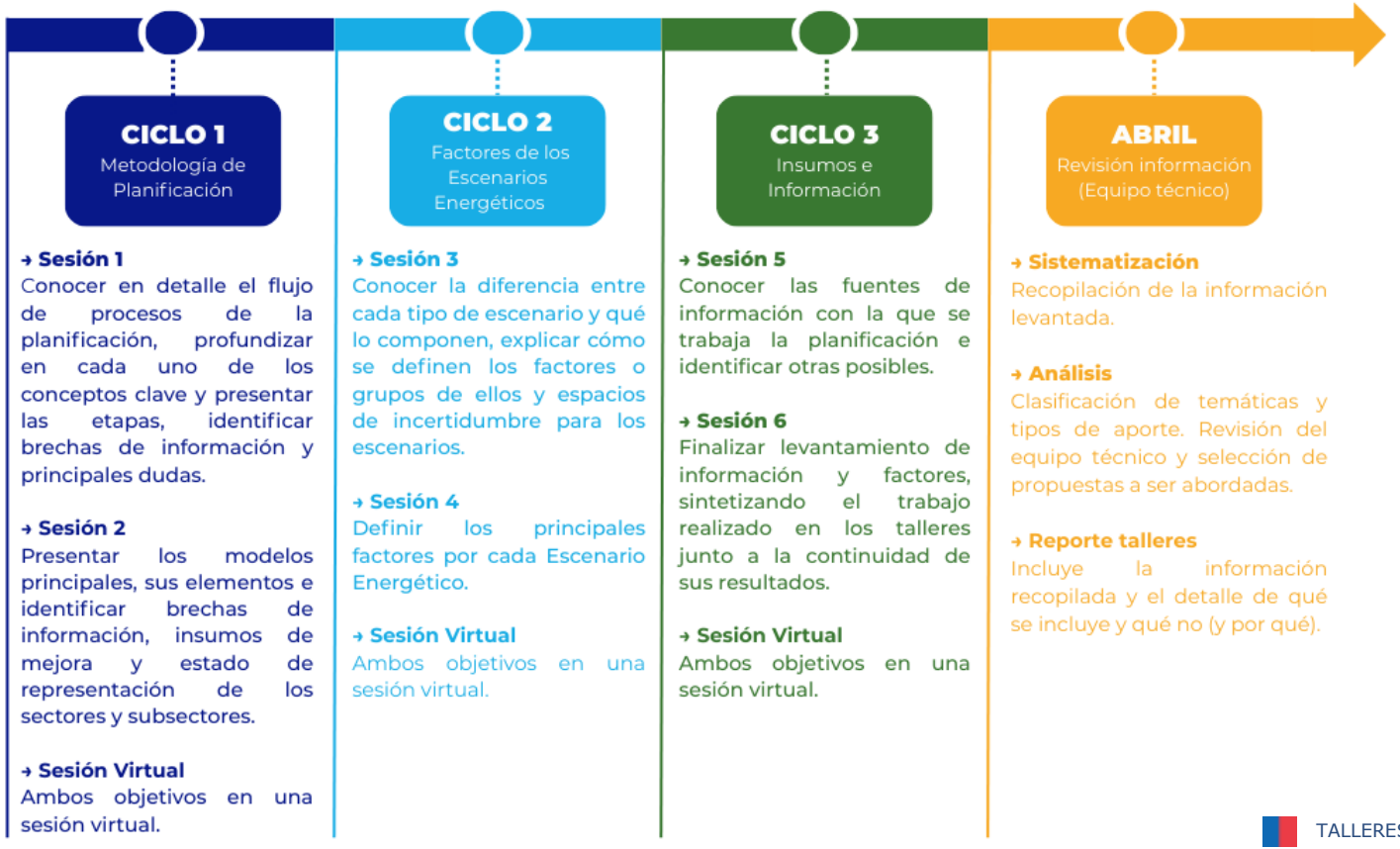
Nivelar conocimientos y dar a conocer la metodología PELP. Presentar el Plan de Trabajo post-consulta. Profundizar en los modelos de Demanda y Expansión SEN. Levantar aportes.

¿QUÉ HAREMOS HOY?	¿QUÉ NO HAREMOS HOY?
✓ Partir con un lenguaje común sobre los conceptos clave ✓ Conocer el Plan de Trabajo PELP 2028-2032 ✓ Entender los principales modelos de la PELP ✓ Trabajar en salas grupales para identificar elementos principales	○ No vamos a definir escenarios ni metas específicas ○ No vamos a rediseñar el Plan de Trabajo (ya fue consultado) ○ Los aportes de hoy alimentan el trabajo técnico, pero la decisión final es del Ministerio

¿CUÁL ES TU NIVEL DE FAMILIARIDAD CON LA PELP?

¿EN QUÉ UTILIZARÍAS LOS RESULTADOS DE LA PELP?

PROCESO PARTICIPATIVO



PLAN DE TRABAJO

Reglamento de la Planificación (Decreto 134/2017) señala que deberá contener, al menos, lo siguiente: a) Plazos, etapas e hitos del Proceso de Planificación; b) Alcance de cada una de las etapas del Proceso de Planificación; c) Modelos y metodologías que serán utilizados en el Proceso de Planificación; y d) Fuentes de información.

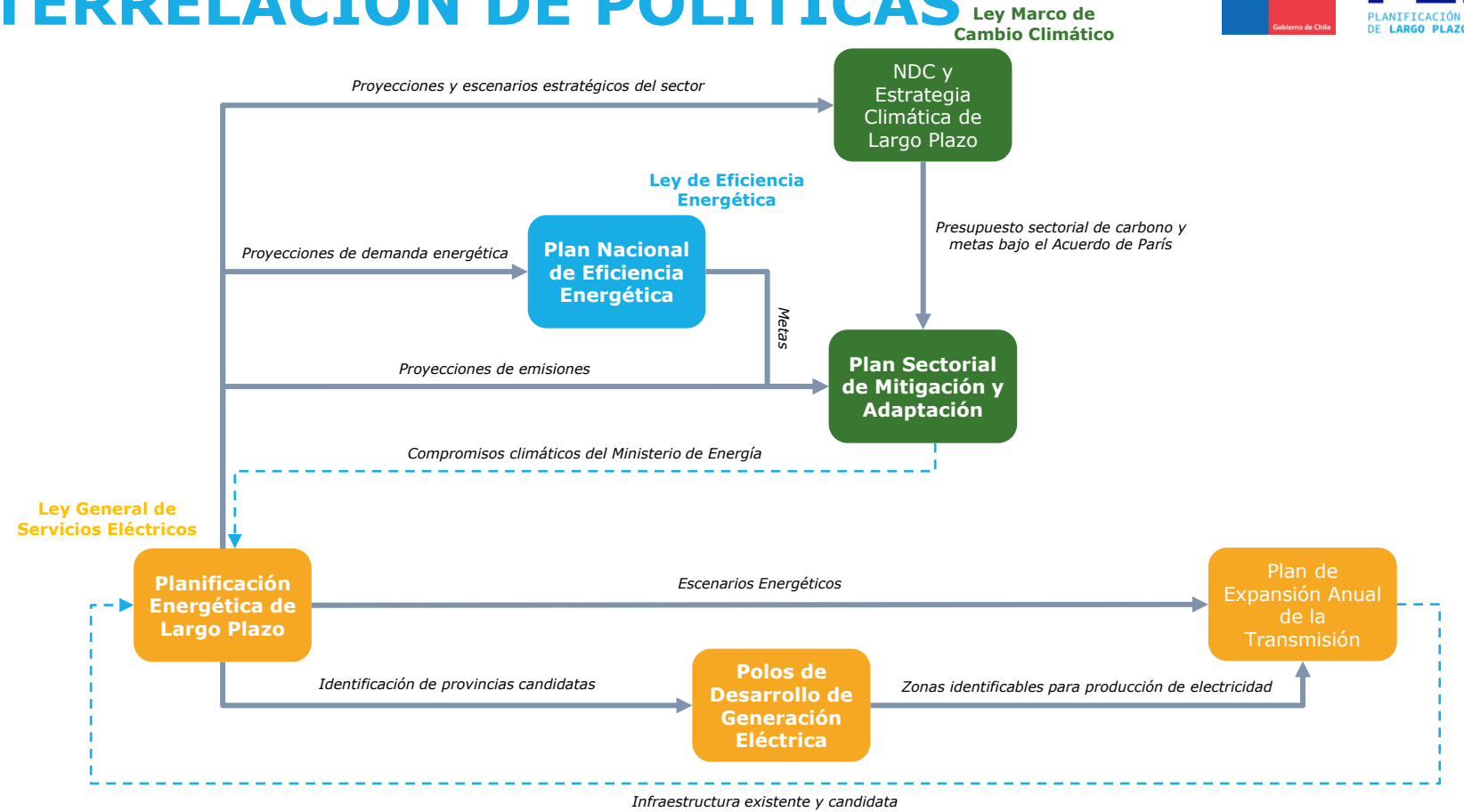
MODIFICACIONES PLAN DEFINITIVO

Luego de las observaciones recibidas del Registro de Personas Interesadas, estos fueron los principales cambios:

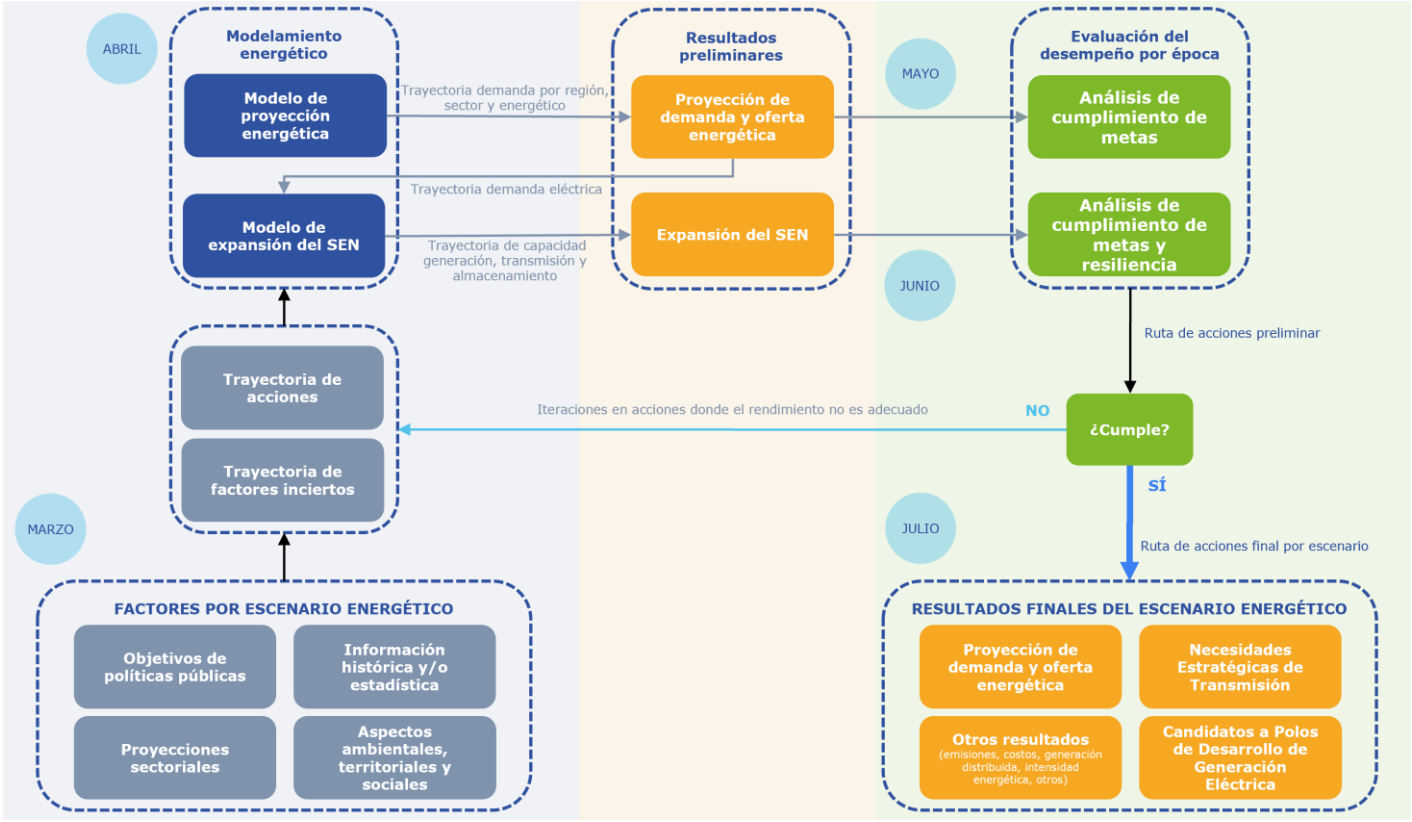
- Errores de redacción y/o tipeo
- Mayor detalle respecto a acciones (*policy levers*), tipos de escenario (exploratorio y normativo), análisis de resiliencia, épocas, talleres participativos, entre otros
- Mejora en el resumen del proceso y sus fechas
- Incorporación de Informe de Actualización de Antecedentes como hito
- Se agregan o ajustan documentos para la definición de objetivos
- Detalle de energéticos en modelo de proyección de demanda

Disponible en:
https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/plan_de_trabajo_pelp_2028-2032_definitivo.pdf

INTERRELACIÓN DE POLÍTICAS



PROCESO Y ETAPAS



Simbología

Etapas

Flujo entre etapas

Flujo entre elementos

Elementos

- Entradas
- Modelos
- Análisis
- Resultados

ÉPOCAS DE ANÁLISIS

Los resultados entre el 2028 y 2032 (primeros cinco años) son probablemente más precisos que los resultados del período entre 2053 y 2057 (últimos cinco años), dada la forma en que se propaga la incertidumbre en este tipo de sistemas complejos.

