

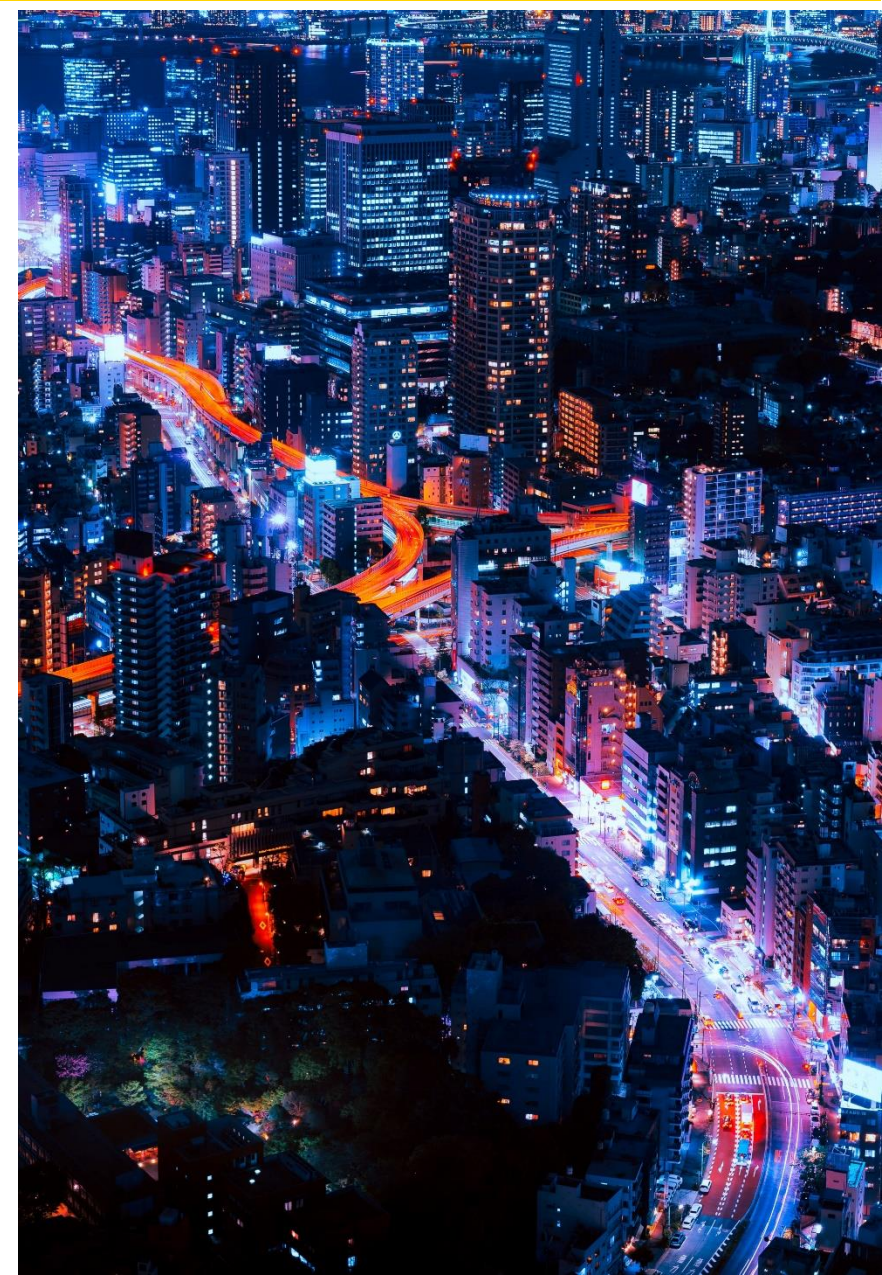
Zero greenhouse gas emissions roadmap para Colombia:

Diagnóstico, perspectivas y
lineamientos para definir estrategias
posibles ante el cambio climático

Julio 2020

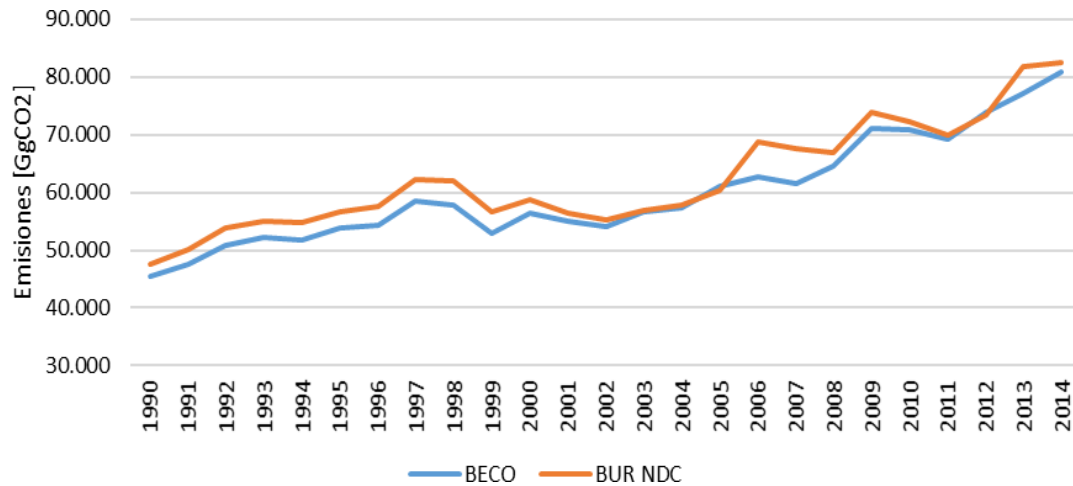
TABLA DE CONTENIDO

1. Actualización de la línea base
 2. Portafolio de medidas de mitigación
 3. Escenarios planteados (NDC-extendida, *Increased Effort*, *Green Development*) y resultados
 4. Instrumentos financieros y económicos
 5. Recomendaciones
- **Anexo 1:** detalle de análisis sectoriales
 - **Anexo 2:** comparación de resultados con los del PEN 2020 – 2050 (en revisión)



1.1 Escenario de referencia de emisiones

- Análisis de inventarios**



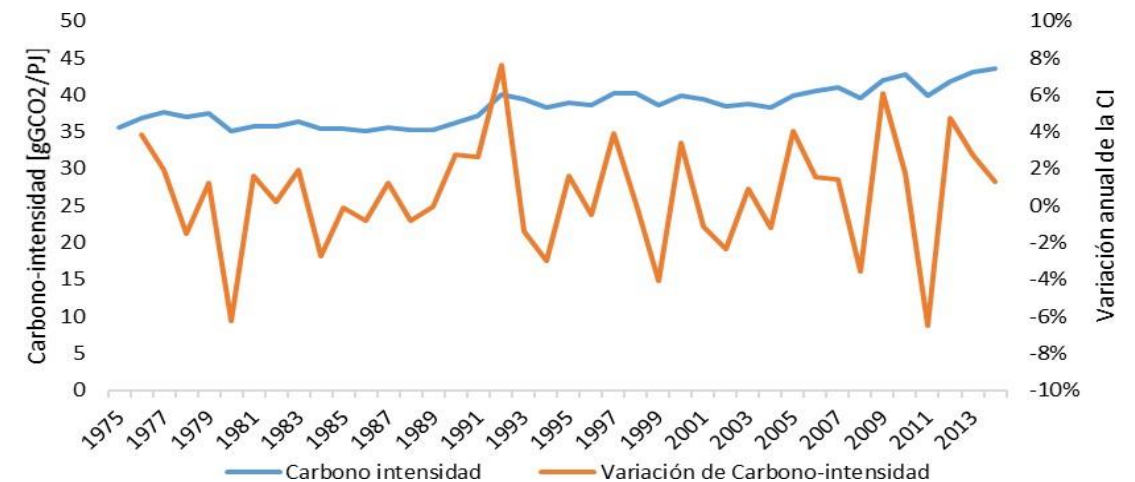
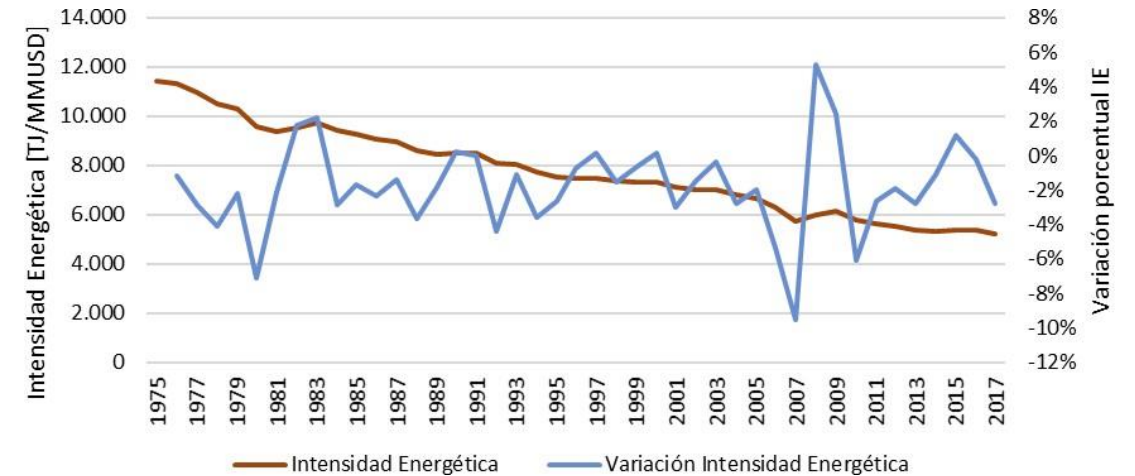
- Revisión de la trayectoria de emisiones (BAU y NDC) – Modelación KAYA**

$$\text{Emisiones CO}_2\text{e} = \frac{\text{CO}_2\text{e}}{\text{Energía}} \cdot \frac{\text{Energía}}{\text{PIB}} \cdot \frac{\text{PIB}}{\text{Población}} \cdot \text{Población}$$

1.1 Supuestos de la modelación

- Series históricas construidas a partir de los balances energéticos para el periodo 1975 – 2017 y factores de emisión de FECOC
- 4 fuentes de información para el crecimiento económico: **3.4% Minhacienda (Marco Fiscal de Mediano Plazo) (*)**, **4%** Misión de Crecimiento Verde, **3,5%** Fondo Monetario Internacional, **3.2%** UPME (CAGR)
- Crecimiento de la población **0,46%**, línea base 2018 de **45,5** millones de habitantes (DANE, Septiembre 2019)
- Modelación estocástica de las intensidades de energía y carbono

*CAGR ajustado (DNP): 3.4%

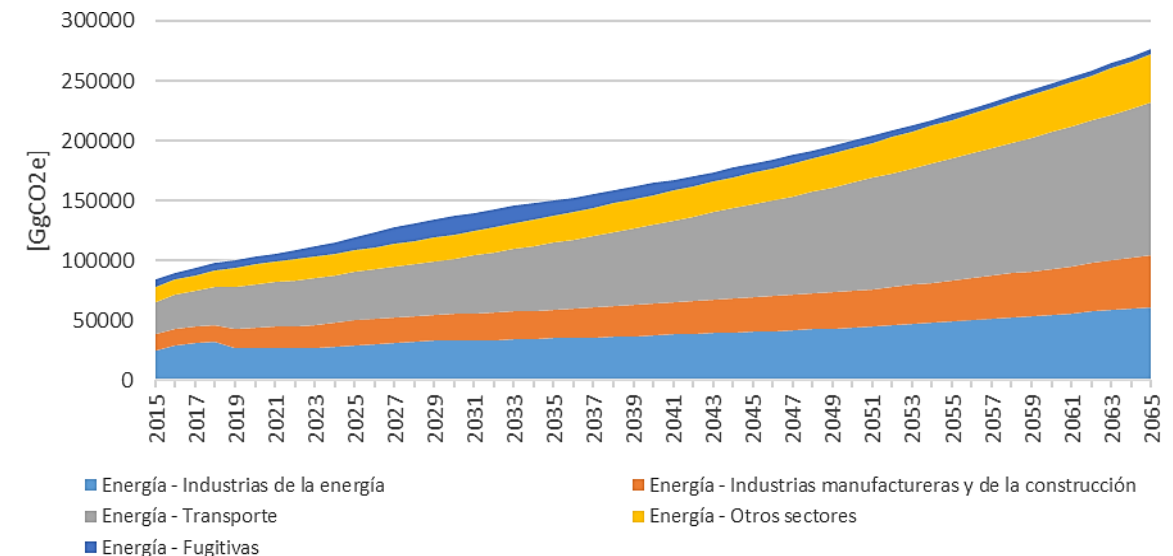


1.2 Resultados de la proyección Kaya

- Se generan túneles de proyección. La línea base de la NDC y la NDC están en los rangos de proyección obtenidos
- Se selecciona una línea base de referencia de las emisiones para el sector energía en el horizonte 2015 - 2050

