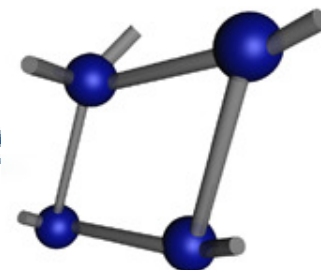




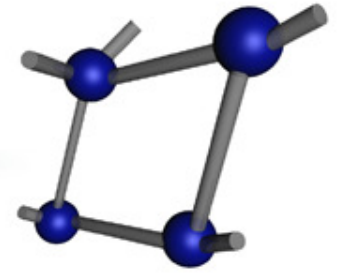
Imperial College
London



Política energética y visión de futuro en Chile: Rol de las redes

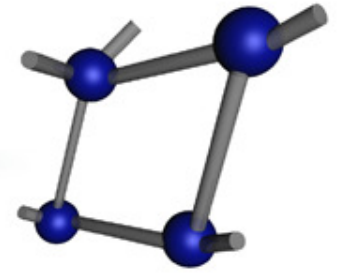


Congreso Bienal Internacional CIGRE 2009
"Suministro Eléctrico Sustentable"
10 y 11 de Noviembre de 2009



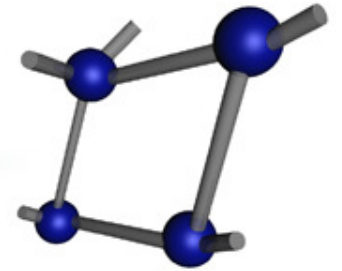
La metodología de expansión de la transmisión en aplicación en Chile no está reconociendo adecuadamente las incertidumbres que enfrenta el desarrollo de los sistemas eléctricos, planteando soluciones acotadas de corto plazo que dificultan decisiones de inversión y limitan la mayor competencia en generación, en un contexto donde dicha expansión requiere tiempos mayores que el de construcción de las nuevas centrales.

Tabla de contenidos



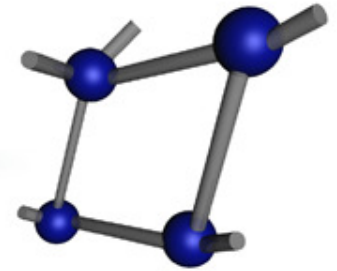
- Motivación
- Política Energética y Visión de Futuro
- Estudio de Transmisión Troncal
- Desafíos en la Expansión de la Transmisión
- Incertidumbre en la Expansión del Sistema Troncal
- Alternativas Metodológicas para la Expansión del Sistema Troncal
- Conclusiones

Motivación



- Plantear el rol que cumplen los sistemas de transmisión en el desarrollo de las políticas energéticas a nivel mundial y en Chile.
- Exponer los desafíos presentes en el proceso de expansión del sistema troncal en Chile.
- Identificar las incertidumbres inherentes al proceso de expansión de la transmisión.
- Plantear alternativas metodológicas que permitirían enfrentar dichas incertidumbres.

Sistemas de transmisión



➤ ¿Por qué se requieren?

- Permiten aprovechar recursos disponibles en puntos alejados de la demanda.
- Aportan seguridad al integrar recursos dispersos.
- Permiten la existencia de un mercado eléctrico (acceso abierto).

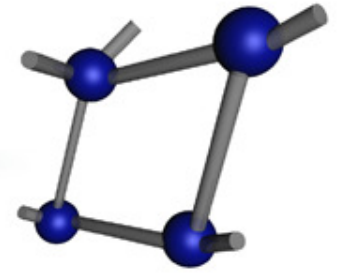
➤ ¿Cuáles son sus características?

- Intensiva en uso de capital.
- Economías de escala.
- Monopolio natural.

➤ ¿Esquema de tarificación?

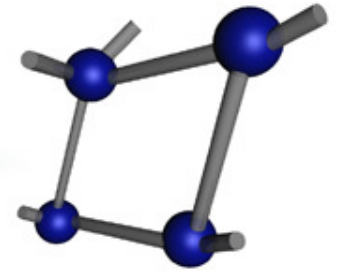
- La tarificación marginalista no cubre los costos.
- Se requiere incorporar pagos adicionales (peajes).

Tabla de contenidos



- Motivación
- Política Energética y Visión de Futuro
- Estudio de Transmisión Troncal
- Desafíos en la Expansión de la Transmisión
- Incertidumbre en la Expansión del Sistema Troncal
- Alternativas Metodológicas para la Expansión del Sistema Troncal
- Conclusiones

Visión Políticas Energéticas



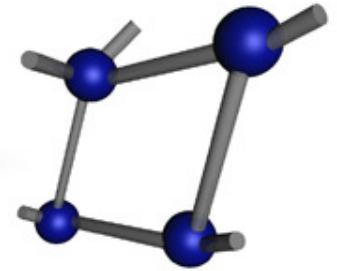
➤ Políticas energéticas a nivel mundial hoy persiguen cuatro objetivos principales en el abastecimiento:

❑ Lograr abastecimiento energético

- Suficiente.
- Seguro.
- Económico.
- Sustentable, en balance con el medio ambiente.

➤ Política energética en el mundo desarrollado crecientemente orientada por el cambio climático.

Políticas Energéticas en Europa



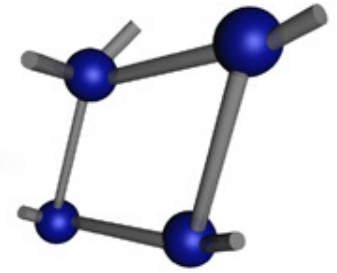
➤ Aprobación del “green package” para el 2020, que pretende:

- ❑ Reducir emisiones de gases efecto invernadero en 20% respecto a 1990, mejorar eficiencia energética reduciendo consumos en un 20% y lograr que energías renovables representen un 20% del consumo final.

➤ Perspectiva Reino Unido

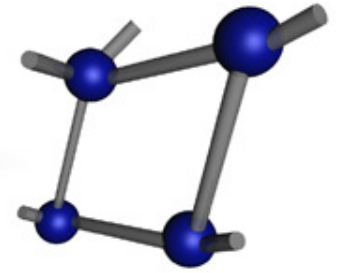
- ❑ Agenda política crecientemente preocupada por el impacto de las emisiones de carbón en el clima global->Búsqueda de sistema energético sostenible de baja emisión de carbón.
- ❑ Modelo híbrido con gobierno proveyendo dirección estratégica y mercados facilitando implementación de soluciones eficientes.
- ❑ Necesidad adecuar redes de transporte, diseñadas originalmente para transportar grandes volúmenes de generación convencional, a nueva realidad de transporte masivo renovable.

Políticas Energéticas en Latinoamérica



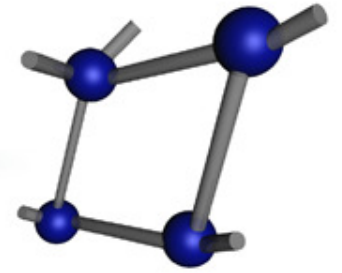
- Políticas energéticas con énfasis distintos a los del mundo desarrollado.
 - Países que no satisfacen las necesidades energéticas de su población, que a menudo debe recurrir a la leña para comida y calefacción.
 - Objetivos de justicia y equidad social cobran importancia.
 - Políticas públicas alimentadas por preocupaciones del mundo desarrollado, como el cambio climático, aunque contribución de América Latina es insignificante.
 - Subsidios a renovables olvidan necesidades más urgentes de inversión social y lucha contra la pobreza.
-

Chile y sus políticas públicas



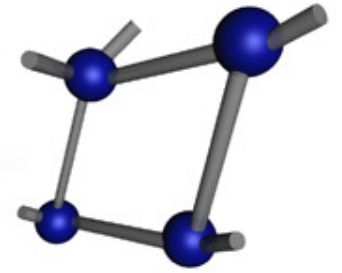
- País en desarrollo, aún con necesidades sociales.
- País con alta dependencia energética.
- Exitoso desarrollo histórico del sector eléctrico (referente Latinoamericano) - primero bajo el Estado y luego bajo marco de mercados competitivos.
- Ha enfrentado crisis de abastecimiento que han llevado al Estado a buscar mayor intervención- acciones híbridas.
 - ❑ la intervención del Estado vía GNL, viabilizada con privados.
 - ❑ la mayor intervención del Estado vía Ministerio de Energía.
 - ❑ el mayor mercado de las licitaciones de las distribuidoras.

Chile y su preocupación ambiental



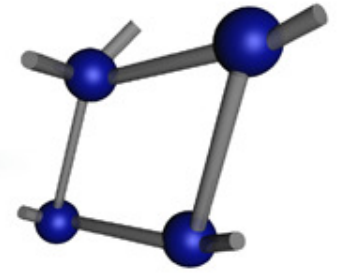
- Si bien Chile no es contaminante a nivel mundial, lo hace a nivel local y está incrementado sus niveles.
- Reacción agresiva de ambientalistas, con discurso anti privados y buscando más Estado en sector eléctrico.
- La acción menos mercado de la ley de renovables.
- Desarrollo regulatorio ambiental atrasado, pretendiendo lograr avances en sector eléctrico, sin avanzar en transporte (peor sector).
 - ❑ El tema abierto del manejo de cuencas.
 - ❑ La búsqueda de mayores exigencias en emisiones en generación.
 - ❑ Las mayores dificultades en servidumbres y en derechos de aguas.

Visiones de futuro en Chile



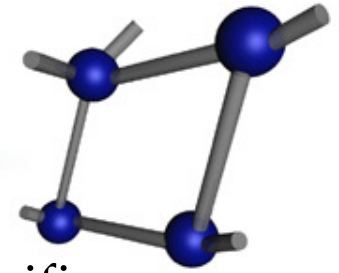
- Visiones encontradas del desarrollo futuro del sector eléctrico
- La mayor seguridad y economía del carbón (versus GNL) y de la hidroelectricidad (versus otras renovables como el viento o sol)
- Visiones anti hidráulicas (sólo ERNC con GNL ó con carbón)
- Visiones de logros de gran eficiencia energética
- Visiones pro y anti nucleares

El rol central de las redes



- El desarrollo de las redes ha sido, y es, un elemento central de toda política energética
- Caso inglés exitoso en reducir costos con criterios de eficiencia en ámbito privado monopólico.
 - ❑ 50% reducción costos de distribución y 41% costos de transmisión desde 1990; 41% reducción costos de transporte de gas desde 1994.
- Nuevos desafíos en transporte de renovables
 - ❑ Líneas adicionales para generación eólica off-shore en Alemania son construidas, planificadas y tarifadas por el operador o dueño del sistema de transmisión y el regulador en un esfuerzo coordinado por minimizar costos y levantar barreras de entrada.
 - ❑ Similar camino sigue el Reino Unido con la nueva regulación.

