

# Opciones para lograr la neutralidad en carbono para 2050 en Chile en condiciones de incertidumbre

Comité Asesor por la Acción Climática

27 de abril de 2021



Tecnológico de Monterrey



Banco Interamericano de Desarrollo



# Chile tiene una NDC ambiciosa que coloca a la nación en la frontera de los esfuerzos climáticos

- La NDC busca alcanzar la carbono-neutralidad del país al 2050
- Se suscribe dentro del proyecto de Ley Marco de Cambio Climático para Chile
- Plantea compromisos específicos en la ruta para alcanzar la carbono-neutralidad en 2050:
  - Mantener las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) por debajo 95 MtCO<sub>2eq</sub> al 2030
  - Tener el peak de emisiones antes del 2025
  - Mantener el presupuesto de emisiones de GEI por debajo de 1,100 MtCO<sub>2eq</sub> para el período 2020-2030
  - Aumentar la forestación y el manejo sostenible de bosques
  - Entre otros
- Para alcanzar estos compromisos son necesarias un conjunto de transformaciones sectoriales de gran escala

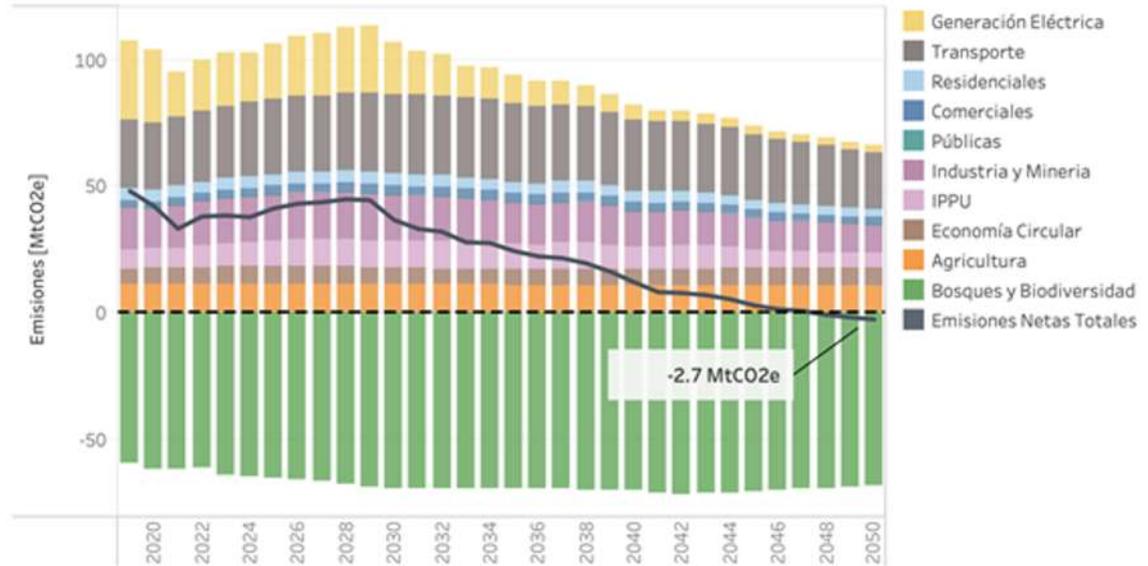


# Chile tiene una NDC ambiciosa que coloca a la nación en la frontera de los esfuerzos climáticos

Sector	Transformación Sectorial en NDC
Generación eléctrica	Retiro de centrales de carbón al 2040
Transporte	Electromovilidad: vehículos particulares, taxis y transporte público
	Hidrógeno en transporte de carga
Comercial	Electrificación de usos finales
Industria y Minería	Sistemas solares térmicos
	Hidrógeno - usos en procesos térmicos
	Hidrógeno – usos motrices
	Electrificación de usos motrices
	Electrificación de usos cobre
Residencial	Calefacción eléctrica residencial
	Electrificación cocción
	Sistemas solares térmicos (SST)
	Reacondicionamiento térmico
IPPU	Control del consumo de HFC
Economía circular	Captura y combustión de biogás en rellenos sanitarios
	Tratamiento de aguas servidas
Agricultura	Cambio dieta bovina
	Biodigestores
	Uso eficiente de fertilizantes
Bosques y biodiversidad	Planes de manejo forestal
	Forestación
	Disminución de la sustitución y degradación

# Chile debe reducir su emisiones netas en 50 MtCO<sub>2eq</sub> para 2050 para alcanzar la carbono neutralidad

- Mayor reducción del sector eléctrico
- Reducción más modesta del transporte, la industria y la minería
- Mayor secuestro por parte de los bosques y la biodiversidad



# Llevar un plan a su ejecución requiere una comprensión cuidadosa de los riesgos y oportunidades

- Las NDC describen una única visión aspiracional de cómo un país puede cumplir con sus compromisos internacionales.

¿En qué supuestos se basan estos planes?

¿Qué pasa si el futuro se desarrolla de manera diferente?

¿Cómo se pueden hacer más sólidos los planes?



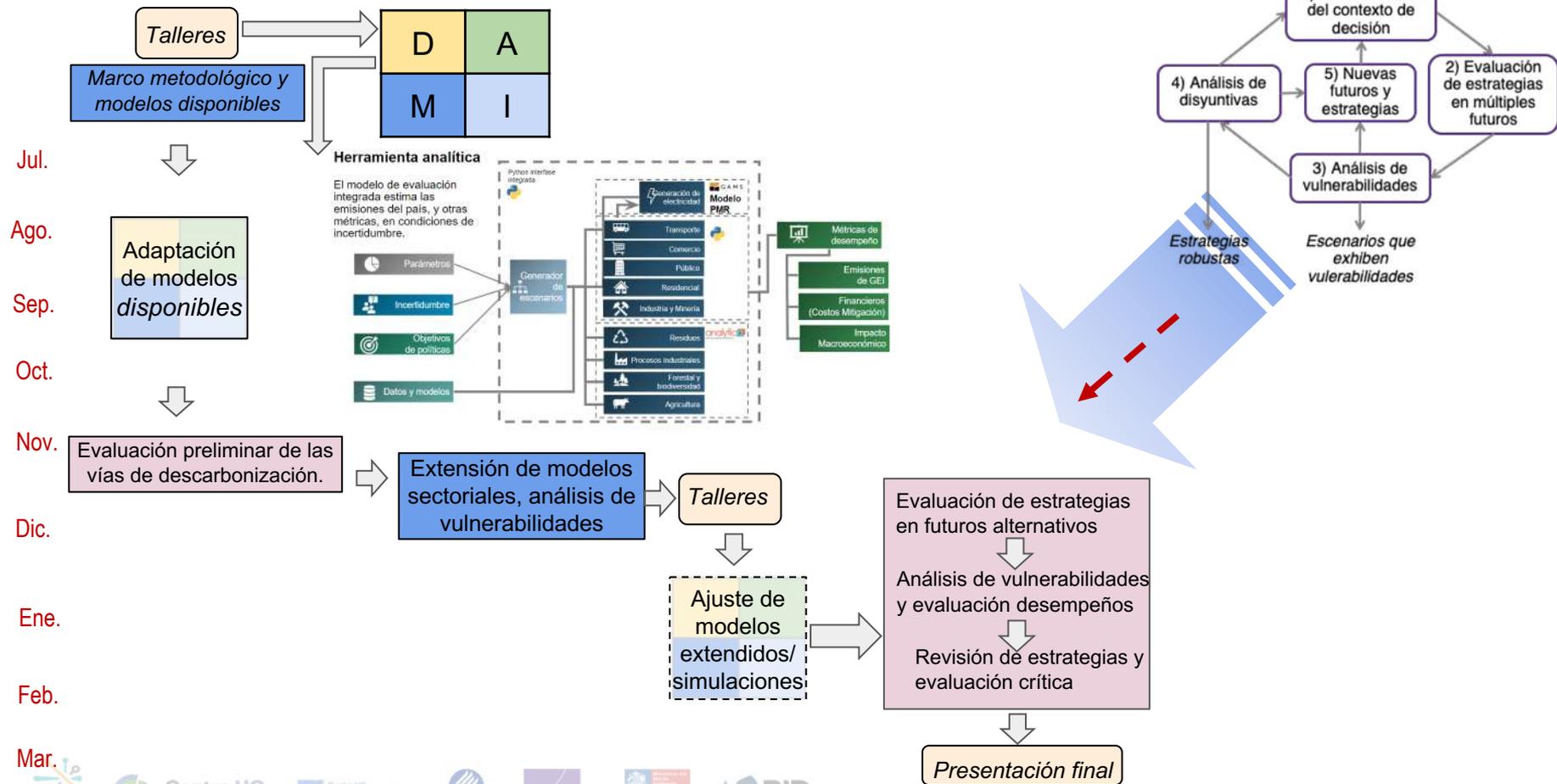
- Las evaluaciones sistemáticas de vulnerabilidades y oportunidades pueden garantizar que estas estrategias se traduzcan en logros de descarbonización.

# Este estudio es fruto de una amplia colaboración inter-institucional

- Colaboración formada entre ministerios chilenos, investigadores universitarios, Think Tank de política internacional y partes interesadas
- Basado en otros estudios apoyados por el BID
- Métodos utilizados para la toma de decisiones en condiciones de profunda incertidumbre para estructurar el análisis.



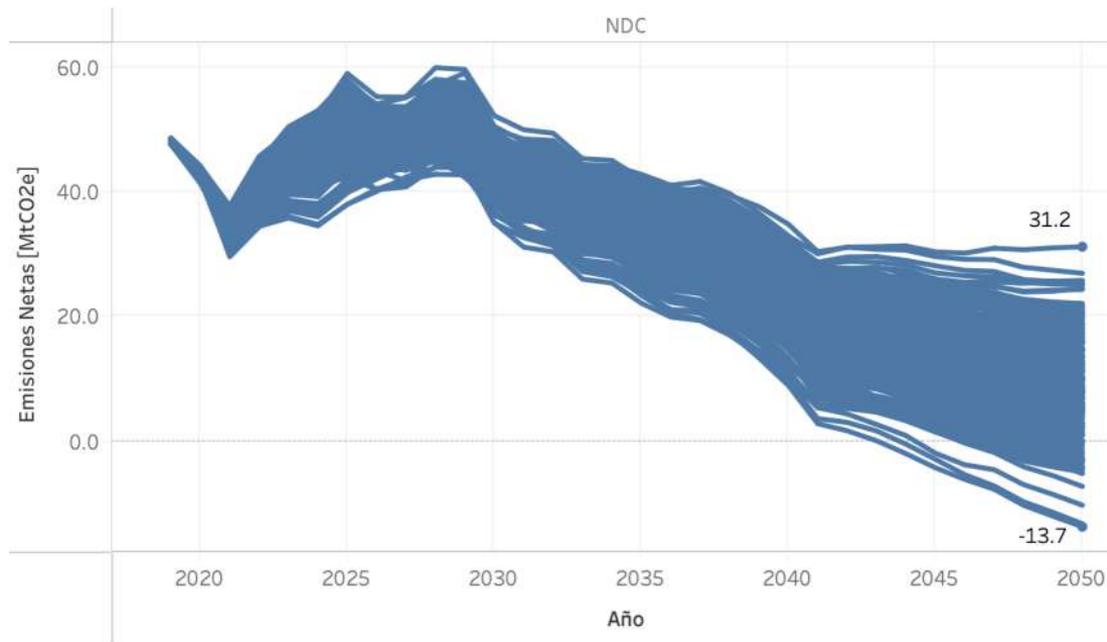
# Aplicando el enfoque de toma de decisiones robustas





# La consecución exitosa de los objetivos de la NDC depende de un amplio abanico de factores inciertos

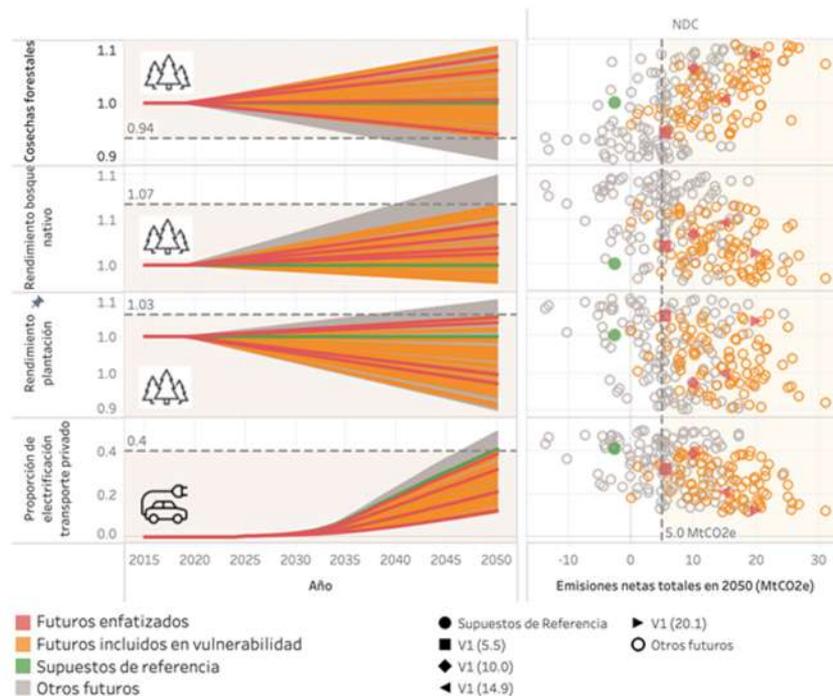
- En muchos futuros plausibles, la carbono neutralidad no se alcanza en 2050
  - Incendios forestales
  - Costos de tecnologías de mitigación
  - Crecimiento de la demanda de electricidad
- Los objetivos de emisiones a corto plazo no se cumplen en ningún futuro.



# Nuestra investigación identifica las condiciones más relevantes para la vulnerabilidad

55% de todos los casos de altas emisiones se originan por:

- Alta frecuencia de cosecha forestal
- Bajo rendimiento de bosques nativos (i.e., toneladas de biomasa por hectárea de bosque)
- Bajo rendimiento de plantaciones (i.e., toneladas de biomasa por hectárea de plantación)
- Baja electrificación del transporte privado

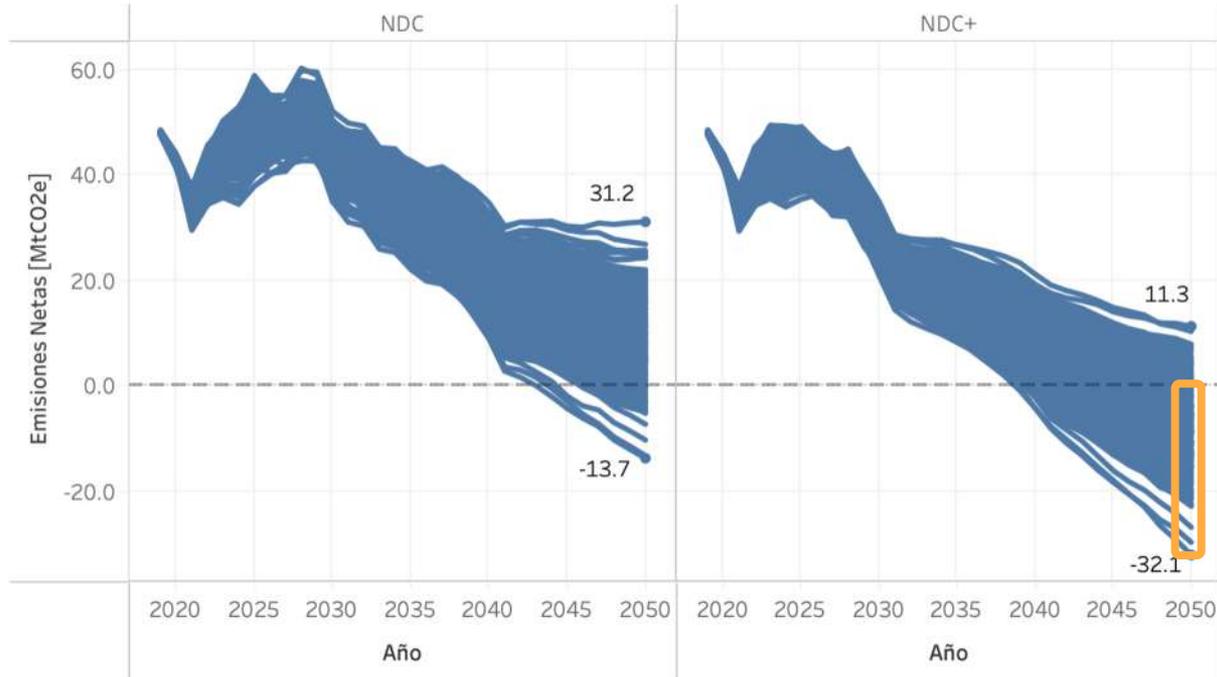


# En respuesta a estas vulnerabilidades, diseñamos una NDC + alternativa

Sector	Transformación Sectorial en NDC+
Generación eléctrica	<b>Retiro más rápido de centrales de carbón</b>
	<b>Retiro de centrales de gas natural</b>
Transporte	Electromovilidad vehículos particulares, taxis y transporte público
	Hidrógeno en transporte de carga y <b>aviación</b>
	<b>Cambio modal a transporte público, bicicleta y teletrabajo</b>
Comercial	Electrificación de usos finales
Industria y Minería	<b>Más sistemas solares térmicos</b>
	<b>Más hidrógeno en usos en procesos térmicos</b>
	<b>Más hidrógeno en usos motrices</b>
	Electrificación de usos motrices
	Electrificación de usos cobre
Residencial	Calefacción eléctrica residencial
	<b>Más electrificación cocción</b>
	<b>Más sistemas solares térmicos (SST)</b>
	<b>Más reacondicionamiento térmico</b>
IPPU	Control del consumo de HFC
	<b>Nuevas plantas de recuperación y regeneración de refrigerantes</b>
Economía circular	Biogás
	<b>Más tratamiento de aguas servidas</b>
	<b>Nuevas plantas de compostaje</b>
Agricultura	Cambio dieta bovina
	Biodigestores
	Uso eficiente de fertilizantes
	<b>Agricultura regenerativa (aplicación de enmienda orgánica)</b>
	<b>Cambio de dieta nacional</b>
	<b>Manejo holístico de ganado</b>
Bosques y biodiversidad	<b>Más planes de manejo forestal</b>
	<b>Más forestación</b>
	<b>Manejo sostenible de algas pardas</b>
	Disminución de la sustitución y degradación
	<b>Conservación de ecosistemas</b>
	<b>Cambio en la matriz de productos de madera recolectada</b>

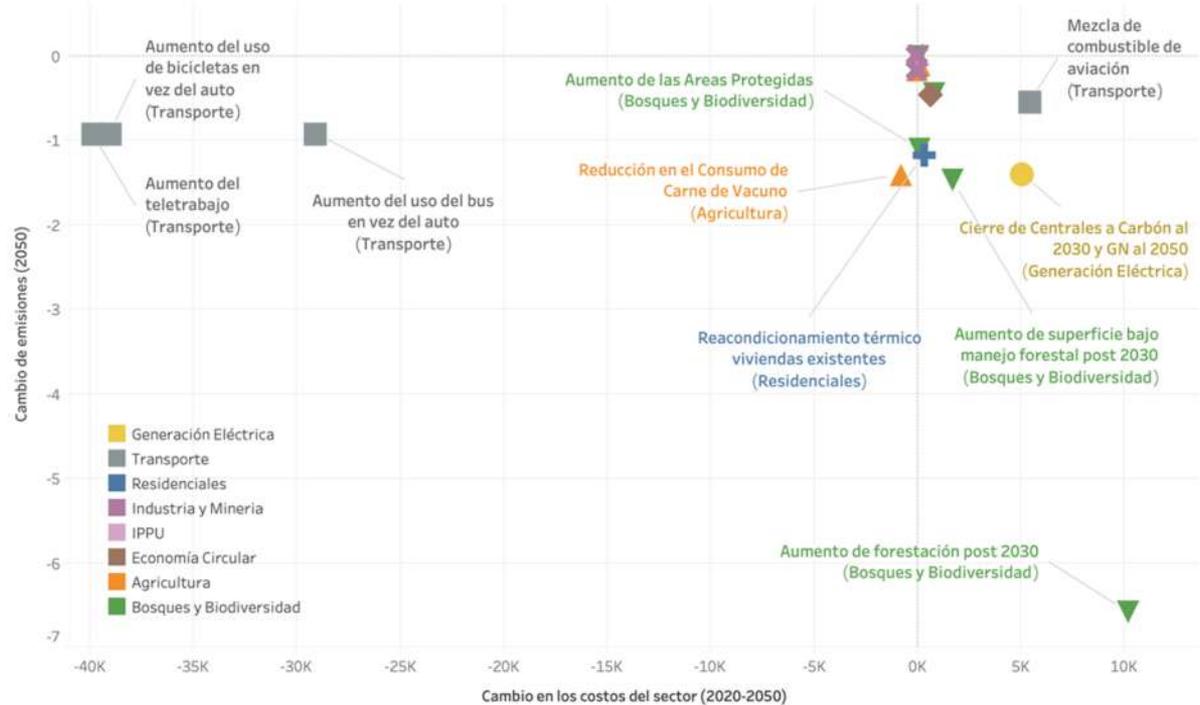
# La NDC + conduce a muchas más trayectorias en las que es posible alcanzar la carbono neutralidad