Participación	2015		2030		2050	
	%	Emisiones [GgCO2e]	%	Emisiones [GgCO2e]	%	Emisiones [GgCO2e]
Industrias de la energía	29.8%	25,096	24.2%	33,186	21.9%	43,758
Ind. manuf. y const.	15.6%	13,126	16.1%	22,021	15.3%	30,620
Transporte	32.6%	27,447	33.9%	46,508	45.4%	90,800
Otros sectores	14.1%	11,855	14.6%	19,942	14.4%	28,860
Fugitivas	7.8%	6,583	11.2%	15,372	3.0%	5,915

Crecimiento anual	2015 - 2030	2030 - 2050	2015 - 2050
Industrias de la energía	1.88%	1.39%	1.60%
Ind. manuf. y const.	3.51%	1.66%	2.45%
Transporte	3.58%	3.40%	3.48%
Otros sectores	3.53%	1.87%	2.57%
Fugitivas	5.82%	-4.66%	-0.31%



2. Opciones de mitigación

- **Sectores a considerar:**
 - Generación (y demanda) eléctrica
 - Transporte
 - Edificaciones (residencial y comercial)
 - Industria (manufacturera y construcción)
- Tipos de medidas: eficiencia, sustitución, nuevas tecnologías y cambios en patrones de comportamiento
- Identificación de opciones de mitigación
 - Portafolio de medidas del la NDC (Uniandes, 2015) y actualización de costos (inversión y O&M)
 - Nuevas medidas (literatura internacional – IEA, otras fuentes)
 - Barreras, complementariedades o sinergias
- Horizonte estudio (2015 – 2050), unidad monetaria (**USD \$ 2015**) y tasa de descuento (**10%**)



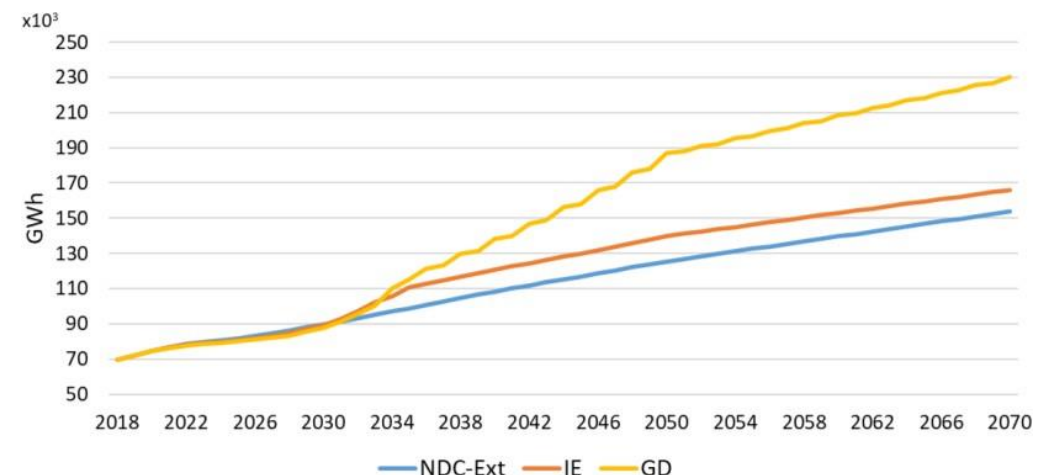
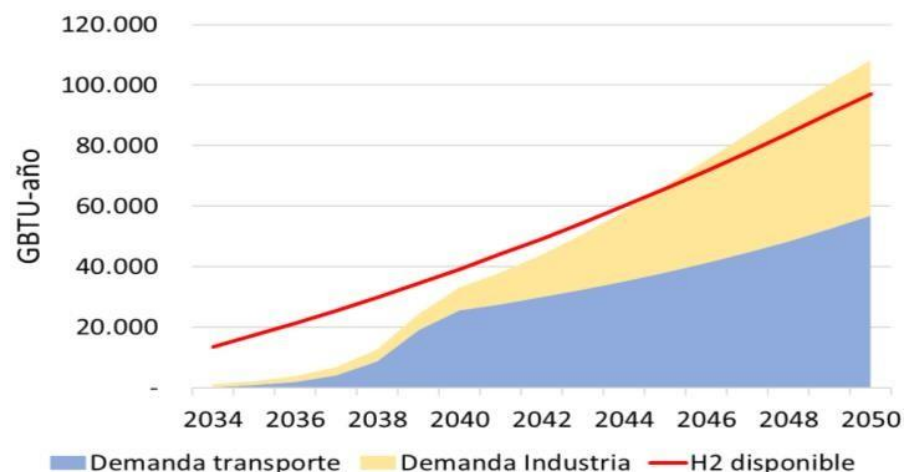
2.1 Generación y demanda eléctrica

- **Demanda – Línea base**

- Proyecciones de la demanda de energía y potencia máxima realizada por la UPME, Revisión Julio-2019 – Escenario demanda media

- **Demanda – Escenarios**

- Se caracterizan por aumentar gradualmente las expectativas de crecimiento de generación distribuida y la demanda de electricidad por penetración de vehículos eléctricos. Hay consideraciones de eficiencia energética
- En el escenario GD se considera la producción de hidrógeno a partir de fuentes renovables, solar y eólica, con destino a los sectores industria y transporte



2.1 Generación eléctrica

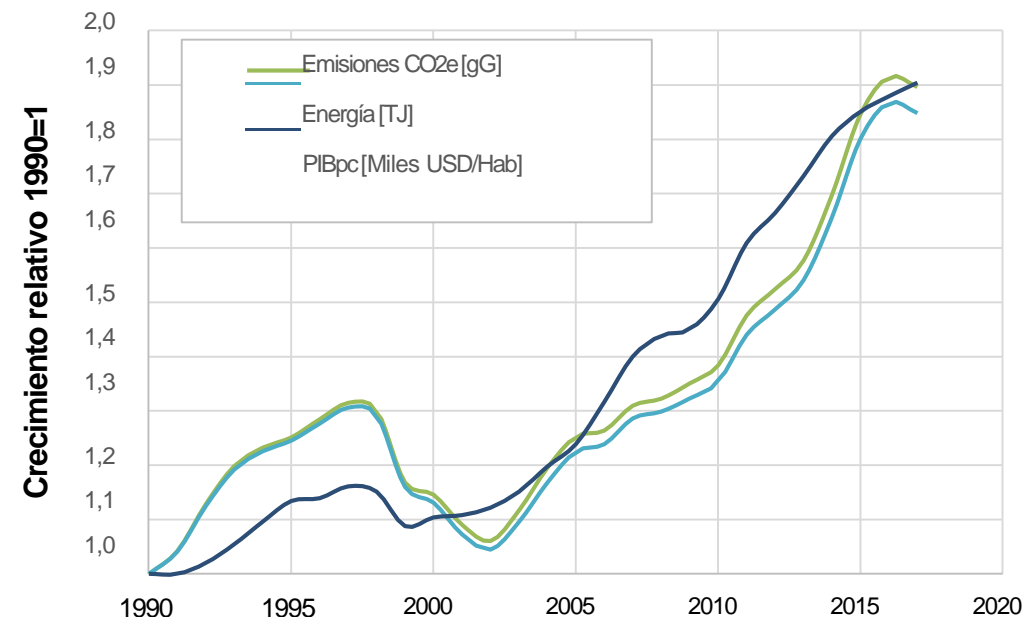
- **Expansión de capacidad**

- Incluye la expansión definida, los proyectos definidos en el CxC, y de la subasta de contratos de largo plazo en 2019
- Los combustibles líquidos desaparecen de la matriz de generación
- Proyectos con renovables incluyen portafolios con sistemas de almacenamiento basados en baterías
- La instalación de plantas térmicas a gas y carbón incluyen mayor eficiencia y opciones de captura de las emisiones
- Hay desmantelamiento de plantas de carbón convencionales durante el horizonte de planeamiento
- El escenario de mayor ambición alcanza hasta un **89%** de participación de renovables y **92%** si se incluye la capacidad exclusiva dedicada a la producción de hidrógeno (solar y eólica)

[MW]	2019	NDC-E 2050	IE 2050	GD 2050	GD 2070
Hidro Mayor	11,041	16,312	16.812	20.712	22.012
Gas	3,395	5,797	6.197	4.507	2.487
Carbón	1,619	2,419	2.499	2.049	249
Líquidos	88	127	127	127	0
Menores	942	1,570	1.630	2.080	3.040
Menores-Gas	156	586	606	576	656
Cog-Biomasa	140	640	740	1.230	1.850
Biogás	6	326	346	676	886
Solar	18	2,225	2.475	4.175	5.815
Eólica	18	3,903	4.233	6.633	9.053
Geotérmica	0	400	400	600	900
Power-to-Gas				3.500	11.500
FNCER-Firme				0	1.800
	17,423	34,305	36.065	46.865	60.248

2.2 Transporte

- En los últimos años el transporte ha sido el principal segmento de consumo final de energía en Colombia: **32% en 2010** y **35% en 2017**
- De acuerdo con la serie actualizada del BECO y los registros de población y PIB, entre 2010-2017
 - Desacople entre las emisiones GEI del transporte y el crecimiento del PIBpc
 - Sin embargo, sigue aumentando la tasa de crecimiento de las emisiones del transporte respecto a los periodos anteriores



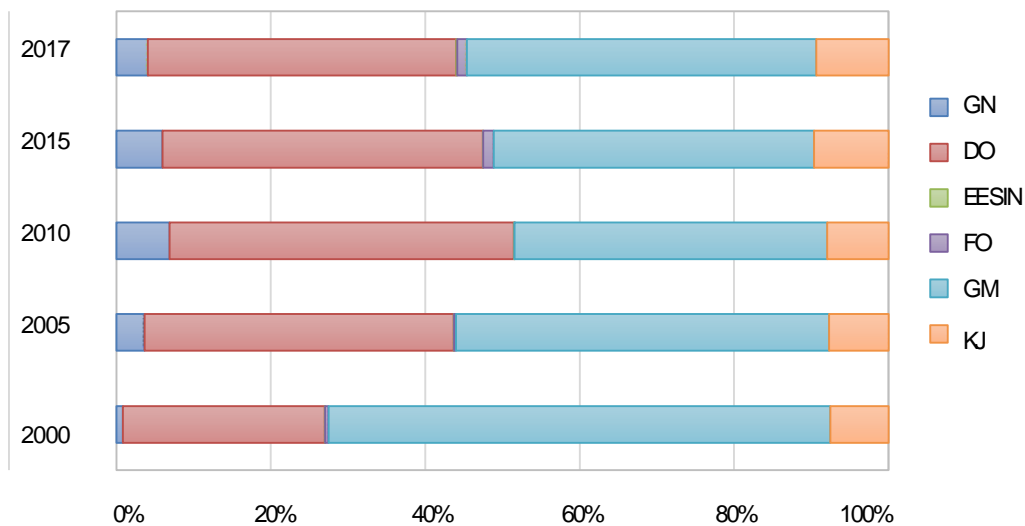
Tasas de crecimiento anuales equivalentes:

Periodo	Población	PIBpc	Energía	Emisiones GEI
1990-2000	1.7%	1.0%	1.2%	1.4%
2000-2010	0.9%	3.2%	1.8%	1.9%
2010-2017	0.7%	3.3%	2.9%	3.0%

2.2 Transporte

- La gasolina predomina en la canasta energética del sector transporte, seguida por el diésel. Estos dos han representado más del 80% del consumo en el periodo 2000 – 2017.

Participación en la demanda por tipo de energético



GN: gas natural; DO: diésel oil; EE: electricidad; FO: fuel oil; GM: gasolina motor; KJ: kerosene.