Las redes para reducir emisiones



- Meta europea del 20% de reducción en emisión de CO2 significa, para países como el Reino Unido, transformación del mercado de transporte
- Cola actual de eólicos esperando por conexión: 20GW

Figure 7.3 - ACS Power Flow Pattern for 2009/10

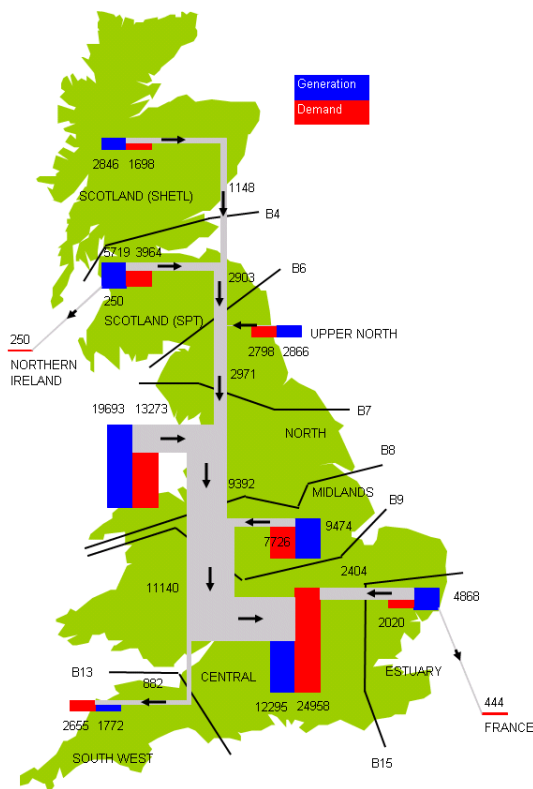
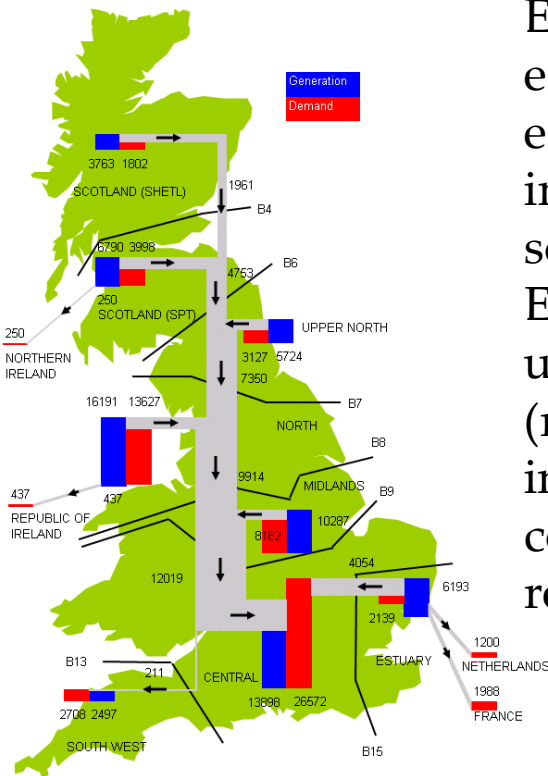
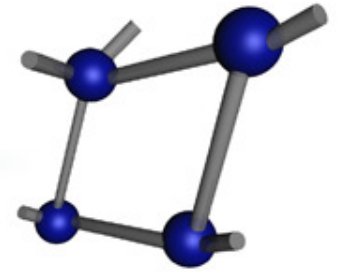


Figure 7.4 - ACS Power Flow Pattern for 2015/16



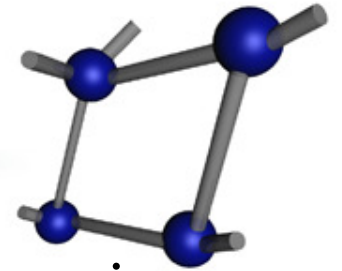
Esfuerzo coordinado para estudiar técnica y económicamente la implementación de posibles soluciones en varios ámbitos. Ej: liberar capacidad mediante una operación mas eficiente (relajar N-2 a N-1 mediante el incremento de esquemas de control y capacidad de respuesta del sistema)

Tabla de contenidos



- Motivación
- Política Energética y Visión de Futuro
- Estudio de Transmisión Troncal
- Incertidumbre en la Expansión del Sistema Troncal
- Desafíos en la Expansión de la Transmisión
- Alternativas Metodológicas para la Expansión del Sistema Troncal
- Conclusiones

Remuneración del Troncal



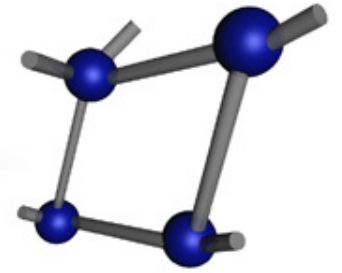
- El Estudio de Transmisión Troncal tiene como primer objetivo definir la remuneración del Sistema de Transmisión Troncal
- ¿De cuánto estamos hablando para los clientes?

Costo total Sistema de Transmisión para los clientes*	1,13 \$/kWh
Porcentaje del costo del Sistema de Transmisión respecto a la tarifa de los clientes regulados	2,17%

- No significativo para clientes, pero puede serlo para un generador específico (revisión del porcentaje explícito para clientes y para generadores)

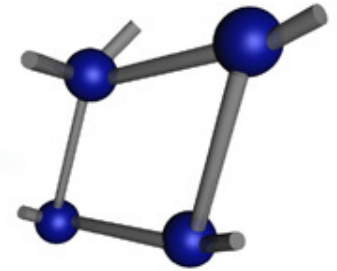
*Calculado a partir de Cargo Único Troncal (CUT) del Informe de Precio de Nudo de Octubre de 2009, agregados recargos y extrapolado a todos los clientes

Planes de Expansión del Troncal



- ▶ El Estudio de Transmisión Troncal tiene como segundo objetivo definir las obras y ampliaciones obligatorias.
- ▶ Definiciones:
 - ❑ Escenarios de expansión: conjunto de alternativas de proyectos de generación y de interconexión entre sistemas eléctricos.
 - ❑ Plan de expansión: plan óptimo de inversiones de transmisión troncal para un determinado escenario de expansión, considerando demanda, hidrologías, mantenimientos, etc.

Planes de Expansión del Troncal



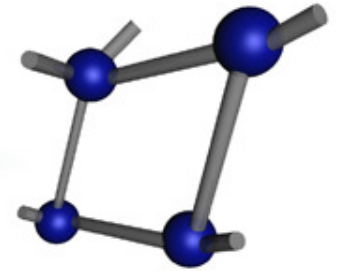
➤ Metodología:

- ❑ Se determinan proyectos factibles para la expansión de la transmisión.
- ❑ Para cada uno de los escenarios de expansión de la generación e interconexión, se determina un plan de expansión que minimiza los costos de inversión, operación, mantenimiento, administración y falla en el sistema, para un horizonte de 15 años.

➤ Clave del análisis:

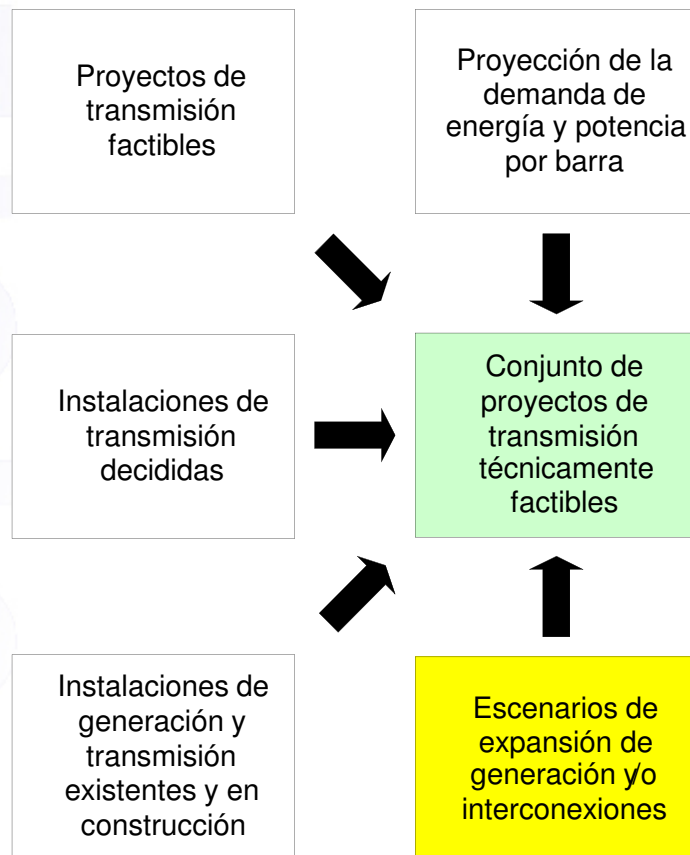
- ❑ Escenarios futuros donde tiene lugar la expansión.