Adicionalmente, en un proceso de planificación energética en un contexto de transición energética, existen épocas que están marcadas por distintas lógicas. Por ejemplo, el corto plazo podría asociarse con la implementación de medidas identificadas cumplir con las metas definidas en cada Escenario Energético, mientras que el mediano plazo con aquel período en que se observan los resultados de dichas medidas, y, finalmente, el largo plazo puede ser aquel período en que se alcanzan las metas de largo plazo asociadas a la visión de país.

CORTO, MEDIANO Y LARGO PLAZO

Tomando en cuenta incertidumbre y etapas de la transición, se incorporará el concepto de épocas de análisis, diferenciándolas entre corto (2028-2032), mediano (2033-2042) y largo plazo (2043-2057), con el fin de analizar cada época de acuerdo con su rol.

ACCIONES (*POLICY LEVERS*)

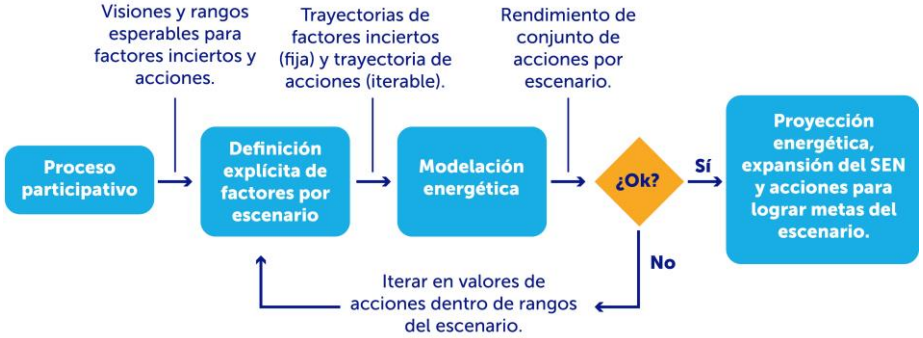
La introducción del espacio de decisión, correspondiente al conjunto de valores parametrizables que pueden tomar los acciones, orienta el problema de planificación hacia encontrar los mejores valores para estas acciones, dado una materialización de la incertidumbre en el escenario bajo estudio. Las acciones serán elementos sobre los que el Ministerio de Energía tenga injerencia (elementos de diseño).

ITERACIONES

El esquema metodológico del proceso de planificación tiene una etapa de retroalimentación basada en el rendimiento que generan las acciones y la iteración sobre los valores de estas.

RESULTADOS

El objetivo es obtener una ruta con los valores óptimos de cada acción para cada Escenario Energético.



TIPOS DE ESCENARIOS

Existen escenarios destinados a la exploración del espacio de incertidumbre, donde las acciones a adoptar guarden relación con los niveles esperados, mientras que también pueden existir escenarios de carácter normativo, destinados a explorar qué valores de las acciones permiten obtener una respuesta satisfactoria ante una materialización adversa de la incertidumbre.

ESCENARIOS EXPLORATORIOS (3)

Tienen el mismo nivel de acciones, de forma que se pueda comparar entre ellos la materialización de la incertidumbre. Dicho nivel corresponde al estado actual de las acciones en los planes del Ministerio, y cualquier iteración dentro del marco de lo consensuado.

ESCENARIOS NORMATIVOS (2)

El nivel de las acciones varía respecto a los escenarios exploratorios, puesto que su fin es determinar las acciones que mitiguen la materialización adversa de la incertidumbre en los dos peores escenarios exploratorios. La iteración podría darse en un nivel de valores mayor a lo establecido en los planes actuales, en línea con la lógica de este tipo de escenarios normativos. Así, cada escenario normativo se puede comparar con el escenario exploratorio correspondiente.

TIPOS DE ESCENARIOS

Bajo la definición anterior, la estructura de los escenarios exploratorio y normativos queda como se indica, a continuación:

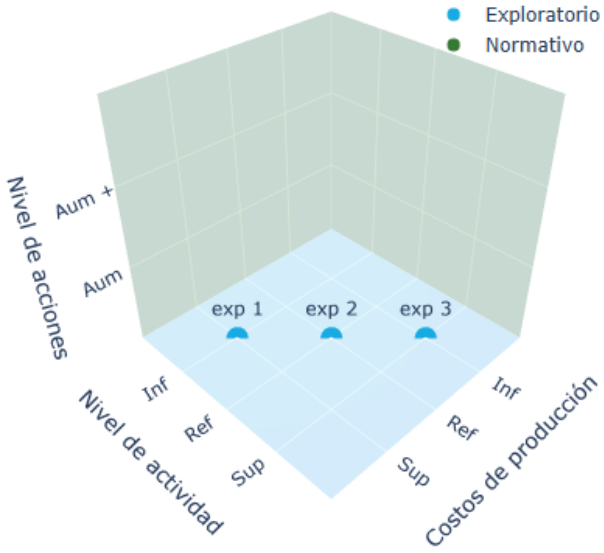
Macro-factor/Escenario	Exploratorio 1	Exploratorio 2	Exploratorio 3	Normativo 1	Normativo 2
Niveles de actividad	Inferior	Referencial	Superior	Inferior	Referencial
Costos de producción	Superior	Referencial	Inferior	Superior	Referencial
Niveles de acciones	Referencial	Referencial	Referencial	Aumentado +	Aumentado

Esta estructura de escenarios permite elaborar escenarios coherentes internamente. Cabe mencionar que, dentro de cada macro-factor, existen distintos factores que se definirán durante el proceso participativo.

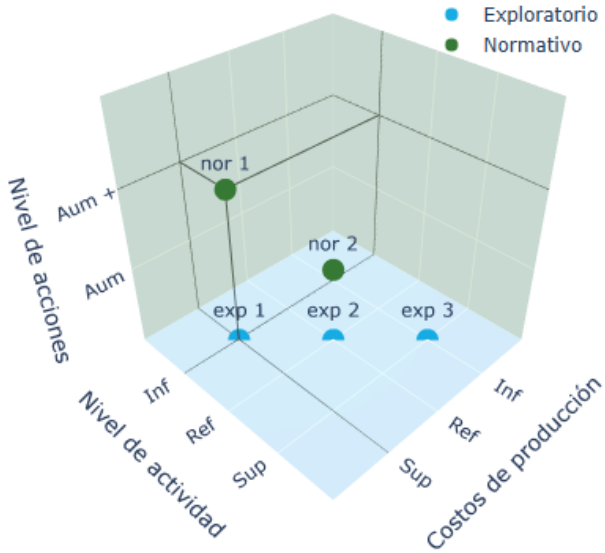
Además, esta estructura de escenarios permite explorar el espacio de incertidumbre y el espacio de decisión con una cobertura amplia acorde con la capacidad de contar con un máximo de 5 escenarios.

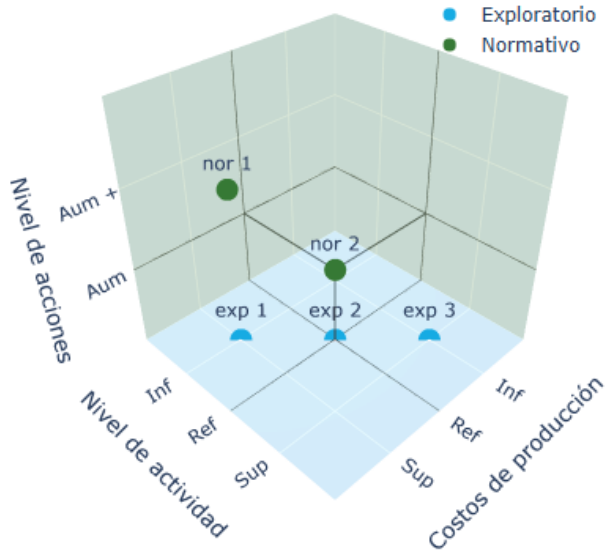
TIPOS DE ESCENARIOS

Esta estructura de escenarios se visualiza a continuación para un caso ilustrativo.



Escenarios exploratorios.





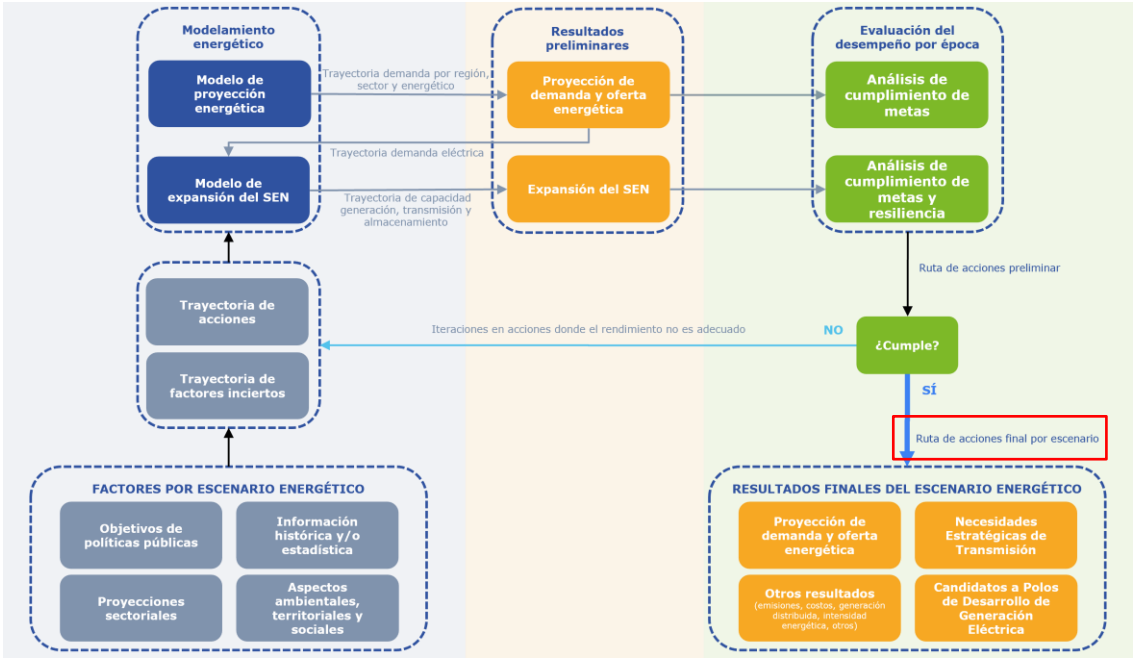
Escenarios exploratorios y normativos – zoom a normativo 1 (izquierda) y a normativo 2 (derecha)

RUTAS DE ACCIONES

El resultado del proceso de planificación, entre otros, es la proyección energética por escenario, junto a la expansión de la infraestructura energética requerida, en particular, la expansión del SEN.

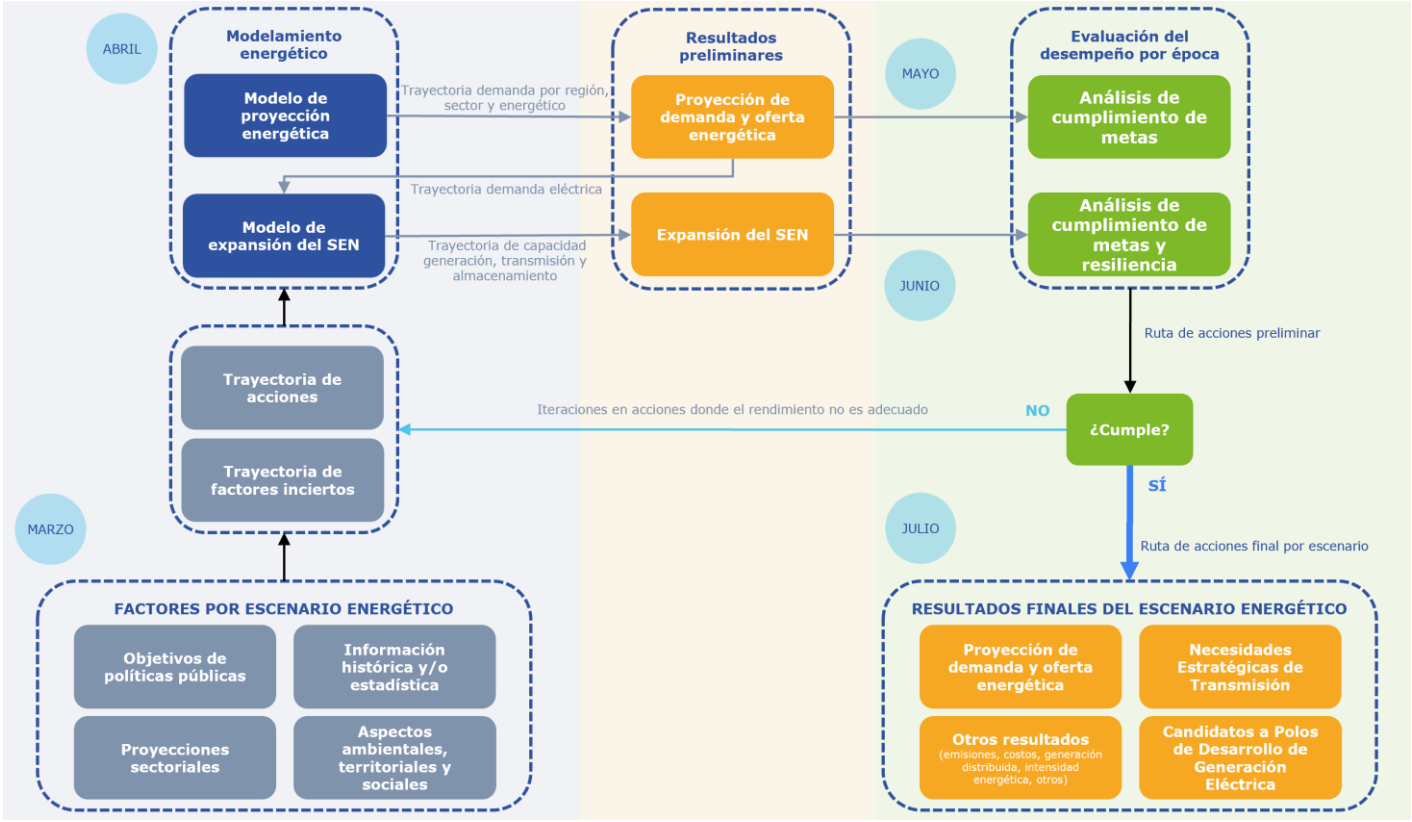
Se propone que este resultado vaya acompañado además de una ruta (*pathway*), que corresponde a los valores de las acciones en el tiempo, obtenidos del propio proceso iterativo.