En algunos futuros, la NDC + conduce a un gran de mitigación mucho mayor al objetivo planteado



# Identificamos los componentes adicionales con mayor impacto en las emisiones y el ahorro de costos

Definimos una NDC robusta a partir de los componentes más efectivos



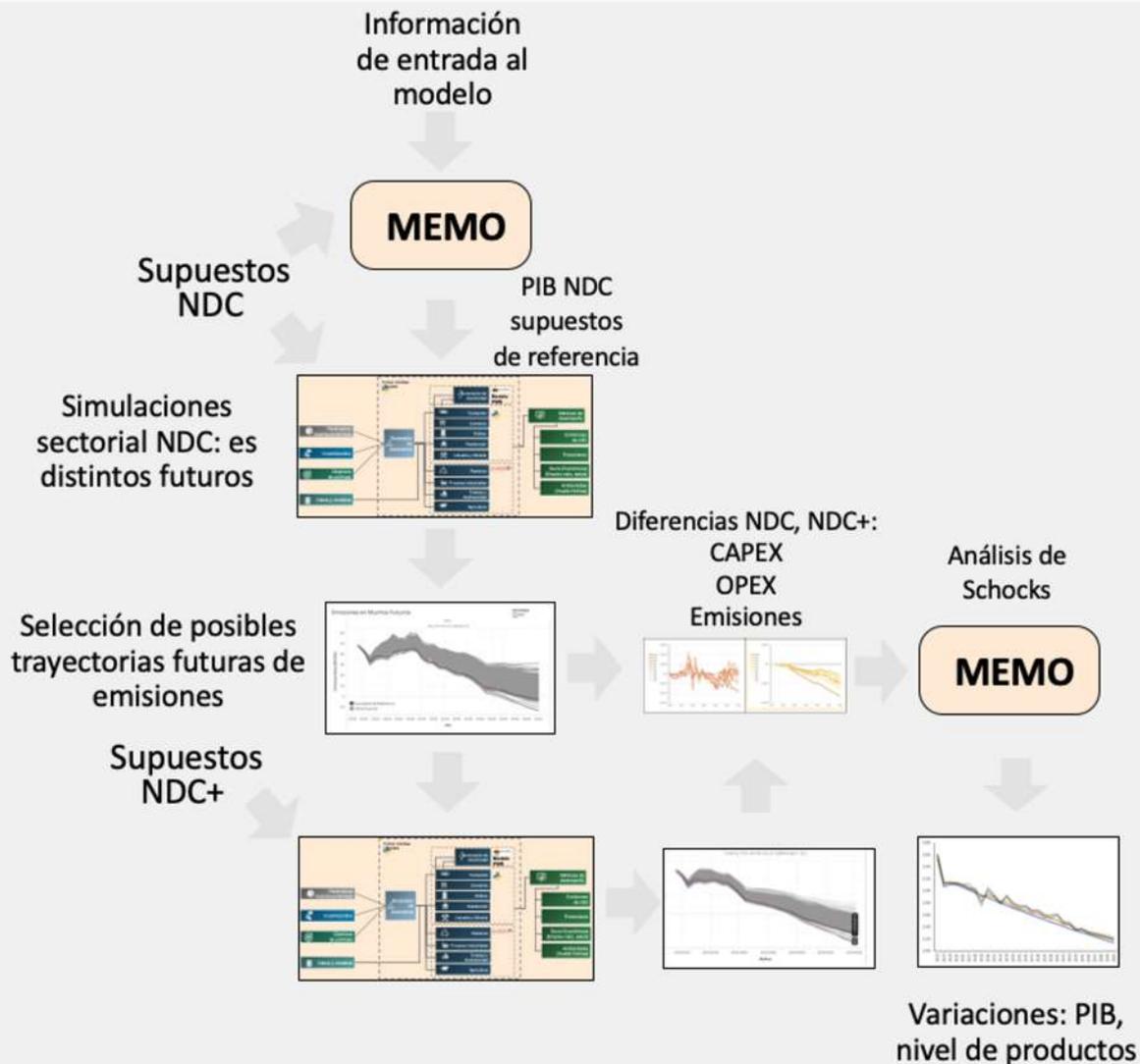
# Consideramos el impacto macroeconómico bajo incertidumbre

MEMO Utilizado:

- MAPS (2012-2014)
- Actualización NDC (2019-2020)

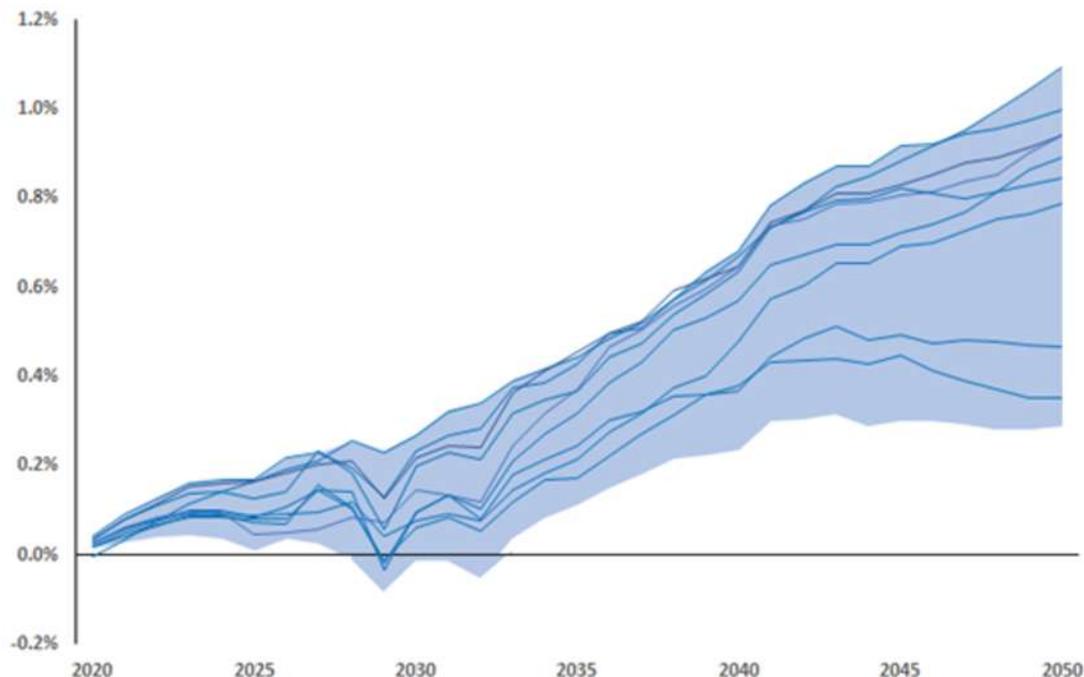
Actualmente:

- Para evaluar los distintos escenarios asociados a incertidumbre



# El análisis final muestra que la NDC+ también daría lugar a considerables beneficios económicos

La NDC+ permite aumentar el PIB hasta 1% al 2050 por sobre la NDC



# Mensajes clave

1. Analizamos bajo qué condiciones las transformaciones sectoriales incluidas en el NDC no cumplen con los objetivos de mitigación estipulados
2. La NDC puede fortalecerse :
  - a. Retiro acelerado de las centrales eléctricas de carbón
  - b. Acciones que no resultan en mayores costos de implementación como transporte público, teletrabajo y reacondicionamiento térmico de viviendas.
  - c. Aumento en la forestación y el incremento en las áreas protegidas
3. La NDC provee beneficios económicos netos en el corto y largo plazo
4. Desarrollo de un nuevo modelo integrado multi-sectorial
5. Desarrollo de una plataforma de modelación para analizar diferentes fuentes de incertidumbre y estrategias de mitigación que puede ser empleado en futuras iteraciones y análisis:
  - a. Componentes para definir una estrategia robusta y adaptativa
  - b. Analizar las implicaciones de compromisos de corto plazo en la consecución de objetivos de largo plazo

# Asegurar el éxito de la estrategia de descarbonización de Chile

Comité Asesor por la Acción Climática

27 de abril de 2021



Banco Interamericano de Desarrollo

# ANEXOS

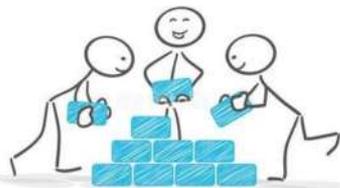


# ÍNDICE

- Introducción
- Resultados
  - Escenario de futuro de referencia (NDC)
  - NDC con incertidumbres
  - Análisis de vulnerabilidad
  - NDC+ y análisis de robustez
  - Análisis macroeconómico
- Conclusiones

# Este estudio aportará evaluaciones robustas de las medidas consideradas para alcanzar la carbono neutralidad

Utilizando la metodología de *Toma de Decisión Robusta*:

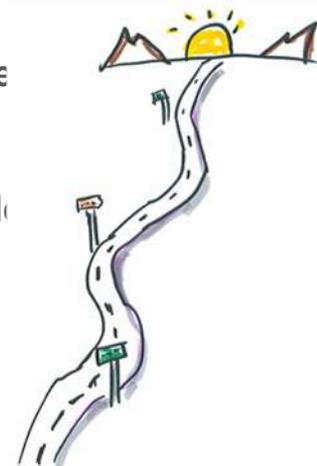


**Trabajar con las partes interesadas** para reflejar sus objetivos e ideas

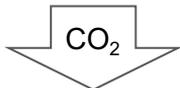
**Analizar los modelos y datos** existentes para simular una **gran cantidad de opciones de políticas posibles** para explorar incertidumbres



**Identificar opciones que satisfagan múltiples objetivos de desarrollo** (incluyendo carbono neutralidad) en muchos futuros posibles diferentes

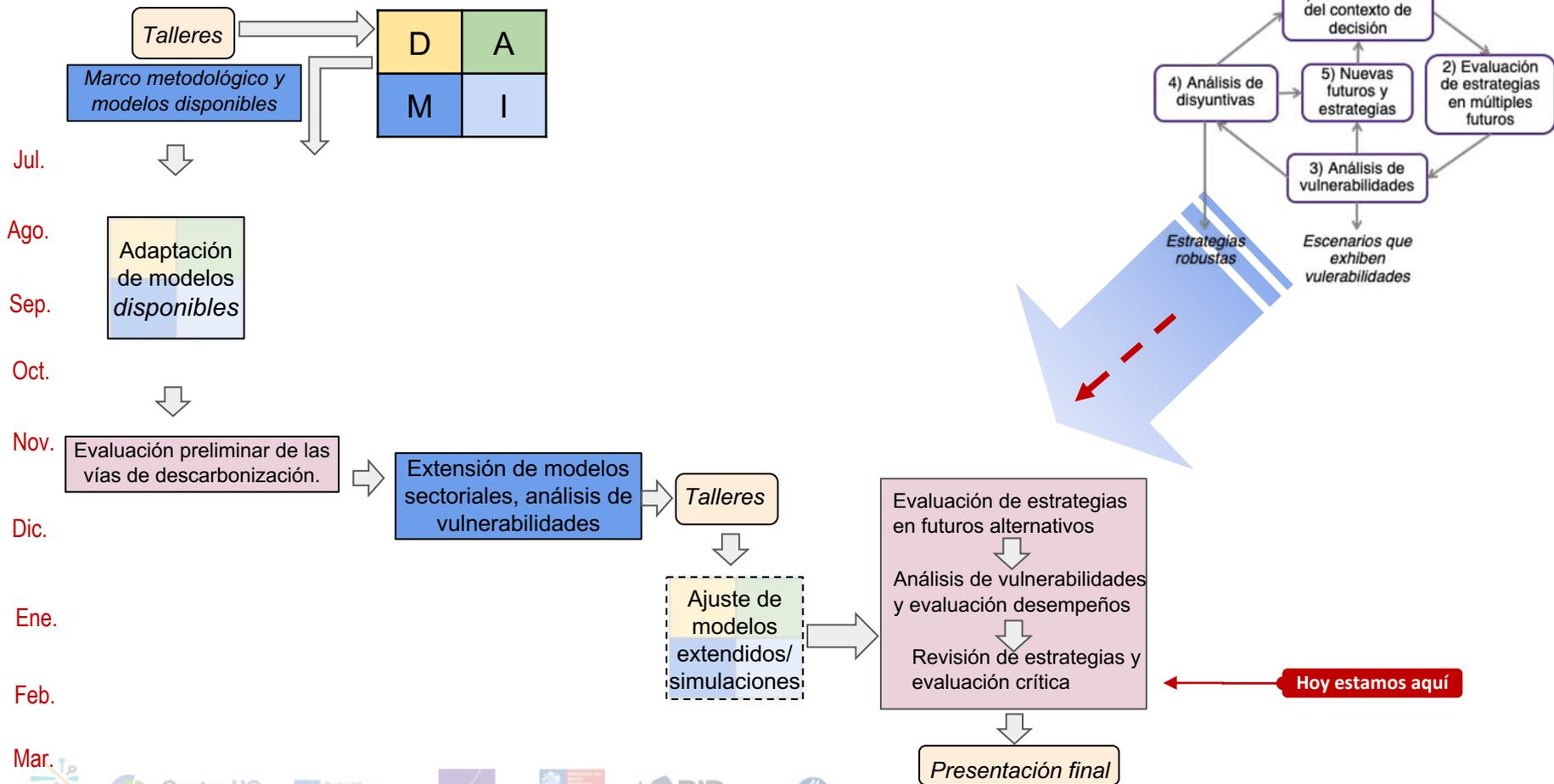


# Estudio se basa en la estrategia existente para la carbono neutralidad



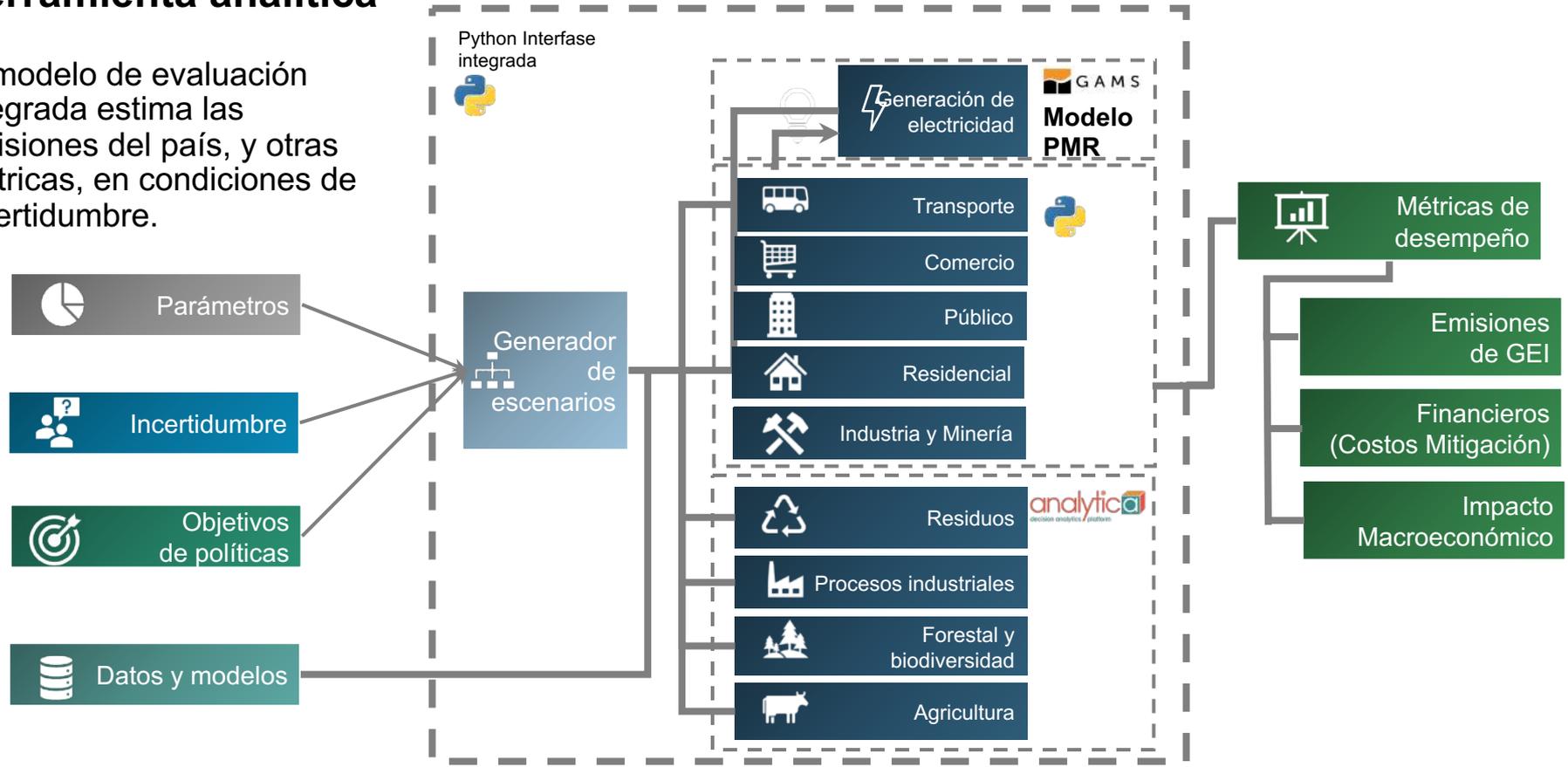
1. **Incorpora participación de *stakeholders*** para comprender las principales preocupaciones en materia de descarbonización.
2. **Desarrollo integrado de modelos de emisiones de GEI** para representar importantes conexiones y relaciones entre sectores:
  - La electrificación de usos finales aumenta la demanda de electricidad,
  - Las fuerzas macroeconómicas afectan a los sectores de forma coherente.
3. **Revisión y actualización de supuestos de modelación** utilizados en la elaboración de la NDC de Chile.
4. **Evaluación** de cómo la **incertidumbre** asociada a parámetros económicos, los *drivers* de las emisiones de GEI y las medidas de mitigación podrían afectar los objetivos de emisiones para 2050.
5. **Identificar las principales vulnerabilidades**, es decir, escenarios de incertidumbre en los que Chile podría no alcanzar sus objetivos de emisiones para 2050.
6. **Evaluación del impacto de medidas de mitigación adicionales en la reducción de las vulnerabilidades.**
7. Desarrollar **recomendaciones** para la implementación de la **estrategia** de carbono neutralidad.

# Aplicando el enfoque de toma de decisiones robustas



# Herramienta analítica

El modelo de evaluación integrada estima las emisiones del país, y otras métricas, en condiciones de incertidumbre.