Planes de Expansión del Troncal

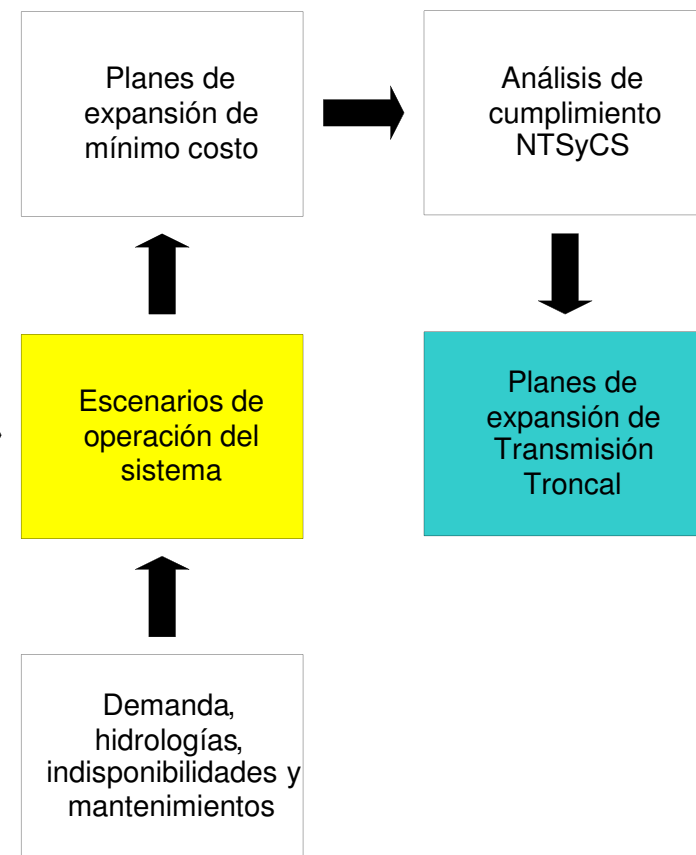


Metodología del Plan de Expansión

DEFINICIÓN DE PROYECTOS FACTIBLES DE LA TRANSMISIÓN



DETERMINACIÓN DE PLANES DE EXPANSIÓN



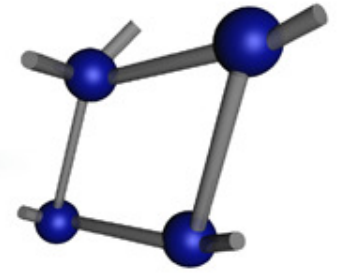
Planes de Expansión del Troncal



Diferencias entre Primer y Segundo Proceso

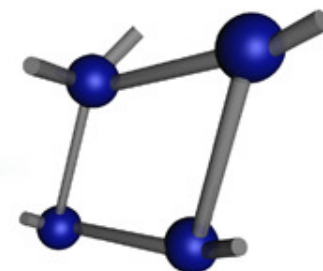
	Primer Proceso	Proceso actual
Encargado de elaborar escenarios de expansión	CNE	Consultor
Horizonte de estudio	10 años	15 años
Escenario base	Plan de obras CNE publicado en el Informe Preliminar PN octubre 2005	Plan de obras CNE publicado en el Informe Definitivo PN vigente al inicio del Estudio.
Número de escenarios de expansión adicionales	No definido	Al menos 2
Fuentes de información para escenarios adicionales	Empresas informan a la CNE los proyectos de generación	Empresas informan a la Dirección de Peajes (DP) de los CDEC y a la CNE los proyectos de generación. La DP consignará la calidad de la información recibida.
Criterios para elaboración de escenarios adicionales	CNE puede incluir proyectos preparados por ella.	Consultor podrá considerar desarrollo de recursos eólicos, hídricos y/o desplazamiento de futuras centrales.
Definición de límites del sistema de transmisión troncal	Definidos en Artículo 1º transitorio de la Ley 19.940	Definidas por el consultor
Restricciones al sistema de transmisión troncal	No definido	Consultor debe considerar restricciones de operación de acuerdo a criterios del CDEC en todo el horizonte.

Tabla de contenidos



- Motivación
- Política Energética y Visión de Futuro
- Estudio de Transmisión Troncal
- Desafíos en la Expansión de la Transmisión
- Incertidumbre en la Expansión del Sistema Troncal
- Alternativas Metodológicas para la Expansión del Sistema Troncal
- Conclusiones

Expansión de Transmisión Troncal



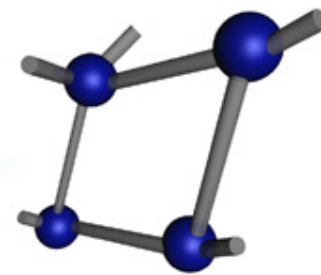
➤ Problemática principal del proceso:

- ❑ Determinar planificación “centralizada-cooperativa” en transmisión, que debe responder a un esquema competitivo en generación.

➤ Desafíos identificados:

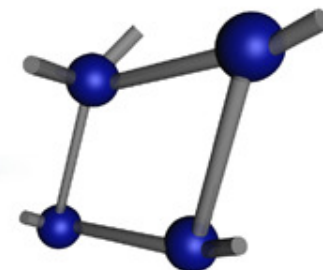
- ❑ Incertidumbre en la demanda y desarrollo de generación.
- ❑ Mecanismos y plazos para la evaluación de propuestas de expansión del sistema troncal no cubre adecuadamente la dinámica y requerimientos de generación y consumo.
- ❑ Esquemas de remuneración para centrales que demandan expansión de capacidad, pero no la pagan (caso eólico).

Expansión de Transmisión y Revisión



- ▶ El estudio de expansión troncal y sus revisiones anuales son fuertemente dependientes del plan de obras de generación que la CNE modifica cada 6 meses.
 - ❑ Cambios en visión de desarrollo del sistema invalidan propuestas de transmisión → Se dificulta la decisión de inversiones.
 - ❑ Plazos requeridos para la expansión del sistema de transmisión, son mayores que el tiempo de construcción de las centrales.

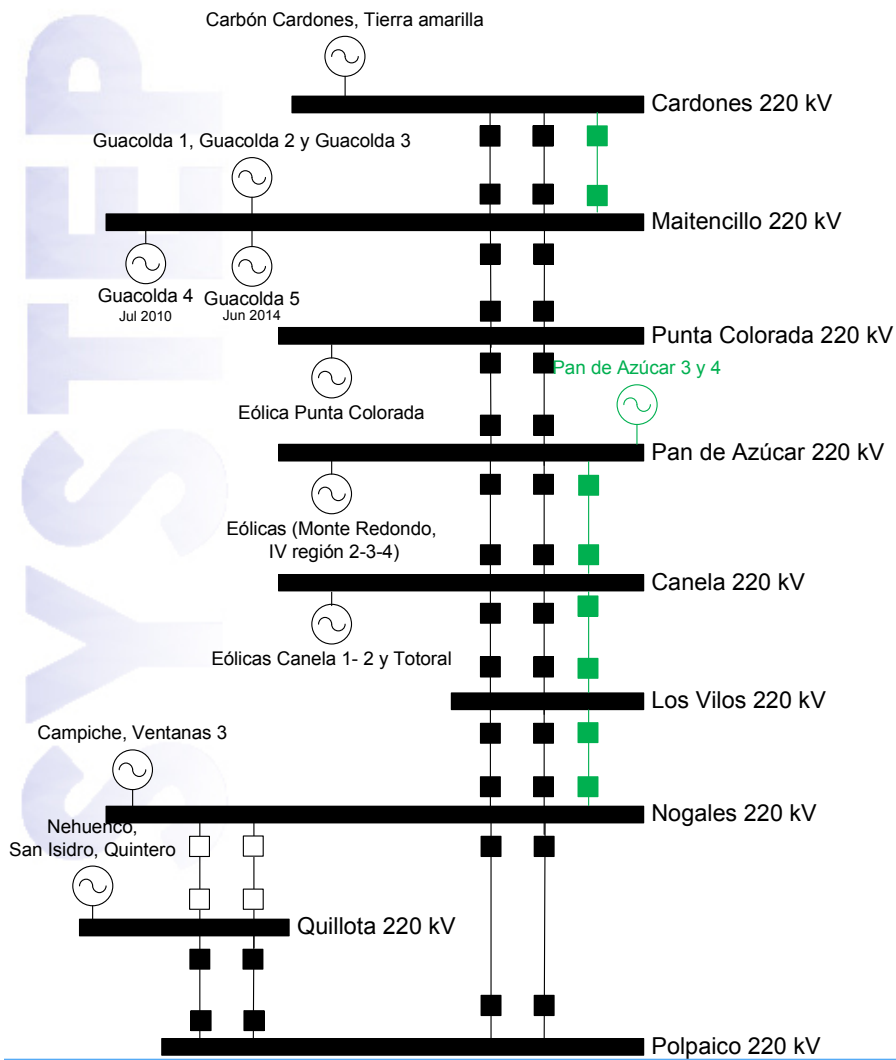
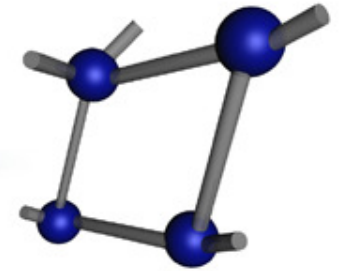
Expansión de Transmisión y Revisión



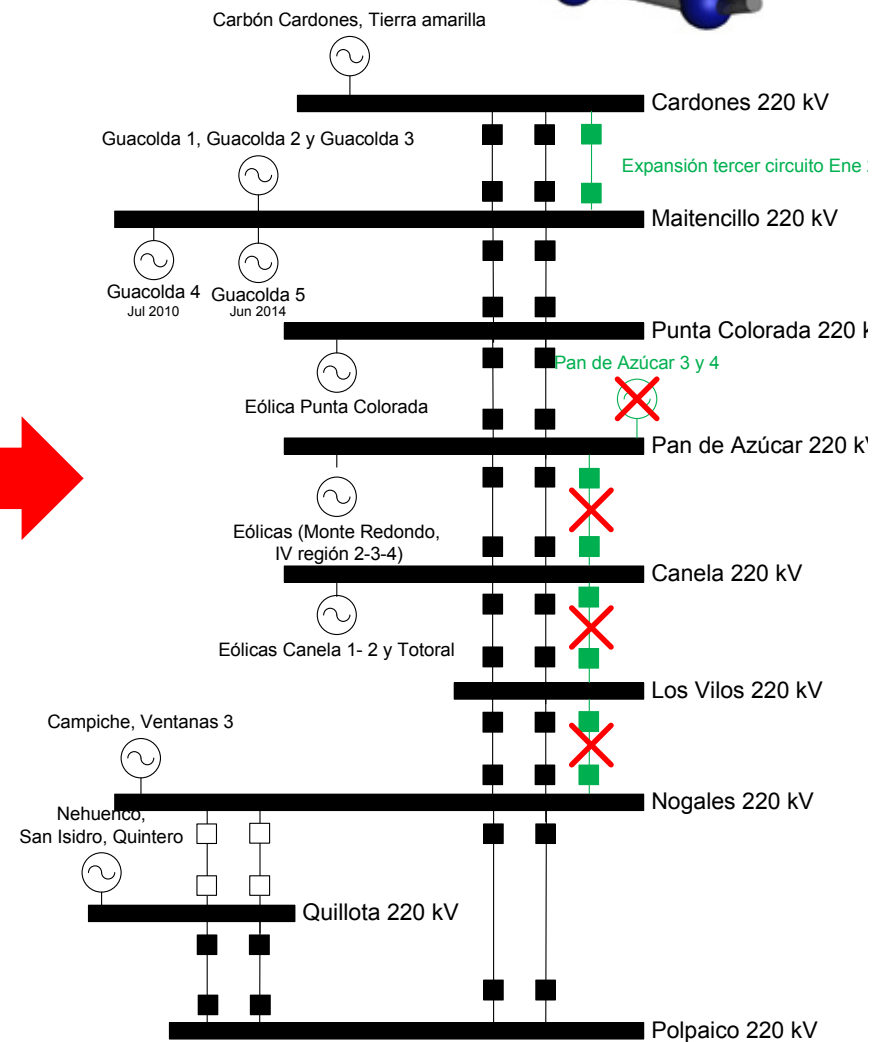
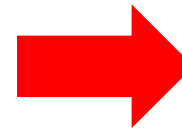
- ▶ Los estudios son fuertemente dependientes del plan de obras de generación que la CNE modifica cada 6 meses.
 - Por ejemplo, entre el ETT-2006 y la Revisión ETT-2008 la CNE disminuyó el desarrollo de generación térmica en el norte. Sin embargo, los proyectos continúan en evaluación (más de 5.000 MW).

	ETT - 2006	ETT - Revisión 2008
Tramo Maitencillo - Cardones	Se determinó la expansión de un tercer circuito en este tramo para el año 2009.	Se confirma la expansión.
Tramo Pan de Azúcar - Los Vilos - Nogales	Se determinó la expansión de un tercer circuito en este tramo.	Debido a cambio en plan de obras de generación, se decidió postergar la expansión de este tramo.