Esta ruta permitirá poder hacer un seguimiento a las acciones requeridas para lograr los resultados del modelamiento energético en dicho escenario, orientando la planificación hacia la acción, poniendo especial énfasis en aquellas acciones que sean habilitantes.



¿QUÉ CONCEPTO LE QUEDÓ MENOS CLARO?

PROCESO Y ETAPAS



Simbología

Etapas

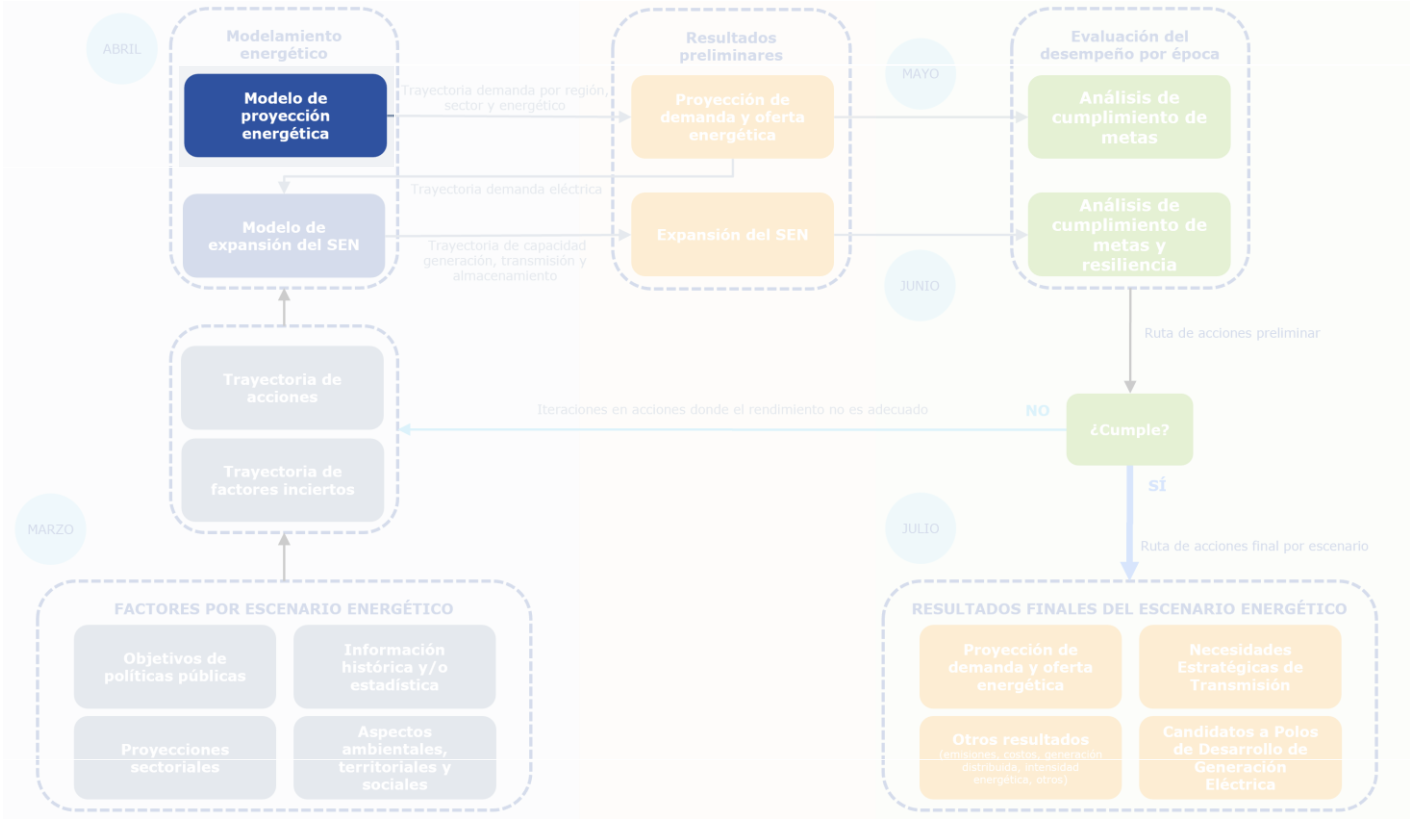
Flujo entre etapas

Flujo entre elementos

Elementos

- Entradas
- Modelos
- Análisis
- Resultados

PROCESO Y ETAPAS



Simbología

Etapas

Flujo entre etapas

Flujo entre elementos

Elementos

- Entradas
- Modelos
- Análisis
- Resultados

MODELO PROYECCIÓN ENERGÉTICA

Principales puntos a tratar

1. LÓGICA DE CÁLCULO

El modelo es una abstracción de la realidad en el que se proyecta la demanda energética, en base a distintos escenarios. En éste se dividen los distintos sectores consumidores de energía y se proyectan sus demandas en base a sus niveles de actividad e intensidad energética.

2. ÁRBOL DE DEMANDA

Parte central del modelo energético, donde se identifican las demandas de los energéticos por sector y región para cada año.

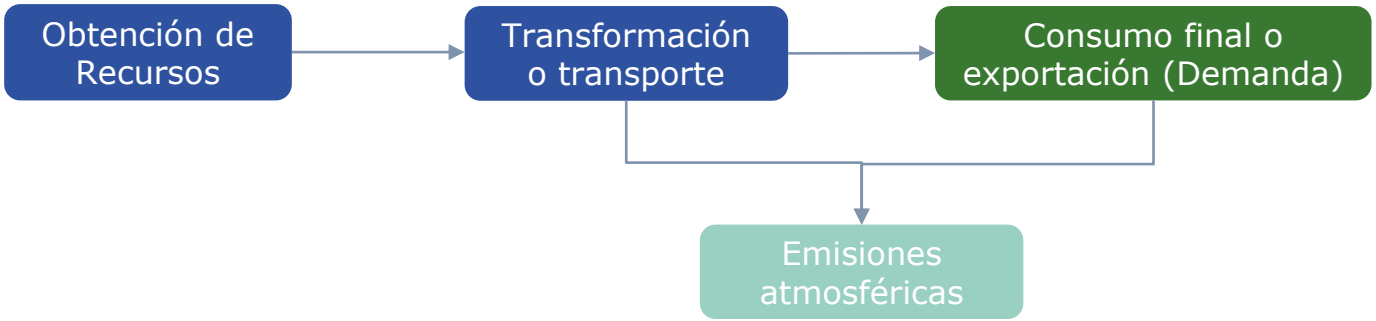
3. RESULTADOS TIPO

Se identifica la demanda de cada energético que debiese ser cubierta en cada escenario para cada sector y región del país.

MODELO PROYECCIÓN ENERGÉTICA

El modelo de proyección energética comprende desde la obtención de recursos energéticos hasta su uso final, pasando -en algunos casos- por procesos de transformación. Todo lo anterior propiciado por la demanda energética.

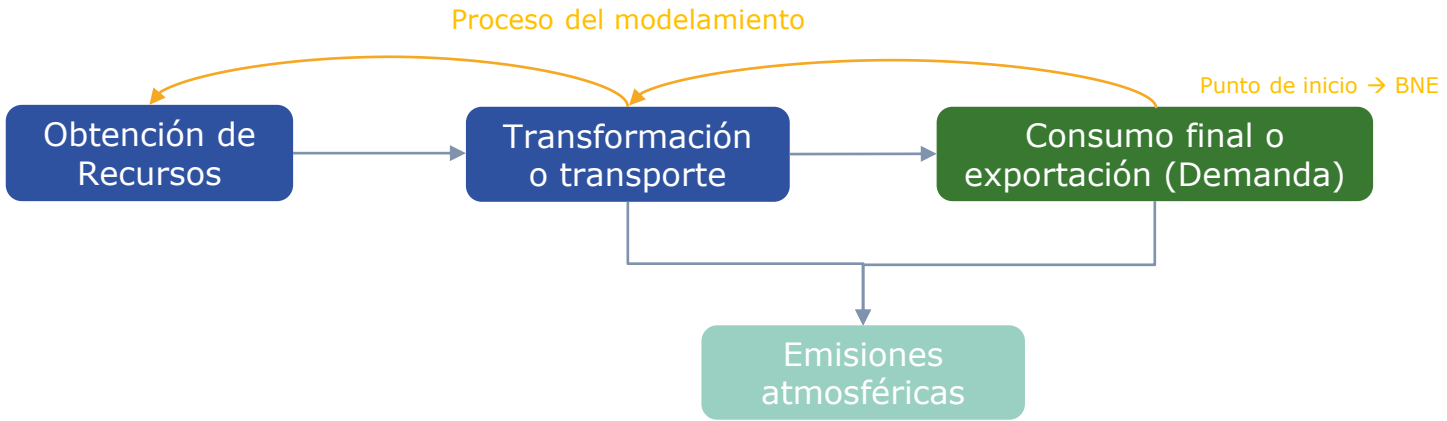
Se busca abordar integralmente el sistema energético y evaluar el eventual cumplimiento de los diversos objetivos de Chile y, en particular, del sector energía.



MODELO PROYECCIÓN ENERGÉTICA

El modelo de proyección energética comprende desde la obtención de recursos energéticos hasta su uso final, pasando -en algunos casos- por procesos de transformación. Todo lo anterior propiciado por la demanda energética.

Se busca abordar integralmente el sistema energético y evaluar el eventual cumplimiento de los diversos objetivos de Chile y, en particular, del sector energía.



MODELO PROYECCIÓN ENERGÉTICA

El modelo de demanda energética inicia con la construcción de un árbol de demanda que se divide en sectores y subsectores, lo cuales a su vez se dividen en las tecnologías que consumen uno o más tipos de energéticos.

Posteriormente, para cada subsector se proyecta y define su nivel de actividad (por ejemplo, la producción anual de cobre en cada región y año) y su intensidad de consumo energético (consumo energético por unidad de producción), así como también se define la eficiencia de cada tecnología y otros factores relevantes, según el sector modelado.

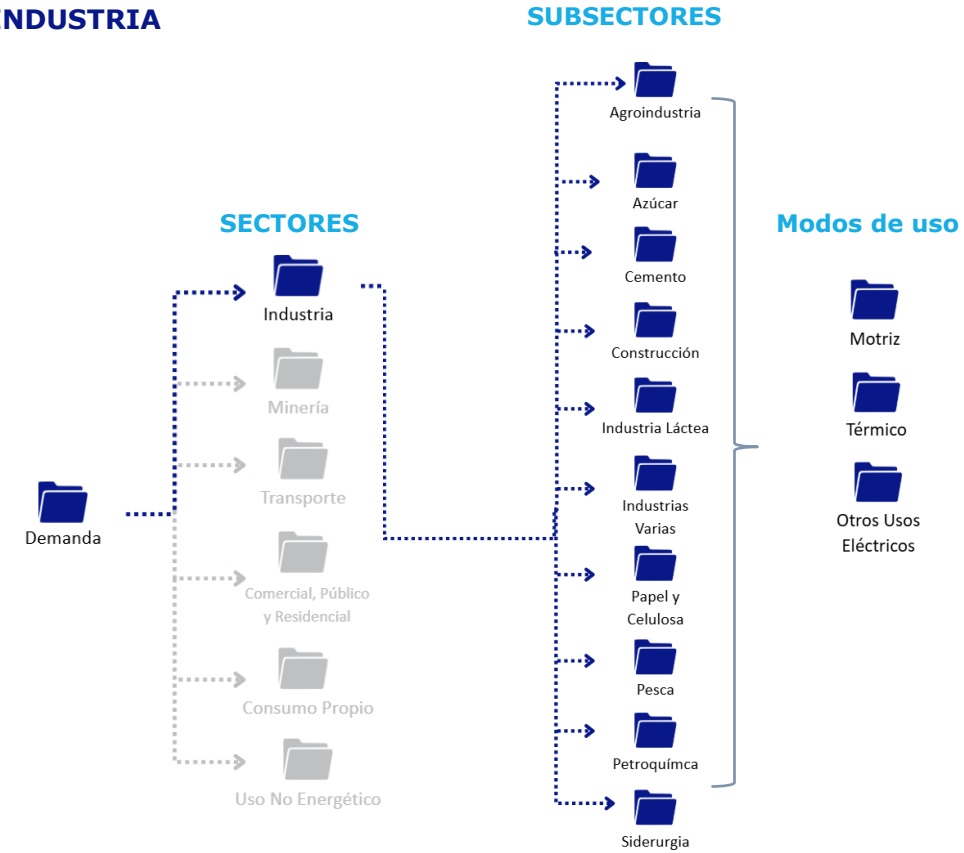
$$DemandaEnergética = NivelDeActividad \cdot IntensidadEnergética$$

MODELO PROYECCIÓN ENERGÉTICA

GRUPO	TIPO	RECUPERACIÓN	CARBONO NEUTRALIDAD	TRANSICIÓN ACELERADA
Factores inciertos	Crecimiento económico	Bajo	Medio	Alto
	Precio de combustibles fósiles	Bajo	Medio	Alto
	Disminución de costos de tecnologías ERNC	Disminución lenta	Disminución rápida	Disminución rápida
	Generación distribuida	Base	Alta	Alta+
	Almacenamiento en SEN	Medio	Alto	Alto+
Acciones	Compromisos climáticos de mitigación GEI	NDC y CN 2050 incierta	NDC y CN 2050	NDC y adelanto CN
	Precio al carbono	Bajo	Medio	Alto
	Electromovilidad	Estrategia actual	Niveles carbono neutralidad	Mayores a Carbono neutralidad
	Hidrógeno verde (H2V)	Tendencia natural	Niveles carbono neutralidad	Estrategia de H2 verde
	Cierre de carboneras	Actual	Acelerado	Acelerado +
	Leña seca	Alta en zona urbana	Alta en zona urbana Disminuye uso a largo plazo	Disminución sustancial del uso de leña, la que queda es seca
	Calefacción distrital	Base	Medio	Alto
	Recambio de calefactores	Base	Medio	Medio
	Aislación térmica	Base	Medio	Alto + net zero buildings
	Gestión inteligente de la demanda	Gestión climatización	Gestión horaria EM Gestión climatización	Gestión horaria EM Gestión climatización
	Producción de H2V	Baja producción on-grid Exportación baja	Media producción on-grid Exportación media	Alta producción on-grid Exportación optimista
	Uso eficiente en CPR	Ley EE	Ley EE+	Ley EE + y Net zero buildings
	Uso eficiente en Transporte, Industria y Minería	Ley EE	Ley EE+	Ley EE++ Alta penetración de renovables en usos térmicos/motrices