Energético	2000	2015	2017
Gas natural	0.8%	6%	4%
Diésel	26%	41%	40%
Electricidad	0.06%	0.07%	0.07%
Fuel oil	0.4%	1%	9%
Gasolina	65%	41%	45%
Kerosene	8%	10%	9%
Total (TJ)	310,545	494,560	507,520

Uso predominante en t.urbano de pasajeros

Uso predominante en t.carga

Exclusivo t. férreo (registro BECO)

Exclusivo t. marítimo

Uso predominante en t.privado de pasajeros (urbano e interurbano)

Exclusivo t. aéreo

2.2 Transporte

- **Se modeló 100% de sustitución de transporte eléctrico y a hidrógeno en los segmentos en donde es más probable la sustitución según restricciones técnicas de las tecnologías**
 - Electricidad: transporte urbano de pasajeros (público y privado)
 - Electricidad: vehículos utilitarios (carga urbana de pequeña escala)
 - Hidrógeno: camiones interurbanos de mayor tamaño

- **Para mejorar la eficiencia del segmento de pasajeros urbano opciones adicionales por explorar son**
 - Transporte eléctrico masivo (v.g., trenes, metros) en las ciudades en que la demanda lo permita
 - Gestión de la demanda: reducción de actividad en modos motorizados y seguir aumentando la participación de los modos no motorizados

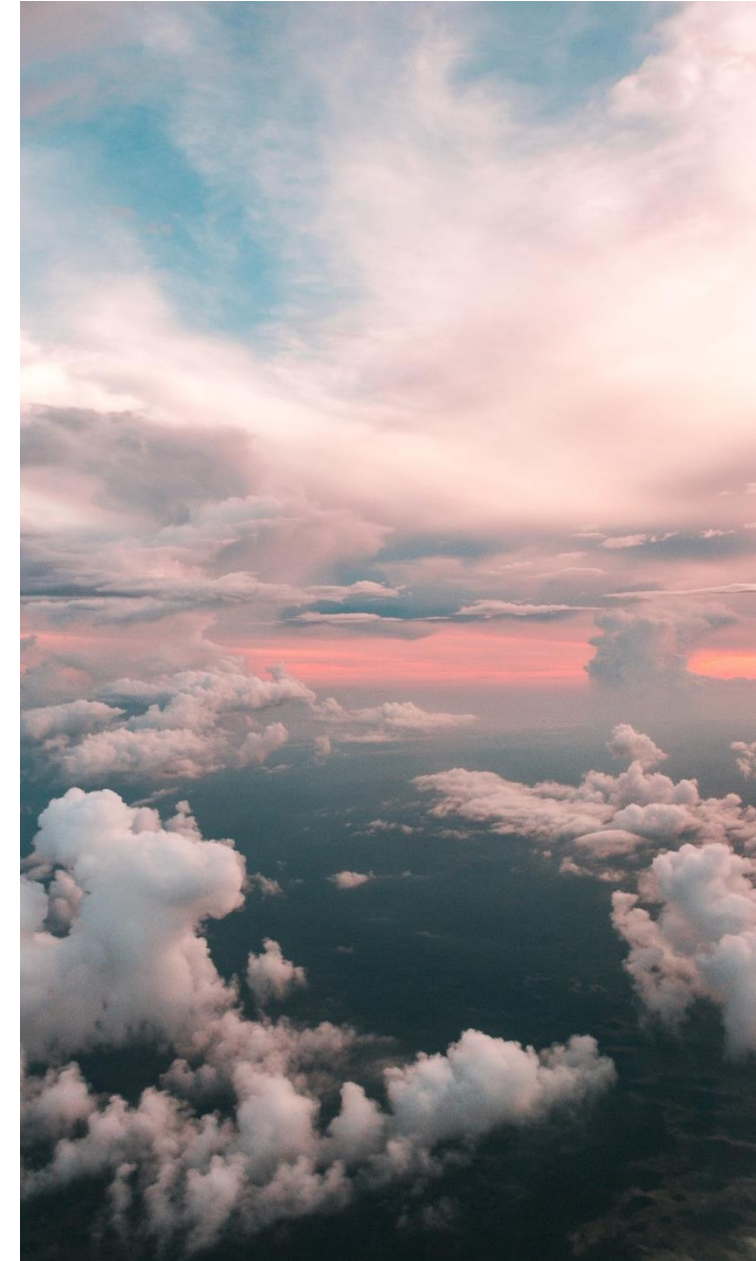
- **En los segmentos de pasajeros interurbano, carga (urbano e interurbano) y los no carreteros aún con la implementación de las medidas de la NDC, estos siguen dependiendo del consumo de combustibles fósiles**
 - El uso de electricidad es menos probable por restricciones en las tecnologías
 - Uso de hidrógeno, metano a partir de residuos y biocombustibles de última generación se posicionan como alternativas de mayor viabilidad en las próximas décadas



2.2 Transporte – Cobeneficios en calidad del aire

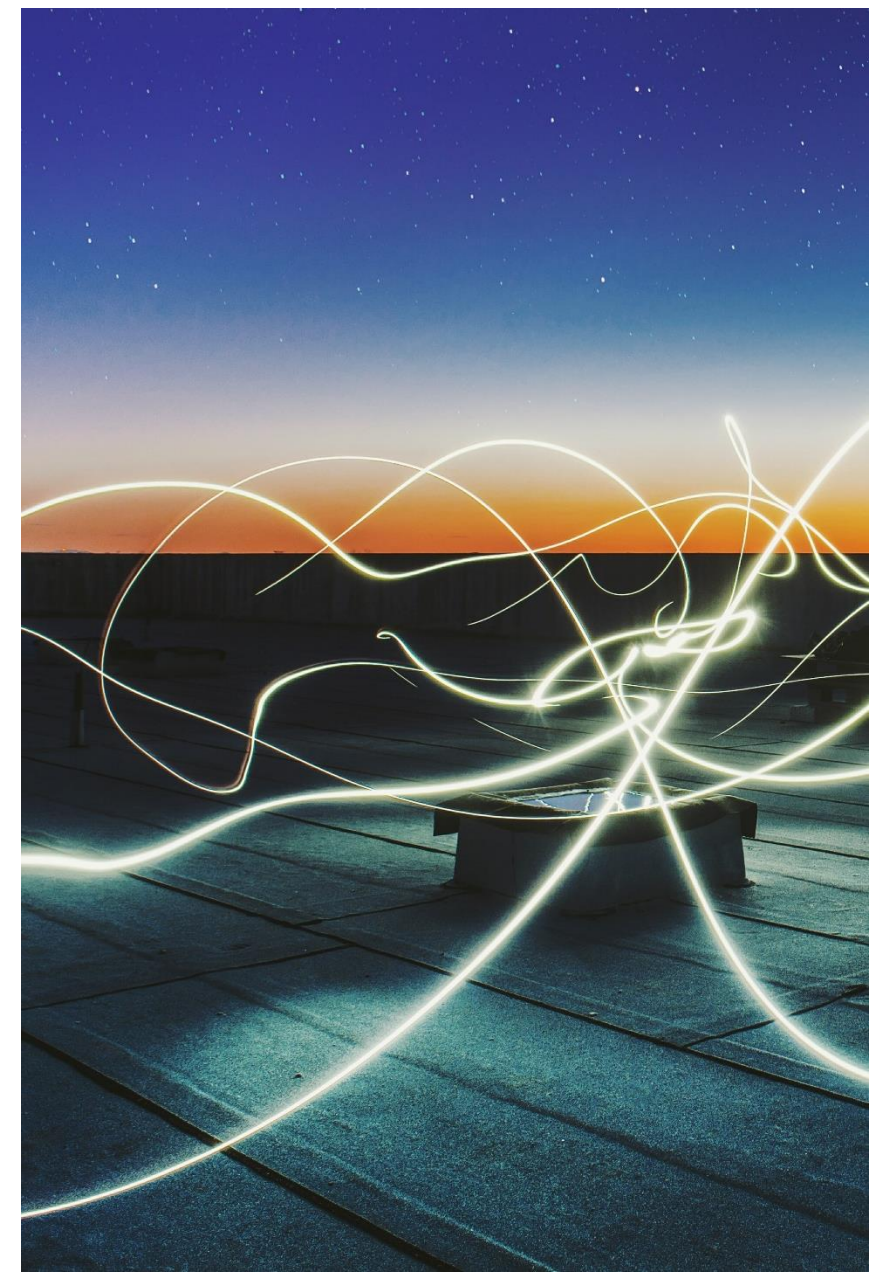
Medidas	Costo eficiencia (usd/t CO2e)	
	Sin cobeneficios	Con cobeneficios
Transporte eléctrico		
Taxis: 100% de los vehículos se electrifican en 2035	-40	-44
Transporte público: 100% de los buses son eléctricos desde 2035		
Buses	-35	-36
Microbuses	-76	-79
Articulados	-30	-32
Transporte carga: 100% de los utilitarios son eléctricos desde 2035	94	88
Transporte a hidrógeno		
Transporte carga: los camiones interurbanos de mayor tamaño son a hidrógeno desde 2035 (6% de la flota total de carga)	146	144

- **Cobeneficios en salud y calidad de vida por reducción de la contaminación local**
 - Las medidas evaluadas en los escenarios IE y GD representan un beneficio en reducción entre **80,000- 84,000** toneladas de material particulado fino (PM2.5) entre 2020 y 2050.
 - Esto equivale a beneficios por costos evitados en salud del orden de **2,600 y 2,700** millones de dólares durante el periodo de análisis, para los escenarios IE y GD respectivamente.



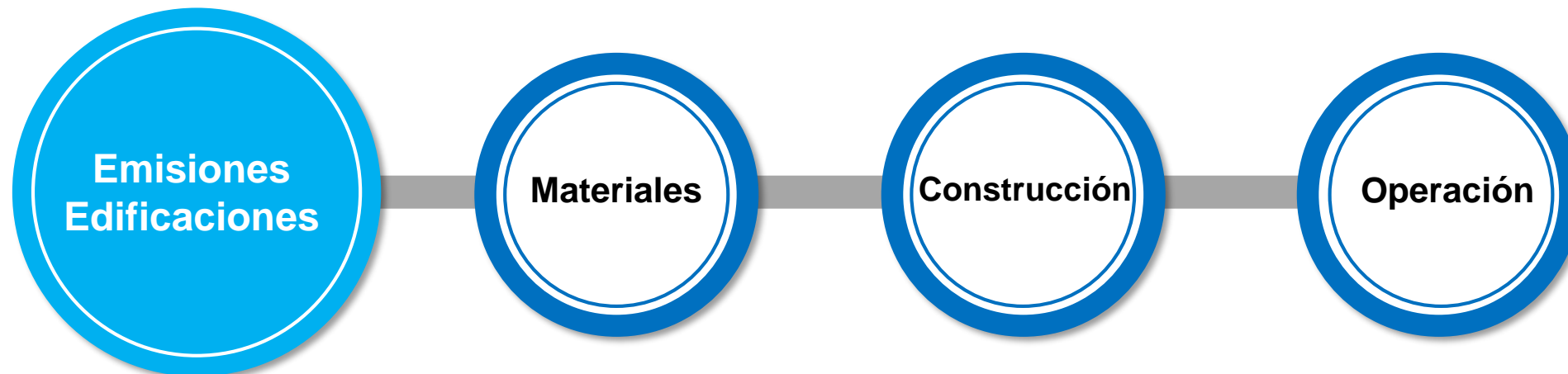
2.3 Edificaciones

- El sector edificador representa aproximadamente un **32%** del consumo final de energía mundial (IPCC 2014) y de **22%** a nivel nacional (Conpes 3919, 2018; UPME, 2016)
- Contribuye con el **4.75%** del total de las emisiones de GEI y **14.6%** de las de energía a nivel nacional (BUR, 2015). Estos porcentajes corresponden a otros sectores de consumo de energía y no incluyen las emisiones de la electricidad
- En Colombia, más de **70%** de la población vive en el sector urbano y se espera que esta proporción se incremente en el tiempo
- La huella de carbono y los retos de adaptación (islas de calor, etc.) son una prioridad
- Hay opciones de mejoras de diseños, materiales de construcción (mas su disposición) que determinan las emisiones de la operación de proyectos urbanísticos y ciudades, además del uso de nuevas tecnologías y formas descentralizadas de suministro de energía