# ÍNDICE

- Introducción
- Resultados
  - Escenario de futuro de referencia (NDC)
  - NDC con incertidumbres
  - Análisis de vulnerabilidad
  - NDC+ y análisis de robustez
  - Análisis macroeconómico
- Conclusiones



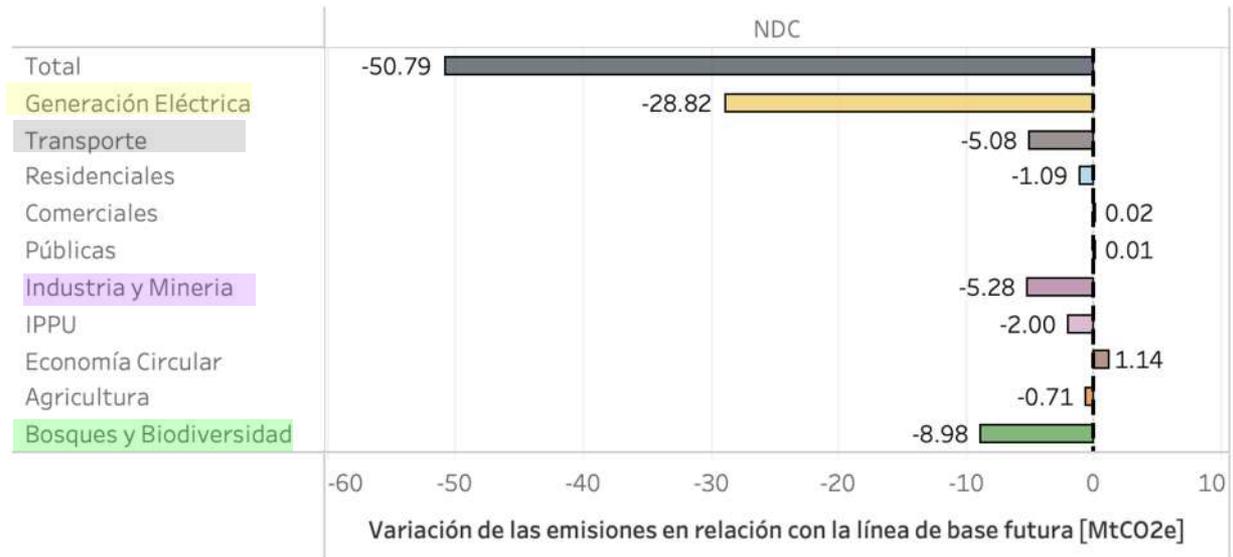
# Resultados

Escenario de futuro de referencia (NDC)

## Emisiones sectoriales evolucionan de forma diferenciada

- Mayores reducciones del sector **gen. eléctrica**
- Sigüientes reducciones:
  - **Bosques y biodiversidad (-9.0)**
  - Transporte (-5.1)
  - Industria & Minería (-5.3)
- Emisiones sin cambios mayores para el resto de sectores

Cambio en las emisiones por sector de 2019 a 2050



# Resultados

Escenario de futuro de referencia (NDC)

**Para alcanzar la carbono Neutralidad muchas cosas deben pasar**

*Tendencias exógenas:*

- Precios de los commodities
- Crecimiento PIB
- Crecimiento Población
- Rendimiento de los Bosques y Plantaciones
- Frecuencia de cosechas forestales
- Incidencia de Incendios Forestales
- Hidrología
- etc.

*Implementación de las medidas evaluadas para la NDC:*

- Electrificación del transporte
- Adopción del hidrógeno
- Electrificación del consumo energético residencial e industrial
- Planes de manejo
- Forestación
- etc.

# ÍNDICE

- Introducción
- Resultados
  - Escenario de futuro de referencia (NDC)
  - **NDC con incertidumbres**
  - Análisis de vulnerabilidad
  - NDC+ y análisis de robustez
  - Análisis macroeconómico
- Conclusiones

# Resultados

## **NDC con incertidumbres**

- Recopilación de incertidumbres: talleres, reuniones, estado del arte.
- Incertidumbres consideradas:
  - Parámetros ( drivers exógenos Xs).
    - Ej: proyecciones de costos, PIB, población, etc.
  - Acciones (medidas de mitigación, XLs)
    - Ej: metas de penetración electromovilidad, Forestación, etc.
- Técnicas de análisis:
  - Muestreo aleatorio: hipercubo latino
  - Análisis de sensibilidad, ceteris paribus en escenario futuro de referencia NDC

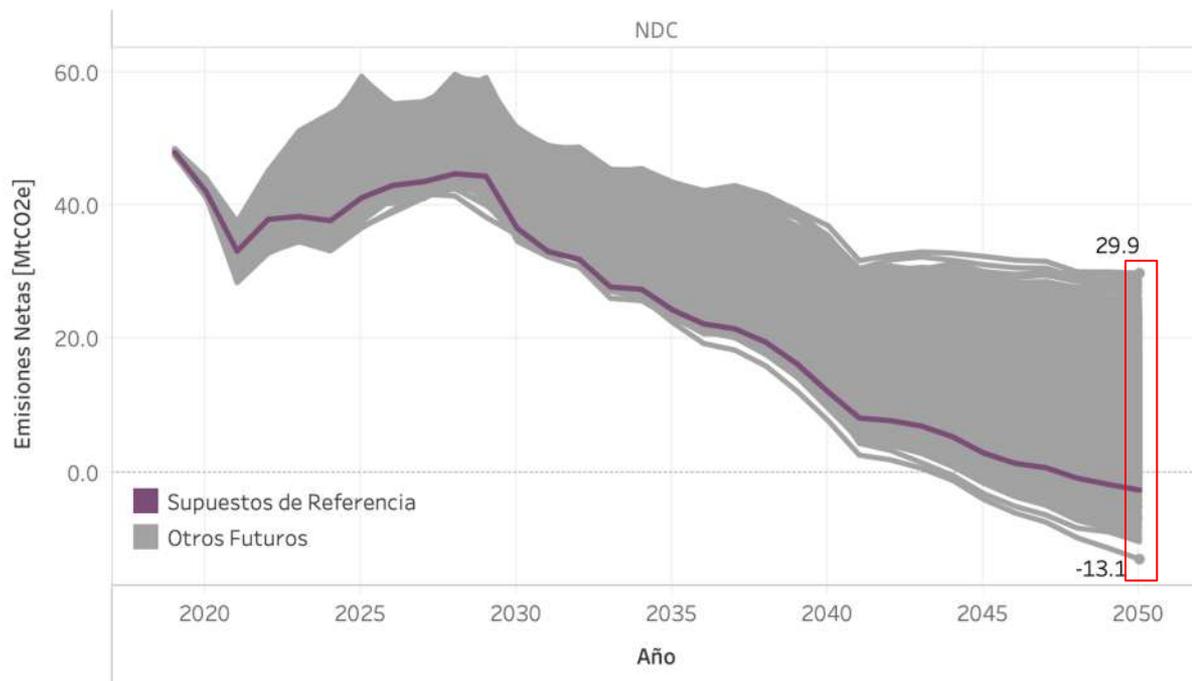
# Resultados

## NDC con incertidumbres

- **Incertidumbres asociadas con factores que las generan**
- Incertidumbres asociadas con acciones para alcanzar la carbono neutralidad en 2050**

Hay un amplio rango de emisiones para el 2050 si las condiciones del futuro de referencia no se cumplen....

- Entre **-13,7 y +29.9 MtCO<sub>2e</sub>**

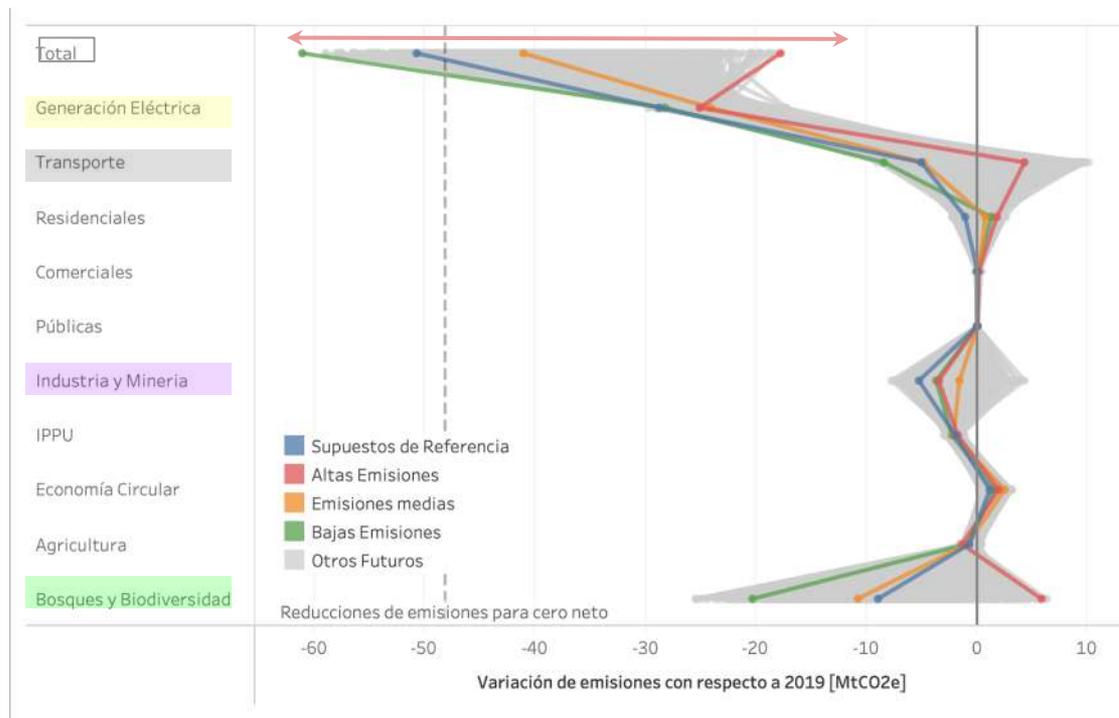


# Resultados

## NDC con incertidumbres

→ Las incertidumbres en las emisiones totales son dominadas por algunos sectores

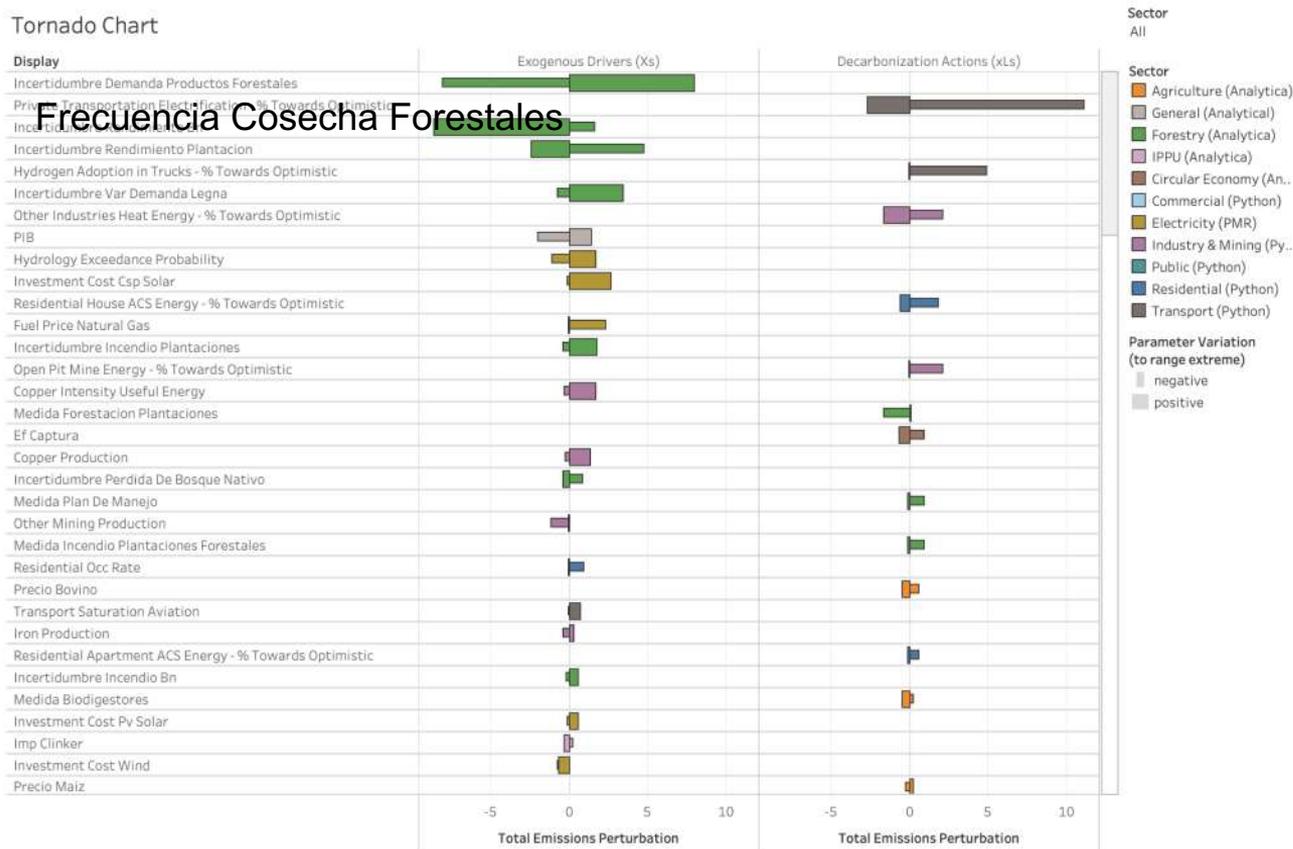
- **Electricidad:** Sólo emisiones mayores
- **Transporte:** principalmente emisiones mayores
- **Industria y Minería:** principalmente emisiones mayores
- **Bosques y Biodiversidad:** Emisiones mayores y menores



# Resultados

## NDC con incertidumbres

→ Un análisis de sensibilidad estándar muestra el impacto independiente de cada factor en las emisiones totales.



# ÍNDICE

- Introducción
- Resultados
  - Escenario de futuro de referencia (NDC)
  - NDC con incertidumbres
  - **Análisis de vulnerabilidad**
  - NDC+ y análisis de robustez
  - Análisis macroeconómico
- Conclusiones

# Resultados

## Análisis de vulnerabilidad

### Descubrir conjunto de incertidumbres más relevantes para el plan de carbono neutralidad

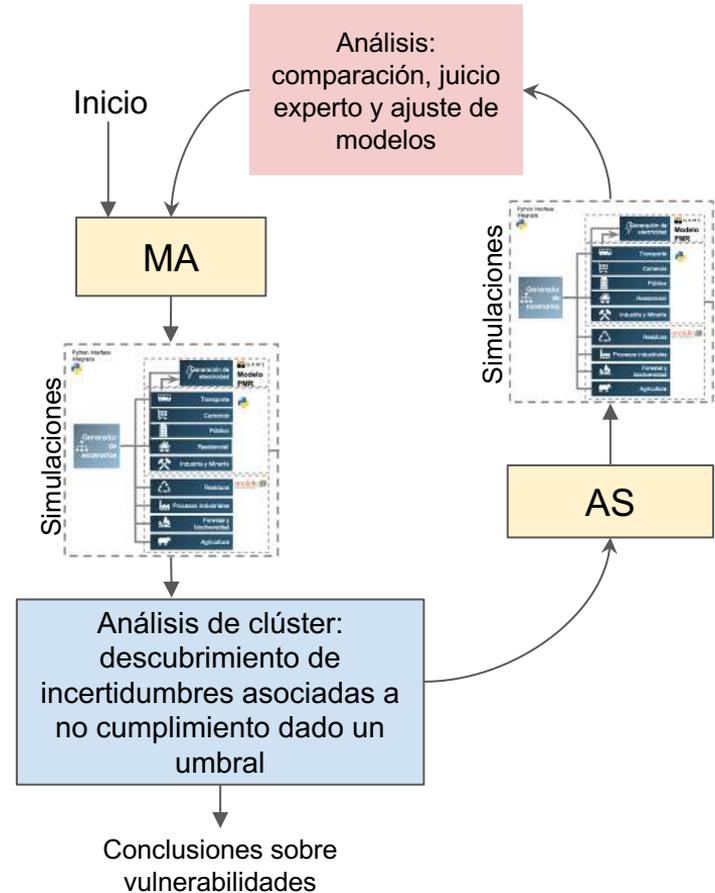
- Combinación de supuestos que nos llevan a emisiones netas altas al 2050 (arriba de 5 MtCO<sub>2</sub>e).
- Generar un relato de las vulnerabilidades que deben ser gestionadas para asegurar el éxito:
  - Medidas de mitigación adicionales
  - Realizar inversiones adicionales para disminuir vulnerabilidades identificadas
- La probabilidad de estos escenarios no está determinada, pero se puede analizar.
- Hay una disyuntiva entre el costo adicional de implementar más acciones y asegurar el éxito (i.e., alcanzar la carbono neutralidad).

# Resultados

## Análisis de vulnerabilidad

### Metodología

- Uso de esquema iterativo (ver figura)
- **Técnicas de análisis:**
  - Muestreo aleatorio (MA)
    - → Análisis de clústeres
  - Análisis de sensibilidad (AS)
    - → Verificación de impactos
- **Definición de umbral:** criterio razonable de cumplimiento (5% de emisiones actuales).
- **Vulnerabilidad:** rangos de conjuntos de incertidumbre que se relacionan con el no cumplimiento.

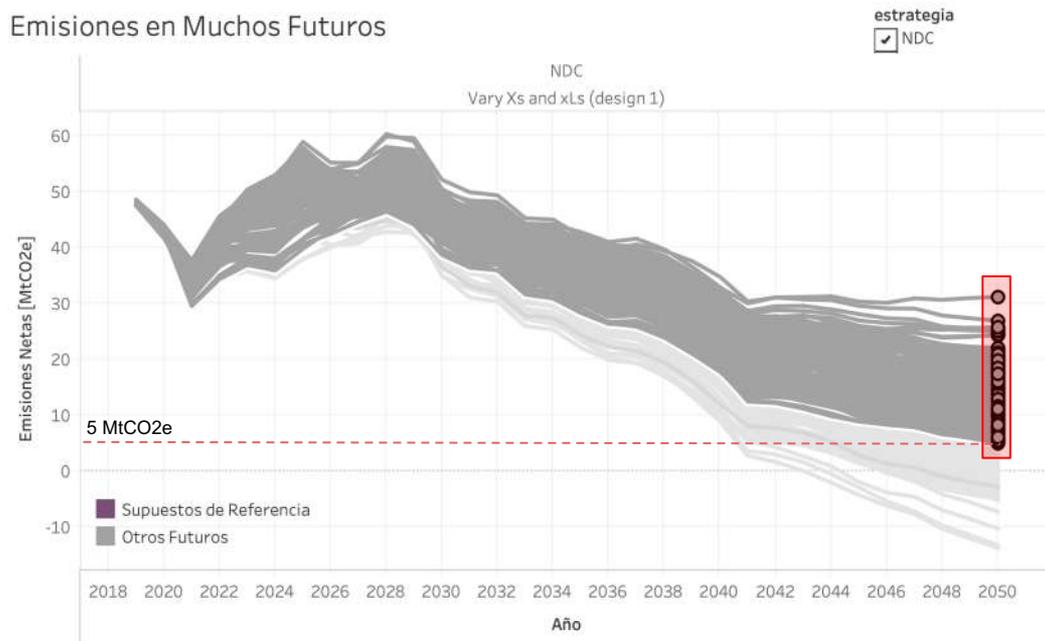


# Resultados

## Análisis de vulnerabilidad

### Mecánica del análisis de vulnerabilidad

1. Evaluar 201 futuros posibles asociados a la estrategia de carbono neutralidad
2. Identificar los futuros que nos llevan a emisiones “altas”
  - a. Más de 5 MtCO<sub>2e</sub> para el 2050
  - b. 143 de los 201 (71%)
3. Usar algoritmo PRIM para definir los rangos de incertidumbres que nos llevan a estos escenarios

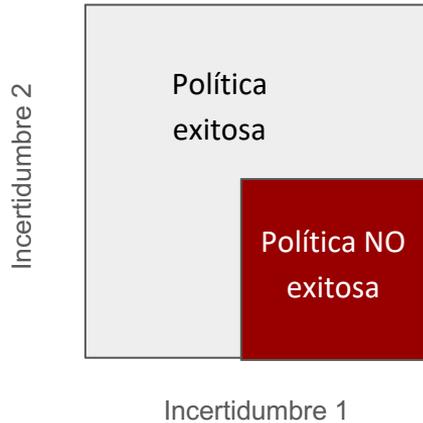


# Resultados

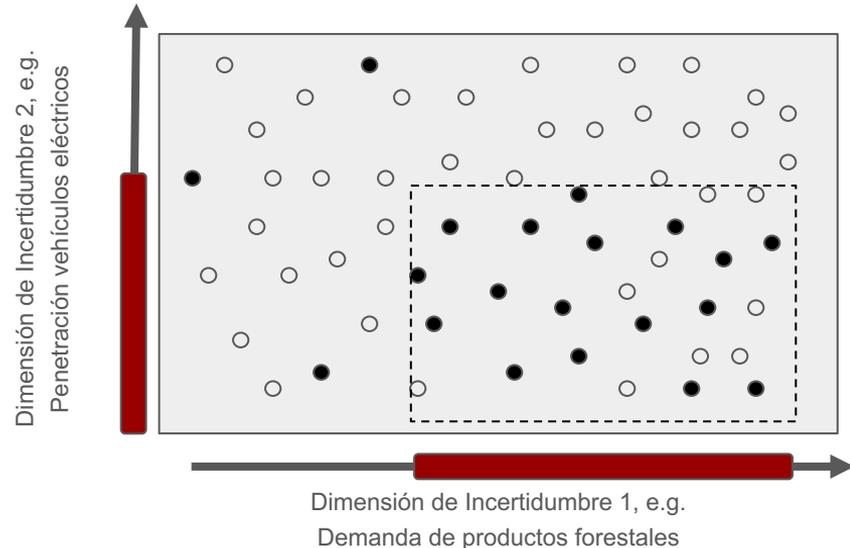
## Análisis de vulnerabilidad

### Descubrimiento de escenarios y PRIM

Los clústeres representan escenarios y dimensiones de incertidumbre relevantes para los tomadores de decisión