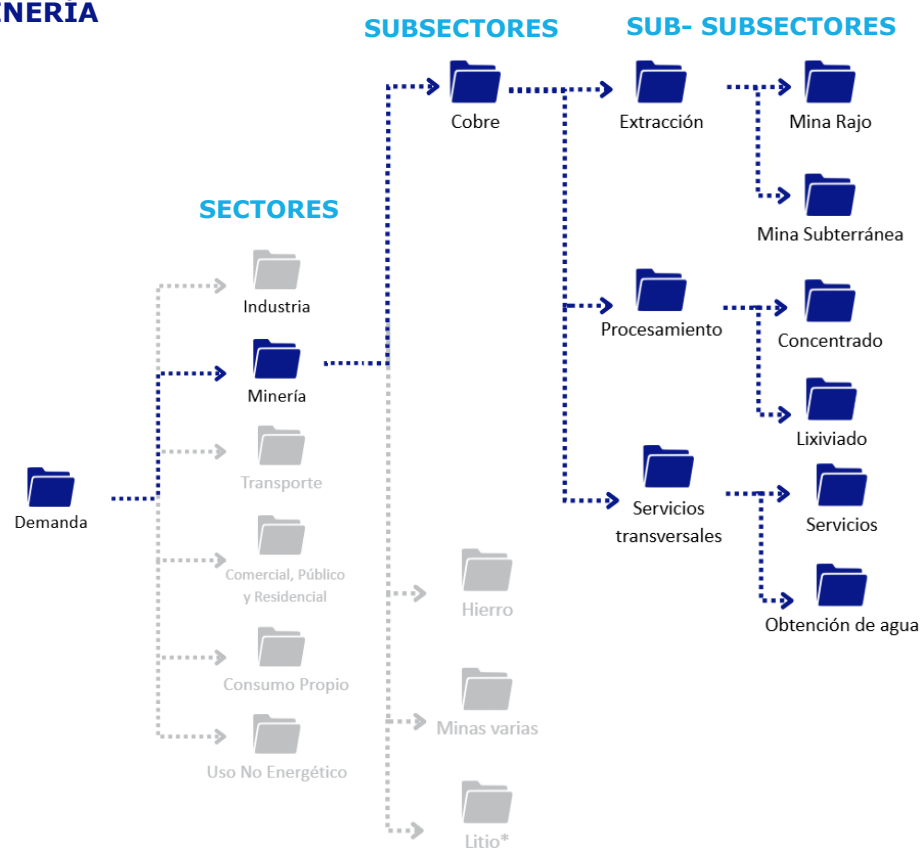
MODELO PROYECCIÓN ENERGÉTICA

SECTOR INDUSTRIA



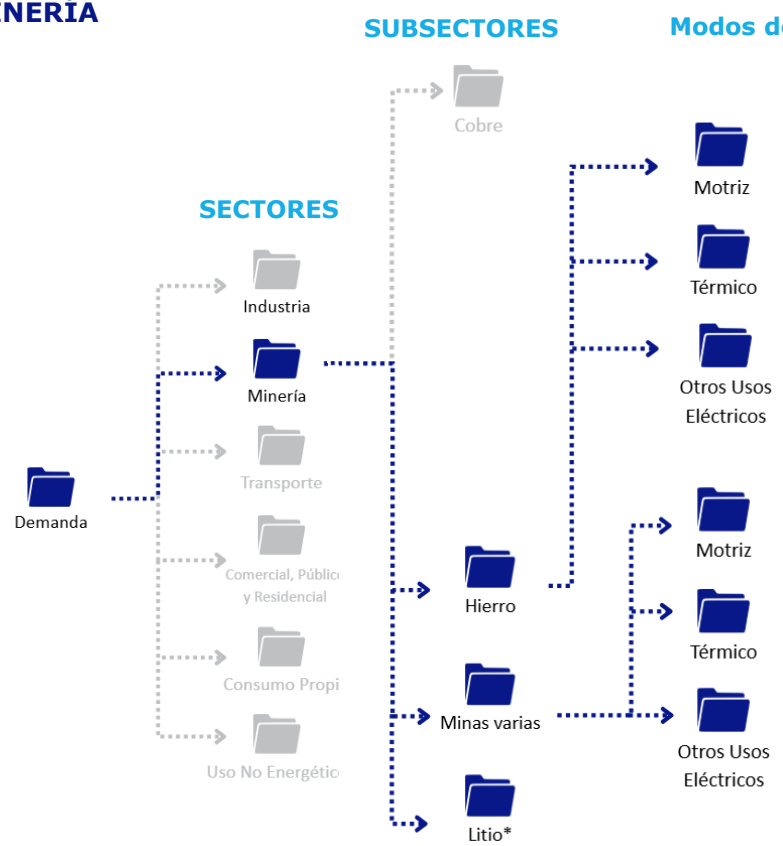
MODELO PROYECCIÓN ENERGÉTICA

SECTOR MINERÍA



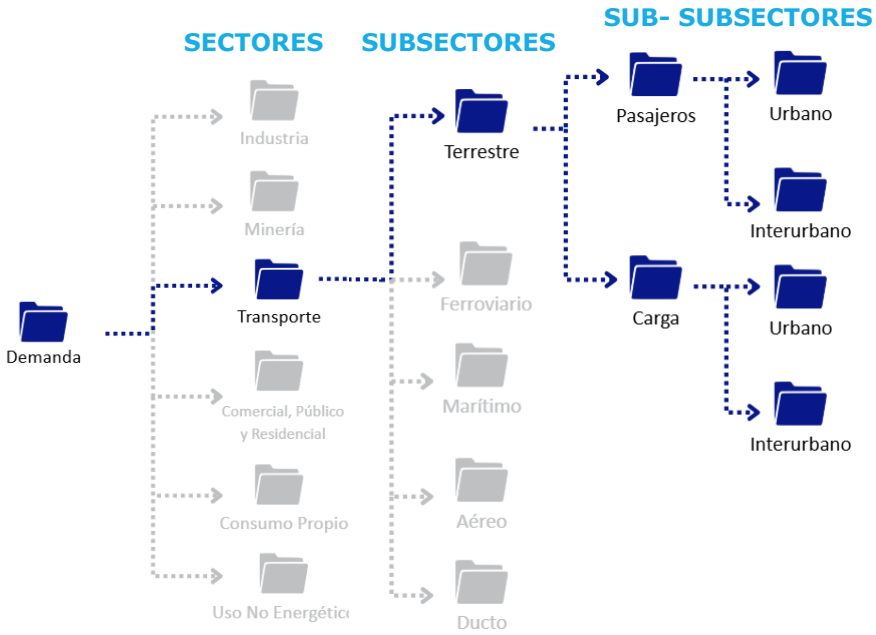
MODELO PROYECCIÓN ENERGÉTICA

SECTOR MINERÍA



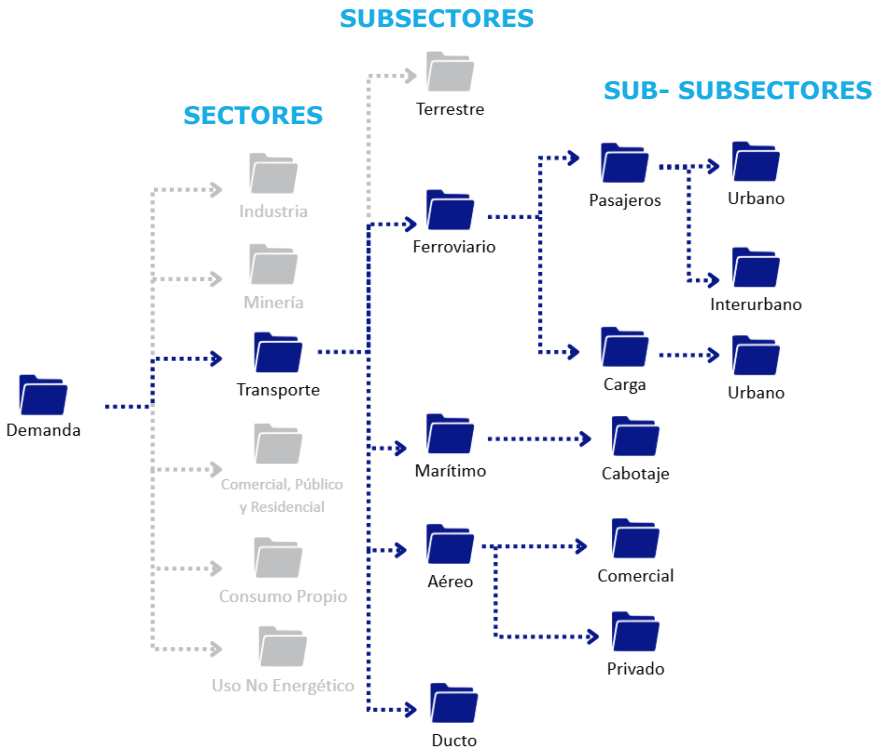
MODELO PROYECCIÓN ENERGÉTICA

SECTOR TRANSPORTE



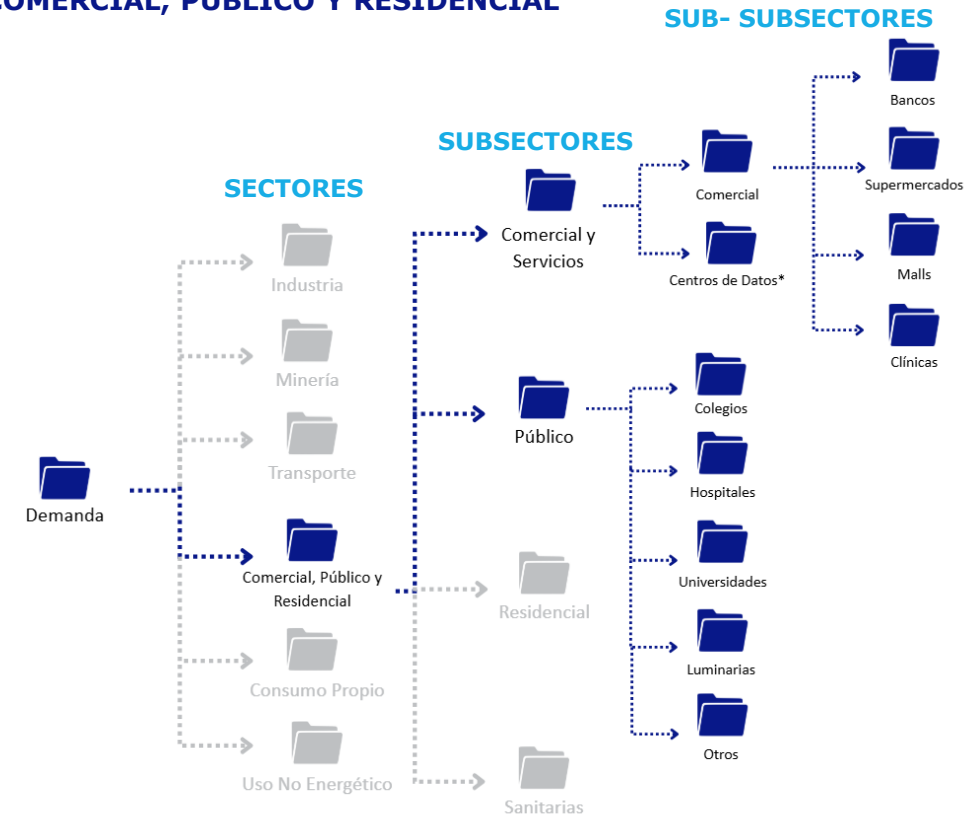
MODELO PROYECCIÓN ENERGÉTICA

SECTOR TRANSPORTE



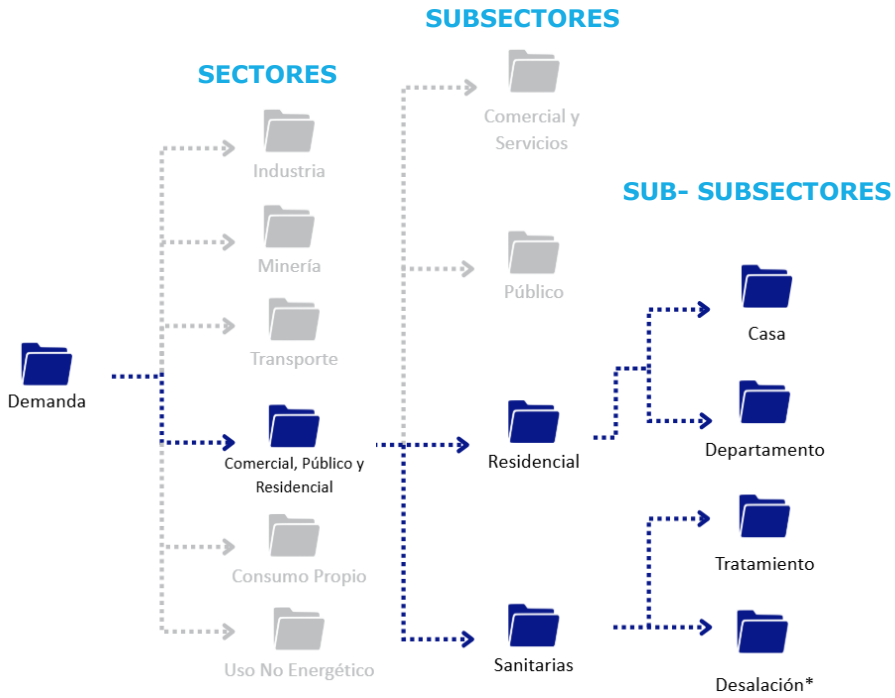
MODELO PROYECCIÓN ENERGÉTICA

SECTOR COMERCIAL, PÚBLICO Y RESIDENCIAL



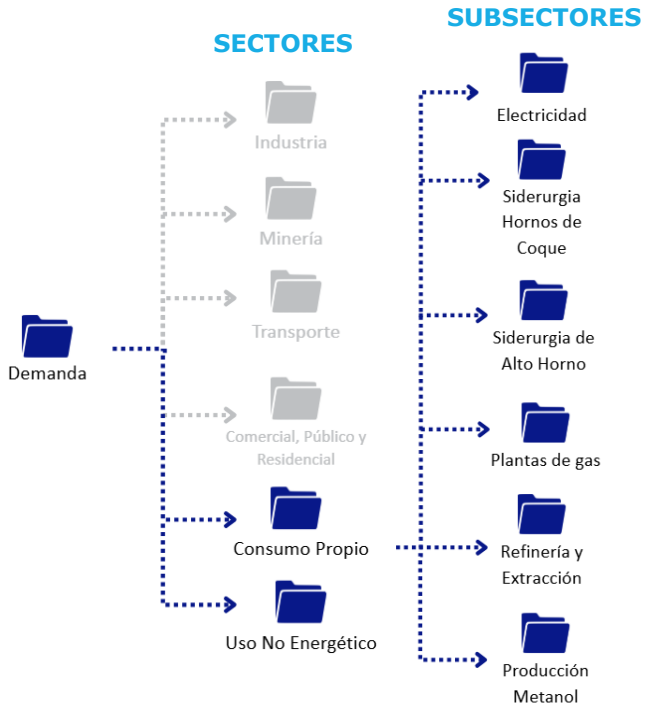
MODELO PROYECCIÓN ENERGÉTICA

SECTOR COMERCIAL, PÚBLICO Y RESIDENCIAL



MODELO PROYECCIÓN ENERGÉTICA

SECTOR CONSUMO PROPIO Y USO NO ENERGÉTICO



MODELO PROYECCIÓN ENERGÉTICA

RESULTADOS TIPO

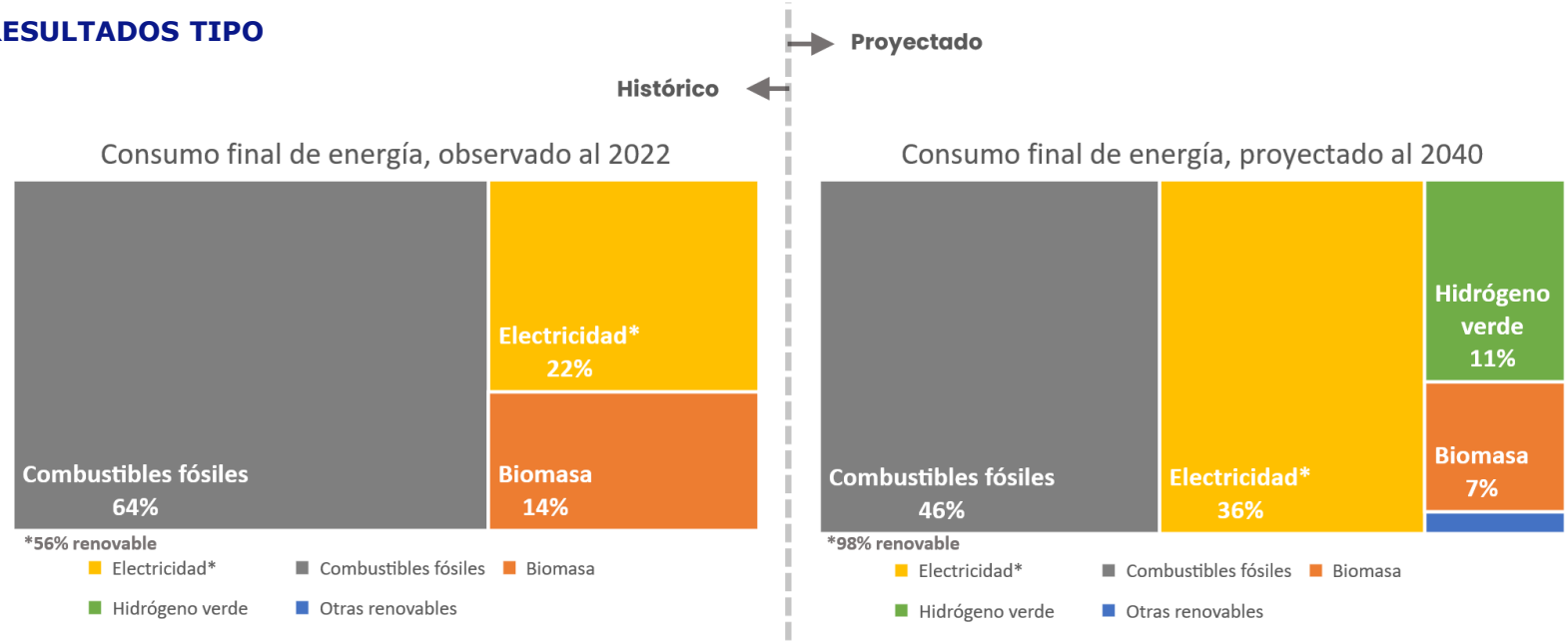