2.3 Edificaciones

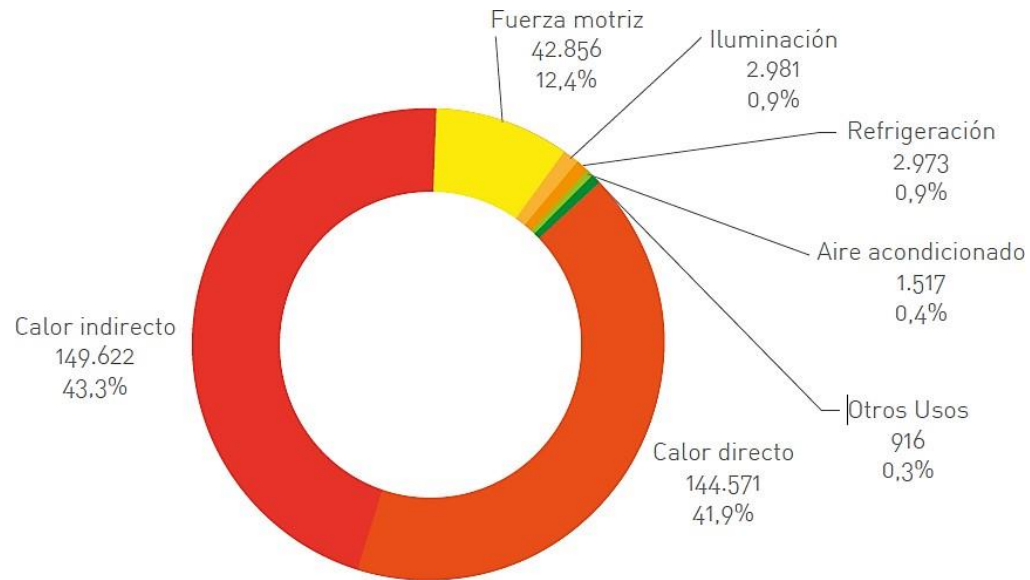
- **Se consideraron diferentes opciones**
 - Diseño: mejoras en diseño (medidas pasivas), nuevas técnicas de constructivas, y uso de materiales (fachadas y muros interiores)
 - Construcción: mejoras en la producción de cemento
 - Eficiencia energética: mejoras en equipos de uso final (aires acondicionados, iluminación, estufas)
 - Sustitución y nuevas tecnologías: tecnología PV y PVT
 - *Retrofitting*



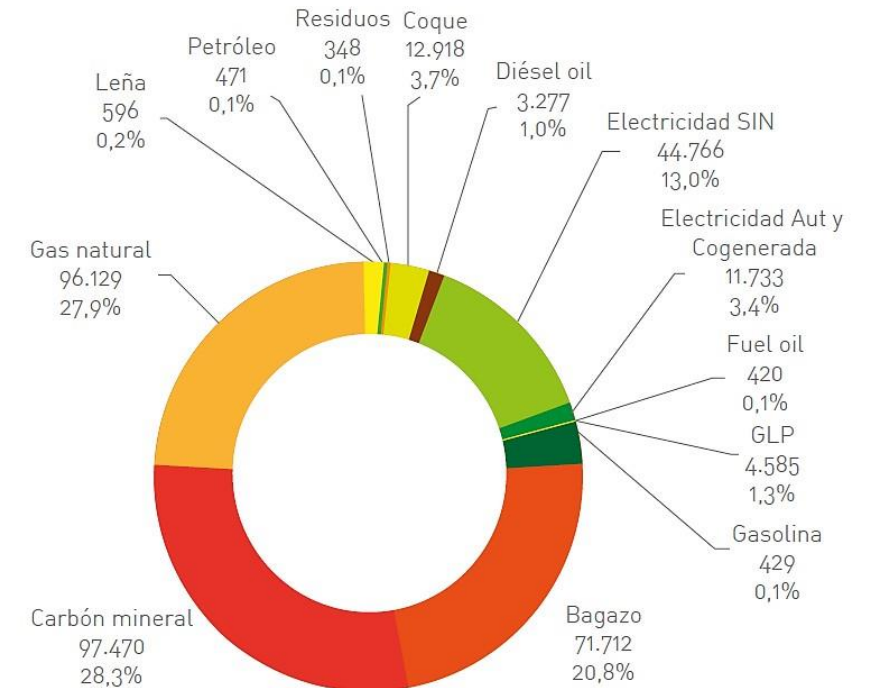
2.4 Industria

- Segundo mayor consumidor de energía final
- **85%** de la energía consumida es en calor directo e indirecto
- El consumo es en su mayoría combustibles fósiles, seguido de biomazas y electricidad

Usos de energía



Consumo energéticos



2.4 Industria

- **Eficiencia energética en generación de calor directo e indirecto**

- Buenas prácticas de operación y mantenimiento de hornos / calderas
- Reposición y mantenimiento de aislamiento térmico
- Mejoras en combustión de combustibles sólidos / gas natural.
- Aprovechamiento de calor residual de procesos de combustión

- **Sustitución energéticos**

- Sustitución carbón a gas
- Sustitución carbón a biomasa
- Combustión combinada carbón con biomasa

- **Nuevas tecnologías**

- Sustitución gas natural por hidrógeno

	2030*	2050*
Calor Indirecto		
Combustibles sólidos	15,0%	20,5%
Gas natural	7,2%	9,9%
Calor Directo		
Combustibles sólidos	6,3%	8,4%
Gas natural	9,5%	13,0%

*Mejora en eficiencia relativa al 2015

	2015	2030			2050		
		NDC E	IE	GD	NDC E	IE	GD
Gas Natural	28,1%	33,5%	38,3%	38,3%	33,1%	38,0%	24,1%
Bagazo	20,8%	13,1%	20,0%	20,0%	12,7%	23,7%	23,2%
Carbón Mineral	26,3%	27,1%	15,9%	15,9%	26,2%	11,0%	10,8%
Electricidad	19,3%	22,3%	21,8%	21,8%	23,7%	23,1%	22,6%
Hidrógeno	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	15,2%
Otros	5,5%	4,1%	4,0%	4,0%	4,3%	4,2%	4,1%

*Composición canasta energética Industria

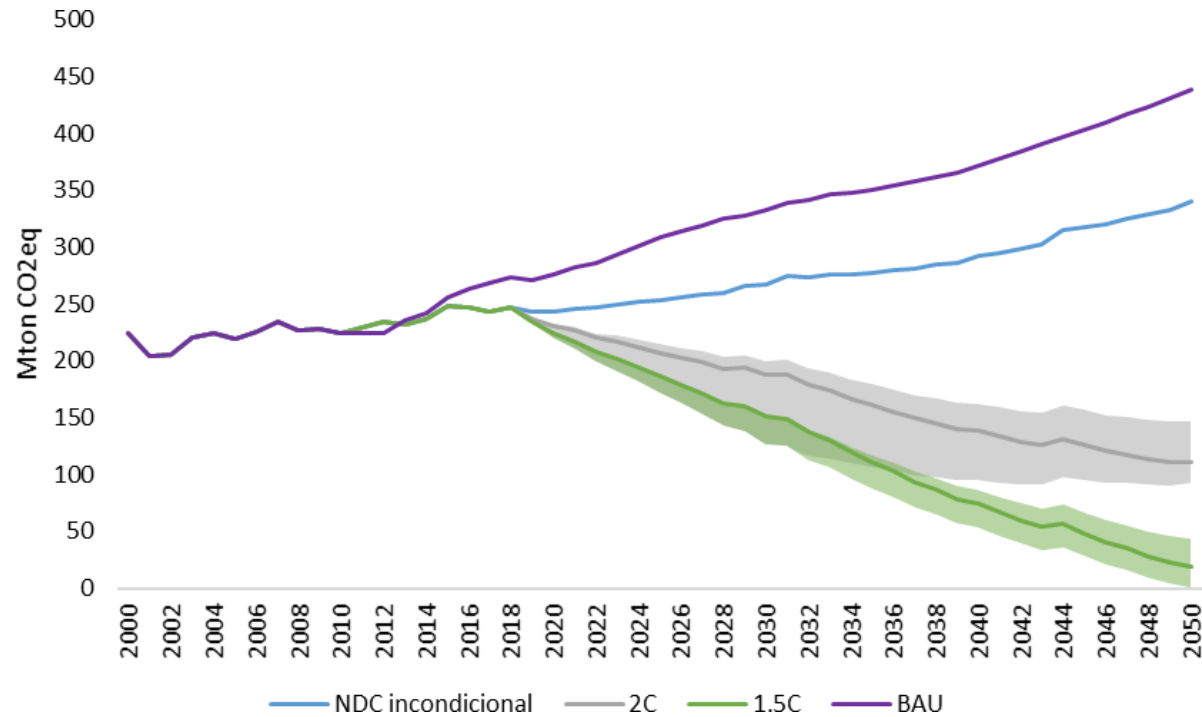
3. Escenarios propuestos

- **NDC-extendido:** NDC del 20% en 2030 y prolongación al 2050
- **Increased Effort:** estabilización de emisiones a los niveles de 2010
- **Green Development:** camino a la descarbonización en 2050 - 2070

- Se buscó garantizar un cumplimiento ‘descentralizado’ de las metas de los diferentes escenarios (por sector)
- Como referencia se evaluaron escenarios teóricos de trayectorias de emisiones para alcanzar el objetivo de estabilización climática (evitar el aumento de temperatura más allá de 2 y 1.5° para 2050).



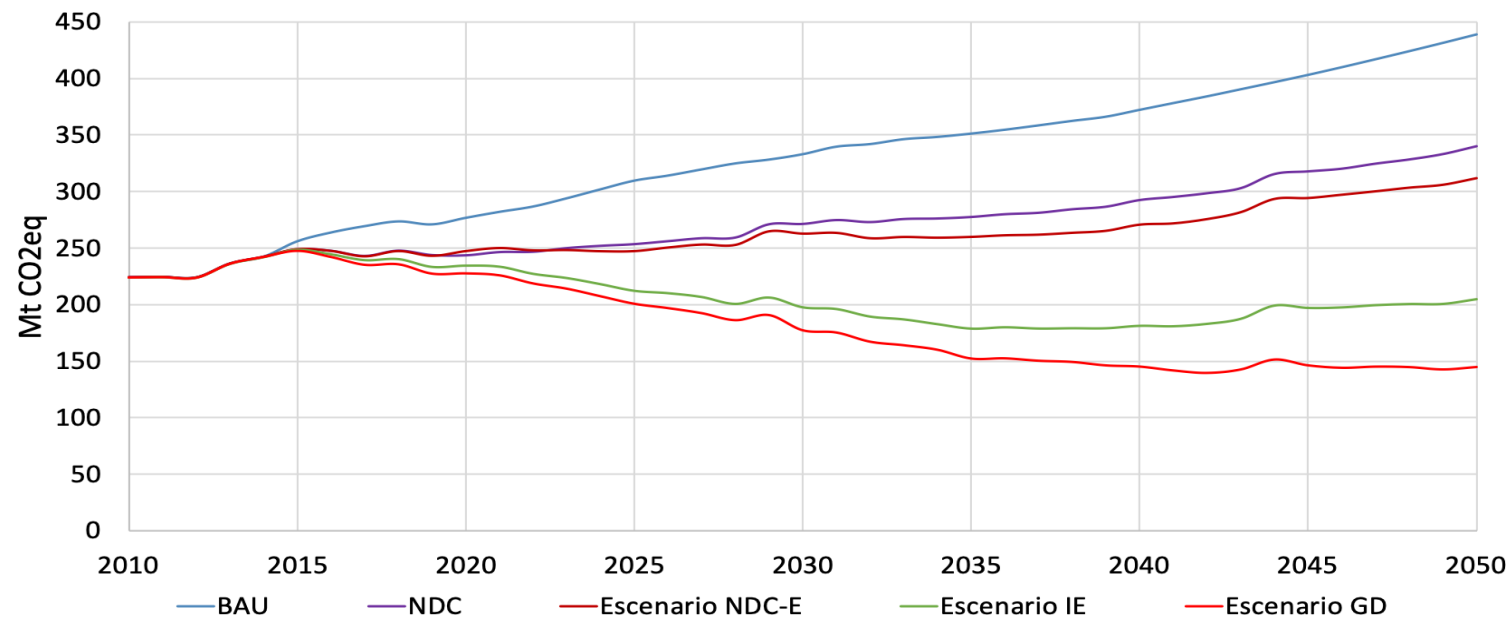
3.1 Escenarios y referencia (2° y 1,5°) – Todos los sectores



	Mton CO ₂ e 2030	Mton CO ₂ e 2050	Reducción 2050
BAU	332	438	
NDC-Incondicional	266	340	22%
NDC-Condicional	252	306	30%
2C	187	110	75%
1,5C	151	20	95%