Revisión del Estudio de Transmisión

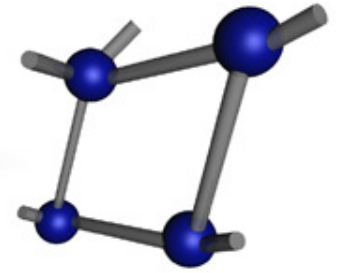


Visión 2006



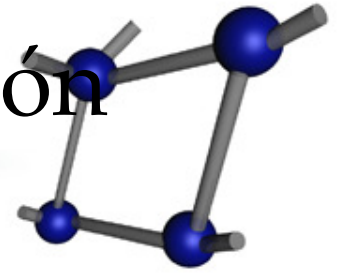
Visión 2008

Tabla de contenidos



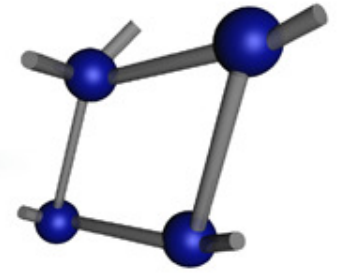
- Motivación
- Política Energética y Visión de Futuro
- Estudio de Transmisión Troncal
- Desafíos en la Expansión de la Transmisión
- Incertidumbre en la Expansión del Sistema Troncal
- Alternativas Metodológicas para la Expansión del Sistema Troncal
- Conclusiones

Incertidumbre Expansión Transmisión

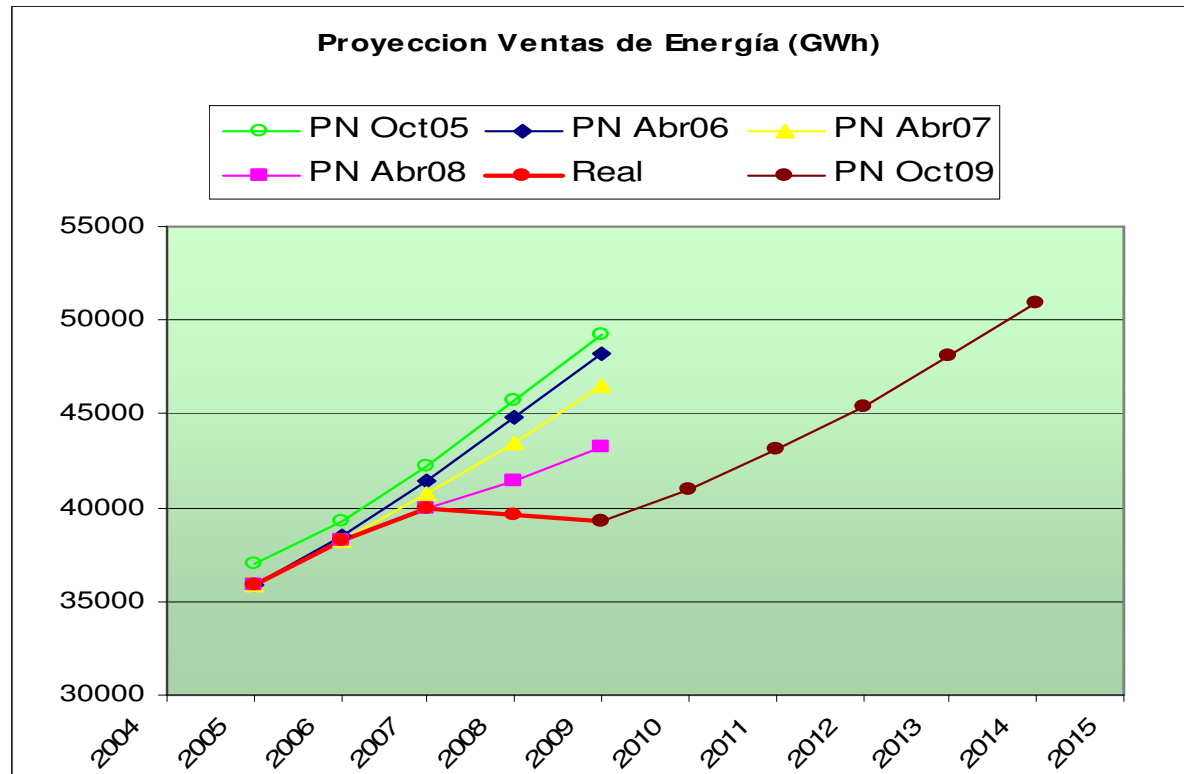


- Expansión del Sistema Troncal depende de variables de naturaleza incierta, que no se modelan adecuadamente.
 - ❑ Proyección de demanda
 - ❑ Costos de combustibles
 - ❑ Expansión de la generación
 - ❑ Aleatoriedad hidrológica
- Es fundamental estudiar cómo un cambio en la visión de largo plazo de estas variables genera cambios en la expansión del troncal.
- Hoy sólo es abordado adecuadamente el tema de la aleatoriedad hidrológica.

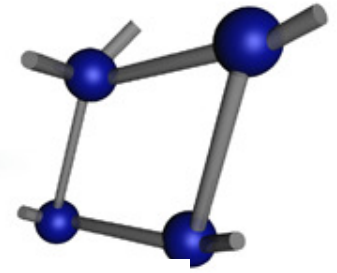
Incertidumbre Demanda



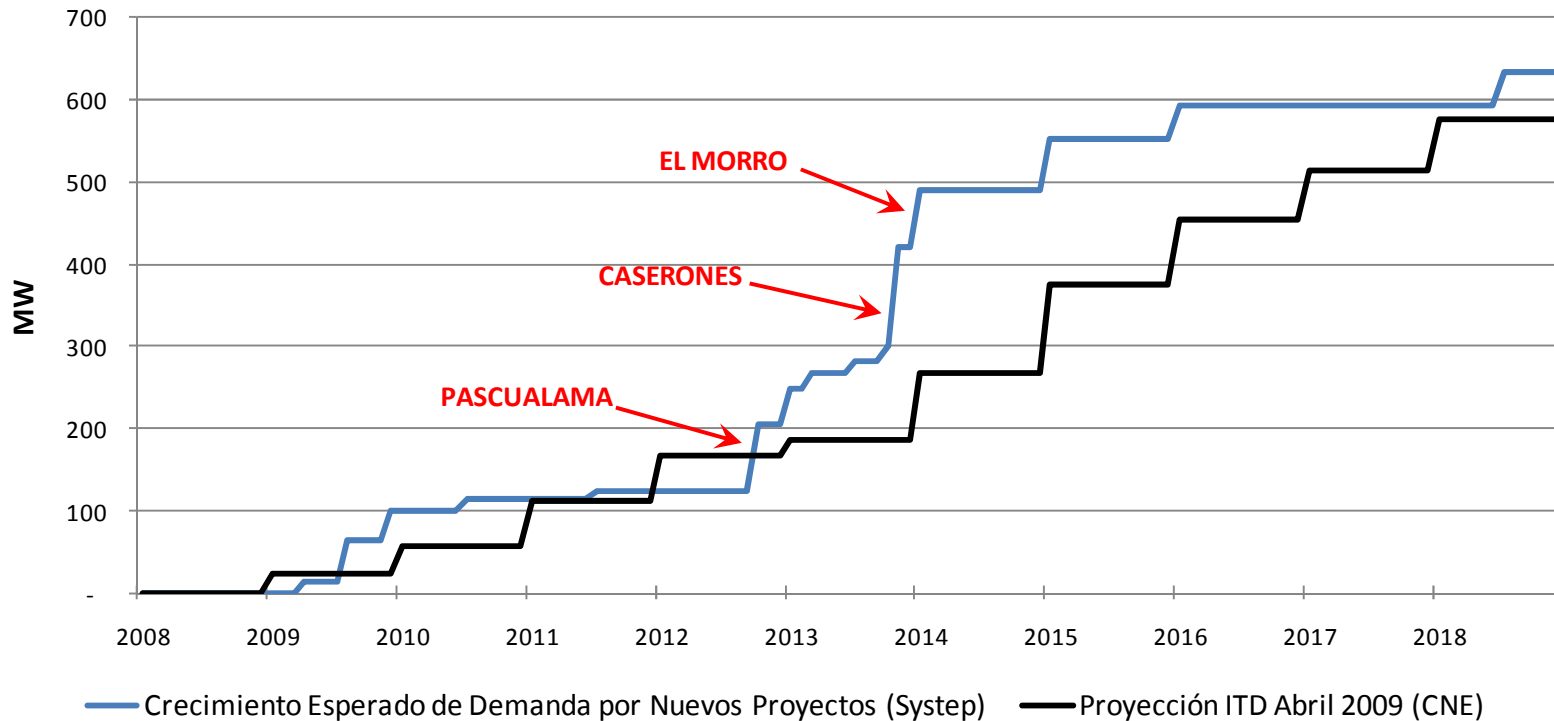
- Amplia divergencia entre la demanda proyectada y la que realmente ocurre.



Incertidumbre Espacial Demanda



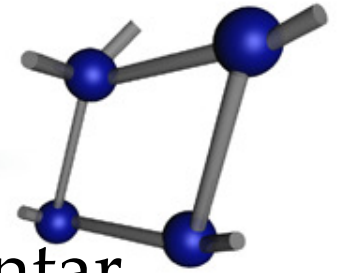
Proyección de crecimiento de demanda Industrial para Zona Norte



- Similar demanda al final del período
- Distinto ritmo de materialización

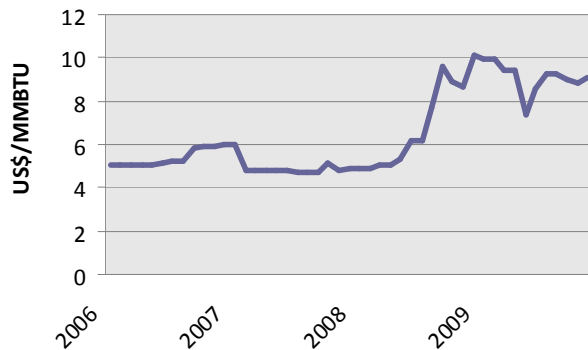
Distintas exigencias
en transmisión

Incertidumbre Combustibles

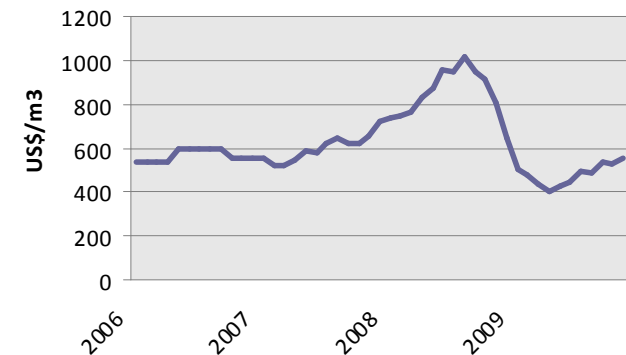


- ▶ Costos de combustibles pueden experimentar drásticas variaciones, muy difíciles de anticipar.