1. Clasificar resultados en dos grupos: aquellos que cumplen con los objetivos estratégicos (éxito: alcanzar la carbono neutralidad) y aquellos que no (**fracaso**)
2. El algoritmo de búsqueda de patrones (PRIM) identifica **clústeres** con alta densidad de casos de interés (i.e., fracaso)
3. Cada uno de estos clústeres se describe como la combinación de rangos de incertidumbre específicos



# Resultados

## Análisis de vulnerabilidad

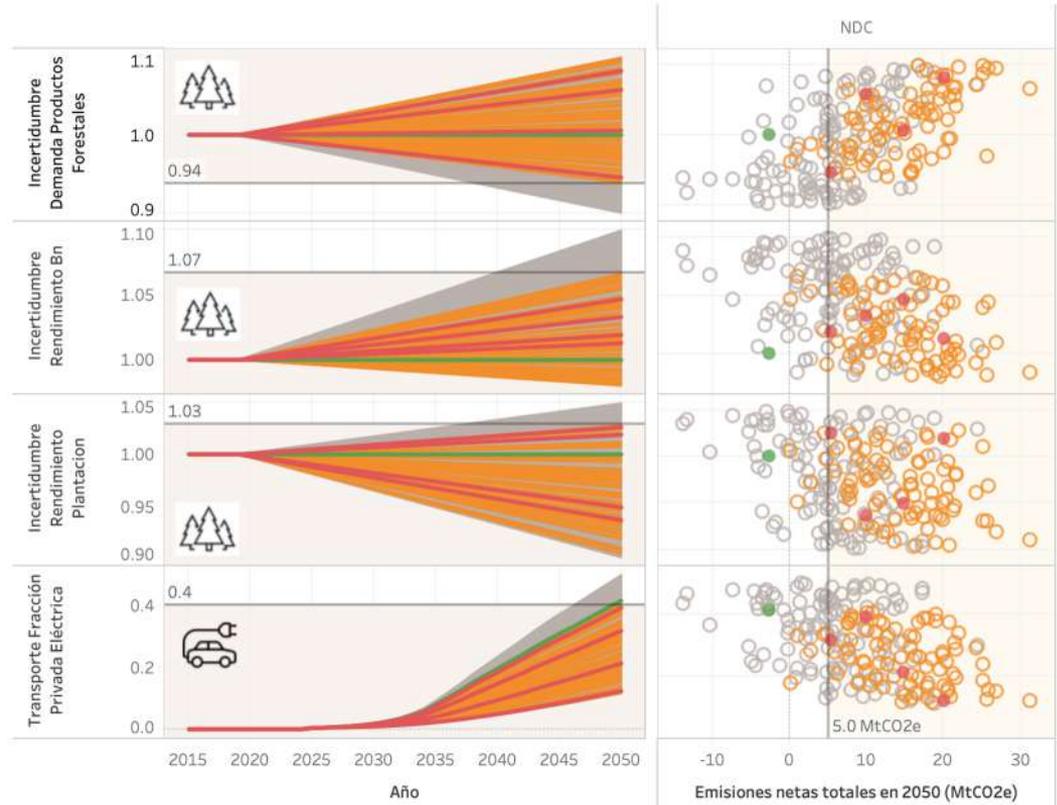
### Vulnerabilidad #1:

### Bajo nivel de secuestro de los Bosques y baja tasa de electrificación del transporte

- Alta frecuencia de cosecha forestal
- Bajo secuestro de los bosques y plantaciones por Cambio Climático
- Baja transición hacia transporte eléctrico

Explica un 55% de los futuros de altas emisiones (79/143)

94% de los casos con estas condiciones tienen altas emisiones (79/84)



# Resultados

## Análisis de vulnerabilidad

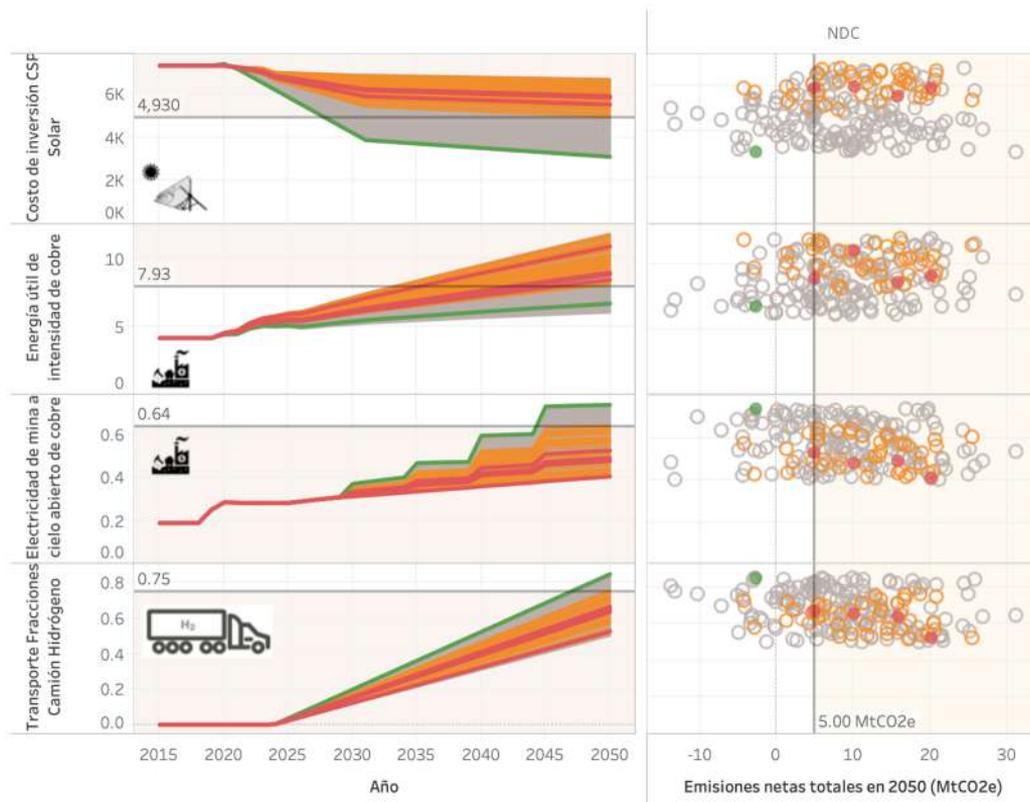
### Vulnerabilidad #2:

### Alto costo de tec. solares / baja descarbonización del transporte de carga y minería del cobre

- Alto costo de tec. Solares
- Alta intensidad energética del cobre
- Baja elect. del cobre
- Baja conversión de los camiones a H<sub>2</sub>

Explica 26% del resto de los futuros de altas emisiones (37/143)

84% de los casos con estas condiciones tienen altas emisiones (37/44)



# ÍNDICE

- Introducción
- Resultados
  - Escenario de futuro de referencia (NDC)
  - NDC con incertidumbres
  - Análisis de vulnerabilidad
  - **NDC+ y análisis de robustez**
  - Análisis macroeconómico
- Conclusiones

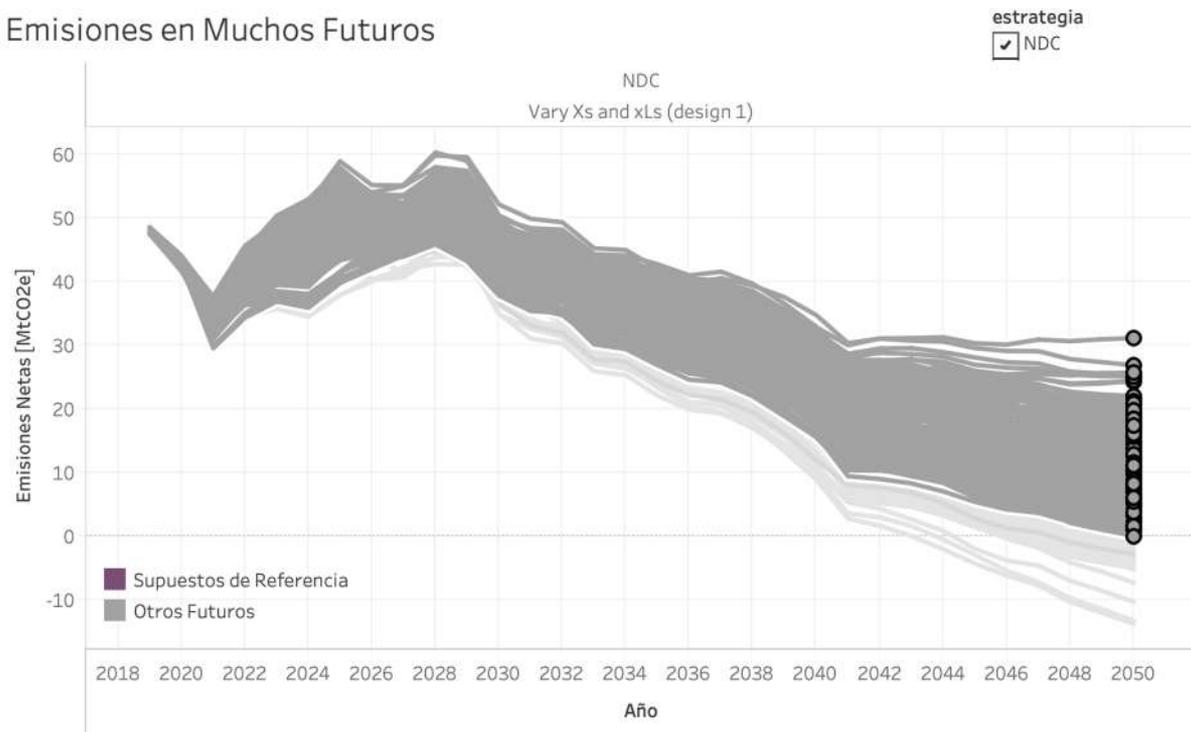
# Resultados

## NDC+ y análisis de robustez

### Desarrollando una Estrategia de Carbono Neutralidad más robusta

- Para muchos futuros no se alcanza la carbono neutralidad al 2050
- En estos casos sería necesario implementar medidas adicionales

Emisiones en Muchos Futuros



# Resultados

## NDC+ y análisis de robustez

**Se analizaron una serie de medidas de mitigación adicionales → NDC+ (derivadas de los talleres de trabajo, matriz DAMI, desarrollo de nuevos modelos)**

transport	Transport aviation fuel (Group 9)
	transport_modal_split_private_to_bus
	transport_modal_split_private_to_cycling
	transport_modal_split_private_to_telework
residential	residential_retrofit_house
industry and mining	Copper heat (Group 1)
	Steel heat (Group 8)
IPPU	nueva_cap_recuperacion
waste	fp_compost
agriculture	manejo_holistico_de_gando
	medida_algas_pardas
	medida_cambio_dieta_nacional
	medida_captura_c_suelos
forestry	medida_aumento_parques_reservas
	medida_forestacion_aumentada
	medida_manejo_aumentada
	medida_pmr_menos_papel

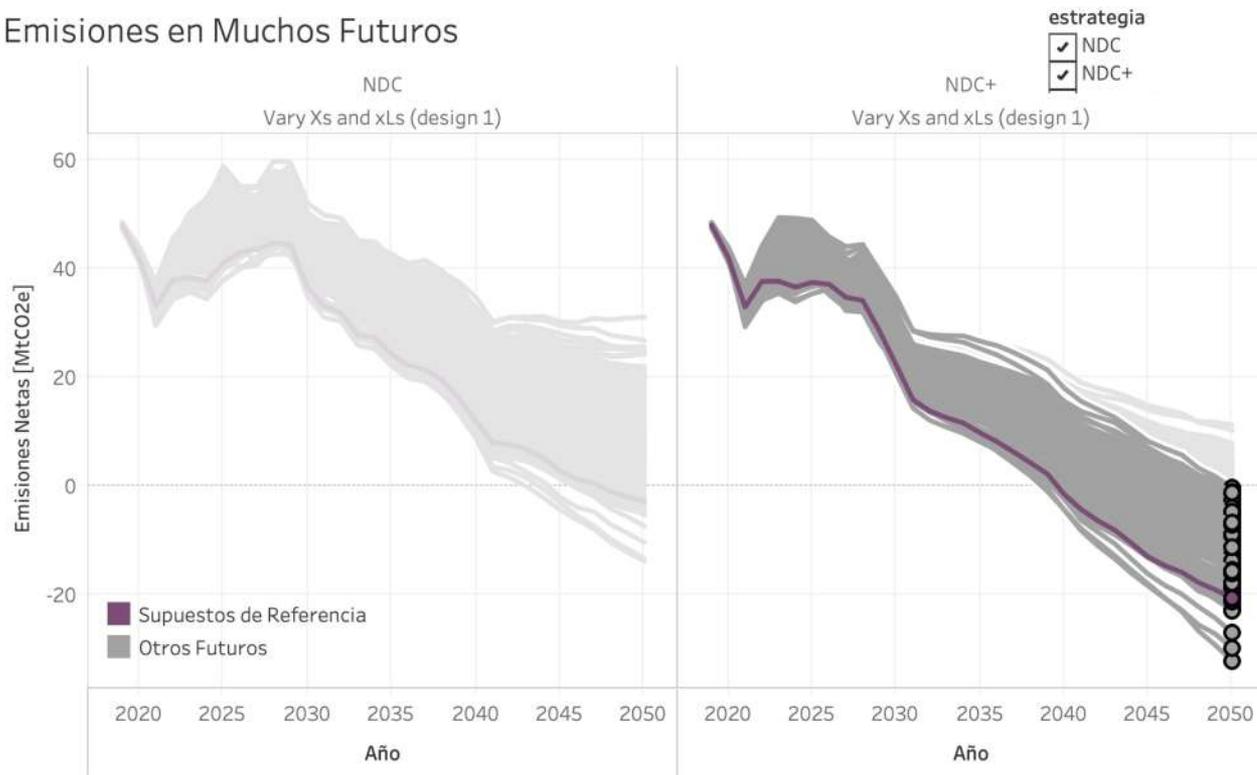
- Cambio del combustible de aviación
- Cambiar el modo de transporte a autobús, ciclismo, teletrabajo
- Reacondic. térmico adicional de viviendas
- Aumento de penetración de SST en viviendas
- Reducir el uso de energía en cobre y acero
- Aumento de SST y electrificación en I&M
- Aumento compostaje
- Reducción del consumo de carne de vacuno
- Manejo holístico de ganado
- Creación de parques nacionales
- Forestación adicional
- Manejo forestal adicional
- Transformar producción de papel a madera aserrada
- etc.

# Resultados

## NDC+ y análisis de robustez

**La estrategia NDC+ aumenta la cantidad de futuros exitosos (carbono neutralidad)**

Emisiones en Muchos Futuros



Aunque varios futuros de la estrategia NDC+ nos llevan a emisiones netas innecesariamente bajas ( $\ll 0$ ).

# Resultados

## NDC+ y análisis de robustez

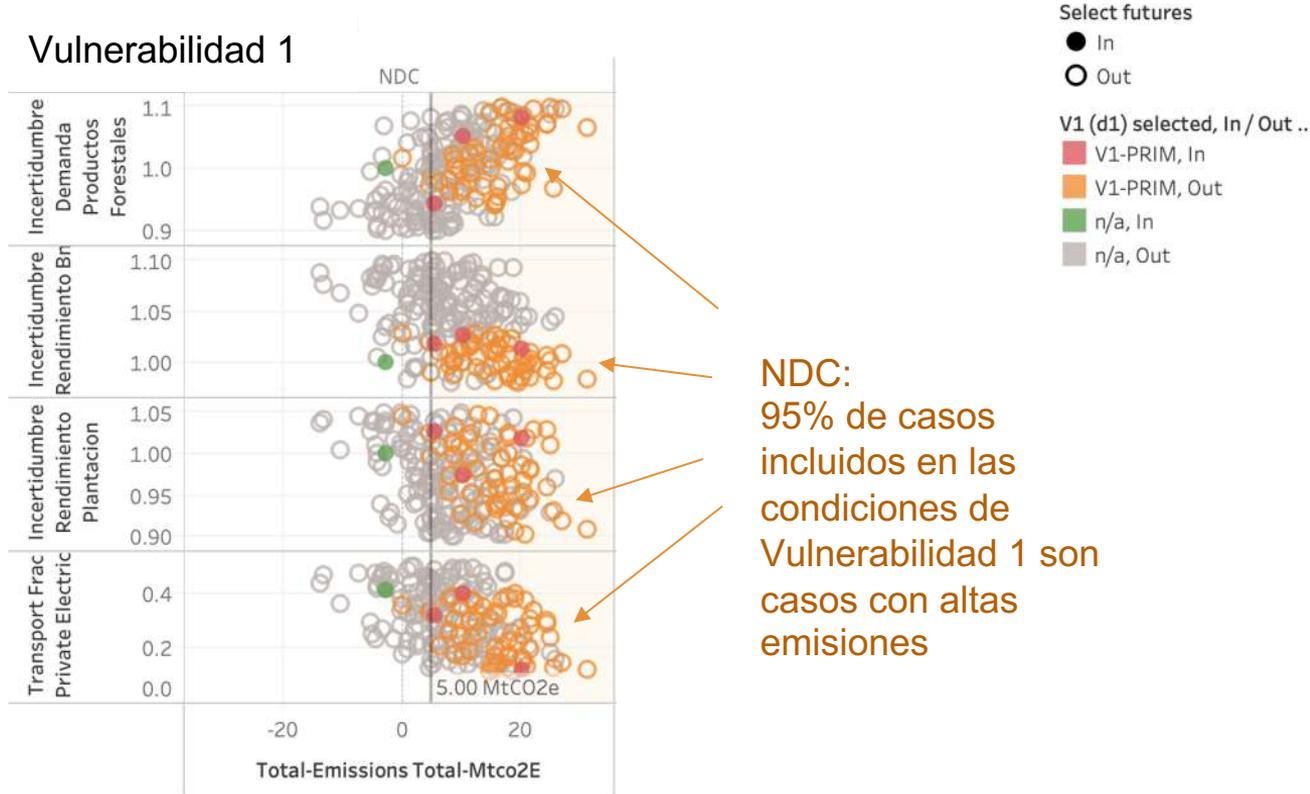
**Los resultados del análisis de vulnerabilidad pueden orientar el desarrollo de una NDC y una Estrategia Climática de Largo Plazo más robustas**

- Una NDC robusta conduciría a emisiones netas cercanas a cero en muchos futuros
- Definir las acciones adicionales necesarias para cada vulnerabilidad identificada puede ayudar a definir una estrategia sólida de NDC