3.2 Escenarios de mitigación propuestos

- Se construyen en parte con la actualización de las medidas de mitigación propuestas en la NDC 2015
- Se proponen nuevas medidas considerando diferentes aspectos tecnológicos y económicos
- El escenario mas ambicioso alcanza una reducción de hasta 66.9% respecto al BAU en 2050



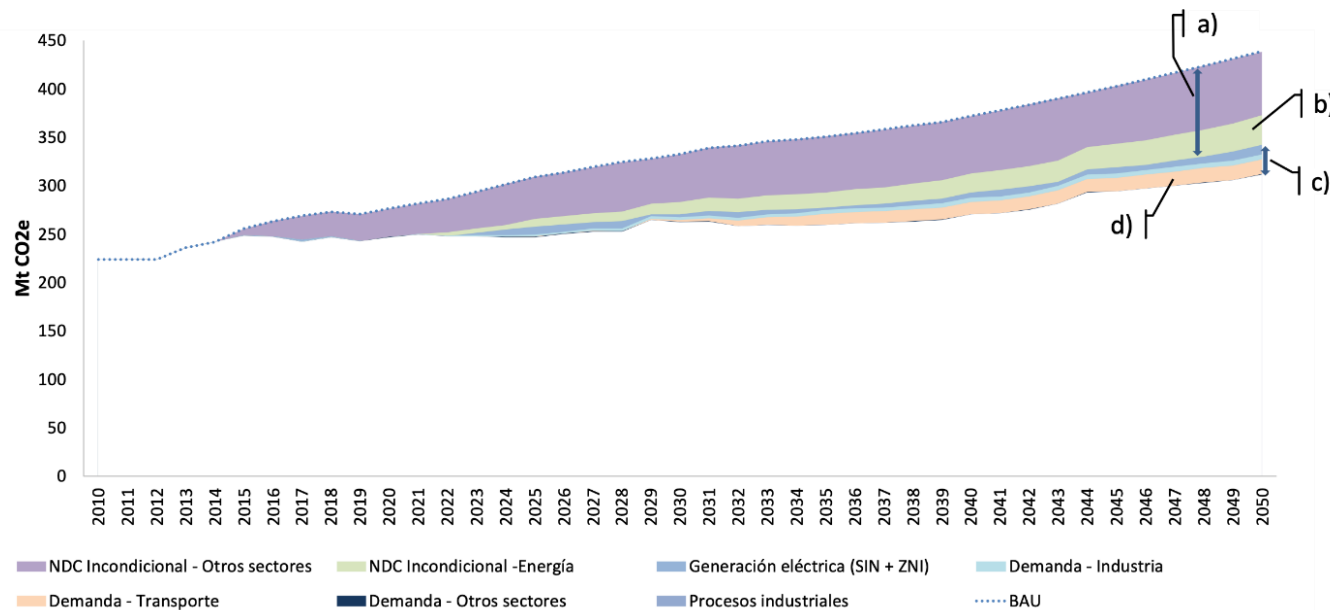
3.2 Reducciones y costos de las medidas

	Mt CO2e 2014*		Mt CO2e 2030		Mt CO2e 2050		Reducción Energía 2050	Costos (USD/ton CO2 eq)
	Total	Energía	Total	Energía	Total	Energía		
BAU	236.9	82.5	332	137	438	199		
• NDC-Incondicional			266	129	340	185	22%	≤ 20
• NDC-E			262	124	311	162	29%	≤ 20
IE			197	116	204	125	53.4%	≤ 70
GD			177	112	145	81	66,9%	≤ 144

* Segundo Reporte Bienal de Actualización de Colombia ante la CMNUCC.

3.3 Reducción de emisiones: escenario NDC-E

- Del **29%** de reducción alcanzado en el escenario en 2050, la actualización de 67 medidas NDC 2015 representan un **21%** (a), **7%** corresponde al sector energía (b)
- Un **8%** de mitigación se debe a las 22 nuevas medidas propuestas (c).
- La mitad de la reducción obtenida con las medidas nuevas se atribuyen al sector transporte (d)

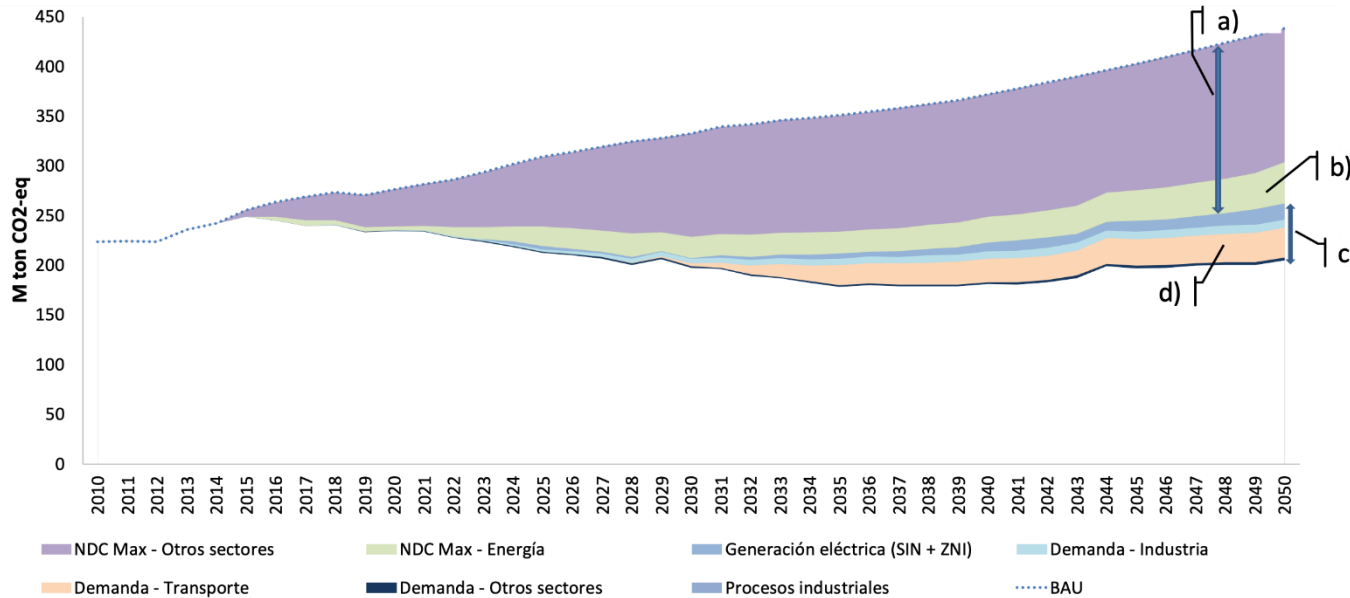


	Mt CO2e		Reducción
	2030	2050	2050
NDC-Incondicional	266	340	22%
NDC-E	262	311	29%

Medidas	Nuevas	NDC-2015
NDC-Incondicional		71
NDC-E	22	67 (Act)

3.3 Reducción de emisiones: escenario IE

- Del **53.4%** de reducción alcanzado en el escenario en 2050, la actualización de 86 medidas NDC 2015 representan un **41%** (a), **9%** corresponde al sector energía (b)
- Un **12.4%** se debe a las 32 nuevas medidas propuestas (c)
- Mas de la mitad de la reducción obtenida con las medidas nuevas se atribuyen al sector transporte (d)

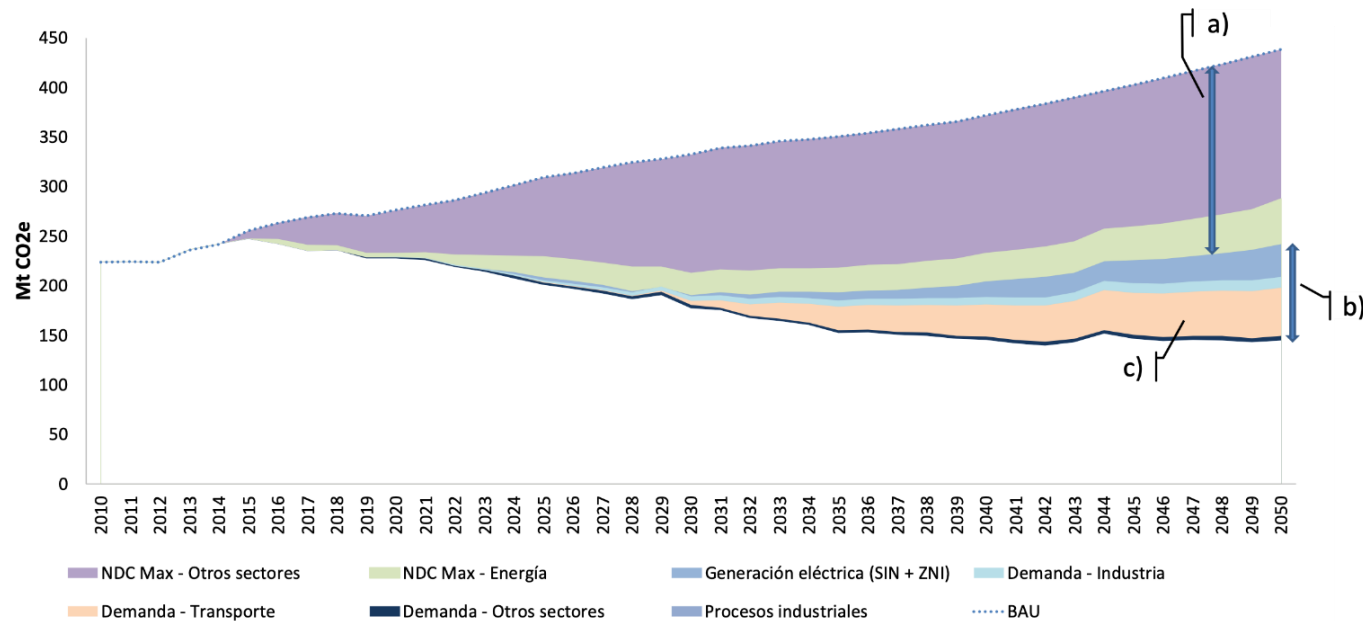


	Mt CO2e 2030	Mt CO2e 2050	Reducción 2050
NDC-Incondicional	266	340	22%
IE	197	204	53.4%

Medidas	Nuevas	NDC-2015
NDC-Incondicional		71
IE	32	86 (Act)

3.3 Reducción de emisiones: escenario GD

- Del **66.9%** de reducción alcanzado en el escenario en 2050, la actualización de 86 medidas NDC 2015 representan un **48%** (a)
- Un **18.9%** corresponde a las 45 nuevas medidas propuestas (b)
- Mas de la mitad de la reducción obtenida con las medidas nuevas se atribuyen al sector transporte (c)