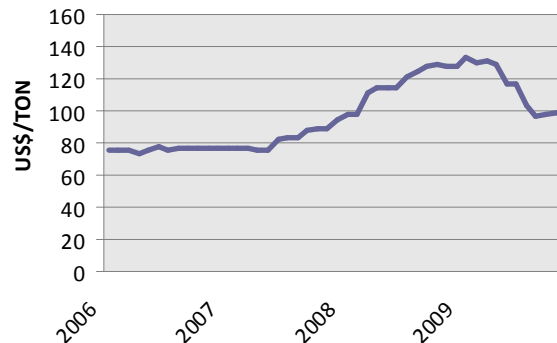
Gas Natural Argentino



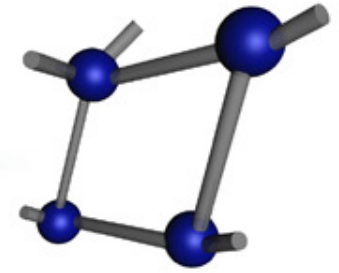
Diesel



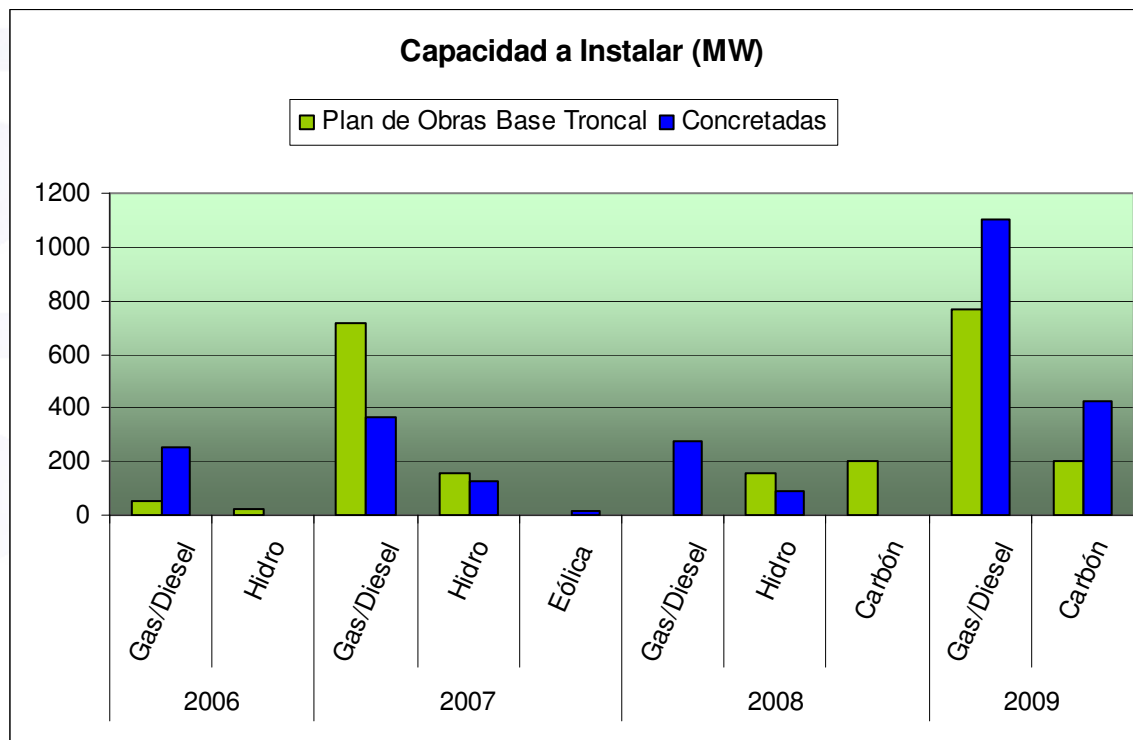
Carbón



Incertidumbre Generación

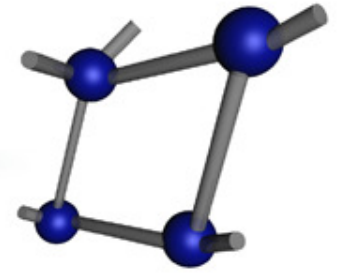


- ▶ El Plan de Obras de generación base para la expansión troncal difiere significativamente de las inversiones concretadas en capacidad y tecnología de generación.

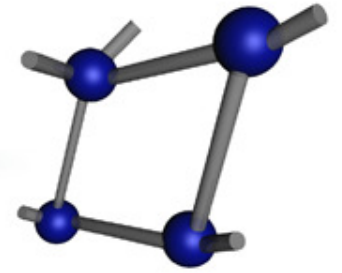


La incertidumbre, si bien es tratada en las revisiones anuales, sólo permite subsanar contingencias de corto plazo.

Tabla de contenidos



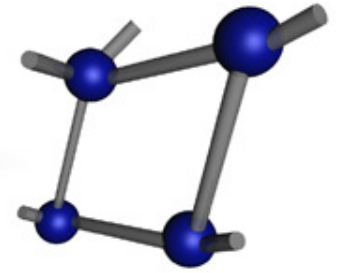
- Motivación
- Política Energética y Visión de Futuro
- Estudio de Transmisión Troncal
- Desafíos en la Expansión de la Transmisión
- Incertidumbre en la Expansión del Sistema Troncal
- Alternativas Metodológicas para la Expansión del Sistema Troncal
- Conclusiones



La metodología de expansión de la transmisión en aplicación en Chile no está reconociendo adecuadamente las incertidumbres que enfrenta el desarrollo de los sistemas eléctricos.

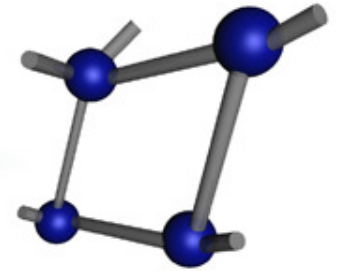
¿Cómo considerar dichas incertidumbres en el análisis?

Aspectos claves en la Expansión

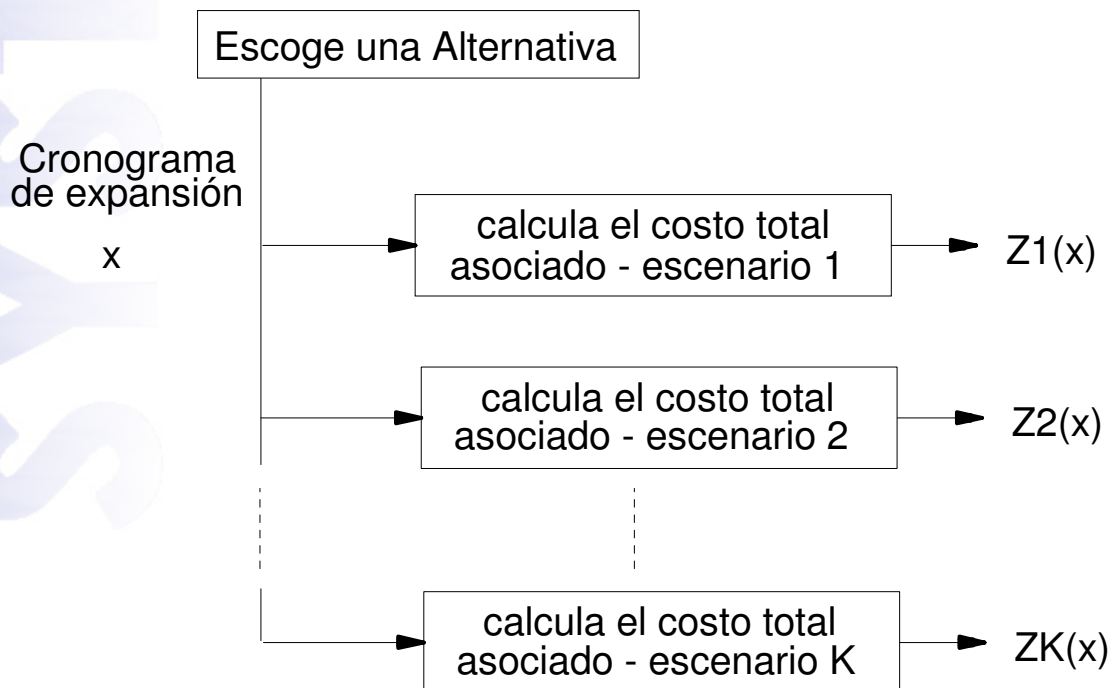


- Horizonte de planificación.
- Tasas de crecimiento y proyección de demanda.
- Plan de obras de generación.
- Tiempos de construcción.
- Escenarios hidrológicos.
- Costos de combustibles.

¿Expansión determinística?

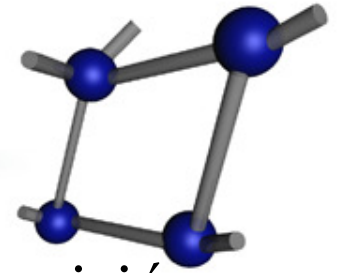


- ▶ ¿La consideración de un único plan de obras puede lograr una adecuada expansión de largo plazo? No!!
- ▶ Solución: Optimización con múltiples escenarios



Posibilidad de aplicación: La ley establece que se deberán considerar los planes que la autoridad señale, por tanto basta que las bases soliciten un análisis de X escenarios

¿Expansión determinística?

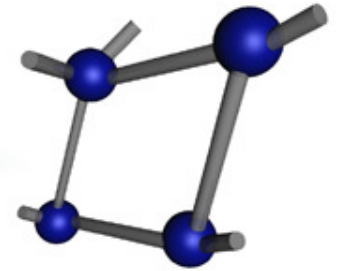


- Evaluación de dos estrategias de inversión en transmisión
 - ❑ Inversiones flexibles (diseño inicial contempla ampliaciones)
 - ❑ Inversiones inflexibles (líneas paralelas secuenciales)
- Datos: construcción cierta de una línea de 2,7 GW

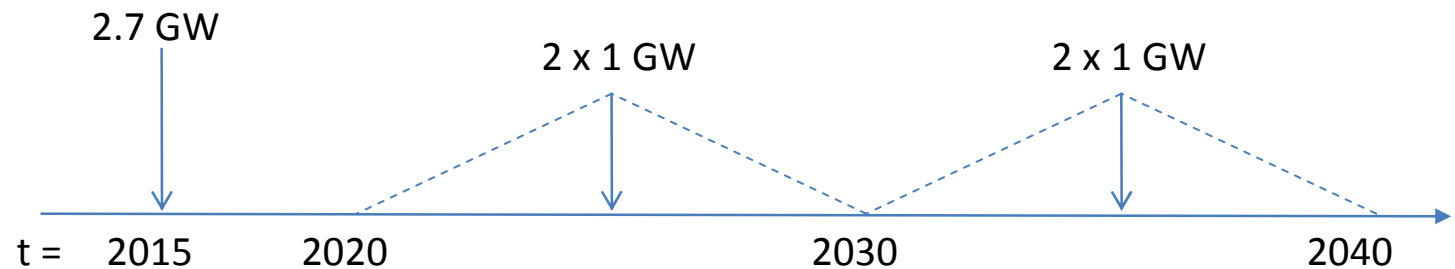
	2,7 [GW]	Extra 1[GW]
Costo línea inflexible bUS\$	2,0	1,12
Costo línea flexible bUS\$ (+ 20%)	2,4	0,56

* Función de Costo (GW) = $GW \times 0,56 + 0,6$ [bUS\$/GW]

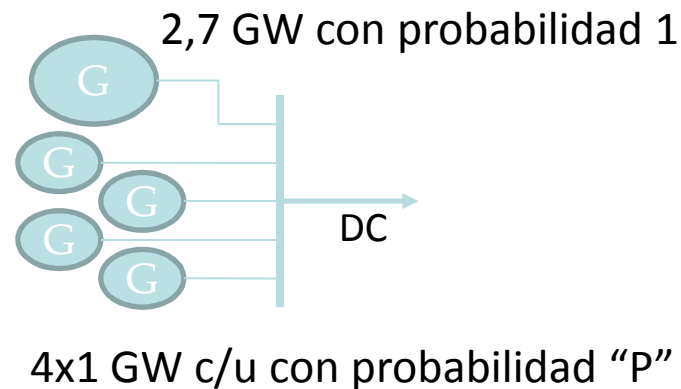
¿Expansión determinística?