# Resultados

## NDC+ y análisis de robustez

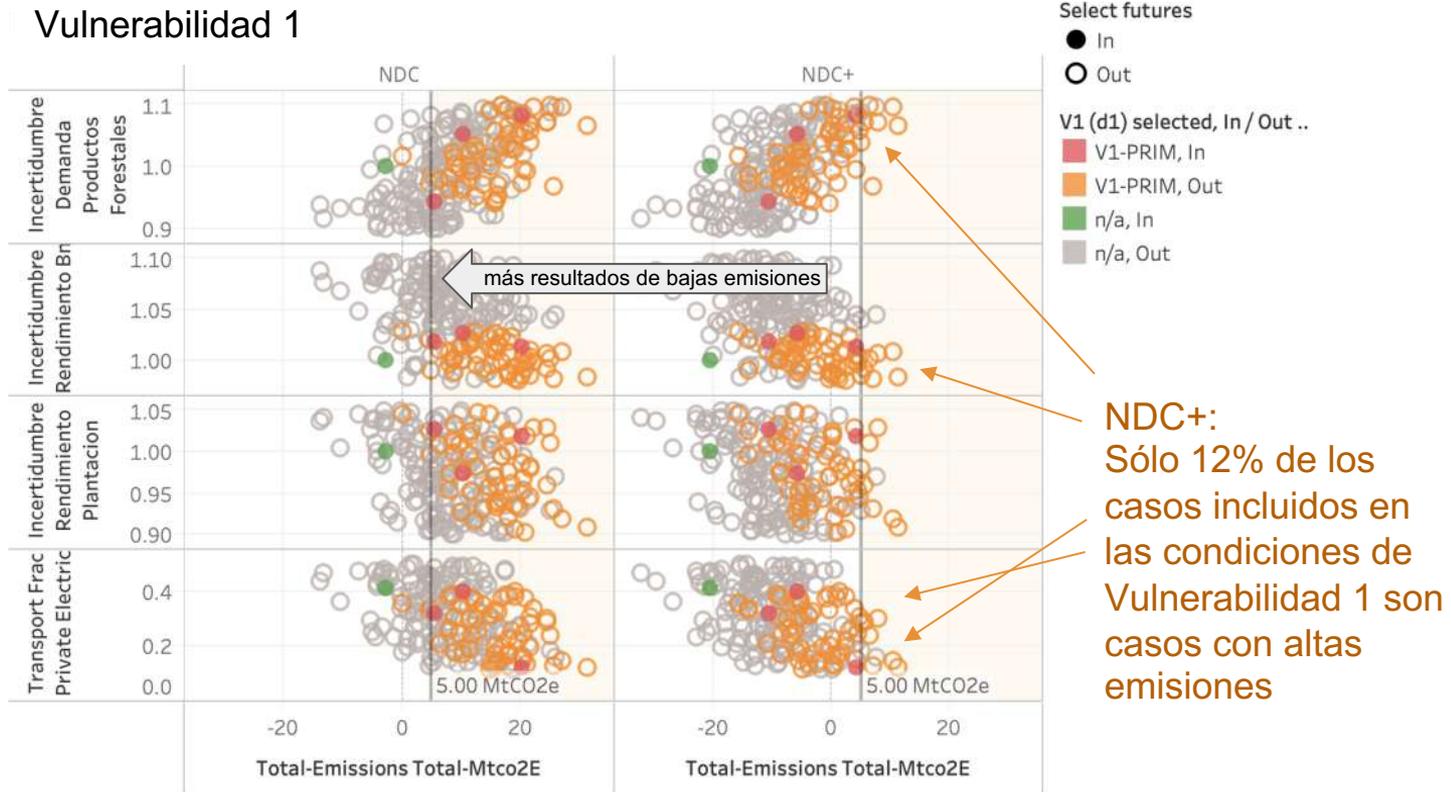
**La NDC+ reduce el número de casos con altas emisiones (>5 MtCO<sub>2</sub>e) en la condición de vulnerabilidad 1, incrementando la robustez de la estrategia**



# Resultados

## NDC+ y análisis de robustez

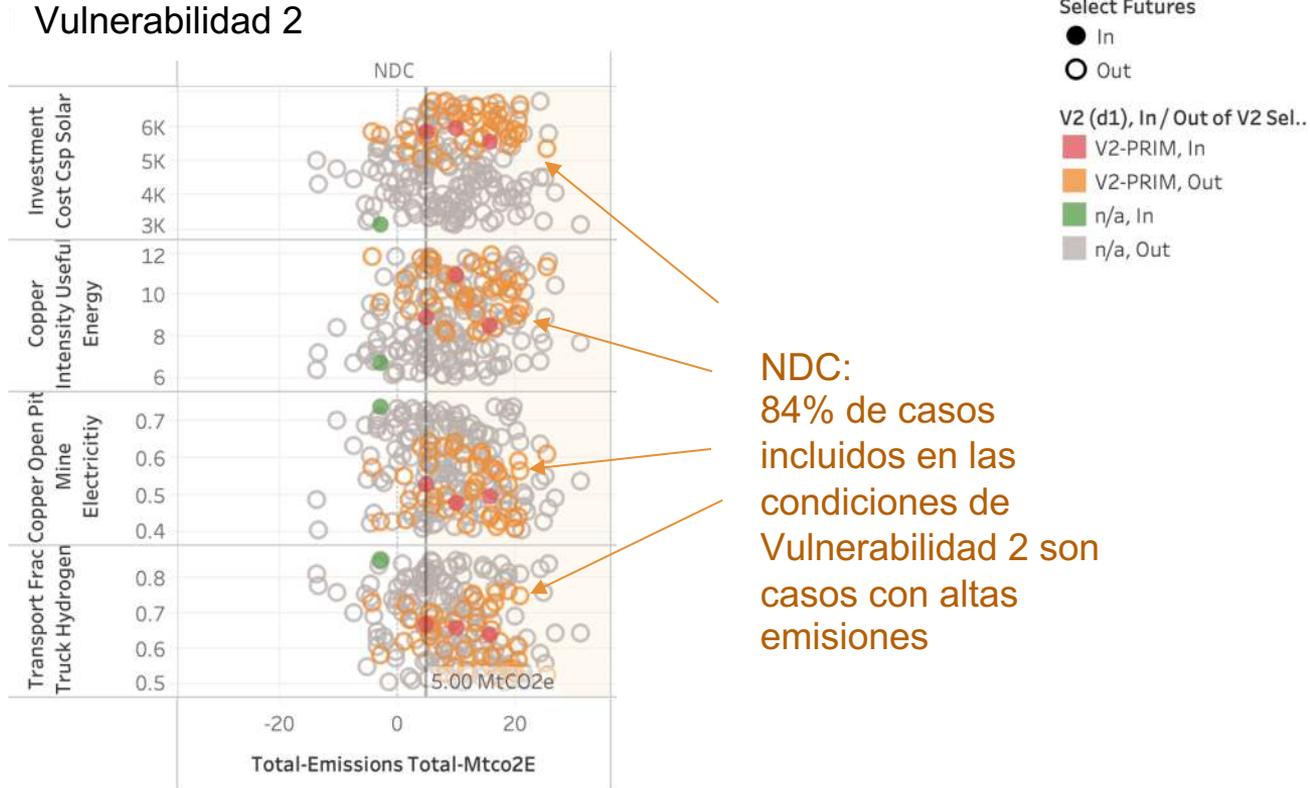
### ¿Cómo mejora la NDC+ los resultados en condiciones vulnerables?



# Resultados

## NDC+ y análisis de robustez

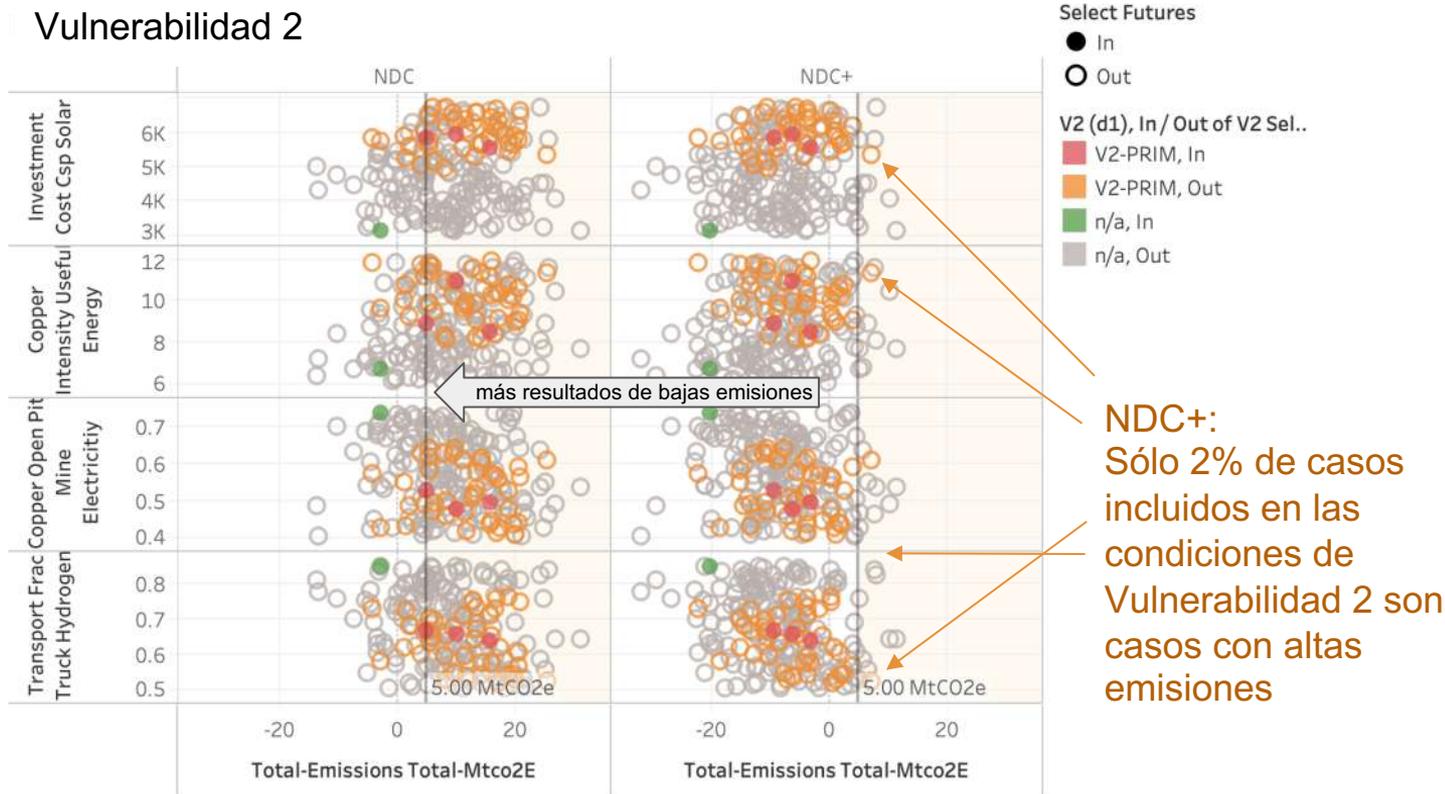
### ¿Cómo mejora la NDC+ los resultados en condiciones vulnerables?



# Resultados

## NDC+ y análisis de robustez

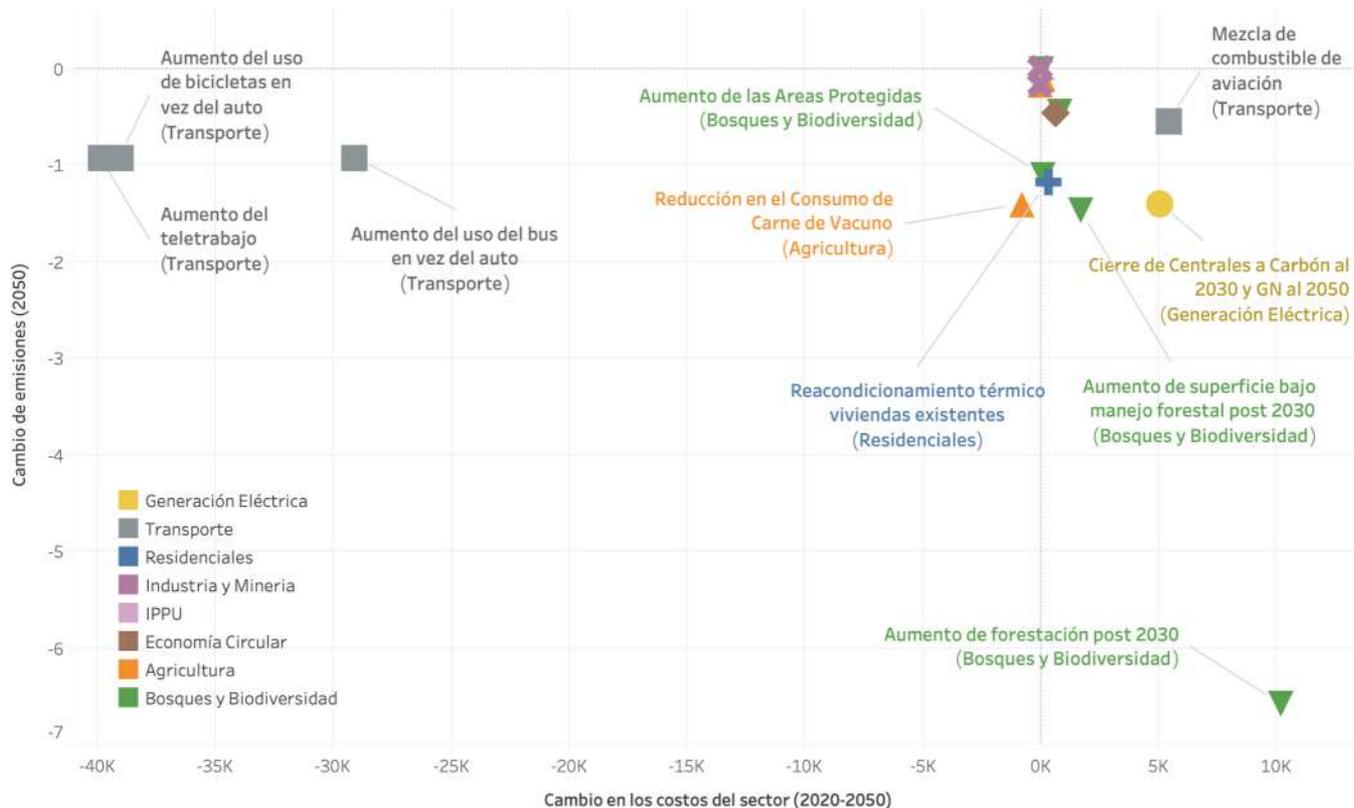
### ¿Cómo mejora la NDC+ los resultados en condiciones vulnerables?



# Resultados

## NDC+ y análisis de robustez

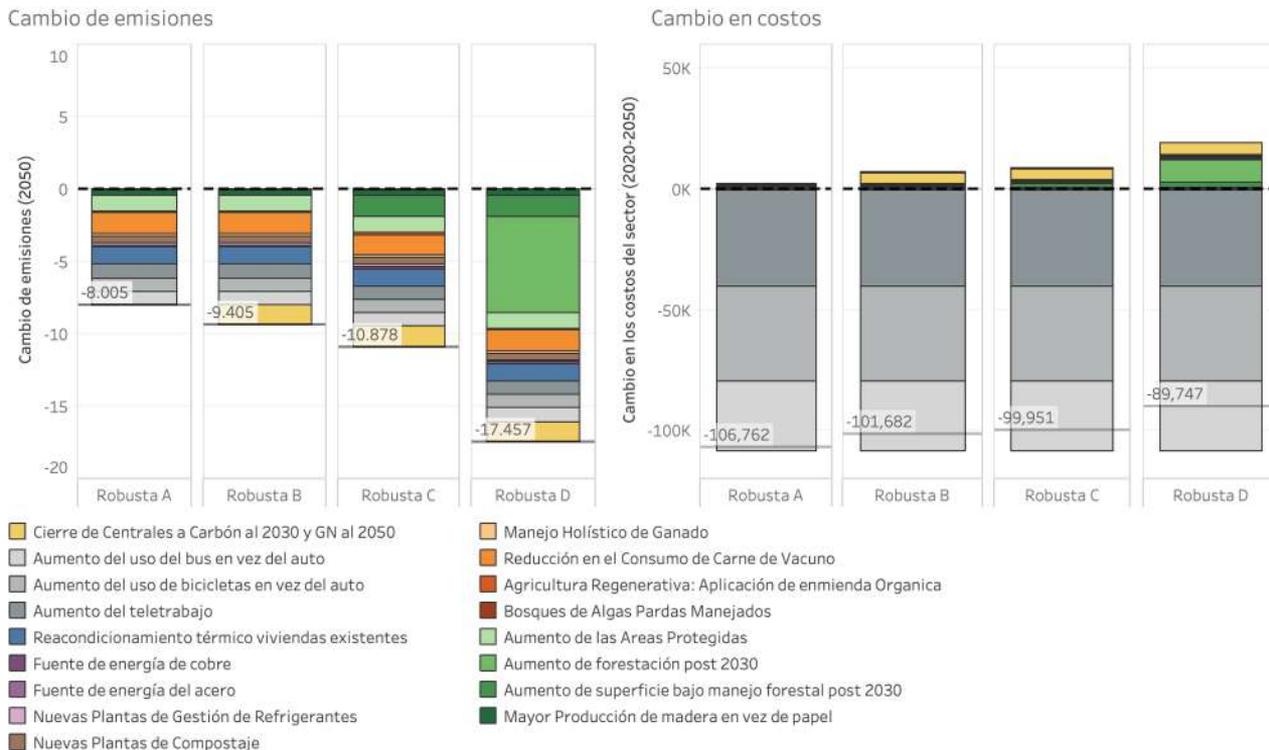
¿Qué acciones de NDC+ tienen el mayor efecto para las diferentes vulnerabilidades?



# Resultados

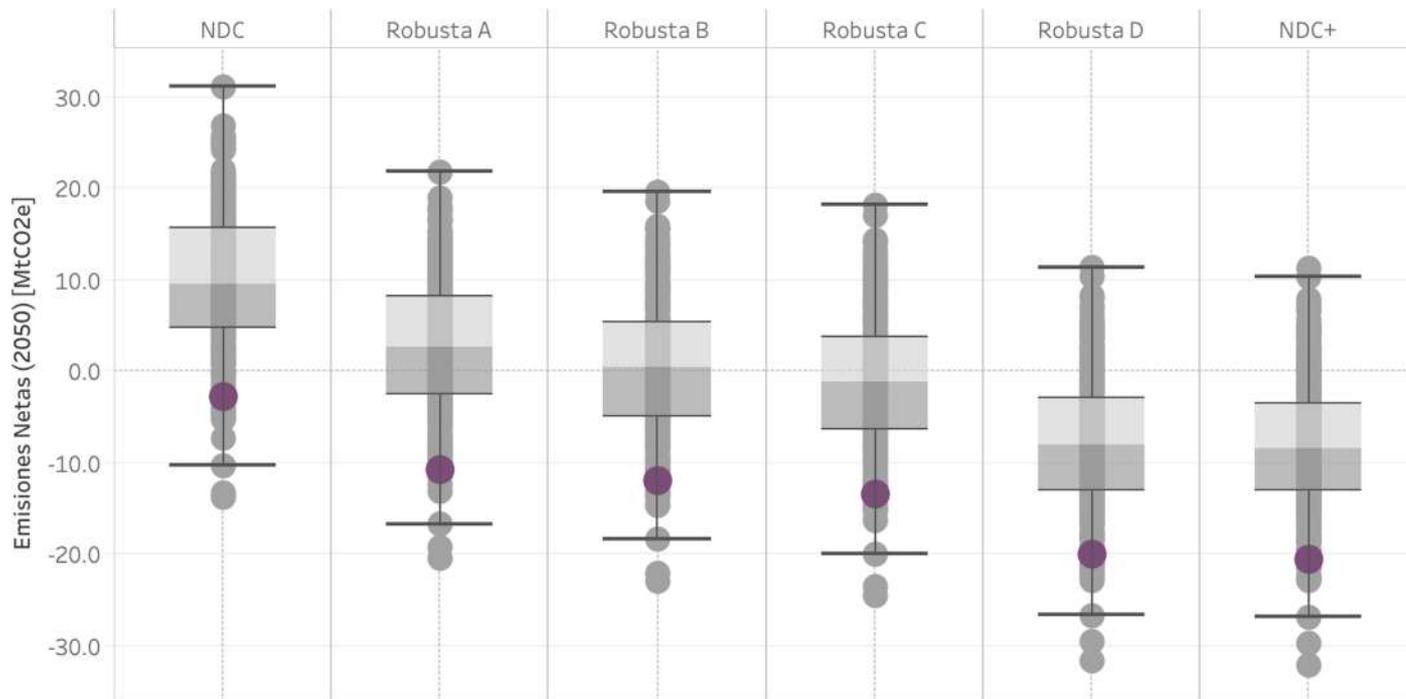
## NDC+ y análisis de robustez

Es posible considerar la disyuntiva entre mitigación y costos para diseñar una estrategia robusta