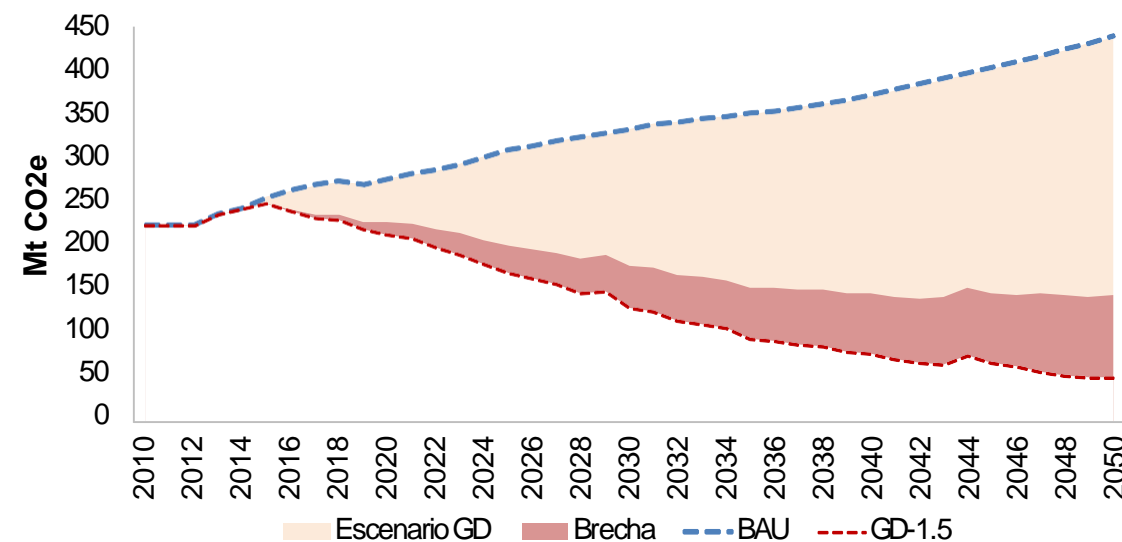
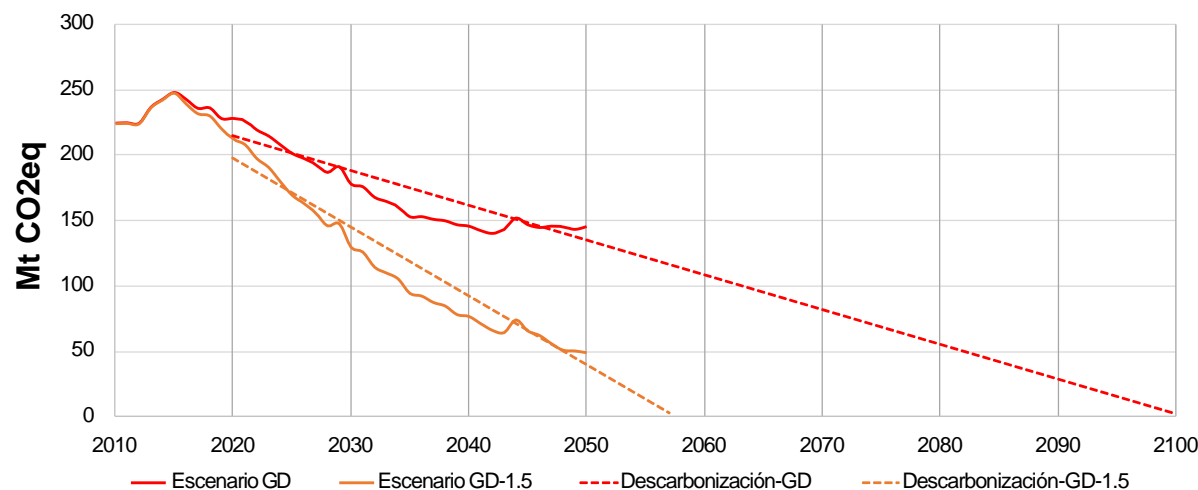
	Mt CO2e 2030	Mt CO2e 2050	Reducción 2050
NDC-Incondicional	266	340	22%
GD	177	145	66,9%

Medidas	Nuevas	NDC-2015
NDC-Incondicional		71
GD	45	86 (Act)

3.3 Brecha para la descarbonización

Se evaluó un escenario teórico adicional (GD-1.5) compatible con el escenario 1.5° requeridos por la ciencia, y en busca de una descarbonización a 2050 (o al menos de carbono neutralidad).

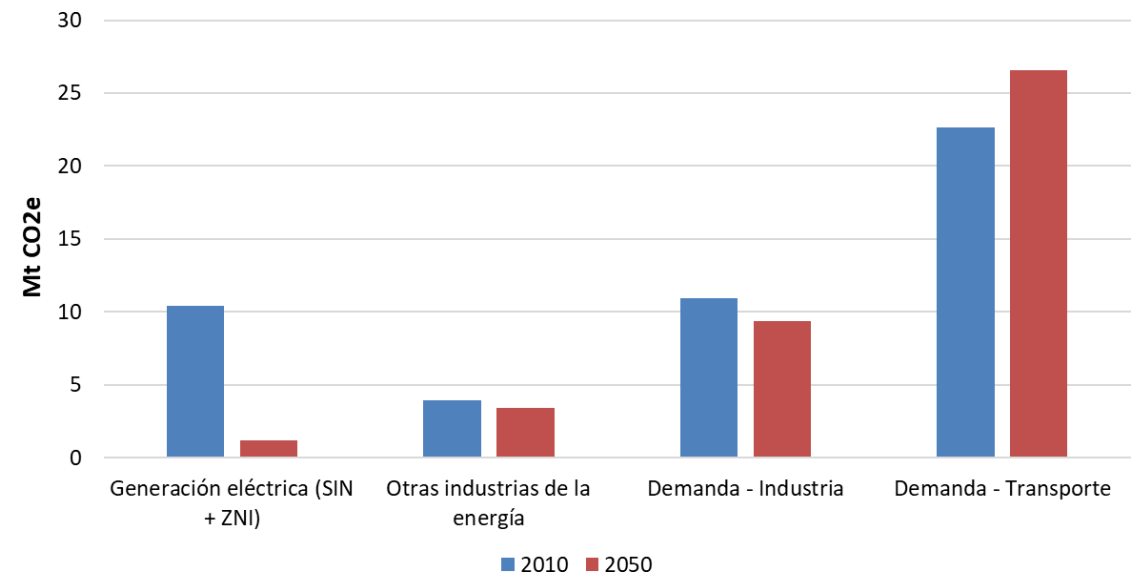
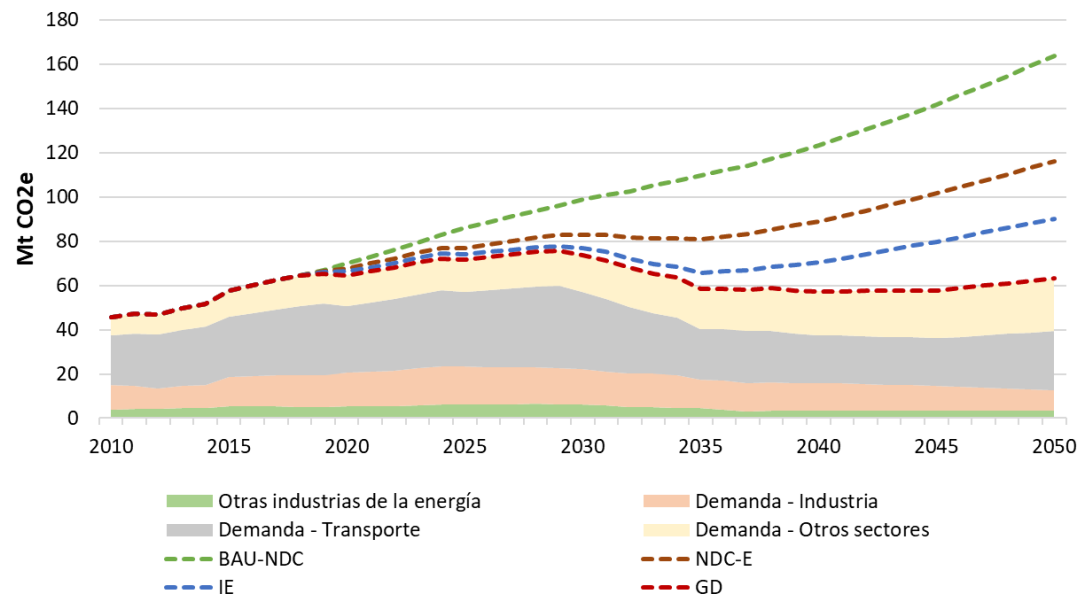
La brecha cubierta es de 95.6 Mt CO₂e en 2050, es decir, 15% más de reducción que la obtenida en el escenario GD



3.4 Oportunidades adicionales en el sector energía

- **Conclusiones del escenario GD**

- Sector transporte sigue siendo un reto en consumo final
- Generación eléctrica aporta significativamente al escenario de descarbonización
- Las mayores oportunidades de mitigación están en otros sectores diferentes al de energía



3.5 Competitividad de las opciones - Costo social el carbono

- Resumen resultados modelaje**

- Tasa de descuento 10%

	NDC-E*	IE*	GD*
Costo promedio ponderado de mitigación (USD/tCO _{2e})	-7.0	-1.5	4.8
Costo marginal de mitigación (USD/tCO _{2e})	20	70	144

(*) Costo marginal de mitigación excluyendo 2 medidas en el escenario NDC-E, una medida en el escenario IE, y una medida en el escenario GD

- Referencias costo social del carbono**

- Impuesto al carbono Colombia: 5-10 USD/tCO₂
- De [1] con una tasa de descuento del 3%

	USD/tCO _{2e}
SSP1	7.38
SSP2	6.77
SSP3	4.76
SSP4	5.45
SSP5	10.3

- Cepal [2]: 25.83 USD/tCO_{2e}. (Metanálisis)
- Pindyck: USD/tCO_{2e}. 80-100 (survey of experts)

1 Ricke K, Drouet L, Caldeira K, Tavoni M. Country-level social cost of carbon. Nat Clim Chang 2018;8:895–900. doi:10.1038/s41558-018-0282-y.

2 CEPAL. El costo social del carbono : una visión agregada desde América Latina 2019:47.

3 Pindyck RS. The social cost of carbon revisited. J Environ Econ Manage 2019;94:140–60. doi:10.1016/j.jeem.2019.02.003.

4. Instrumentos de política, financieros y económicos

- **Marco legislativo actual:**
leyes de cambio climático, de movilidad y 1715
- **Marco de política:**
cambio climático, PEN, PICC, otros
- Normas actuales funcionales (o instrumentales)
- Nuevas normas, finanzas del clima

Muchas normas existentes apoyarían la transición hacia un sistema energético bajo en carbono.



5. Recomendaciones

- Electrificación del transporte, comenzando con el masivo, el oficial y el público; y otras alternativas evaluadas. Una estrategia que jalonaría la modernización de la red y apoyaría la reactivación económica y creación de empleo formal.
- El gas natural como energético de soporte para la generación eléctrica, y de transición en la industria y en el transporte.
- La expansión eléctrica debe incorporar fuentes más limpias (con una capacidad técnicamente factible de renovables centralizada y descentralizada según condiciones de confiabilidad y seguridad de la operación del sistema), con firmeza respaldada además de con gas y carbón compensado, con biomasa y geotermia en el mediano y largo plazo.
- El potencial de renovables debe aprovecharse para Power to Gas y producción de Hidrógeno.
- Eficiencia en la industria manufacturera y sustitución hacia combustibles más limpios. Reúso de materiales.

5. Recomendaciones

- En el sector edificaciones se requiere: (i) eficiencia en equipos (aires acondicionados), (ii) cambios de diseños y materiales de construcción (nuevas tecnologías), (iii) nuevas tecnologías de suministro (distritos térmicos, sistemas integrados de energía) y (iv) *retrofitting*.
- Incentivar el diseño y construcción de ciudades sostenibles con consideraciones de economía circular.
- Investigación social e información que lleve a cambios razonables de comportamiento (mucho en transporte).
- Reducción de emisiones fugitivas y eficiencia en la producción primaria y secundaria de energéticos. Utilización del metano asociado al carbón.
- Compensaciones vía reforestación e I+D+i para desarrollar alternativas de captura y secuestro de carbono.