Figura 1. Consumo final de energía al 2040, proyección del Escenario Carbono Neutralidad de la PELP 2023-2027. Valores observados al 2022 provenientes del Balance Nacional de Energía.

MODELO PROYECCIÓN ENERGÉTICA

RESULTADOS TIPO

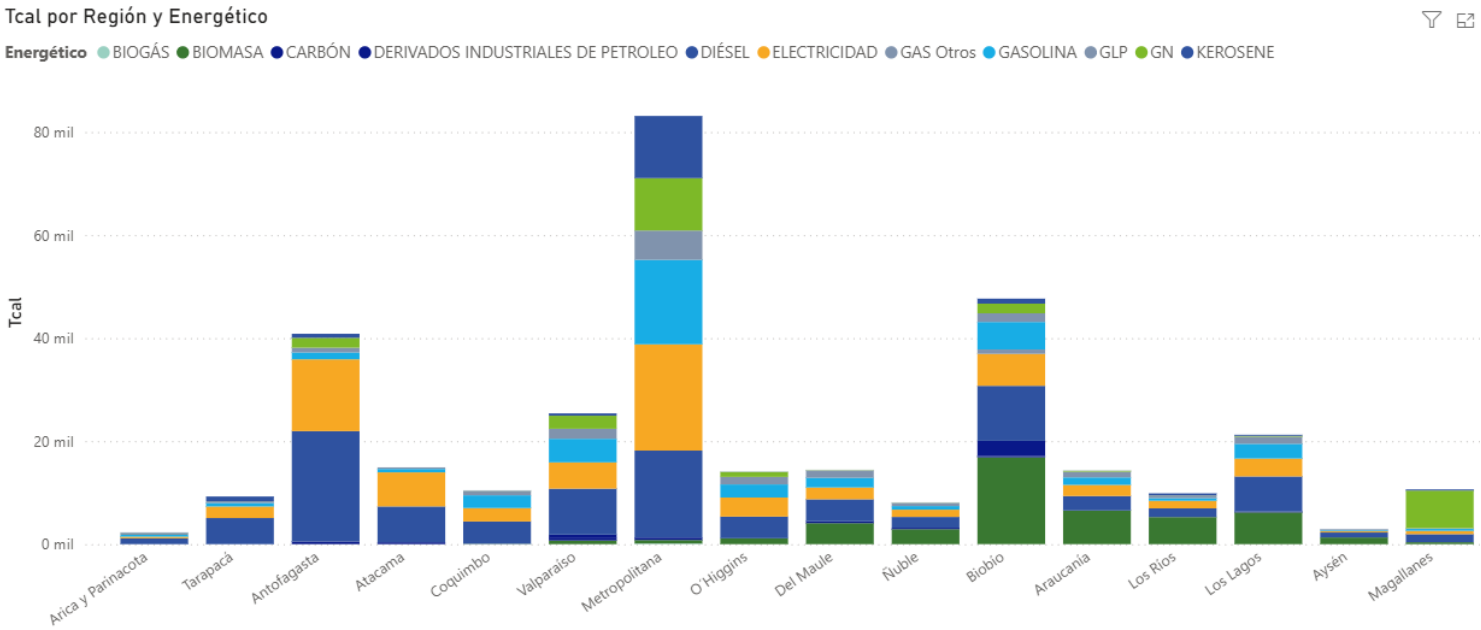


Figura 2. Demanda energética para un año y escenario particular, por región, desagregada por energético.

MODELO PROYECCIÓN ENERGÉTICA

RESULTADOS TIPO

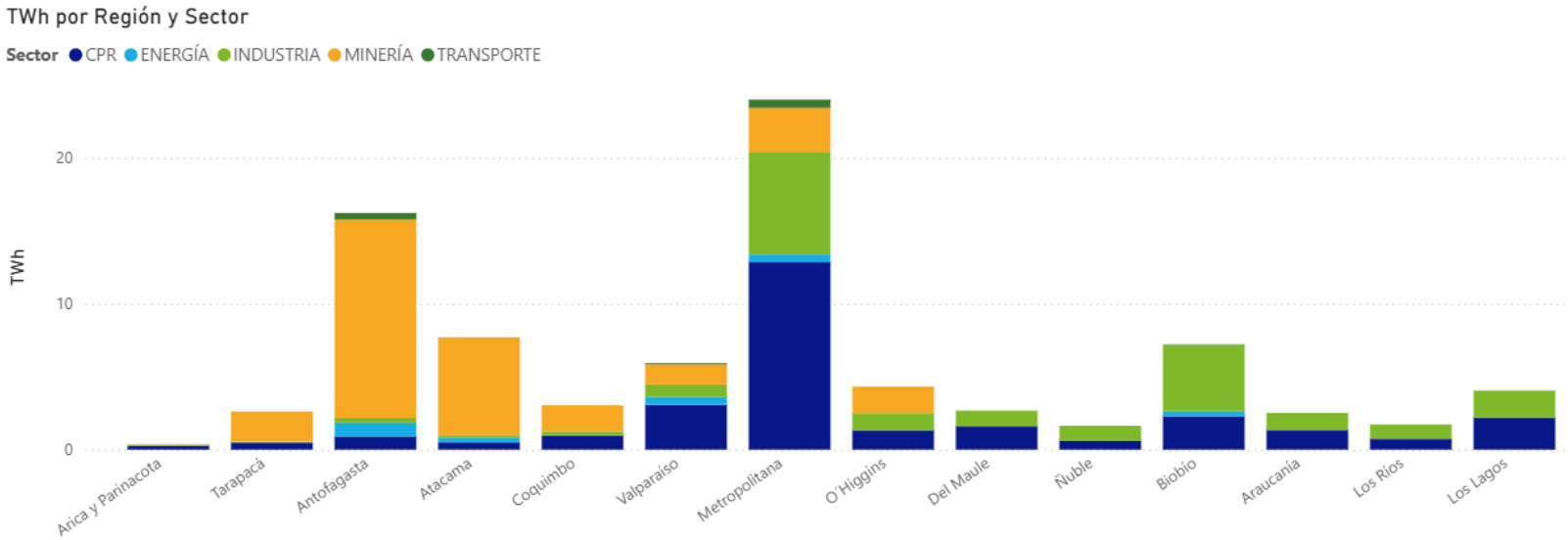


Figura 3. Demanda eléctrica en las regiones del SEN para un año y escenario particula, desagregada por sectores de consumo energético.

Ministerio de Energía

Gobierno de Chile

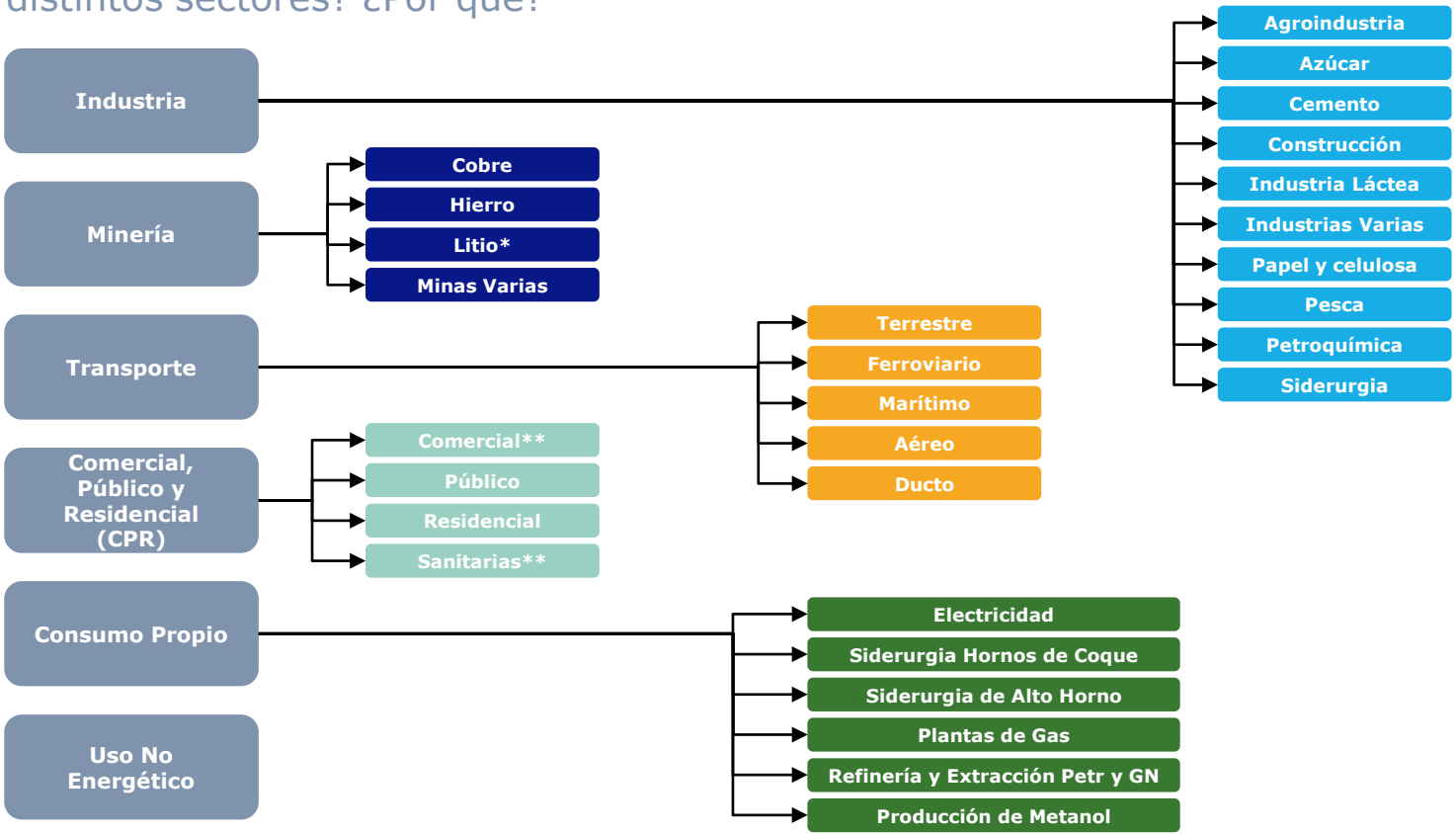
PELP

PLANIFICACIÓN ENERGÉTICA DE **LARGO PLAZO**

TRABAJO EN SALAS

BLOQUE 1 – PREGUNTA 1

¿Le parece que el árbol del modelo de demanda energética representa adecuadamente los distintos sectores? ¿Por qué?