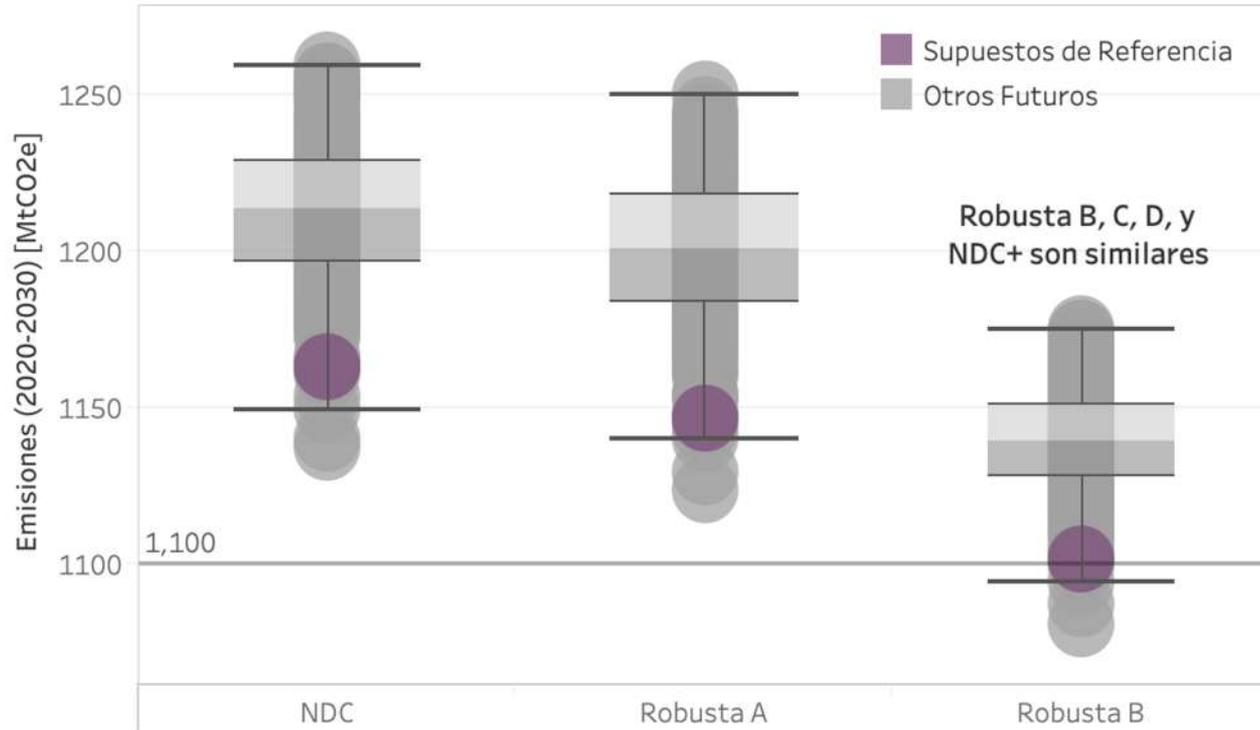
# Resultados

## NDC+ y análisis de robustez



# Resultados

## NDC+ y análisis de robustez



# ÍNDICE

- Introducción
- Resultados
  - Escenario de futuro de referencia (NDC)
  - NDC con incertidumbres
  - Análisis de vulnerabilidad
  - NDC+ y análisis de robustez
  - **Análisis macroeconómico**
- Conclusiones

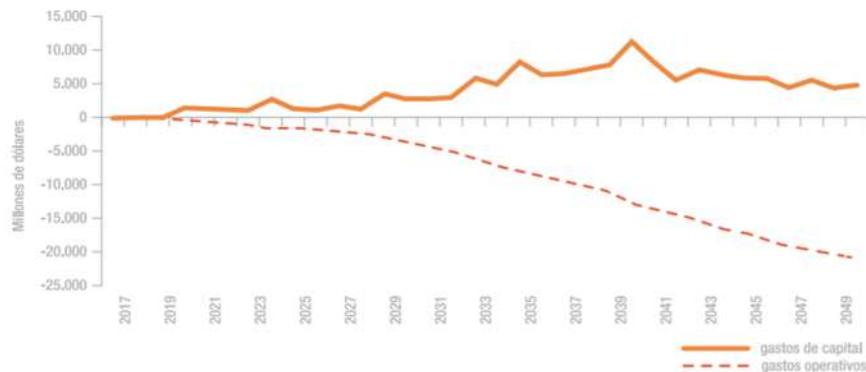
# Análisis macroeconómico

## Estrategia de análisis

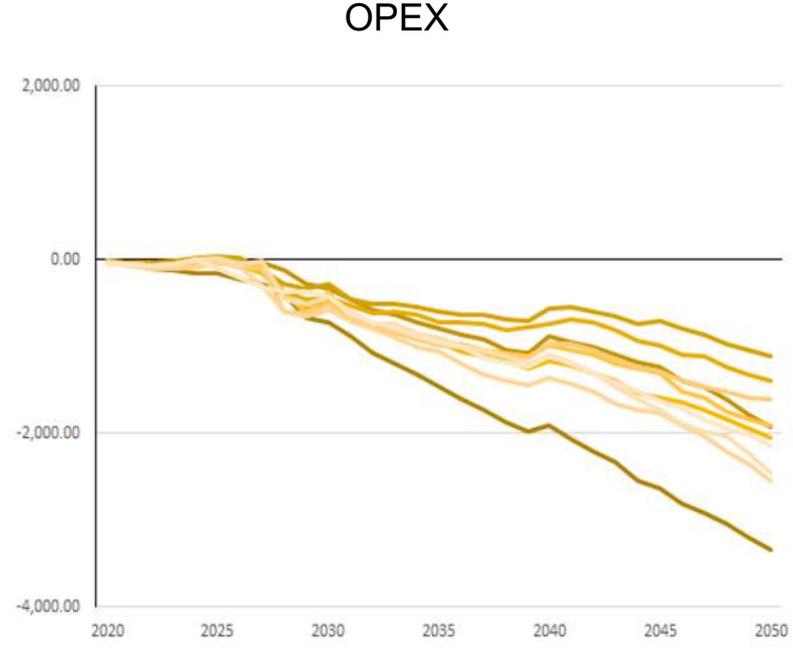
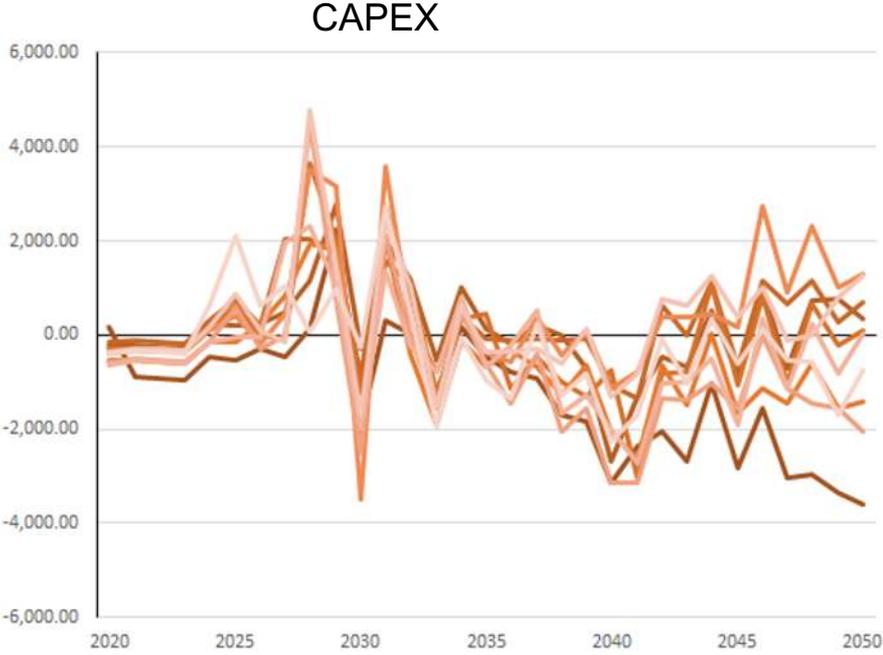
- Se emplea el modelo MEMO en su tercera versión, empleado en el proyecto MAPS y en la última medición de efectos macroeconómicos de la NDC

Sector	CAPEX (Millones USD)	OPEX (Millones USD)	Valor neto (Millones USD)
Eliminaciones combustibles fósiles	-2.100	1.200	-900
Industria Sustentable	-4.800	14.400	9.600
Electromovilidad	-23.100	20.200	-2.900
Hidrógeno	-9.200	18.800	9.600
Construcción sustentable	-5.900	16.900	11.100
Eficiencia Energética	-2.800	8.900	6.100
Mantenimiento Captura de Carbono - Bosques	-700	-300	-1.000
<b>Total</b>	<b>-48.600</b>	<b>80.100</b>	<b>31.500</b>

Note: Tasa de descuento: 6%



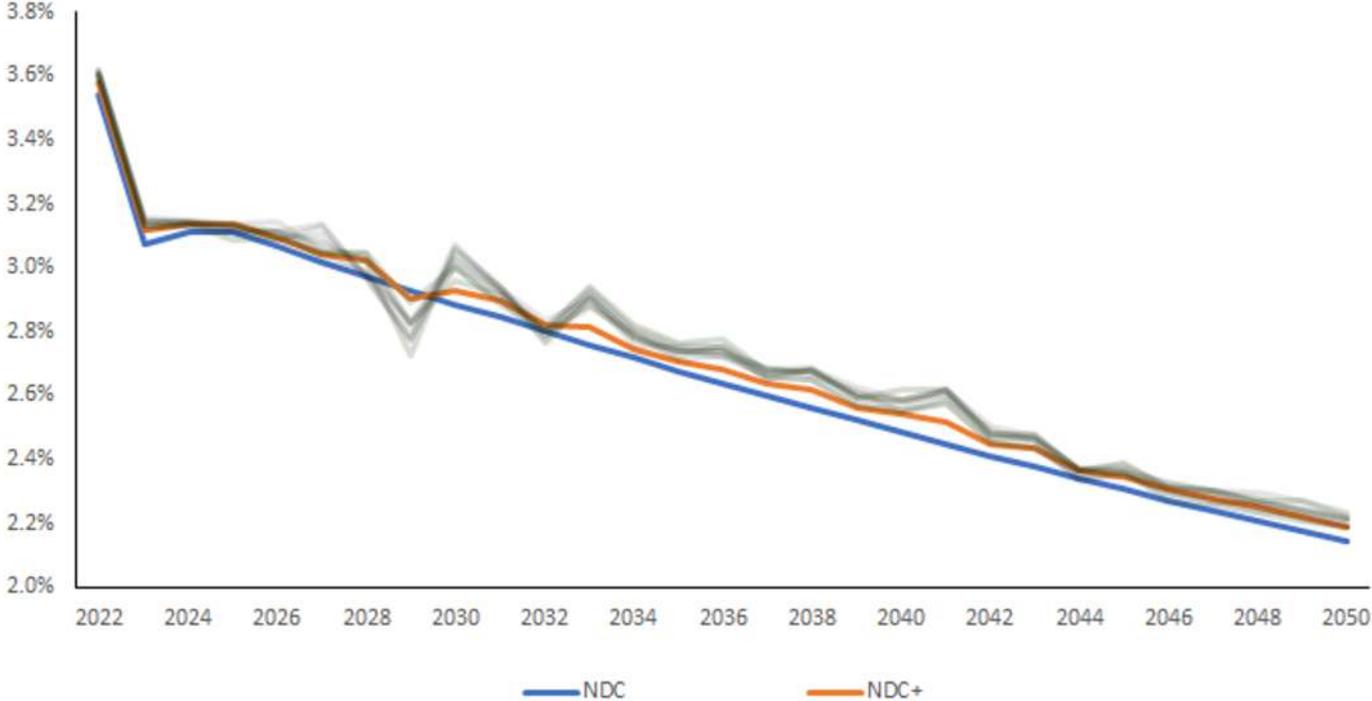
# Dinámica de CAPEX y OPEX de NDC+ vs NDC



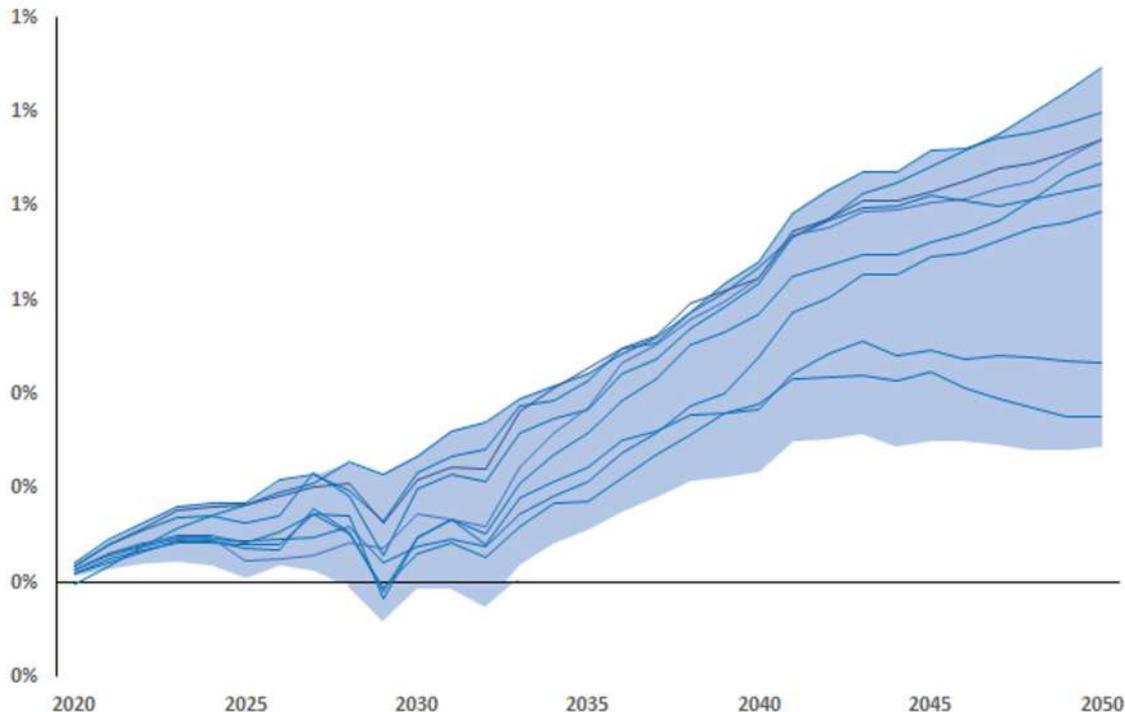
# Insumos: Diferencias en CAPEX y OPEX entre escenario NDC vs NDC+ y variantes descontados

	CAPEX			OPEX		
	min	NDC+	max	min	NDC+	max
<b>Bosques y Biodiversidad</b>	2,932	3,271	3,508	455	484	523
<b>Agricultura</b>	12	13	14	-238	-140	-87
<b>Economía Circular</b>	107	107	108	97	97	97
<b>IPPU</b>	1	1	1	3	5	5
<b>Industria y Minería</b>	29	76	176	-61	-61	8
<b>Residenciales</b>	3,351	8,259	8,259	-3,907	-3,907	-1,729
<b>Transporte</b>	-24,381	-24,381	-5,813	-9,139	-9,139	-2,108
<b>Generación Eléctrica</b>	1,118	1,118	3,895	-1,787	-365	-246
<b>Total</b>	<b>-11,536</b>	<b>-11,536</b>	<b>4,930</b>	<b>-13,026</b>	<b>-13,026</b>	<b>-4,452</b>

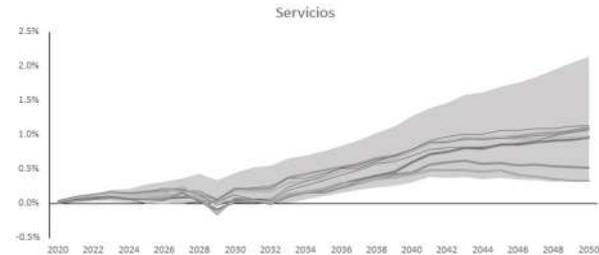
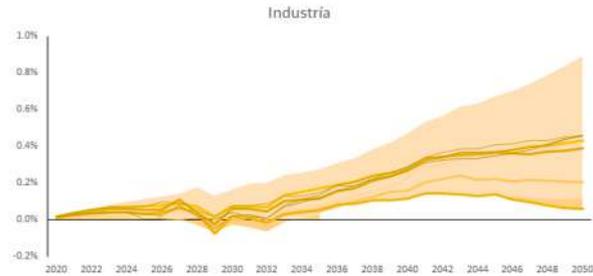
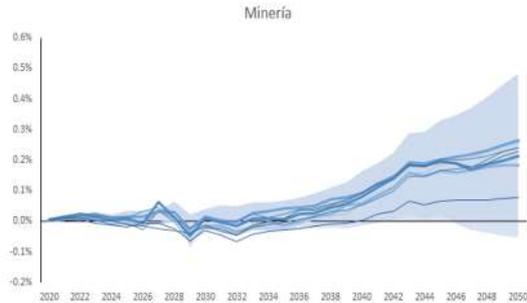
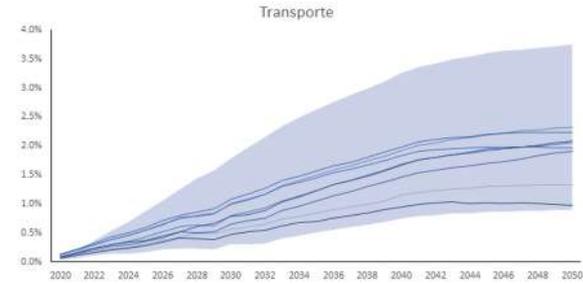
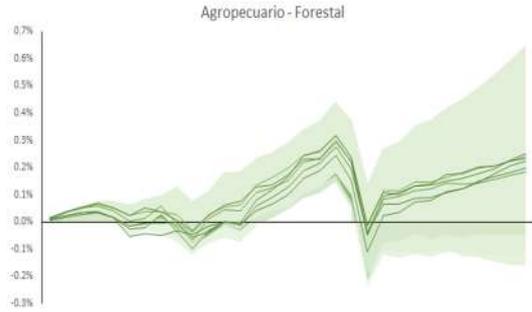
# Tasa de variación anual del PIB del escenario de referencia (NDC) y NDC+



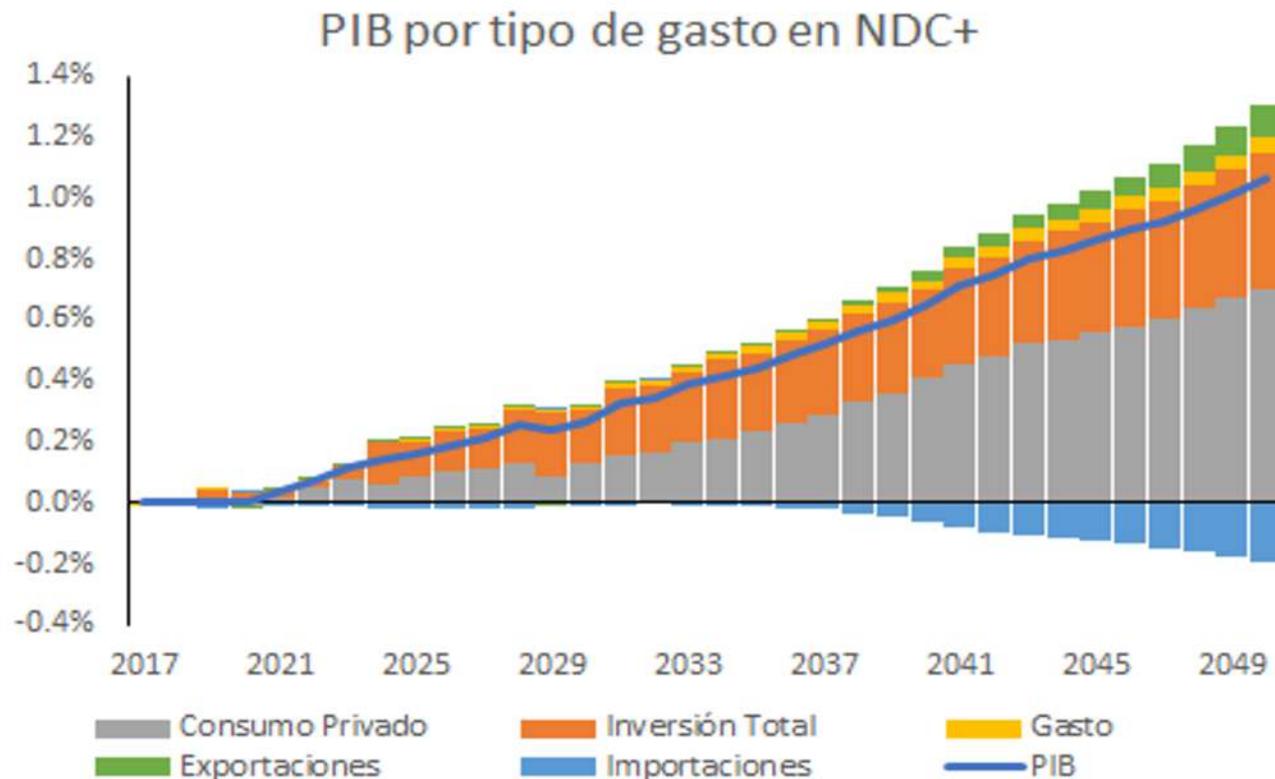
# Porcentaje de variación del nivel de producto por implementación de la NDC+