5. Recomendaciones

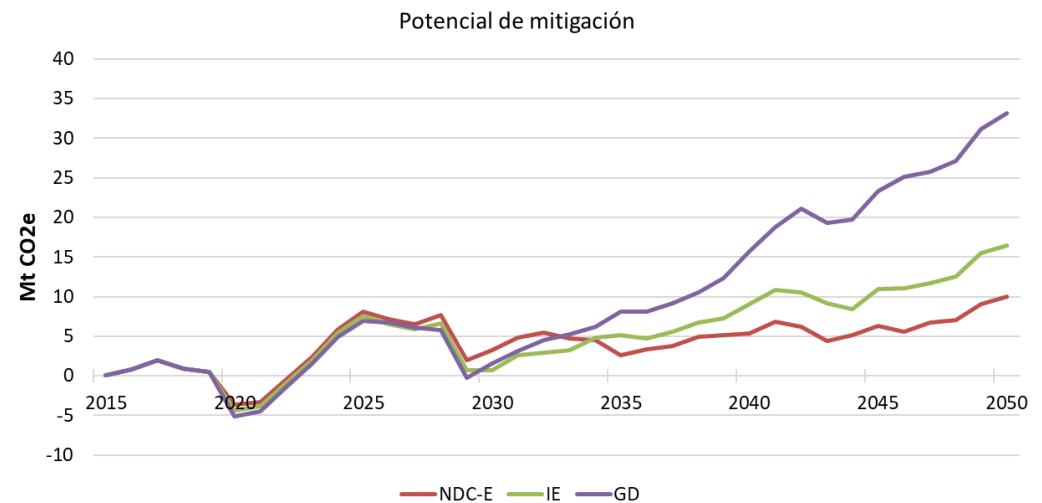
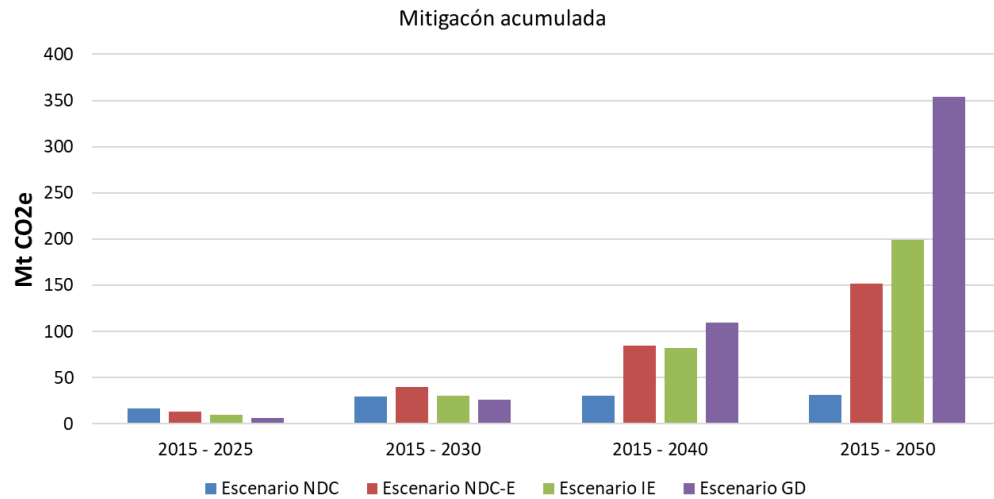
- Participación en la cadena de biomasa moderna y sistemas agrosilvopastoriles.
- Reducción de la deforestación con proyectos tipo Climate Teams. Apoyo al carbón verde.
- Apoyo al mantenimiento de la biodiversidad y mejora de la capacidad de adaptación.
- Uso de instrumentos económicos entre los que se pueden mencionar los impuestos y los mercados de carbono, estos últimos aún en discusión. Nuevos esquemas financieros.
- Marco institucional y regulatorio que garantice la coordinación sectorial y territorial de medidas con claros cobeneficios para la sociedad, la internalización de externalidades, la difusión de información, la capacitación y la investigación y desarrollo.

Opciones de mitigación sectoriales
Potencial de mitigación por escenario sectoriales

Potencial mitigación - Generación eléctrica

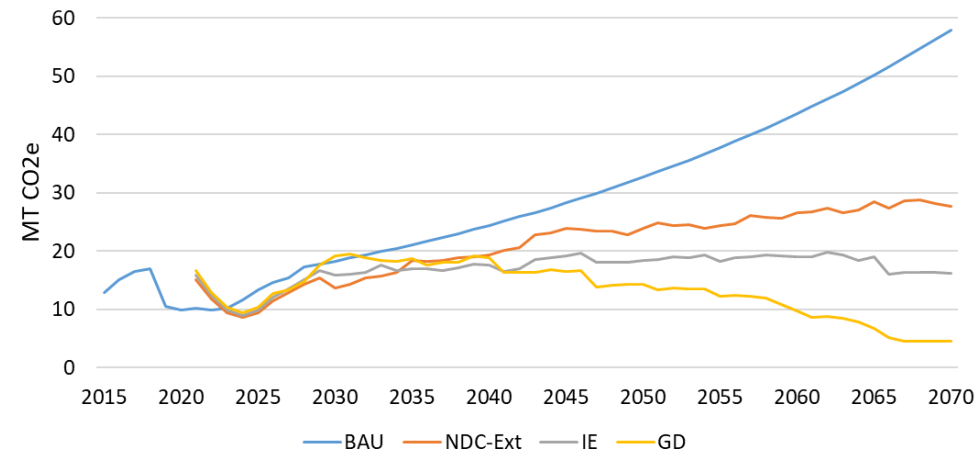
Potencial mitigación del NDC-E se mantiene constante

Potencial mitigación en IE y GD son tardías en la última década



Escenarios - Generación eléctrica

Potencial de mitigación y costo eficiencia de las medidas



Escenario	Acumulado mitigación 2050 (MTon CO2e)	Costo efectividad 2050 (usd/t CO2e)	Reducción 2050	Acumulado mitigación 2070 (MTon CO2e)	Costo efectividad 2070 (usd/t CO2e)	Reducción 2070
NDC-E	120.1	- \$ 2.3	29%	287.4	-\$ 1.01	53%
IE	161.2	\$ 33.2	43%	496	\$ 9.1	72%
GD	177.4	\$ 467.4	57%	698.6	\$ 55.1	82%

Transporte – Medidas de mitigación

Los análisis de este estudio se centraron en:

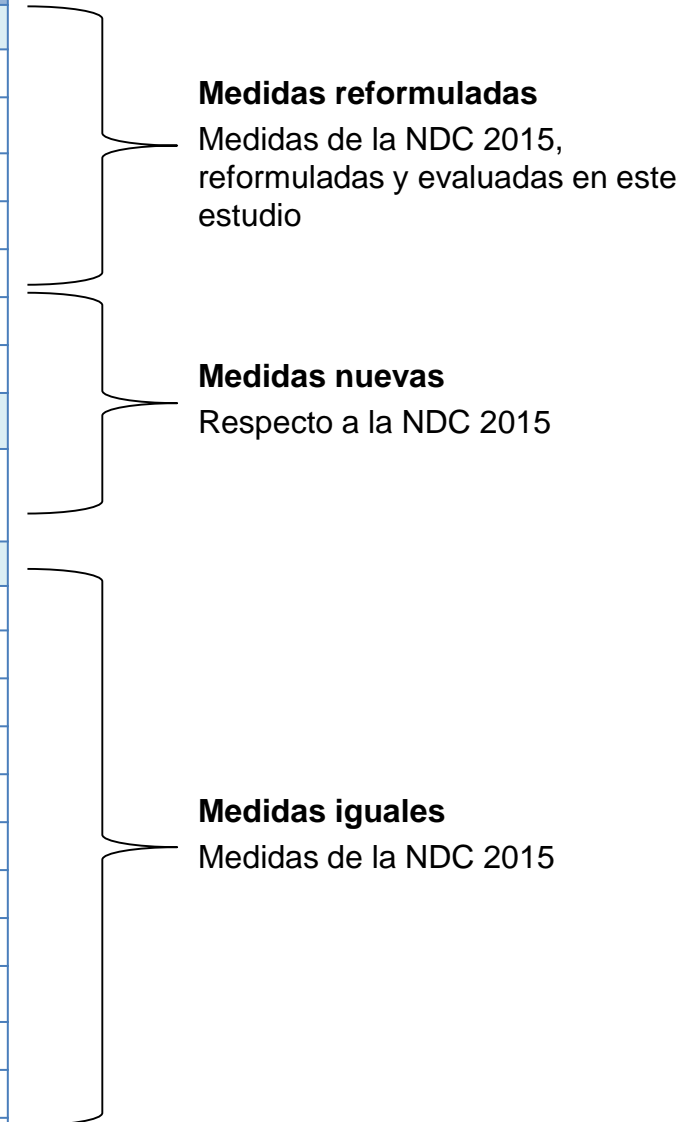
segmento carretero

transporte eléctrico

escenarios sustitución 100% de flota

- Acciones de mitigación incluidas en los escenarios:
 - medidas en transporte eléctrico de la NDC 2015: reformuladas y datos actualizados
 - nuevas medidas en transporte eléctrico e hidrógeno
 - otras medidas iguales a las de NDC 2015 (sin actualización)

Medidas	Potencial acumulado 2050 (CO ₂ e 10 ⁶)	Costo eficiencia (USD/t CO ₂ e)
Transporte eléctrico		
Taxis: 100% de los vehículos son eléctricos desde 2035	45	-40
Transporte público: 100% de los buses son eléctricos desde 2035		
<i>Buses</i>	123	-35
<i>Microbuses</i>	42	-76
<i>Articulados</i>	18	-30
Privados: 100% de los vehículos son eléctricos desde 2035	215	139
Transporte carga: 100% de los utilitarios son eléctricos desde 2035	6	94
Transporte a hidrógeno		
Transporte carga: los camiones interurbanos de mayor tamaño son a hidrógeno desde 2035 (6% de la flota total de carga)	59	146
Medidas complementarias de la NDC		
Taxis híbridos	11	-38
Sistemas públicos de bicicletas	17	-24
Cobros por congestión	3.4	<1
Mejoras en flota de carga		
<i>Chatarrización</i>	18	-59
<i>Renovación</i>	18	-10
<i>GNL</i>	22	-23
<i>GNC</i>	13	9
Sustitución de carga carretera por modos férreo y fluvial		
<i>Multimodal carretero-férreo</i>	5	13
<i>Multimodal carretero-fluvial</i>	13	-23
Mejores estándares de rendimiento para buses interurbanos	19	-41



[1] En la costo-eficiencia que se presenta en esta tabla no se incluye el costo de los cobeneficios.

[2] Estas medidas hacen parte de la NDC y para este estudio no se modificó el análisis de costo eficiencia. Únicamente se modificaron y actualizaron las relacionadas con transporte eléctrico y a hidrógeno.

Medidas reformuladas

Reformuladas y evaluadas en este estudio

Medidas originales

Metas y valores según resultados NDC 2015

Medidas	Meta	Potencial acumulado 2050 (CO ₂ e 10 ⁶)	Costo eficiencia (USD/t CO ₂ e)	Meta	Potencial acumulado 2050 (CO ₂ e 10 ⁶)	Costo eficiencia (USD/t CO ₂ e)
Transporte eléctrico						
Taxis	100% de los vehículos son eléctricos desde 2035	45	-40	inicia con sustitución 10% en 2023 y aumenta hasta 20% en 2050	10.6	-8.6
Transporte público colectivo y masivo						
<i>Buses ciudades grandes</i>	100% de los vehículos son eléctricos desde 2035	123	-35	inicia con sustitución 15% en 2023 y aumenta hasta 50% en 2050	15.2	0.14
<i>Buses ciudades intermedias</i>				inicia con sustitución 15% en 2023 y aumenta hasta 30% en 2050	16.8	206.4
<i>Microbuses</i>	100% de los vehículos son eléctricos desde 2035	42	-76	n.a	n.a	n.a
<i>Articulados</i>	100% de los vehículos son eléctricos desde 2035	18	-30	inicia con sustitución 15% en 2023 y aumenta hasta 75% en 2050	8.8	56.8
Privados	100% de los vehículos son eléctricos desde 2035	215	139	30% de la flota en 2050	37.5	64.3

Escenarios - Transporte

Escenario **NDC**

Medidas con costo <20 usd/tCO₂e
 Transporte ≤13 usd/tCO₂e
 Mayor viabilidad de implementación

Escenario **NDC+**

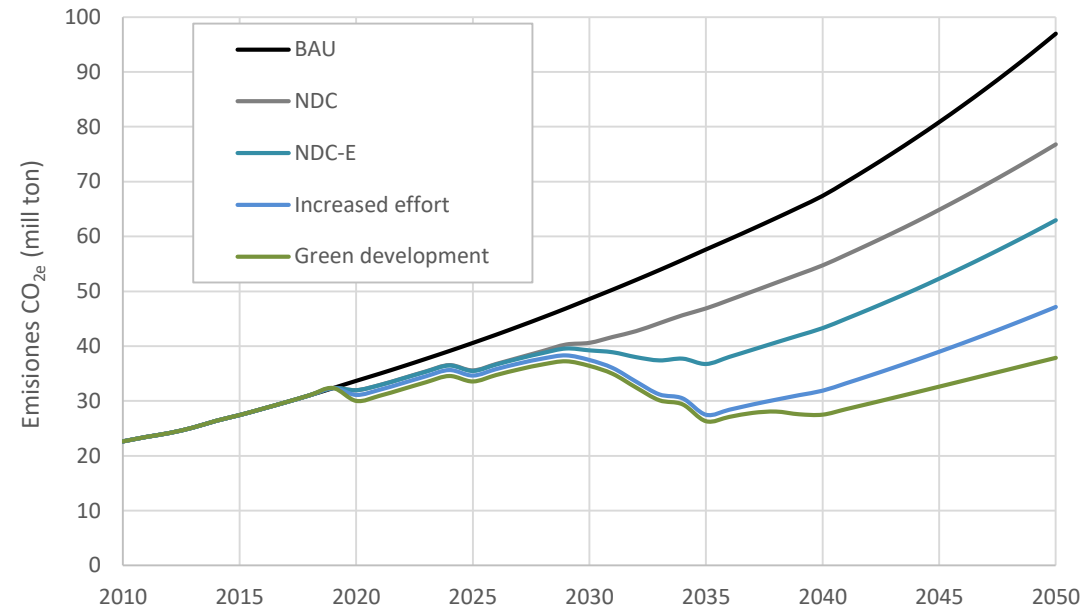
Medidas con costo <139 usd/tCO₂e
 NDC + Mayor electrificación del transporte