- Distribución incierta del ingreso de la generación: suponemos el ingreso cierto de 2,7 GW el 2015 y el ingreso de dos GW que tienen distribución triangular de ingreso

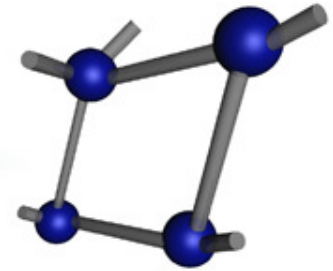


- Probabilidad de Ingreso P

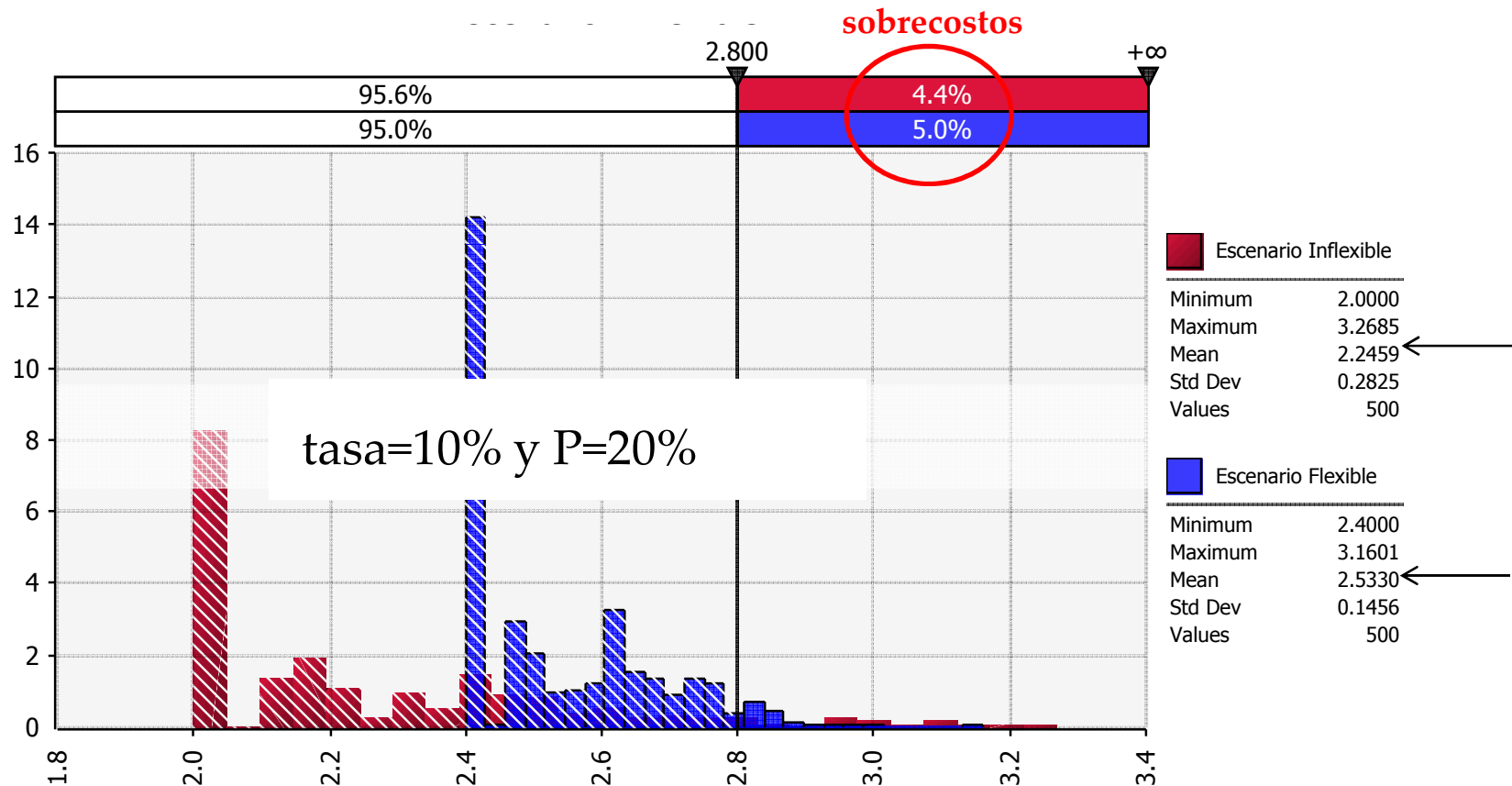


- Este ejemplo puede ser evaluado mediante simulaciones de Monte Carlo que combinen futuros escenarios en inversiones en generación (500 iteraciones)

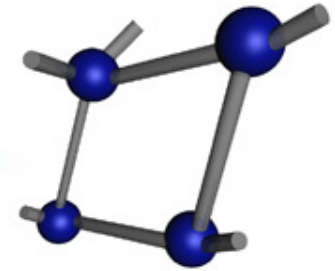
Valor Actual de Costos, tasa=10% y P=20%



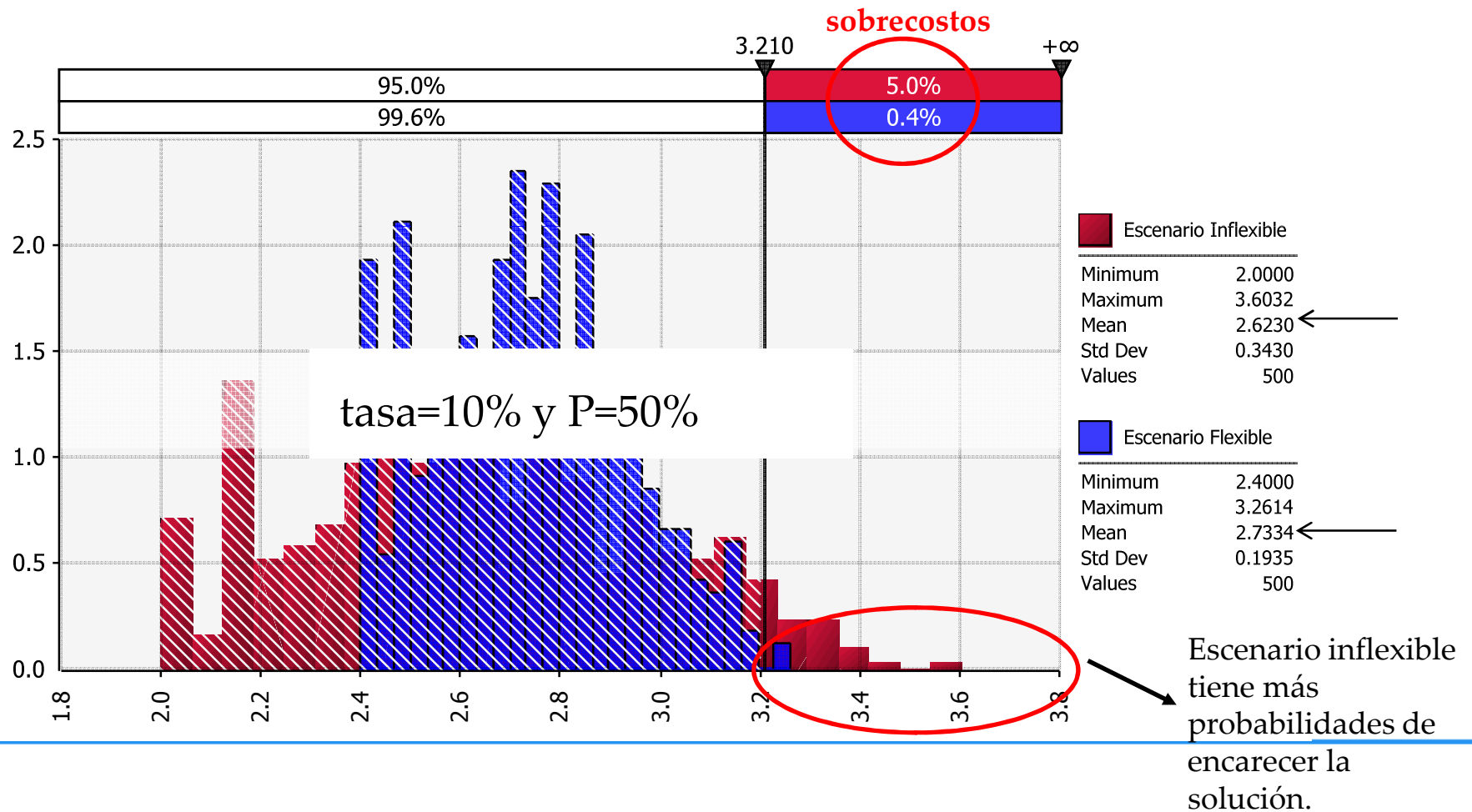
- Costo esperado de escenario *inflexible* menor
- Probabilidad menor de tener costos elevados en escenario *inflexible*



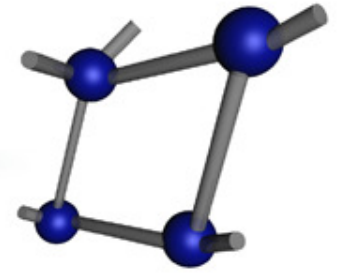
Valor Actual de Costos, tasa=10% y P=50%