# Efecto en nivel de producto por actividad económica



# Otra dimensión de análisis del impacto macroeconómico es la descomposición por demanda



# Posible interpretar por escenario de emisiones en torno a NDC+



# ÍNDICE

- Introducción
- Resultados
  - Escenario de futuro de referencia (NDC)
  - NDC con incertidumbres
  - Análisis de vulnerabilidad
  - NDC+ y análisis de robustez
  - Análisis macroeconómico
- Conclusiones

# Conclusiones

## Comentarios finales sobre el estudio

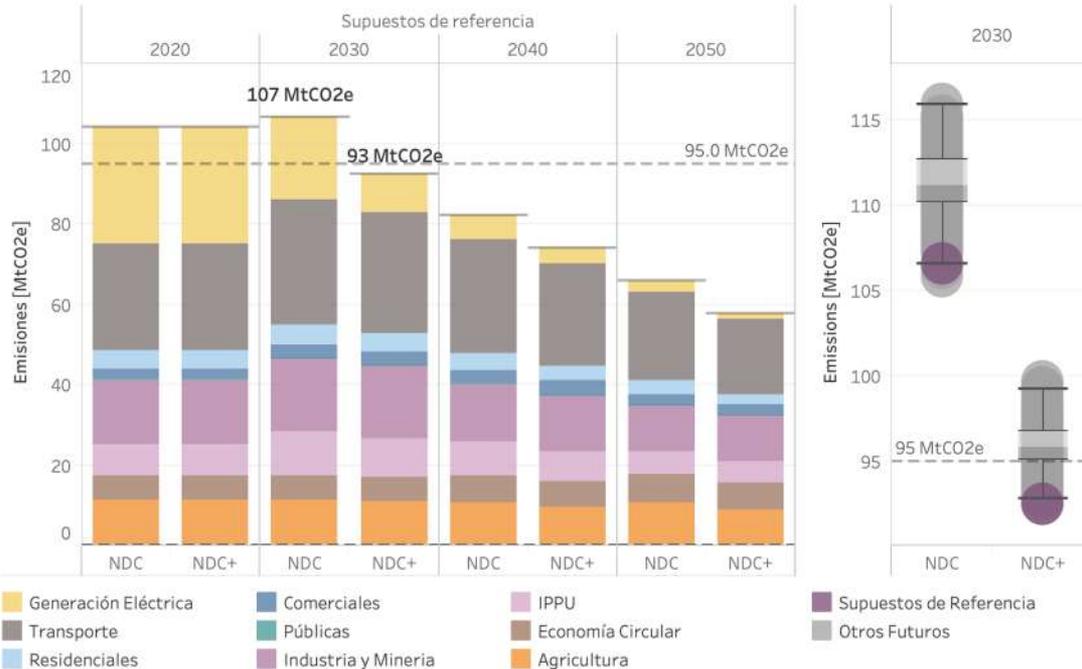
- Desarrollo de un nuevo modelo integrado multi-sectorial
- Incertidumbre incorporada en el Estudio de Neutralidad de Carbono:
  - Rango de emisiones año 2050 NDC [-14 y +30 MtCO<sub>2e</sub>]
  - Rango de emisiones año 2050 NDC+ [-32 y +11 MtCO<sub>2e</sub>]
- Identificación de vulnerabilidades clave para alcanzar la carbono neutralidad en 2050.
- Talleres, reuniones y estudios asociados → diagnóstico actualizado y red de cooperación.
- Alta variabilidad interanual de incendios forestales se suaviza al usar promedio. Hay una vulnerabilidad adicional si la meta se centra solo en el 2050 (1/7 años se falla).
- Consideración de acciones de mitigación adicionales para robustecer la NDC
- Desarrollo de una plataforma de modelación para analizar diferentes fuentes de incertidumbre y estrategias de mitigación que puede ser empleado en futuras iteraciones y análisis:
  - Componentes para definir una estrategia robusta y adaptativa
  - Analizar las implicaciones de compromisos de corto plazo en la consecución de objetivos de largo plazo

# Resultados

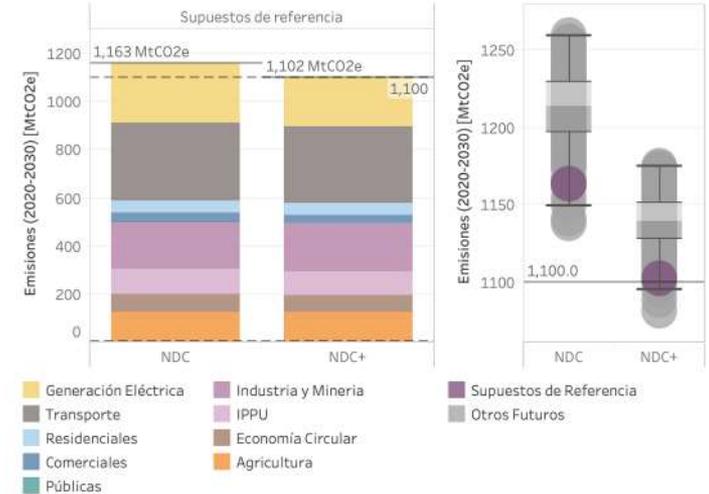
Escenario de futuro de referencia (NDC)

**La NDC+ también alcanza los objetivos de corto plazo**

## Emisiones en 2030



## Presupuesto de carbono (2020-2030)



# Anexos

Results

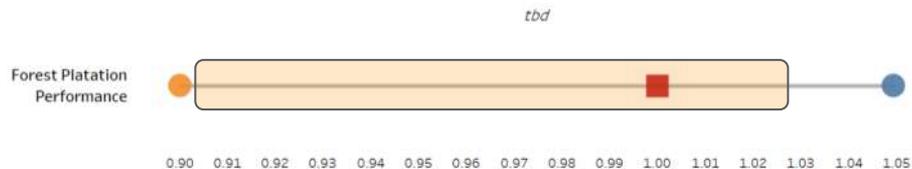
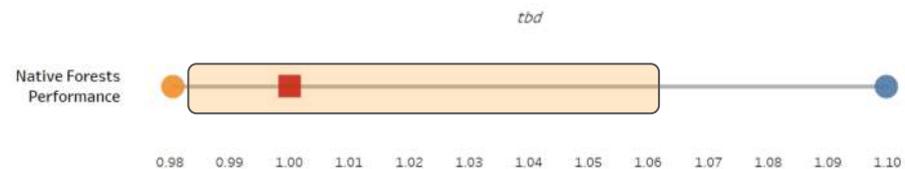
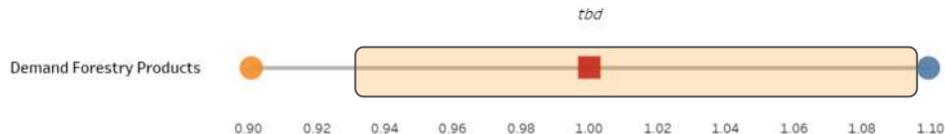
03 de Marzo 2021

# Vulnerability #1: Low sequestration from forests and low achievement of transport electrification

- High demand for wood
- Low sequestration from forests
- Low transition to electric and hybrid cars

Explains 55% of all high emissions cases (79/143)

94% of cases are high emissions (79/84)



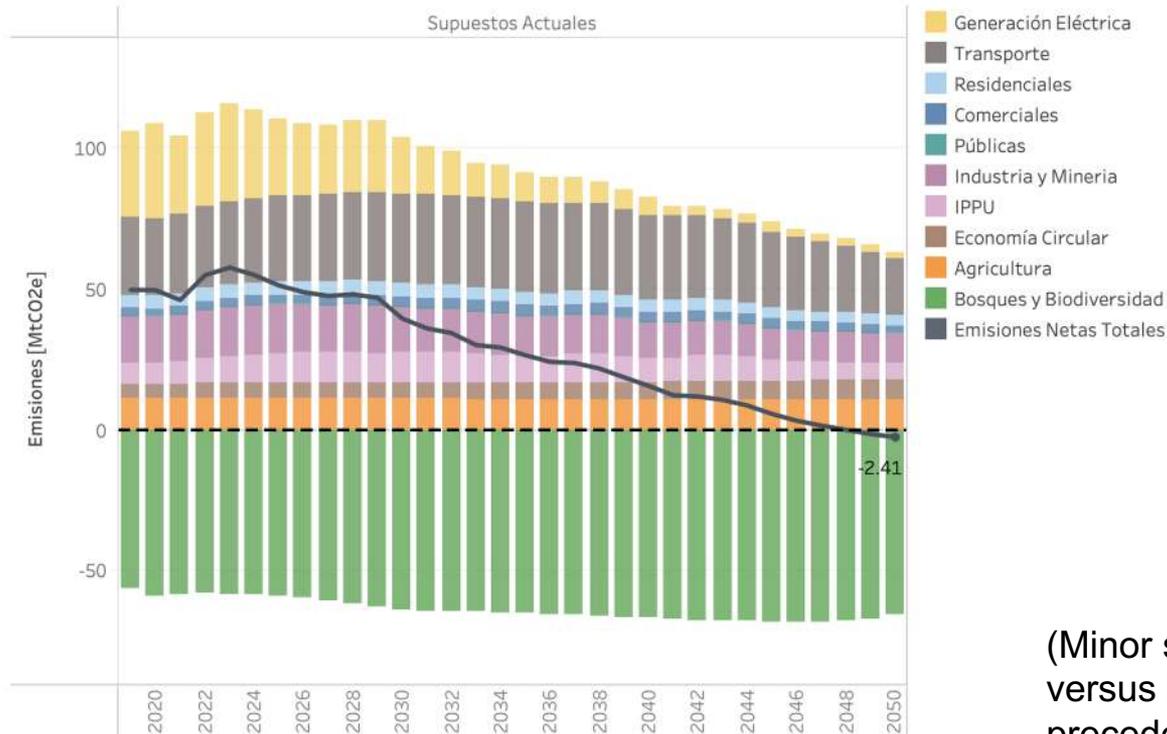
Values by 2050

# Chile Decarbonization

Results

23 December 2020

# Chile's Decarbonization Plan lays out a path to net zero by 2050

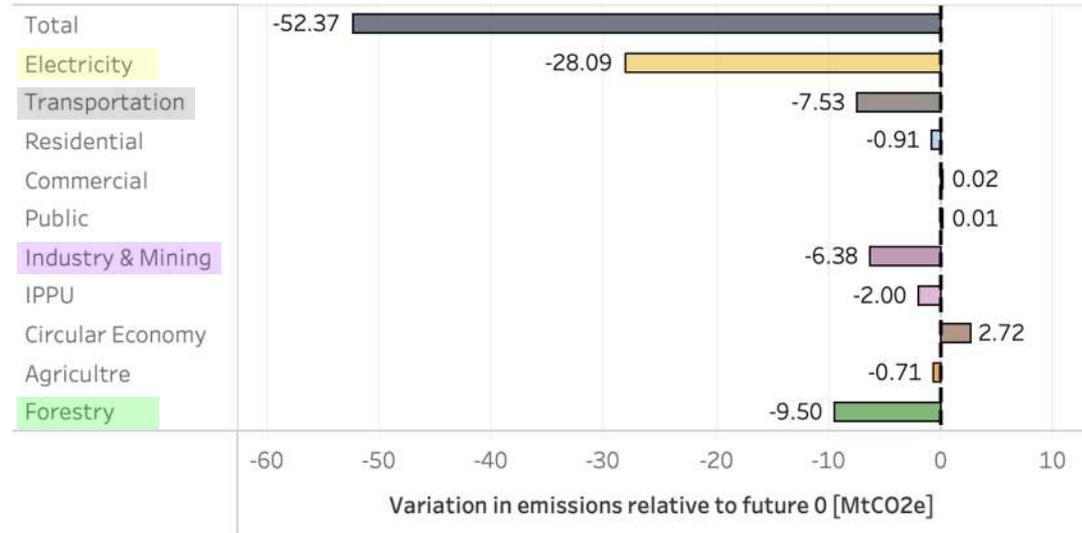


(Minor story about the NDC versus best assumptions precedes this)

# Emissions decline non-uniformly across sectors

- Largest declines from electricity sector
- Next largest decline:
  - Forestry (-9.5)
  - Transportation (-7.5)
  - Industry & Mining (-6.4)
- Emissions only stabilized for other sectors

Change in Emissions by Sector in from 2019 to 2050



To get to net zero emissions, many things must occur as we expect

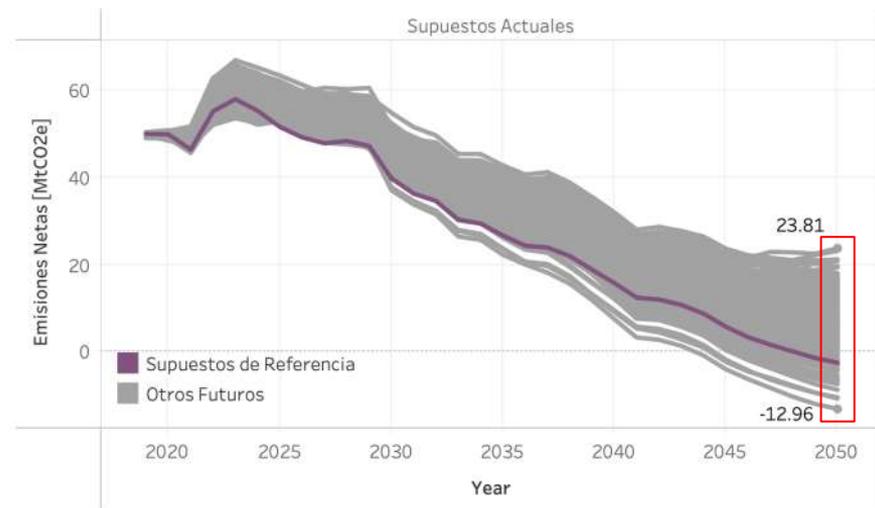
[summary of Xs and xLs]

# Uncertainty about these drivers lead to uncertainty about achieving net zero emissions by 2050

Wide range of emissions possible by 2050 if conditions are not what we expect today....

- Between -13 and +24 MtCO<sub>2</sub>e

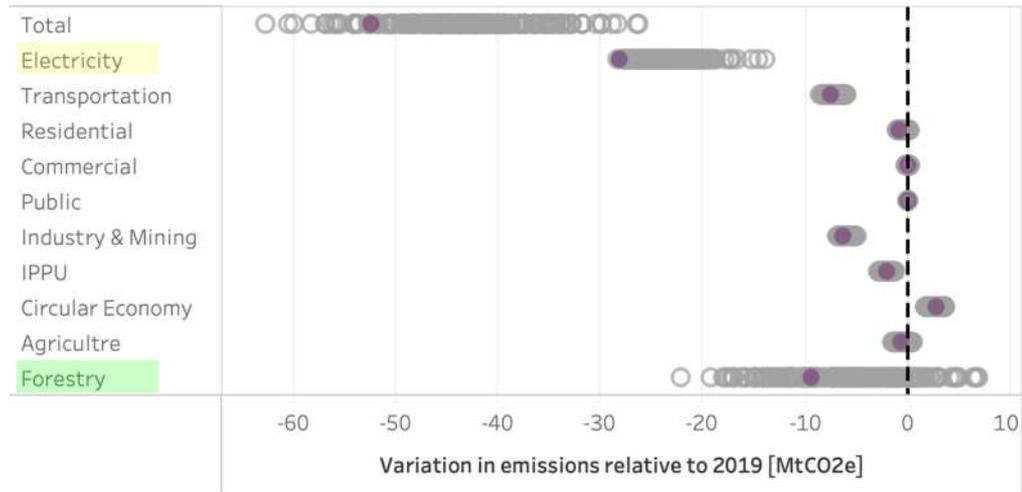
Emissiones en Muchos Futuros



# Uncertainty driven by emissions from Electricity and Forestry Sectors

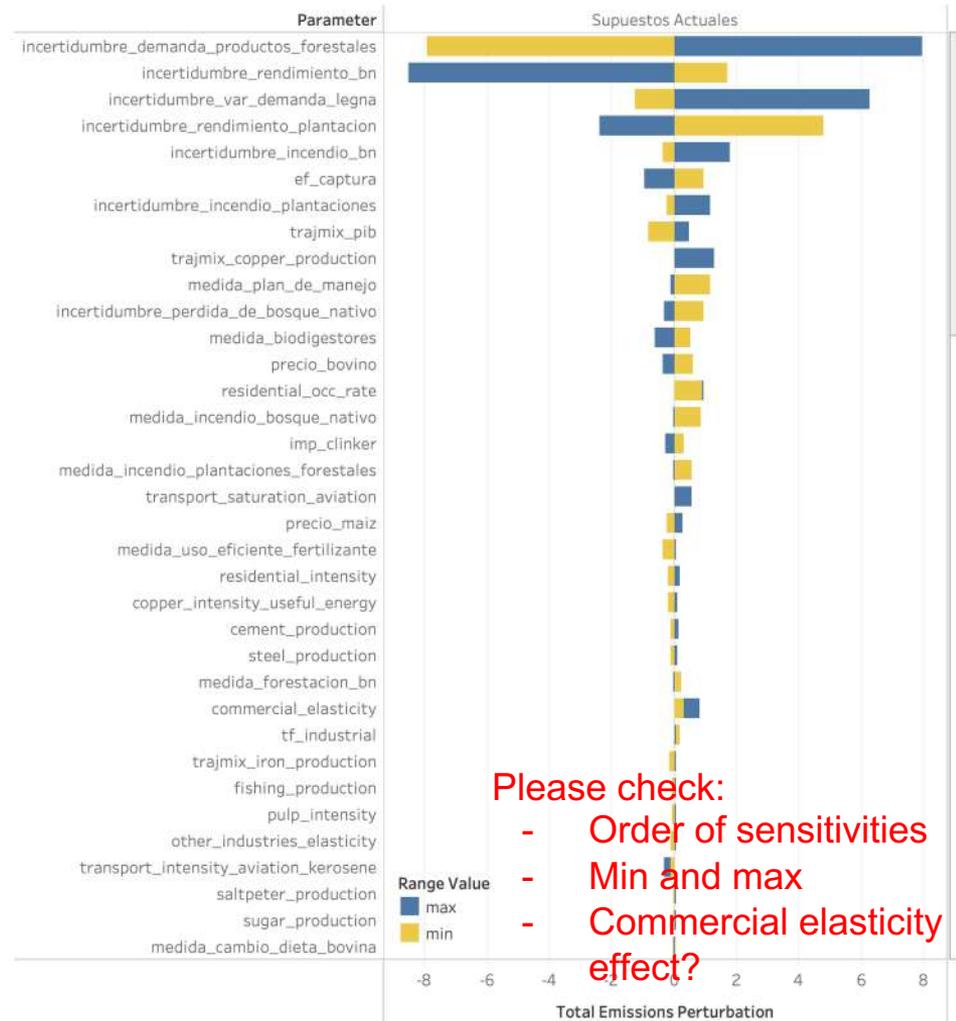
- Electricity: Only higher emissions
- Forestry: Higher or lower emissions

Change in Emissions by Sector in from 2019 to 2050



# Standard sensitivity analysis shows model parameters driving total emissions uncertainty

- Forestry and electricity parameters have highest influence
- PMR variables not shown



But what combinations would lead Decarbonization Plan to miss its net zero goals?