* Reemplaza salitre
** Comercial incorpora Data Centers y Sanitarias incorporada Desalación

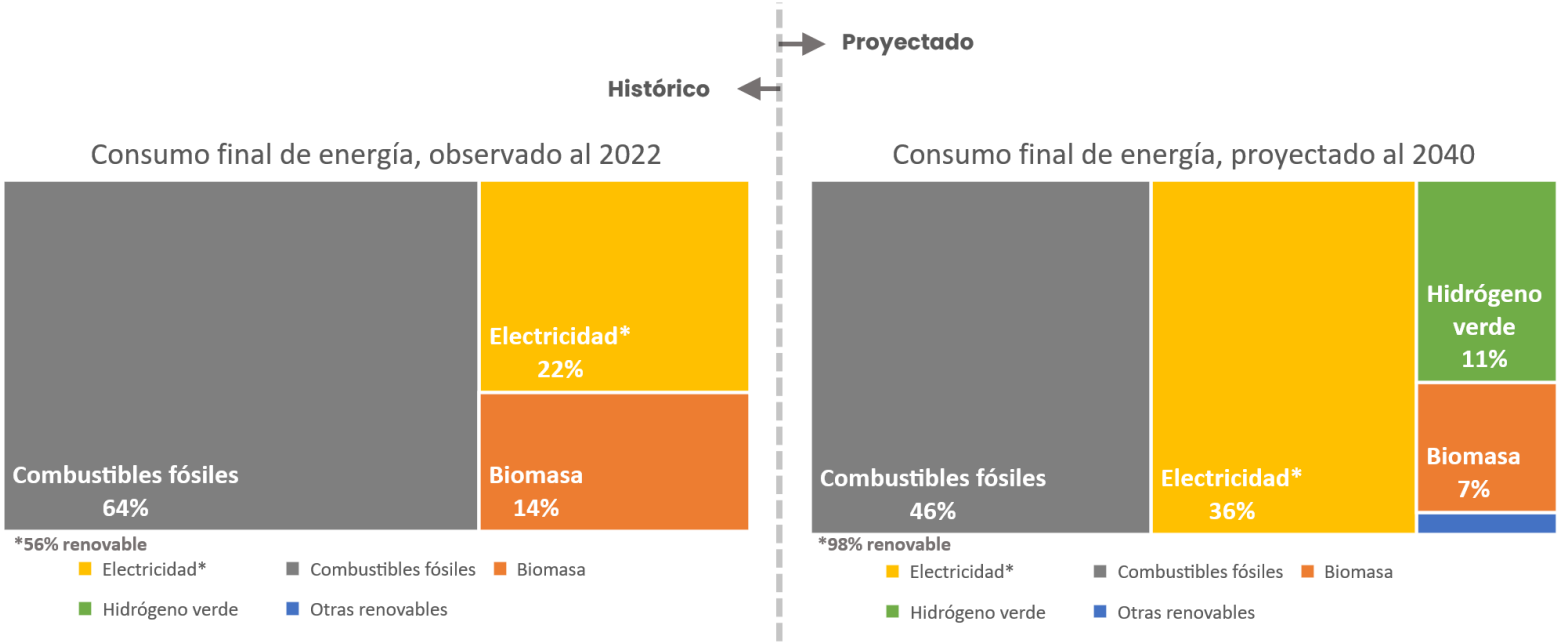
BLOQUE 1 – PREGUNTA 2

El proceso de la PELP vigente (2023-2027) considera los elementos de la tabla como factores inciertos y acciones. ¿Identifica nuevos grupos a considerar? ¿Por qué?

GRUPO	TIPO	RECUPERACIÓN	CARBONO NEUTRALIDAD	TRANSICIÓN ACELERADA	COMENTARIOS
Factores inciertos	Crecimiento económico	Bajo	Medio	Alto	
	Precio de combustibles fósiles	Bajo	Medio	Alto	
	Disminución de costos de tecnologías ERNC	Disminución lenta	Disminución rápida	Disminución rápida	
	Generación distribuida	Base	Alta	Alta+	
	Almacenamiento en SEN	Medio	Alto	Alto+	
Acciones	Compromisos climáticos de mitigación GEI	NDC y CN 2050 incierta	NDC y CN 2050	NDC y adelanto CN	
	Precio al carbono	Bajo	Medio	Alto	
	Electromovilidad	Estrategia actual	Niveles carbono neutralidad	Mayores a Carbono neutralidad	
	Hidrógeno verde (H2V)	Tendencia natural	Niveles carbono neutralidad	Estrategia de H2 verde	
	Cierre de carboneras	Actual	Acelerado	Acelerado +	
	Leña seca	Alta en zona urbana	Alta en zona urbana Disminuye uso a largo plazo	Disminución sustancial del uso de leña, la que queda es seca	
	Calefacción distrital	Base	Medio	Alto	
	Recambio de calefactores	Base	Medio	Medio	
	Aislación térmica	Base	Medio	Alto + net zero buildings	
	Gestión inteligente de la demanda	Gestión climatización	Gestión horaria EM Gestión climatización	Gestión horaria EM Gestión climatización	
	Producción de H2V	Baja producción on-grid Exportación baja	Media producción on-grid Exportación media	Alta producción on-grid Exportación optimista	
	Uso eficiente en CPR	Ley EE	Ley EE+	Ley EE + y Net zero buildings	
	Uso eficiente en Transporte, Industria y Minería	Ley EE	Ley EE+	Ley EE++ Alta penetración de renovables en usos térmicos/motrices	

BLOQUE 1 – PREGUNTA 3

¿Qué energéticos están sub o sobre representados en la PELP 2023-2027? ¿Por qué?



2040 – 46% combustibles fósiles = 13,9% Petróleo diésel; 10,6% Gasolina; 6% Jet kerosene; 5,9% Gas licuado; 5,8% Gas natural; 3,4% Otros (Petróleos combustibles, kerosene, gas de refinería, gas de coque, gas de alto horno, coque mineral, nafta, entre otros).

Ministerio de Energía

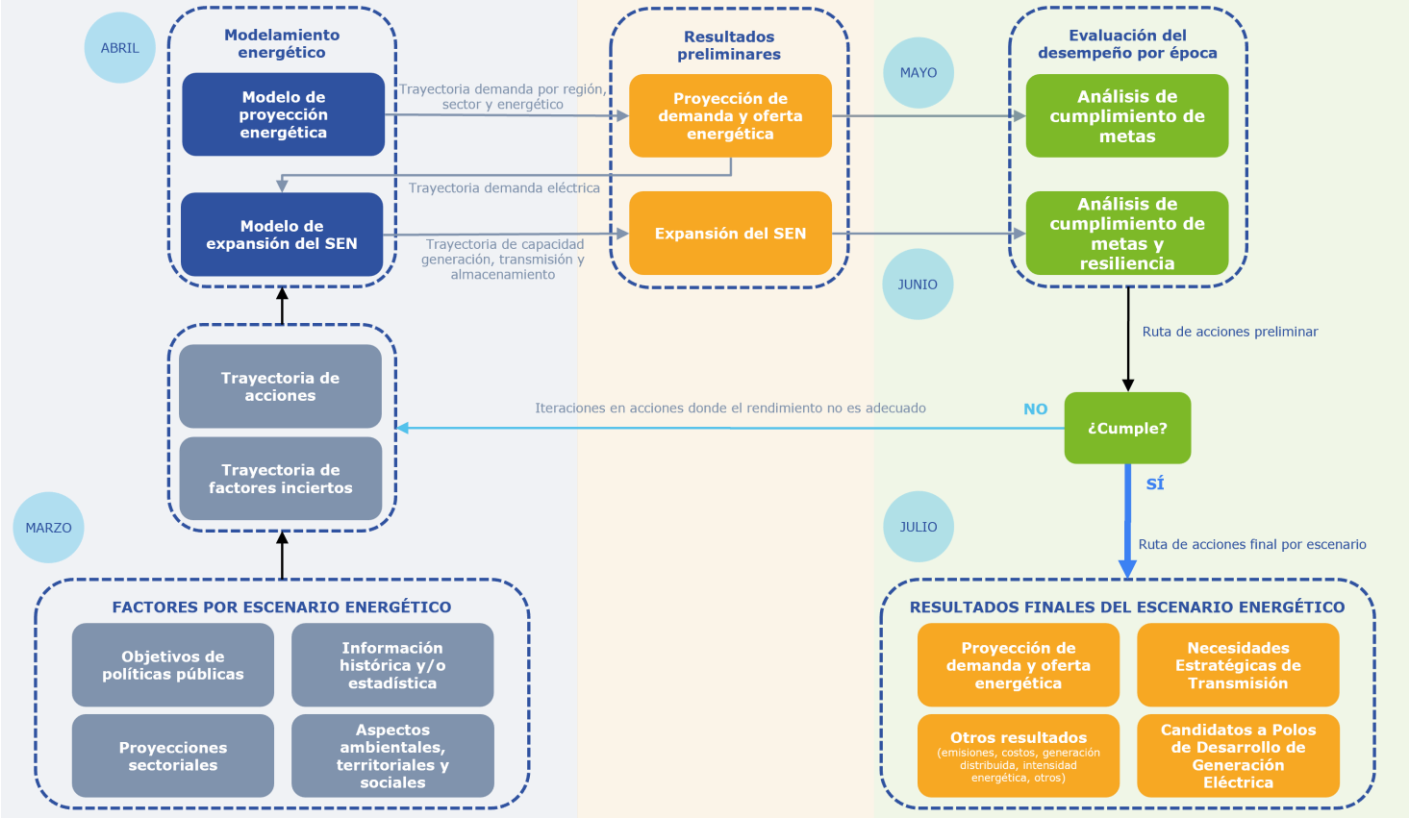
Gobierno de Chile

PELP

PLANIFICACIÓN ENERGÉTICA DE **LARGO PLAZO**

PRESENTACIÓN TÉCNICA

PROCESO Y ETAPAS



Simbología

Etapas

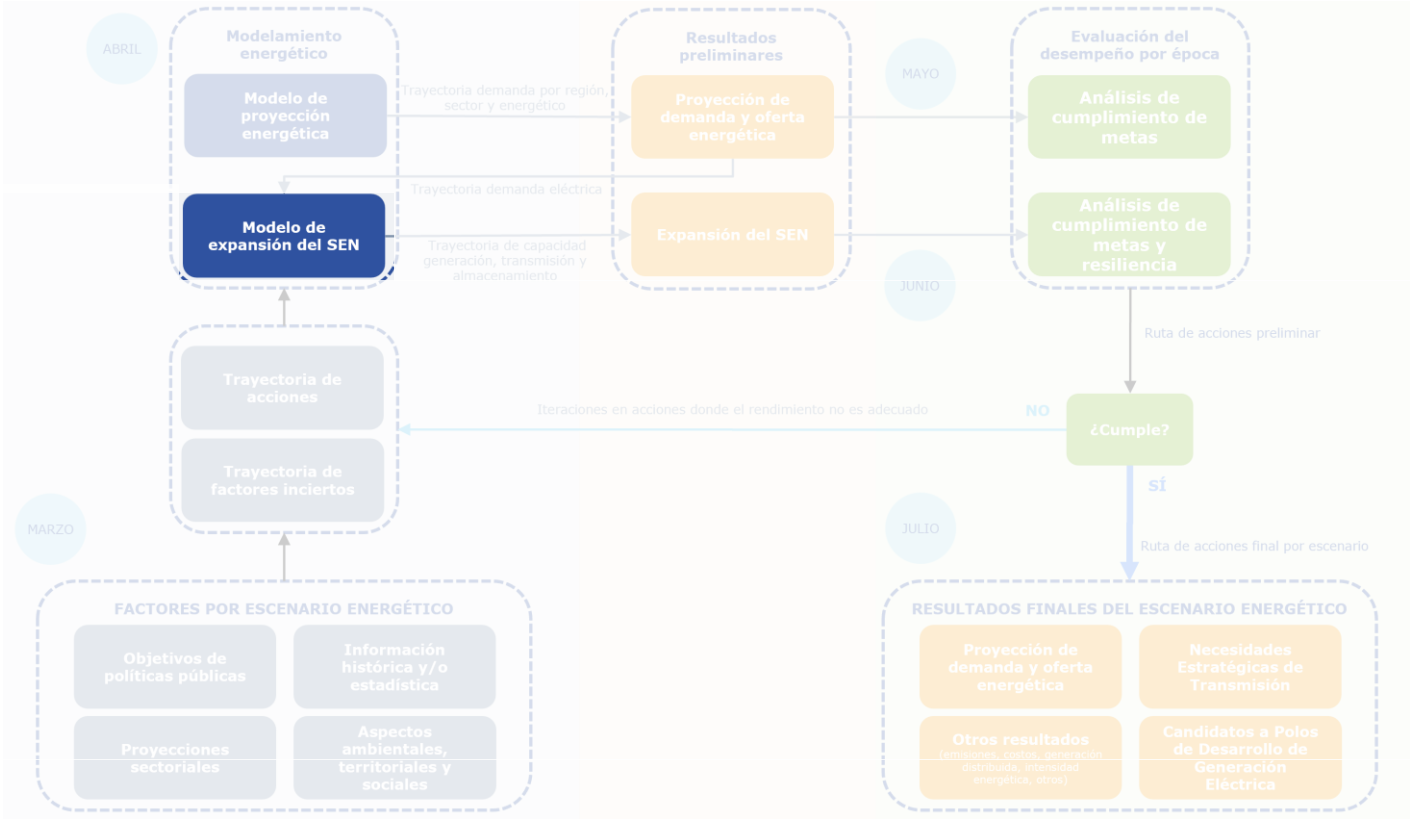
Flujo entre etapas

Flujo entre elementos

Elementos

- Entradas
- Modelos
- Análisis
- Resultados

PROCESO Y ETAPAS



Simbología

Etapas

Flujo entre etapas

Flujo entre elementos

Elementos

- Entradas
- Modelos
- Análisis
- Resultados

MODELO DE EXPANSIÓN DEL SEN

Principales puntos a tratar.