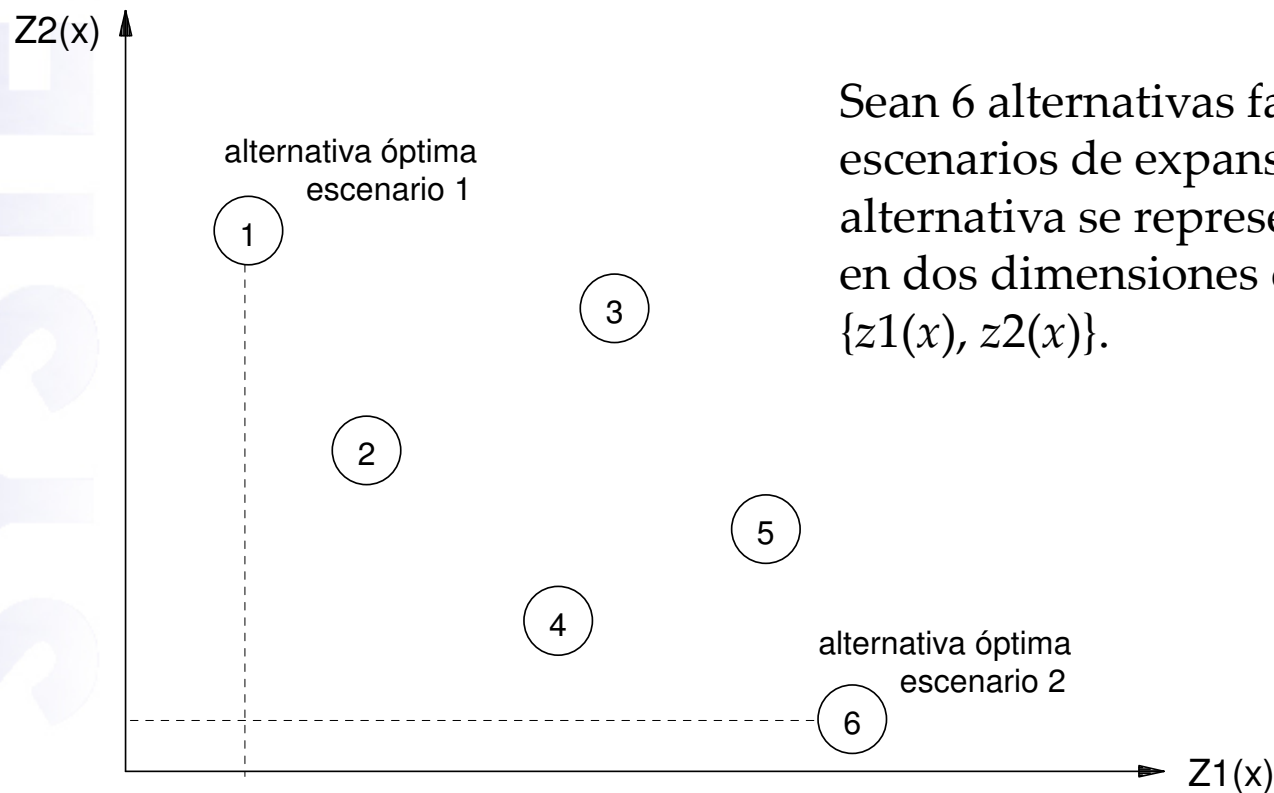
- Costo esperado de escenario *inflexible* menor
- Probabilidad menor de tener costos elevados en escenario *flexible*



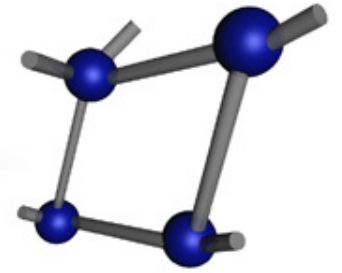
¿Cómo resolver el problema?



Considerar universo de soluciones factibles

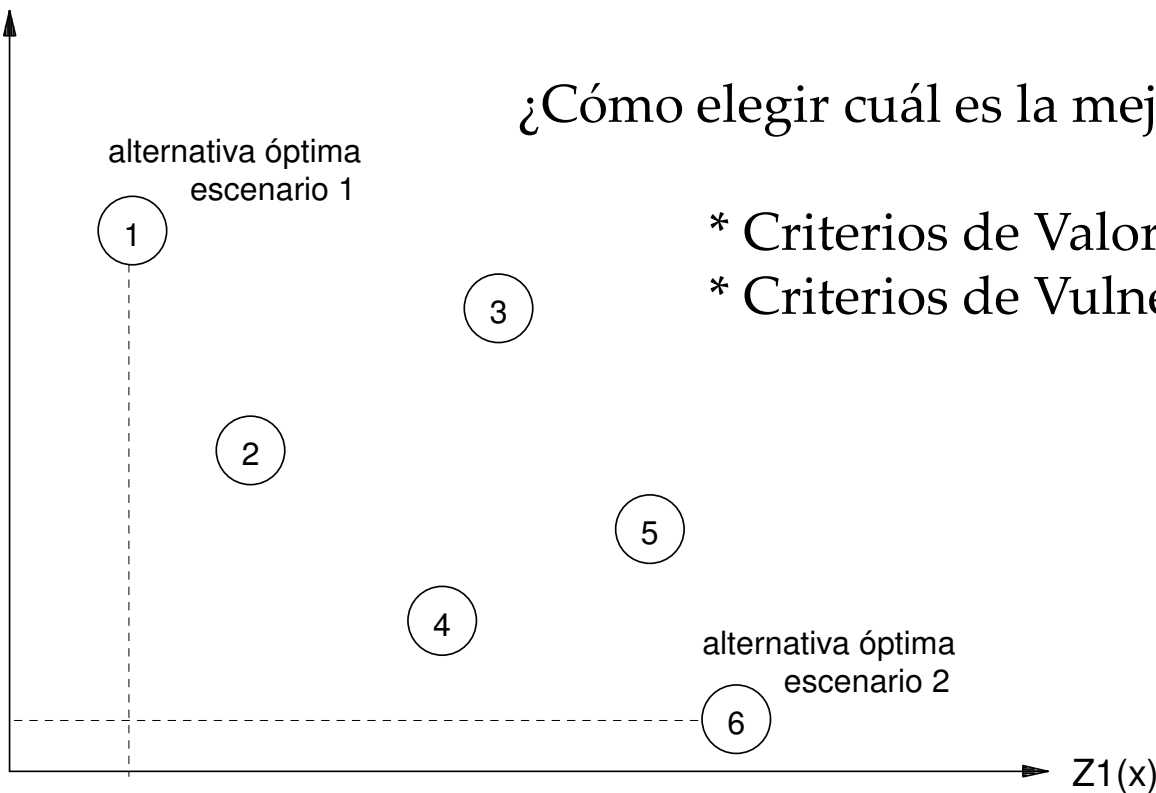


Resolución con múltiples escenarios

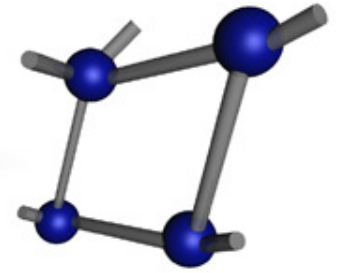


➤ Evaluar soluciones factibles

$Z2(x)$



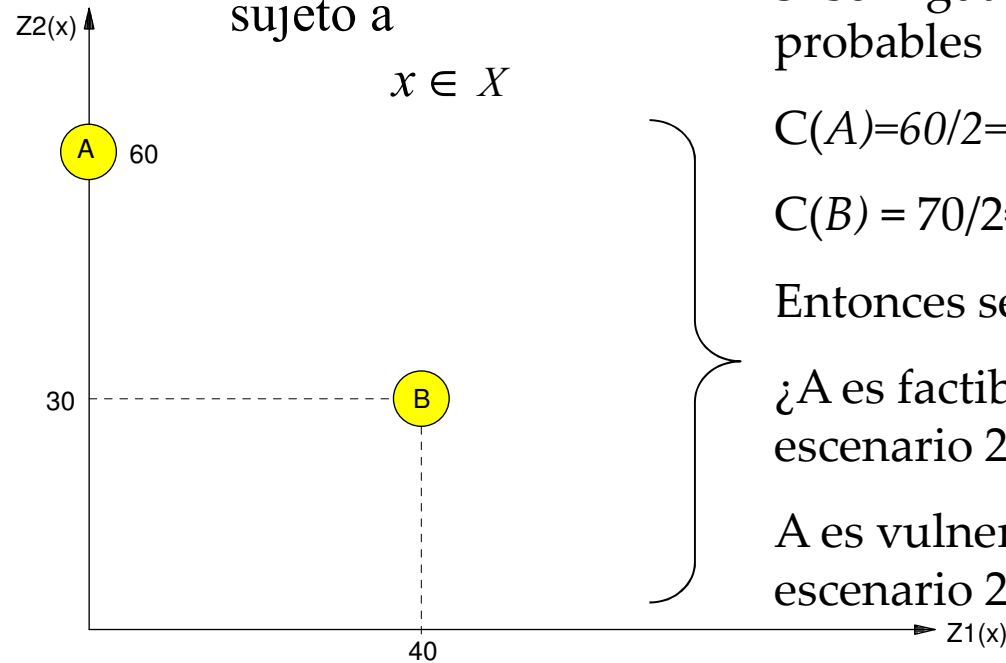
Criterio de Valor Esperado



- Las alternativas se pueden ordenar a través de la suma ponderada de los costos de cada escenario.

$$\text{Min } z(x) = \sum_{k=1}^K p_k z_k(x)$$

sujeto a
 $x \in X$



Ejemplo

Los costos de A para los escenarios 1 y 2 son respectivamente 0 y 60.
Los costos de B para los mismos escenarios son respectivamente 40 y 30.

Si son igualmente probables

$$C(A) = 60/2 = 30 \text{ y}$$

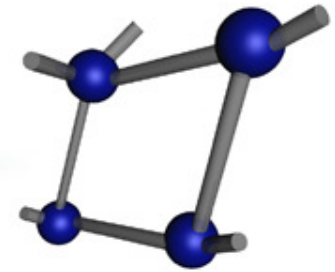
$$C(B) = 70/2 = 35$$

Entonces se escoge A.

¿A es factible en el escenario 2?