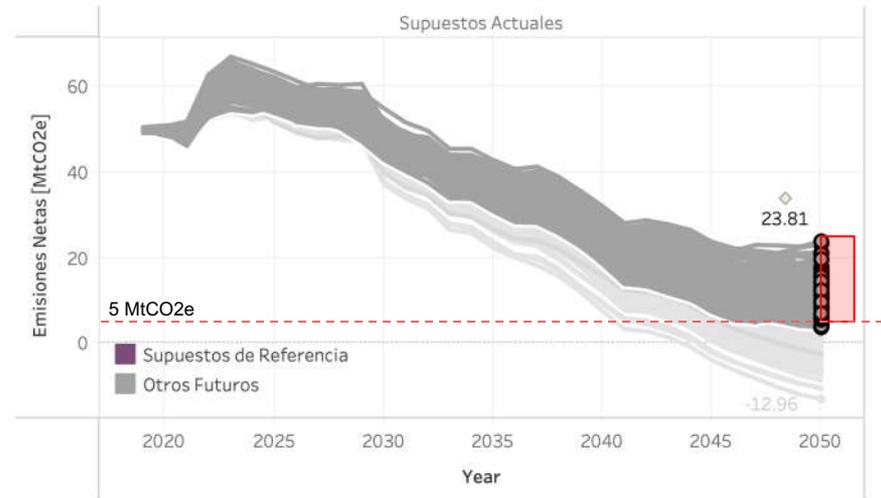
# Vulnerability analysis describes *scenarios* most relevant to the Decarbonization Plan

- Combinations of assumptions that lead to high net emissions in 2050
- Tell a story of risks that should be addressed to ensure success
  - Additional decarbonization actions
  - Investments to ensure conditions do not occur
- The probability of these scenarios is not known, but can be discussed
- Tradeoff exists between additional costs to mitigate risks and assurance of success

# Mechanics of vulnerability analysis

1. Evaluate 201 plausible future outcomes with decarbonization plan
2. Define futures that lead to high emissions
  - a. 5 MtCO<sub>2</sub>e by 2050
  - b. 121 out of 201 (60%)
3. Use PRIM algorithm to define uncertainty ranges that lead to high emissions

Emissiones en Muchos Futuros

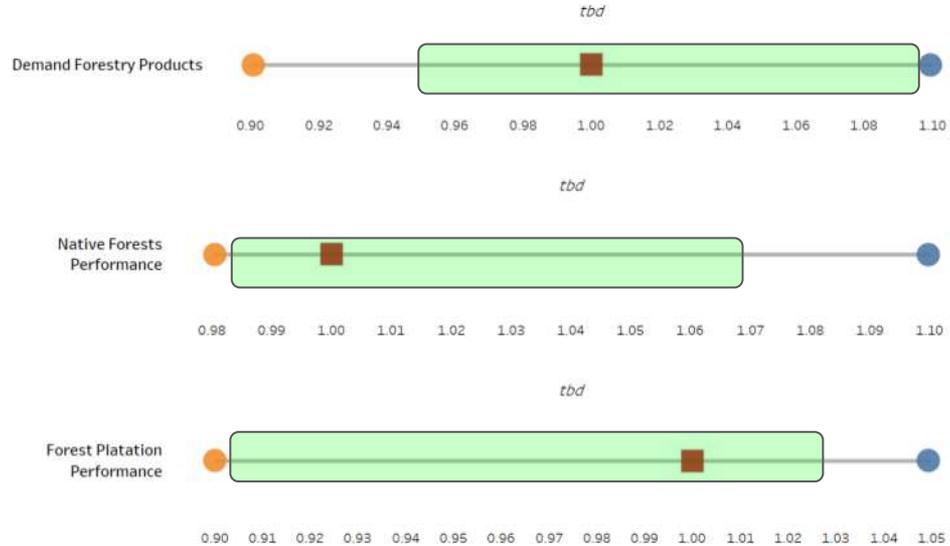


# Risk #1: Low sequestration from forests

- High demand for wood
- Low sequestration from native forests
- Low growth? from new forests

Explains 69% of all high emissions cases (83/121)

Only 14% of cases are low emissions (13/93)



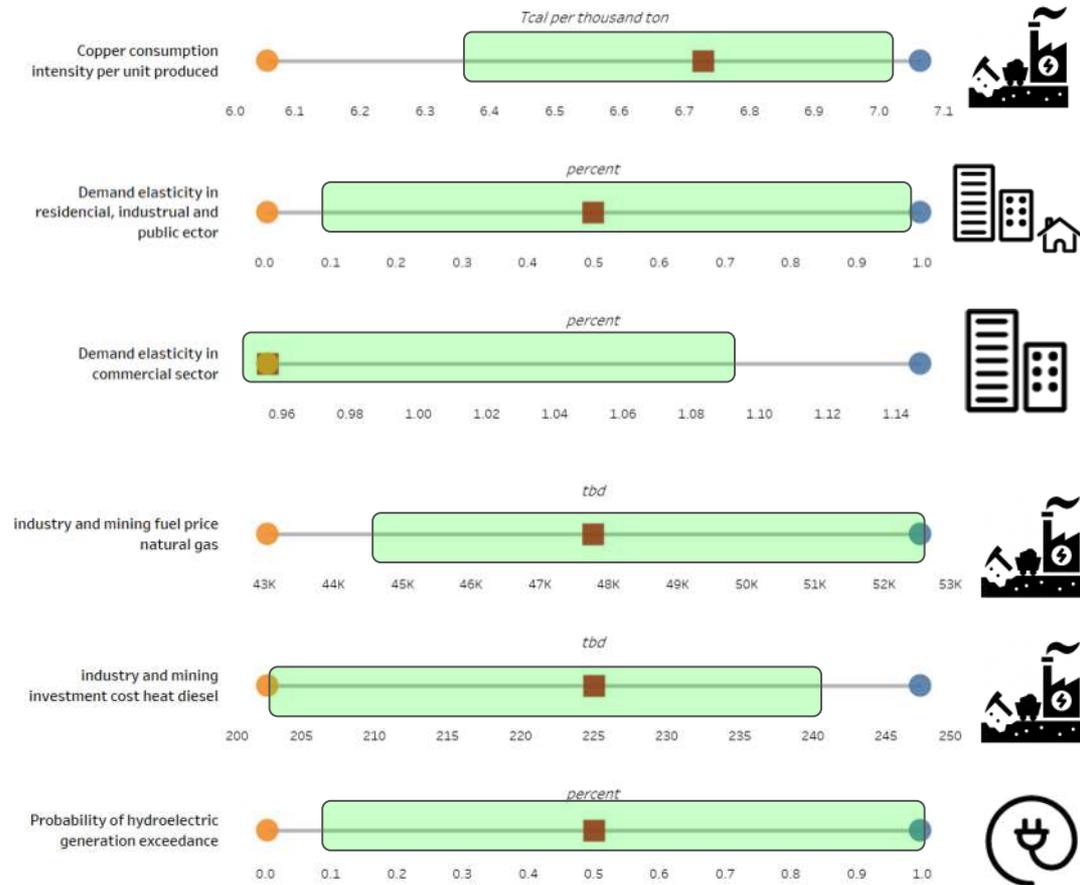
Cambiar colores + leyenda

# Risk #2: High electricity emissions

- High electricity demand driven by low energy efficiency and high elasticity
- High cost natural gas and low cost diesel
- Lower availability of hydro power

Explains 76% of all remaining high emissions cases (29/38)

Only 30% of cases are low emissions (12/42)



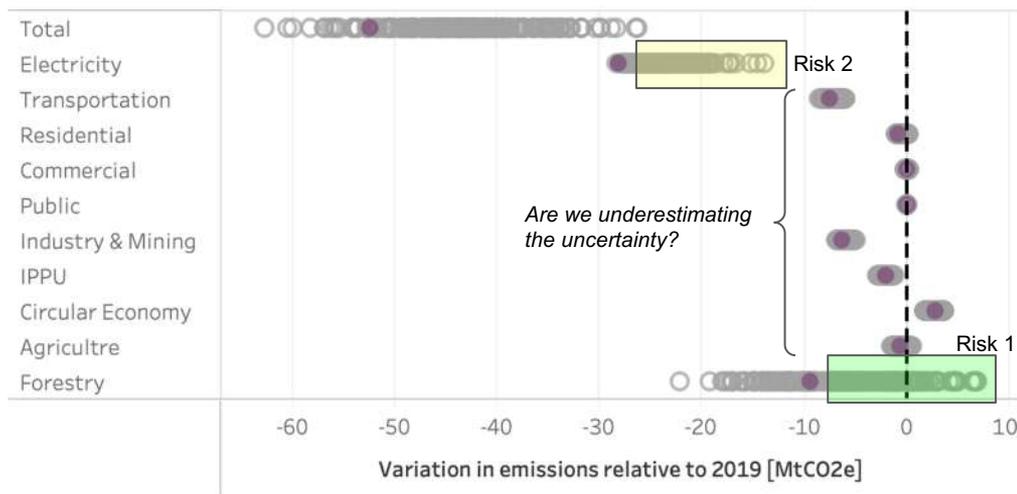
Cambiar colores + leyenda

# Are there other risks?

Emissions variation from other sectors not very large, relative to electricity and forestry

- Revisit and expand uncertainty ranges?
- Add uncertainty over the levers
- Then, re-run PRIM algorithm to identify remaining important variables

Change in Emissions by Sector in from 2019 to 2050



# Ranges of uncertainties for some variables might be too narrow...

ef_captura	steel_production	public_intensity	trajmix_investment_cost_csp_solar
trajmix_copper_production	tf_industrial	transport_tkm_freight_train	trajmix_investment_cost_geothermal
medida_biodigestores	trajmix_iron_production	tf_comercial	trajmix_investment_cost_natural_gas_cc
precio_bovino	fishing_production	elast_res_ind_pib	trajmix_investment_cost_pv_solar
residential_occ_rate	pulp_intensity	hfcmma	trajmix_investment_cost_wind
imp_clinker	other_industries_elasticity	pulp_intensity	transport_intensity_bus_diesel
precio_maiz	transport_intensity_aviation_kerosene	imp_clinker	transport_intensity_bus_electric
medida_uso_eficiente_fertilizante	saltpeter_production	residential_intensity	transport_intensity_pkm_train
residential_intensity	sugar_production	cement_production	transport_intensity_private_diesel
cement_production	medida_cambio_dieta_bovina	industry_and_mining_fuel_price_bioma ss	transport_intensity_private_electric
	trajmix_pulp_production		transport_intensity_private_gasoline
			transport_intensity_taxi_electric
			transport_intensity_taxi_gasoline
			transport_intensity_train_electric

# How can Chile manage risks in its Decarbonization Plan?

1. Add additional decarbonization to sectors less sensitive to future uncertainties
  - a. Non-forestry and electricity sectors
  - b. Focus on lower cost options first



Cost analysis can help here....

## 1. Develop new options that help avoid key risks

- a. Risk 1--Low sequestration from forests



- i. Increase taxes on forestry products to reduce demand
- ii. Invest more in forestry management of new and existing forests

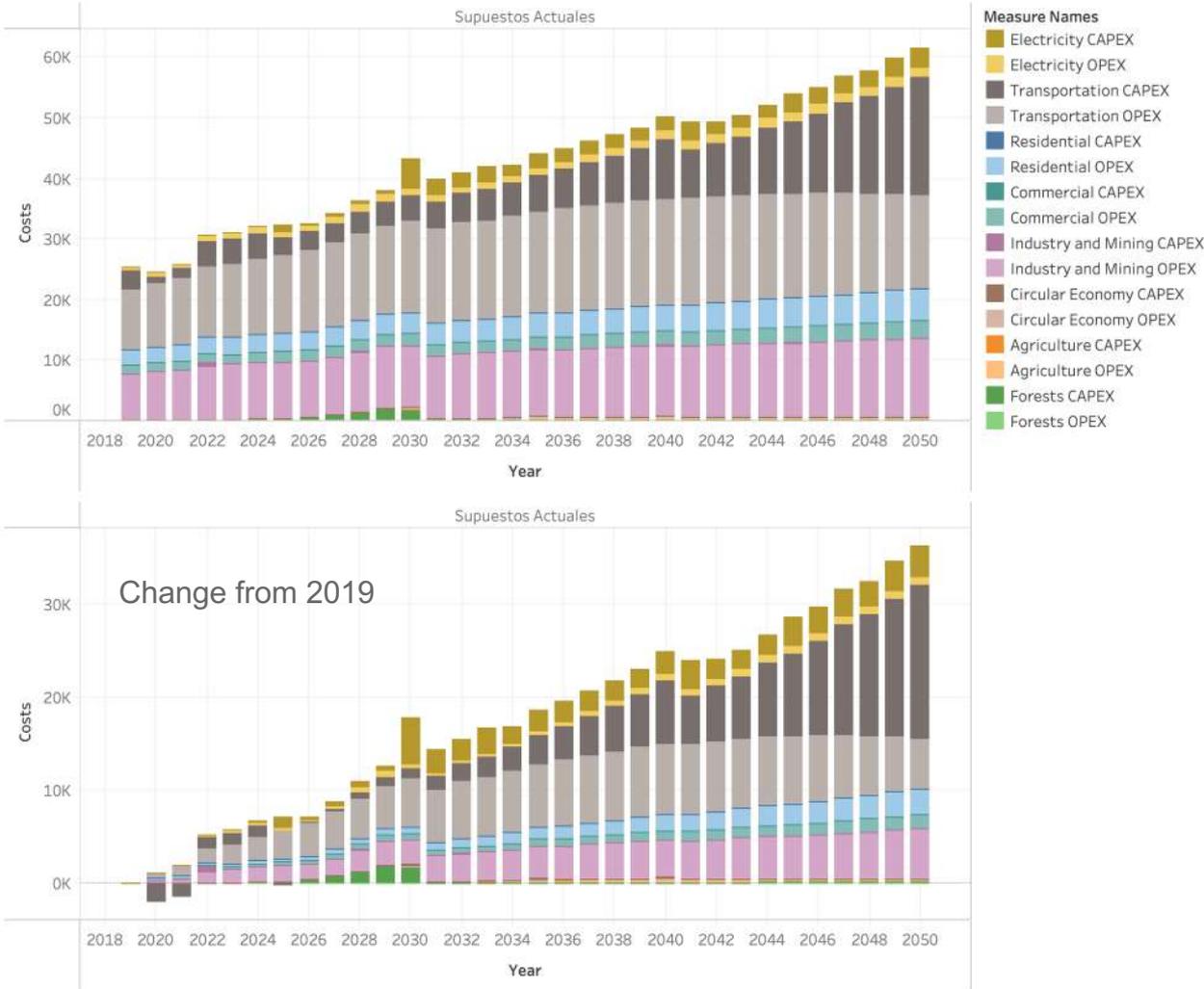
- b. Risk 2--High electricity emissions



- i. Increase investments in energy efficiency in key industries such as copper production
- ii. Increase investment in wind and solar to compensate for low hydro
- iii. Invest in electrification for industry, rather than shifting to natural gas
- iv. Invest in lower energy use approaches for copper mining

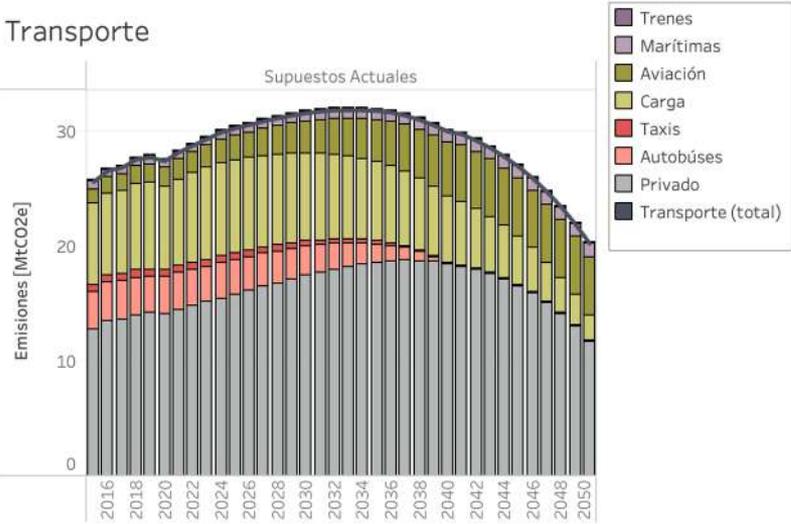
# Sector costs of part of the economy

[Table of levers]

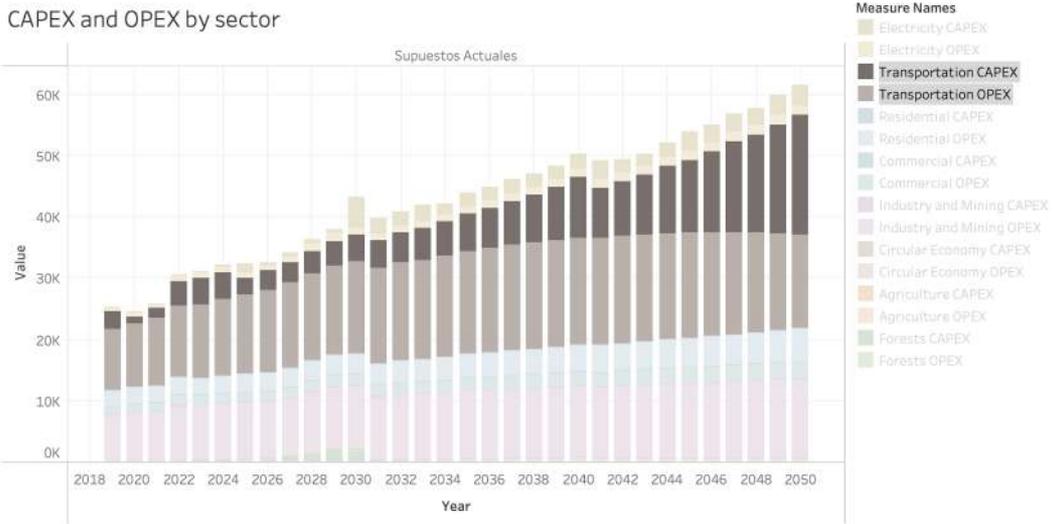


# High costs in transport sector

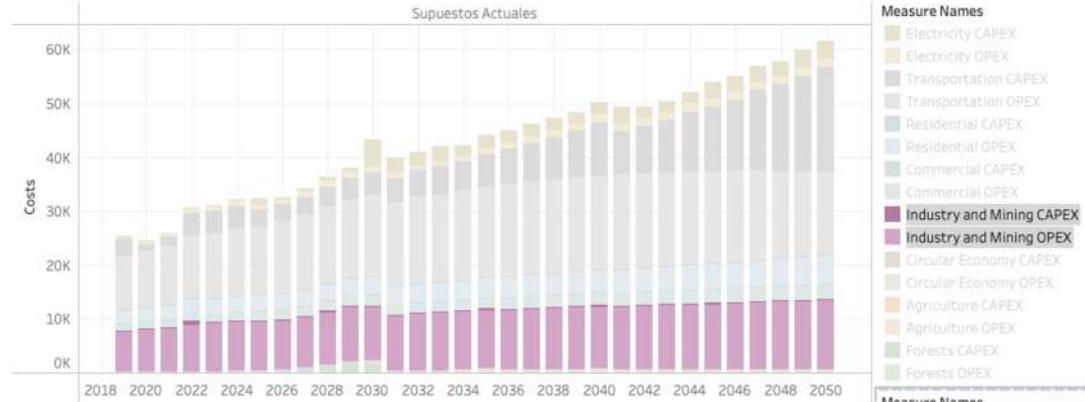
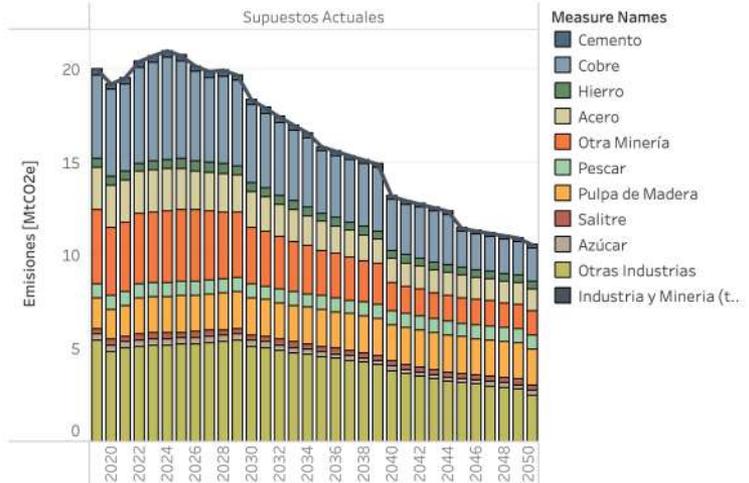
Transporte



CAPEX and OPEX by sector



# Industry and mining all OPEX and begin



Why the high costs in 2019?

# Next steps for analysis

1. Revisit ranges for some uncertainties and re-run to determine if there is a third risk to analyze
2. Develop a Robust Decarbonization Strategy set of levers and restricted X ranges
3. Evaluate new Robust Decarbonization Strategy
4. Develop discussions of co-benefits