1. VÍNCULO ENTRE MODELOS
Explora cómo se obtiene el perfil de demanda eléctrica para el modelo de expansión del SEN.

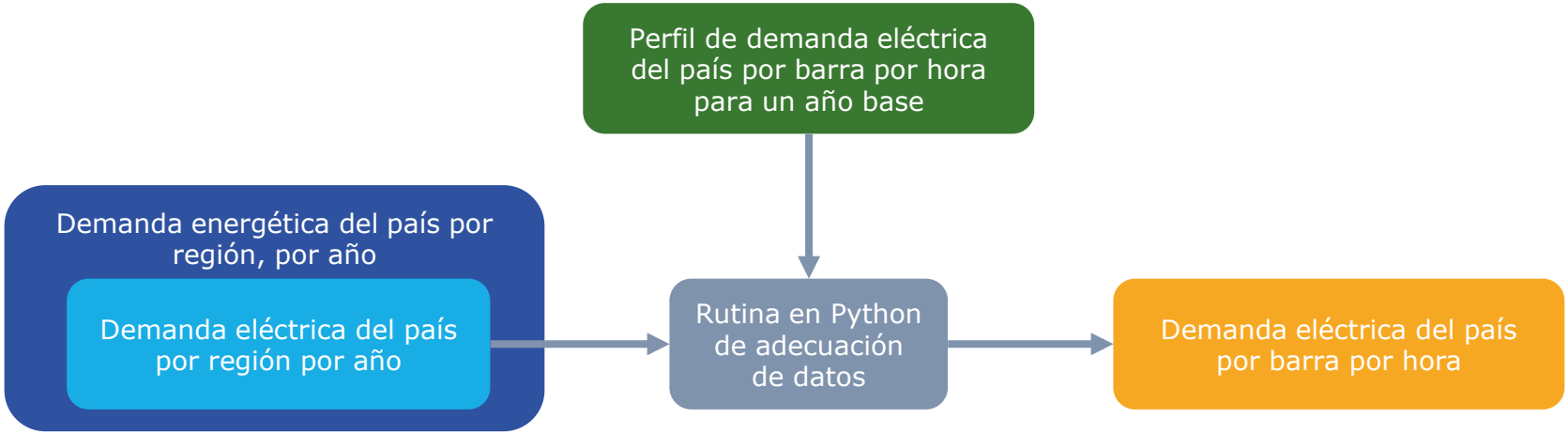
2. FORMULACIÓN DE LA EXPANSIÓN DEL SEN
Explora cómo se modela el problema de la expansión del Sistema Eléctrico Nacional, y con qué resolución.

3. TIPOS DE RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESILIENCIA
Presenta qué se obtiene con el modelo de expansión del SEN, y cómo se verifica que las soluciones sean óptimas y resilientes.

MODELO DE EXPANSIÓN DEL SEN

OBTENCIÓN DE DEMANDA ELÉCTRICA

Las proyecciones de demanda eléctrica, obtenidas con el modelo de proyección energética, se incorporan en un modelo de expansión del Sistema Eléctrico Nacional (SEN), lo cual permite determinar la necesidad de infraestructura de generación, almacenamiento y transmisión que permita abastecer dicha demanda eléctrica proyectada.



MODELO DE EXPANSIÓN DEL SEN

OBTENCIÓN DE DEMANDA ELÉCTRICA

Para pasar de la demanda eléctrica anual y por región hacia la demanda eléctrica por barra y horaria, se realiza el siguiente procesamiento en Python:

Usando el perfil representativo, para cada barra se calcula cuánta demanda eléctrica tiene esta en la región, lo cual se captura en un factor de distribución por barra.

Para cada bloque horario h, año y, barra b, región r, y usando el año base y_0, se calcula el perfil horario como:

- $demanda_{h(y),b} = demanda_{h(y_0),b} \cdot tasa\ de\ crecimiento_{b,y,y_0}$
- Donde $tasa\ de\ crecimiento_{b,y,y_0} = \frac{demanda\ anual\ LEAP_{b,y}}{demanda\ anual\ perfil\ base_{b,y0}}$
- Además: $demanda\ anual\ LEAP_{b,y} = demanda\ anual\ LEAP_{r,y} \cdot factor\ de\ distribución\ por\ barra_b$

MODELO DE EXPANSIÓN DEL SEN

MODELO DE OPTIMIZACIÓN

Problema de co-optimización de inversiones en generación, almacenamiento y transmisión, el cual minimiza los costos de inversión y operación, a la vez que cumple con restricciones técnicas del SEN. Con todo, este problema de optimización, en forma condensada, se plantea como sigue:

$$\min z = Costos\ de\ inversión + Costos\ de\ operación + Costo\ de\ falla$$

sujeto a:

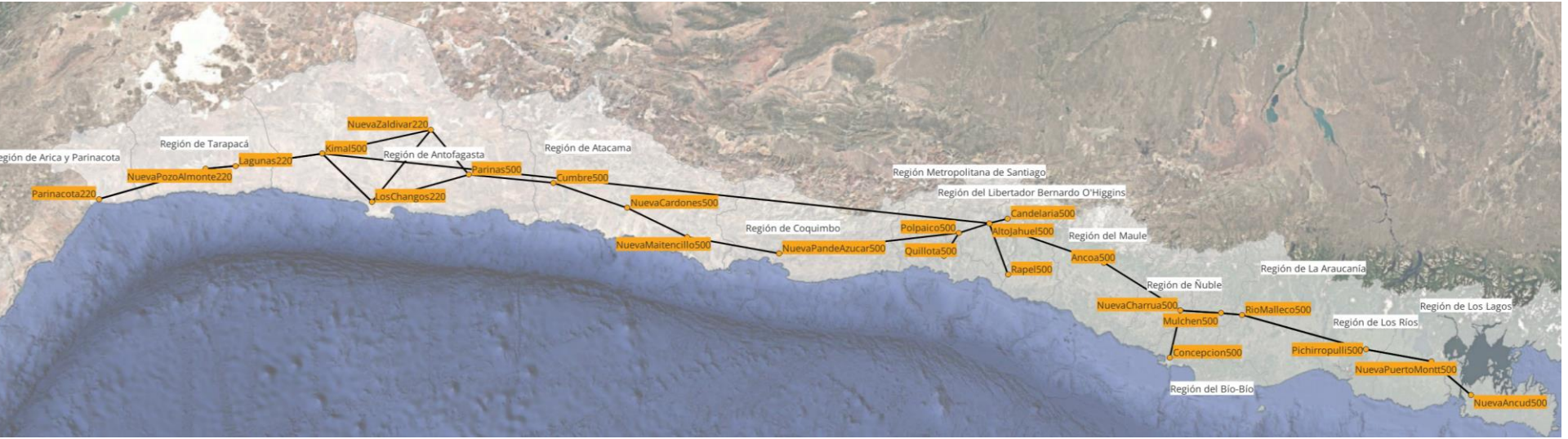
$$Restricciones\ técnicas\ de\ los\ activos$$
$$Restricciones\ de\ operación\ segura\ del\ SEN$$
$$Restricciones\ de\ capacidades\ de\ despliegue$$
$$Restricciones\ de\ la\ red\ hidráulica\ asociada\ al\ SEN$$

Este modelo utiliza resolución horaria, con días representativos. Por ejemplo, primeros

A su vez, se modela cada central de generación y almacenamiento sin agregar, mientras que en transmisión se utiliza una red reducida de 26 nodos.

MODELO DE EXPANSIÓN DEL SEN

La red de transmisión reducida contiene 26 nodos y 37 líneas de transmisión existentes, como se presenta a continuación.



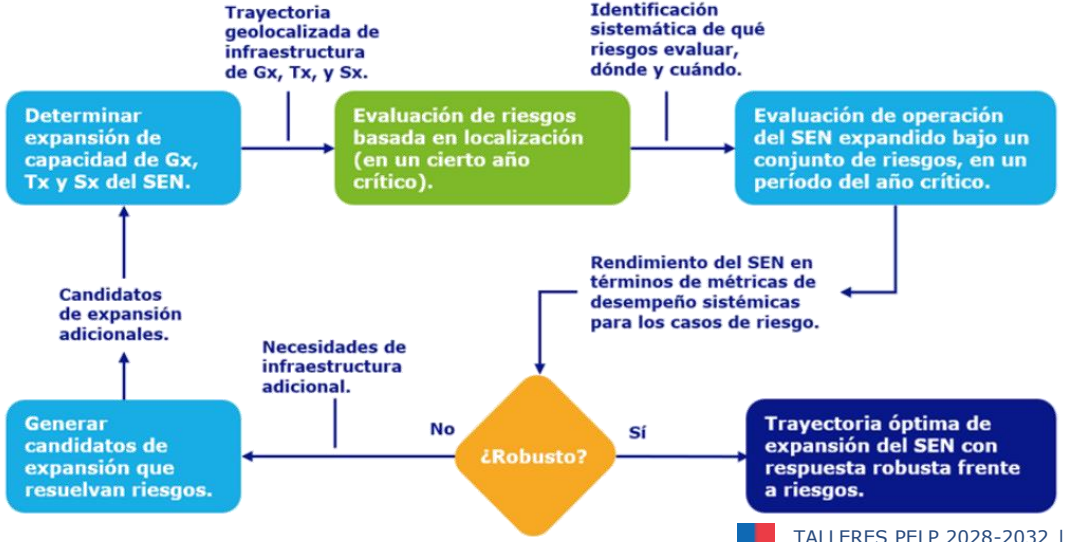
MODELO EXPANSIÓN SEN

Concepto de Resiliencia

"Capacidad para limitar la extensión, impacto sistémico y duración de la degradación con miras a mantener servicios críticos posterior a un evento extraordinario. Las habilitantes claves de una respuesta resiliente incluyen la capacidad para anticipar, absorber, recuperarse rápidamente de, adaptarse a, y aprender de tal evento. Los eventos extraordinarios para un sistema de potencia pueden estar causados por amenazas naturales, accidentes, fallas de equipos, ataques físicos deliberados y ciber-ataques (Fuente: IEEE)."

Metodología para Análisis de resiliencia

Para lograr que las soluciones sean óptimas y resilientes, se propone una metodología que verifica la operación del SEN (expandido) bajo diversos riesgos.