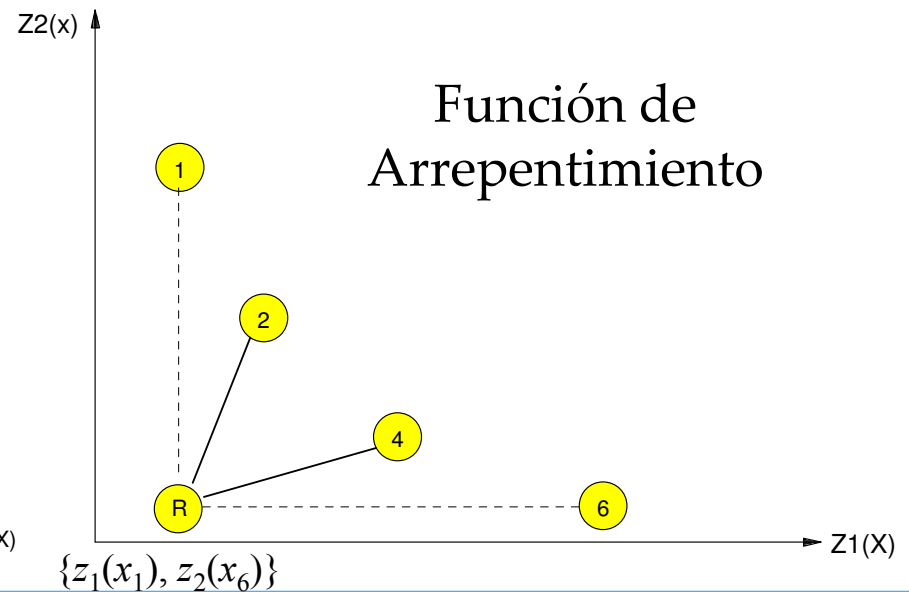
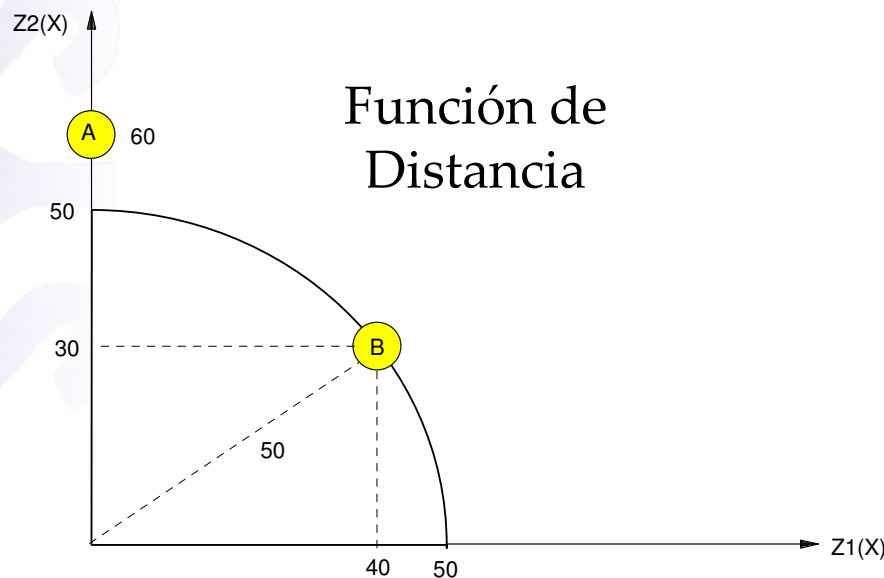
A es vulnerable en el escenario 2

Criterio de Vulnerabilidad

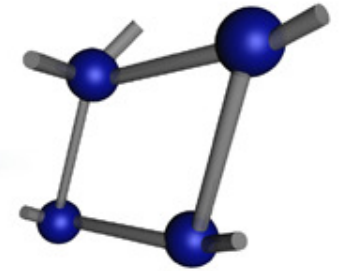


► Midiendo la vulnerabilidad:

- ❑ Funciones de Distancia: Una manera de representar los costos absolutos es utilizar la *distancia* de z con respecto a la origen.
- ❑ Funciones de Arrepentimiento: Otra alternativa es calcular las distancias con respecto a un *plan ideal*, o *plan de referencia* R , cuyas coordenadas corresponden a los costos mínimos de cada escenario.



Criterio de Vulnerabilidad



- Minimax: se debe escoger el plan que minimiza el máximo arrepentimiento.

$$\begin{aligned} \text{Min } & A(x) = \text{Max } \{A_k(x), k = 1, \dots, K\} \\ \text{sujeto a } & \\ & x \in X \end{aligned}$$

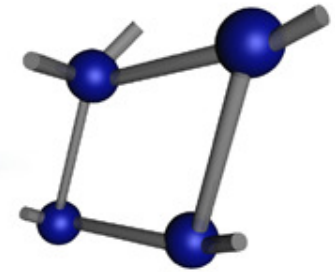
- Donde $A_k(x)$ representa el arrepentimiento de la alternativa x en el escenario k .
- Ejemplo: Sean los costos de las alternativas los siguientes:

Alt.	c_1	c_2
1	15	70
2	30	45
4	60	20
6	80	5
cref	15	5

Entonces, los menores costos en cada escenario (costos de referencia) son

$$r_1 = 15 \text{ y } r_2 = 5$$

Criterio de Vulnerabilidad



➤ Costos de referencia son $r_1 = 15$ y $r_2 = 5$

➤ Determinación de arrepentimientos por escenario:

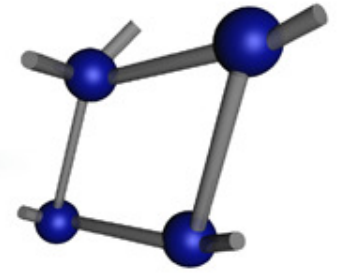
Arrepentimiento:

$$A_k(x) = z_k(x) - r_k$$

Alt.	A_1	A_2	Max {A}
1	$15 - 15 = 0$	$70 - 5 = 65$	65
2	$30 - 15 = 15$	$45 - 5 = 40$	40
4	$60 - 15 = 45$	$20 - 5 = 15$	45
6	$80 - 15 = 65$	$5 - 5 = 0$	65

□ Entonces, la solución es la alternativa 2

Expansión Transmisión Perú (RM 129-2009)



Definiciones relevantes:

- ❑ *Dominancia: se dice que un plan A domina a otro B cuando A es mejor o igual que B para cualquier atributo y A es mejor que B al menos para un atributo.*
- ❑ *Robustez: se dice que un Plan es robusto cuando no resulta dominado en ningún escenario de incertidumbre (metodología trade-off).*
- ❑ *En caso de no disponerse de ningún plan robusto, la metodología trade-off se complementará con la aplicación de un modelo MINIMAX.*

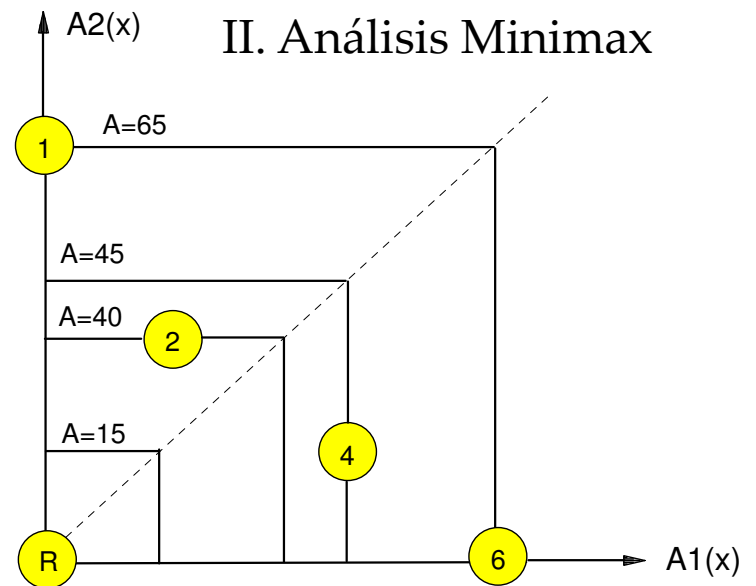
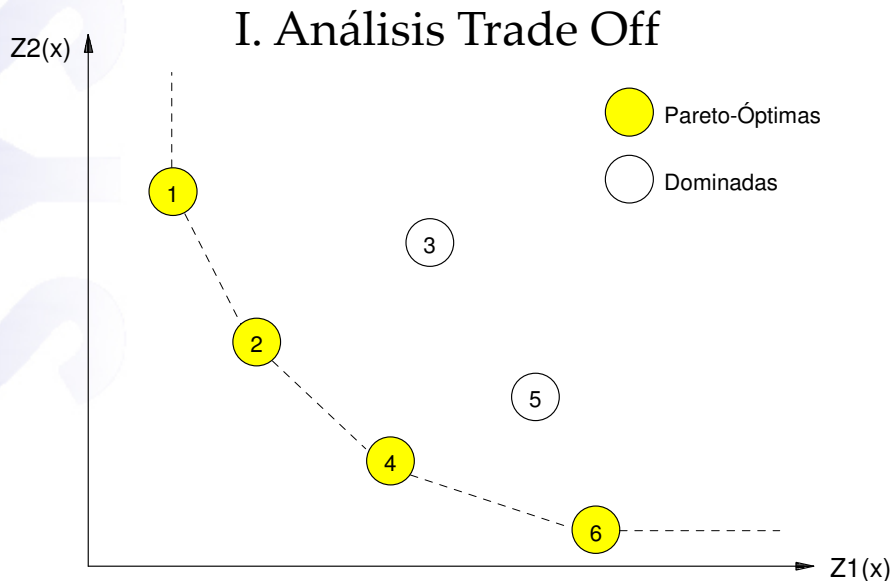
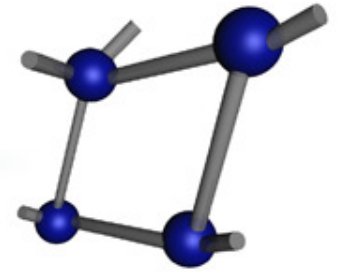
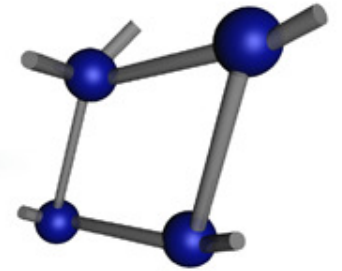


Tabla de contenidos



- Motivación
- Política Energética y Visión de Futuro
- Estudio de Transmisión Troncal
- Desafíos en la Expansión de la Transmisión
- Incertidumbre en la Expansión del Sistema Troncal
- Alternativas Metodológicas para la Expansión del Sistema Troncal
- Conclusiones

Conclusiones

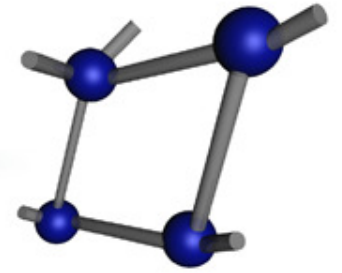


Nuestro desarrollo eléctrico pasa por una adecuada expansión de las redes de transmisión.

La metodología de expansión de la transmisión en aplicación en Chile no está reconociendo adecuadamente las incertidumbres que se enfrentan en los sistemas eléctricos.

Sin embargo, es posible hacerlo y la regulación lo permite, sólo falta decidir hacerlo.

Otros lo están haciendo.



Hugh Rudnick⁺, Sebastian Mocarquer[&], Rodrigo Moreno^{*}, Alejandro Navarro[&], Jorge Moreno[&], Pedro Miquel[&], Mario Pereira[#], Silvio Binato[#], Luiz Barroso[#]

⁺ Pontificia Universidad Católica de Chile,

[&] SysteP Ingeniería y Diseños Chile,

^{*} Imperial College London,

[#] PSR Brasil