MODELO EXPANSIÓN SEN

RESULTADOS TIPO

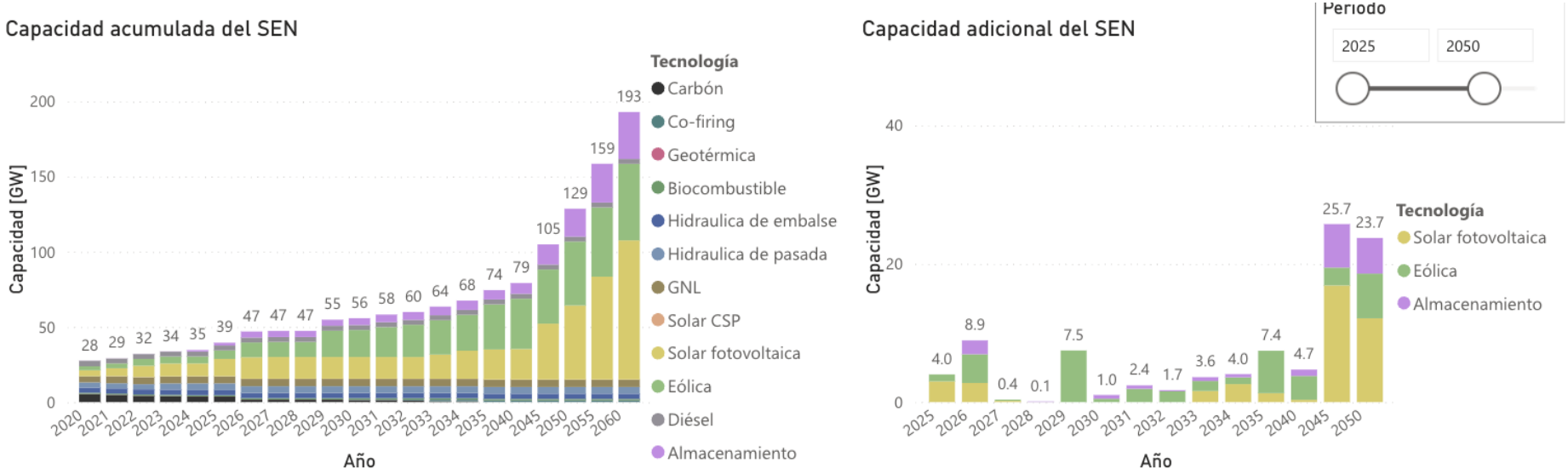


Figura 4. Expansión de la red eléctrica para la generación en la PELP 2023-2027 (Escenario Carbono Neutralidad)

MODELO EXPANSIÓN SEN

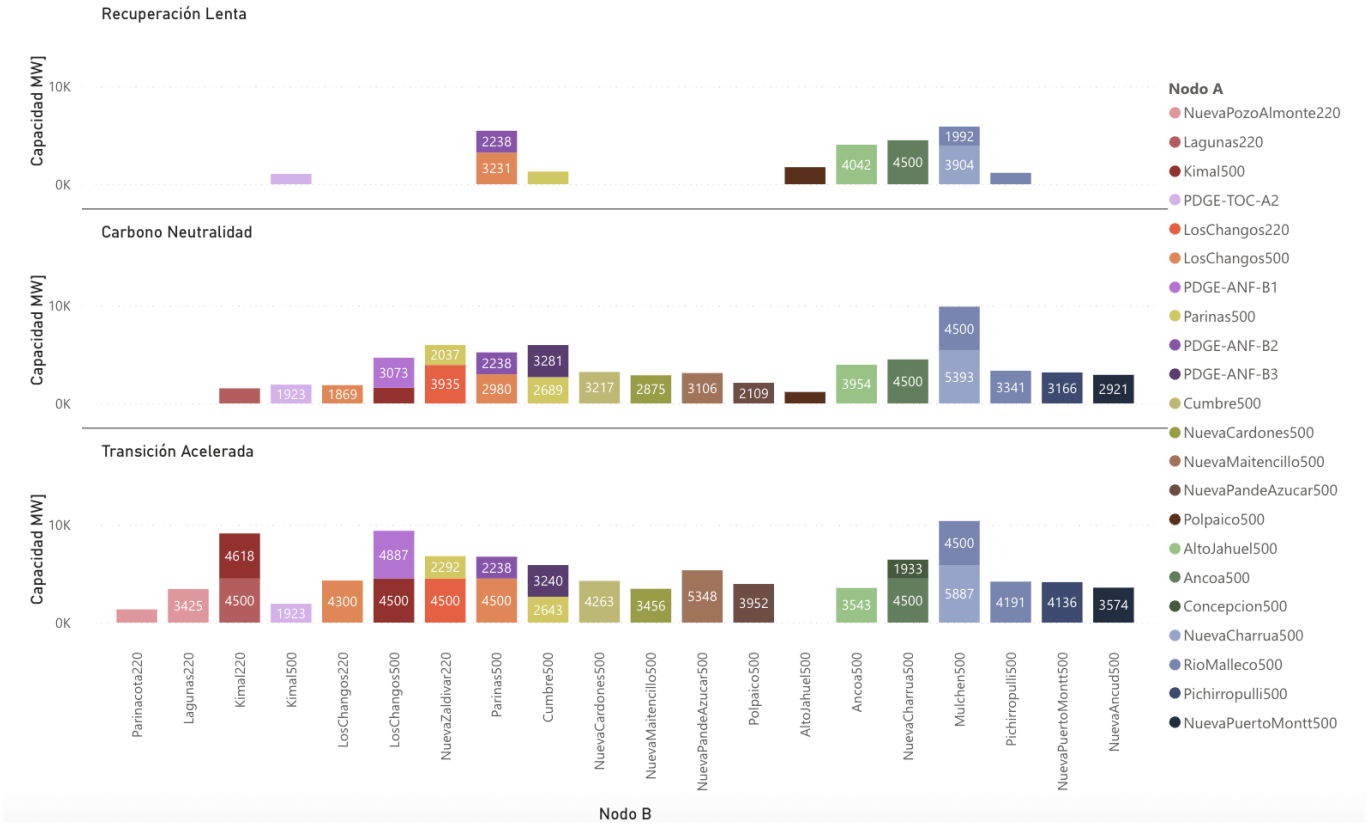


Figura 5. Expansión de la red eléctrica para la transmisión en la PELP 2023-2027

Ministerio de Energía

Gobierno de Chile

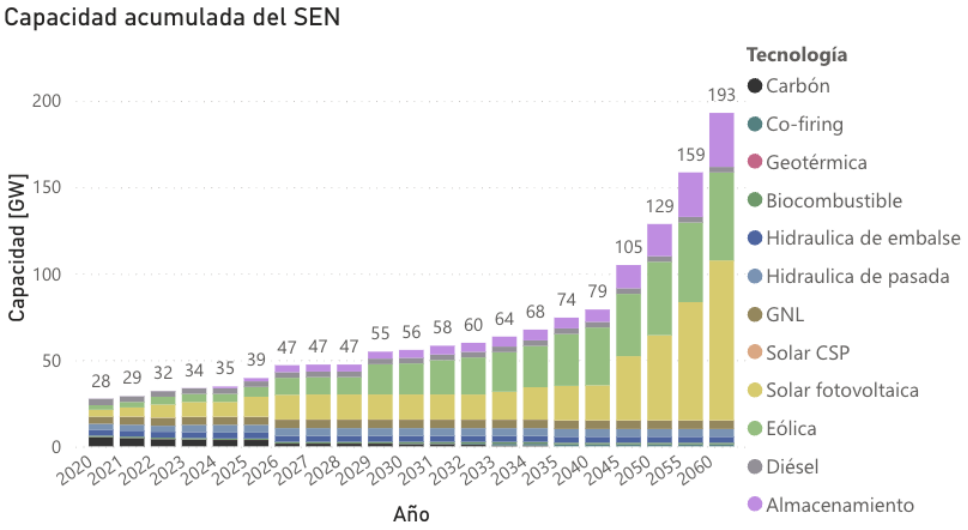
PELP

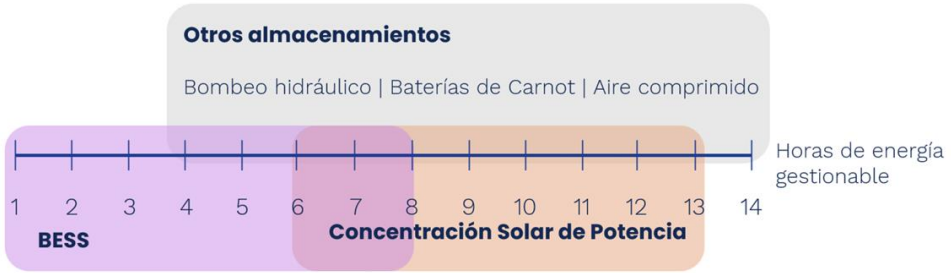
PLANIFICACIÓN ENERGÉTICA DE **LARGO PLAZO**

TRABAJO EN SALAS

MESA 1 – PREGUNTA 1

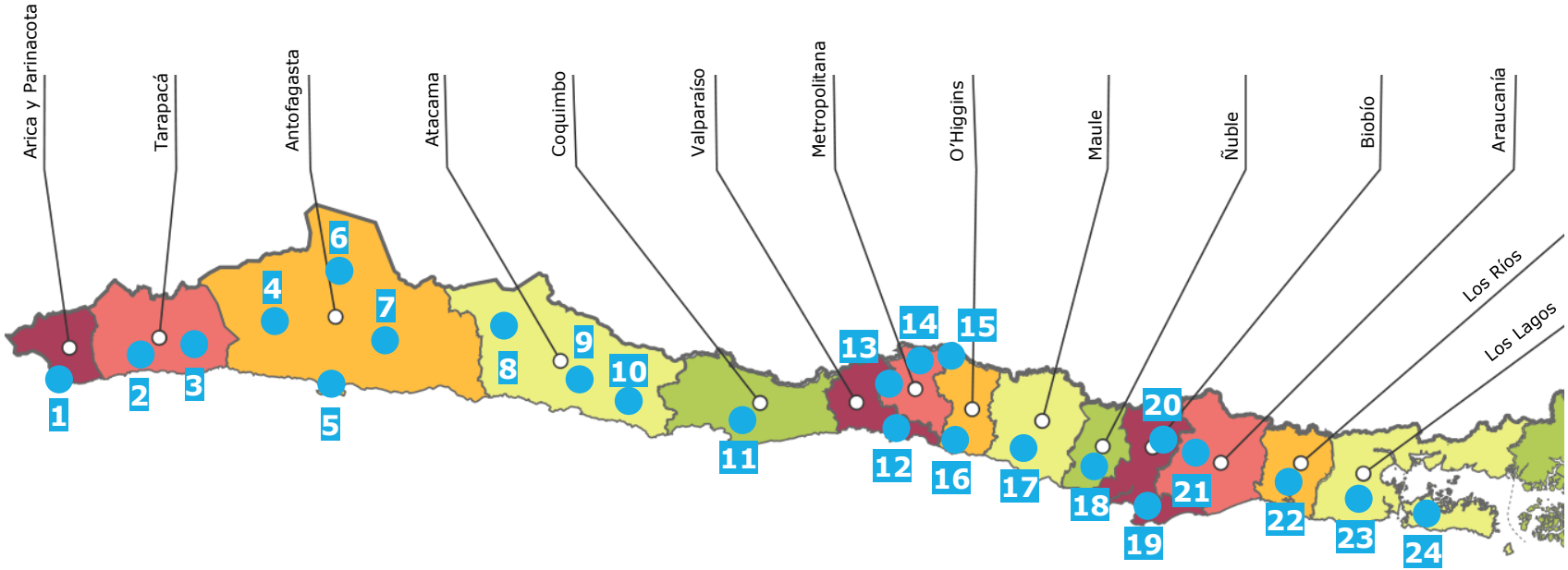
¿Existen tecnologías de generación y/o almacenamiento adicionales que se requiera incluir? ¿Por qué?





MESA 1 – PREGUNTA 2

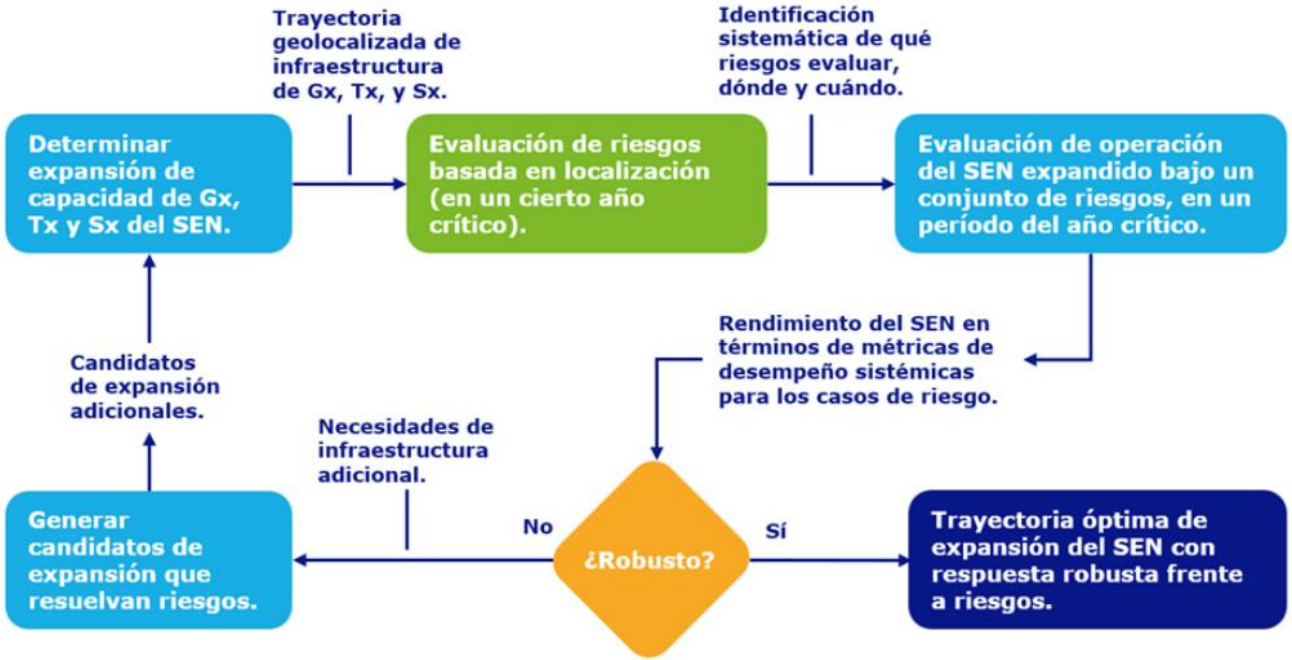
¿Entre qué zonas o nodos deberían considerarse candidatos de transmisión?



1: Parinacota220
2: NuevaPozoAlmonte220
3: Lagunas220
4: Kimal500, Kimal220
5: LosChangos220
6: NuevaZaldivar220
7: Parinas500
8: Cumbres500
9: NuevaCardones500
10: NuevaMaitencillo500
11: NuevaPanDeAzucar500
12: Quillota500
13: Polpaico500
14: AltoJahuel500
15: Candelaria500
16: Rapel500
17: Ancoa500
18: NuevaCharrua500
19: Concepcion500
20: Mulchen500
21: RioMalleco500
22: Pichirropulli500
23: NuevaPuertoMontt500
24: NuevaAncud500

MESA 1 – PREGUNTA 3

¿Qué riesgos deberían considerarse en el análisis de resiliencia?



CIERRE Y PRÓXIMOS PASOS

EVALUACIÓN
Agradecemos responder la encuesta de Zoom.

PRÓXIMO CICLO 2
Factores de los Escenarios Energéticos semana del 16 de marzo 2026.

DUDAS Y CONSULTAS
pelp@minenergia.cl

PELP

PLANIFICACIÓN ENERGÉTICA
DE **LARGO PLAZO**

Ministerio de Energía

Gobierno de Chile