Escenario **IE**

Medidas con costo <139 usd/tCO₂e
 NDC + Máx. potencial de electrificación del transporte, en categorías según literatura

Escenario **GD**

Medidas con costo ≤ 146 usd/tCO₂e
 IE + H₂ en carga

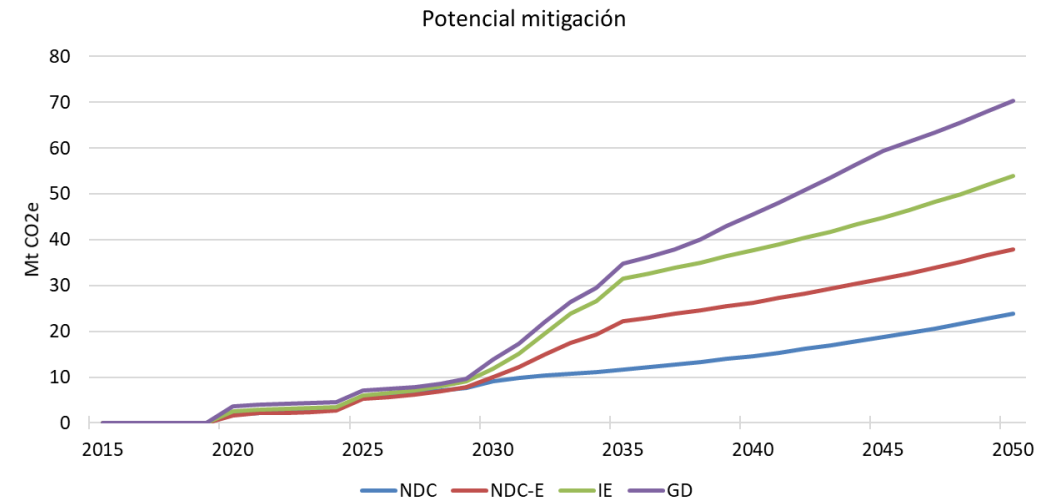
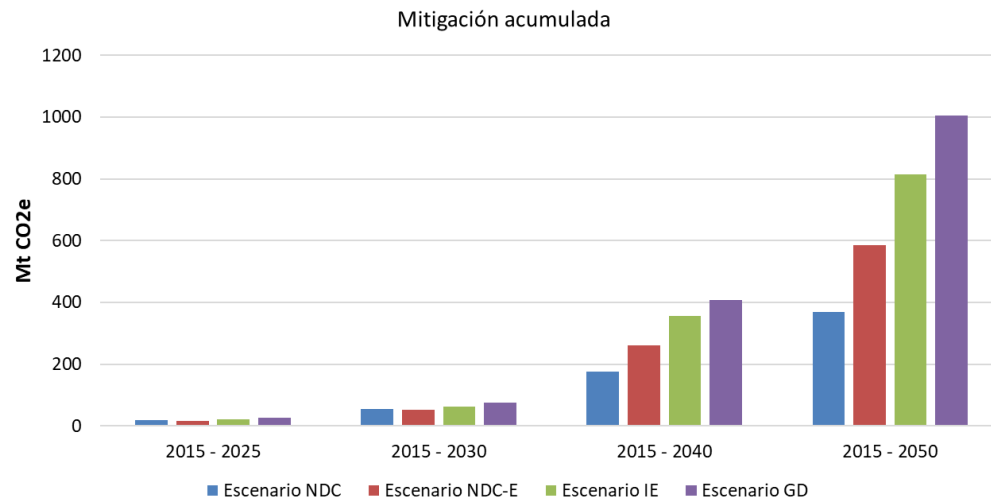


Escenario	CAGR 2020-2050	Reducción 2030 respecto al BAU	Reducción 2020-2050
BAU	3.59%		
NDC	2.96%	16.5%	15.0%
NDC+	2.28%	19.3%	25.2%
IE	1.39%	22.9%	36.0%
GD	0.78%	25.2%	40.5%

Escenarios - Transporte

La desviación en respecto al BAU varía entre 16.5% y 25.2% en 2030 en los cuatro escenarios; y entre 20.9% y 61% en 2050.

La mayor parte del potencial de mitigación de los escenarios IE y GD se logra en la última década del periodo de análisis.



Escenarios - Transporte

Flota eléctrica:

NDC-E:

Vehículos livianos: 8 millones en 2050

Taxis: 230,000 vehículos en 2050

Buses: 190,000 buses y microbuses

Flota utilitaria: 160,000 vehículos en 2050.

IE:

Vehículos livianos: 26.4 millones en 2050

Taxis: 464,000 vehículos en 2050

Buses: 270,000 buses y microbuses

Flota utilitaria: 527,000 vehículos en 2050.

GD

Eléctricos: igual a IE

H2: 57,500 camiones hidrógeno en 2050.

Opciones de Mitigación - Edificaciones

Escenario NDC-E

La gran mayoría de edificaciones que se construirán utilizarán cemento como material constitutivo dentro de su estructura física.

Las edificaciones de vivienda a desarrollar en las próximas décadas seguirán los lineamientos establecidos por la resolución 549 de 2015 del Ministerio de Vivienda y el CONPES (3919 de 2018) de edificaciones.

Las tendencias relacionadas con el diseño y la construcción de edificaciones no van a sufrir cambios significativos durante las próximas décadas.

Medida de mitigación evaluada		Tipo
1	Cambio de producción por vía húmeda a vía seca en la producción de cemento	Eficiencia energética
2	Sustitución de bombillos incandescentes en edificaciones de viviendas	Eficiencia energética
3	Sustitución de sistemas de HVAC de baja eficiencia en viviendas	Eficiencia energética
4	Sustitución de estufas de gas natural de baja eficiencia en viviendas	Eficiencia energética
5	Ejecución de código de construcción que considere mejoras en diseño y arquitectura en viviendas nuevas	Cambios de hábitos de consumo

Opciones de Mitigación - Edificaciones

Escenario IE

Se requiere la sustitución de energéticos en la producción de cemento

Las edificaciones de tipo comercial en las próximas décadas seguirán los lineamientos establecidos por el CONPES (3919 de 2018)

Las edificaciones del sector comercial nuevas deben tener mejores materiales de construcción en sus componentes constitutivos (CONPES 3919).

En edificaciones de tipo vivienda, se considera la sustitución de energético en el calentamiento de agua, más precisamente, el uso de energía solar con esta finalidad.

Medida de mitigación evaluada		Tipo
6	Sustitución de carbón por biomasa en hornos de producción de clínker	Sustitución de combustibles
7	Uso de energía solar para el calentamiento de agua en viviendas	Sustitución de combustibles
8	Sustitución de sistemas de iluminación en edificaciones comerciales	Eficiencia energética
9	Mejores materiales de construcción para construcción de fachadas y muros interiores en edificaciones de tipo comercial	Cambios de hábitos de consumo
10	Ejecución de código de construcción que considere mejoras en diseño y arquitectura en edificaciones de tipo comercial nuevas	Cambios de hábitos de consumo
11	Mejoras en la infraestructura de edificaciones existentes. Edificaciones de tipo comercial	Introducción de nuevas tecnologías

Opciones de Mitigación - Edificaciones

Escenario GD

CCS a partir de algas y CCS a partir de almacenamiento geológico.

Sustitución de equipos, con el fin de aumentar la eficiencia energética en iluminación y HVAC.

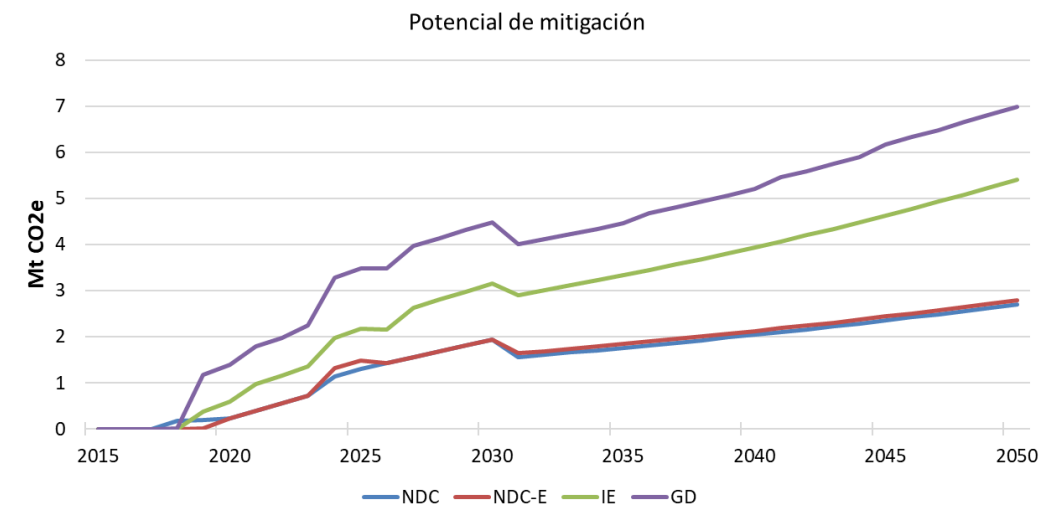
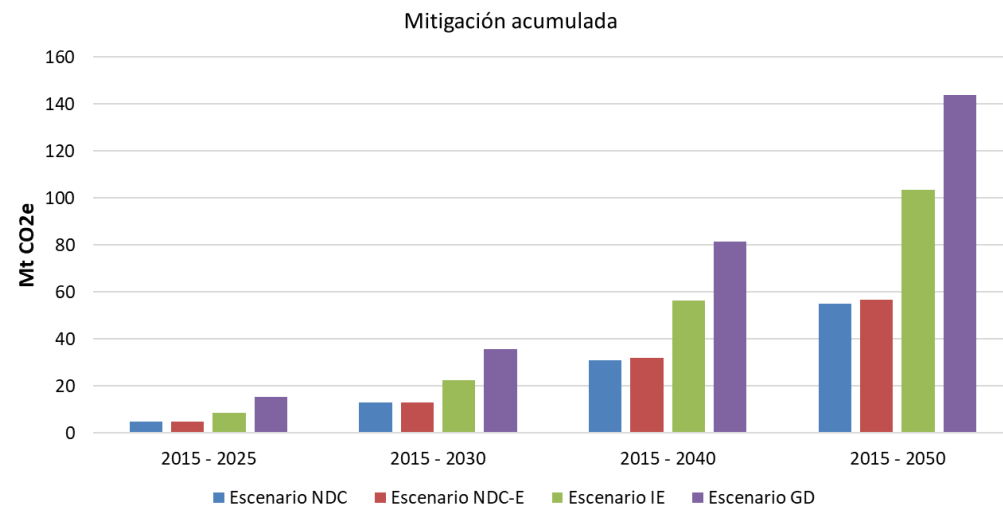
En las edificaciones de vivienda que conforman el stock actual, se consideran medidas de renovación (retrofit) relacionadas con mejoras en infraestructura y arquitectura de las unidades habitacionales (15 capitales)

Instalación de paneles fotovoltaicos (PV) y paneles fotovoltaicos térmicos (PVT).

	Medida de mitigación evaluada	Tipo
12	Captura de CO2 en el proceso de producción del cemento mediante el uso de algas	Introducción de nuevas tecnologías
13	Captura de CO2 en el proceso de producción del cemento mediante el almacenamiento geológico	Introducción de nuevas tecnologías
14	Renovación (retrofit) en viviendas existentes extendida a 12 ciudades capitales	Eficiencia energética
15	Sustitución de HVAC en edificaciones de tipo comercial	Eficiencia energética
16	Renovación (retrofit) en viviendas existentes en Bogotá, Medellín, y Barranquilla.	Eficiencia energética
17	Ejecución de código de construcción que considere mejoras en diseño y arquitectura en viviendas nuevas extendida a 12 ciudades capitales	Introducción de nuevas tecnologías
18	Instalación de tecnologías de PV y PVT en edificaciones de vivienda y comerciales	Introducción de nuevas tecnologías

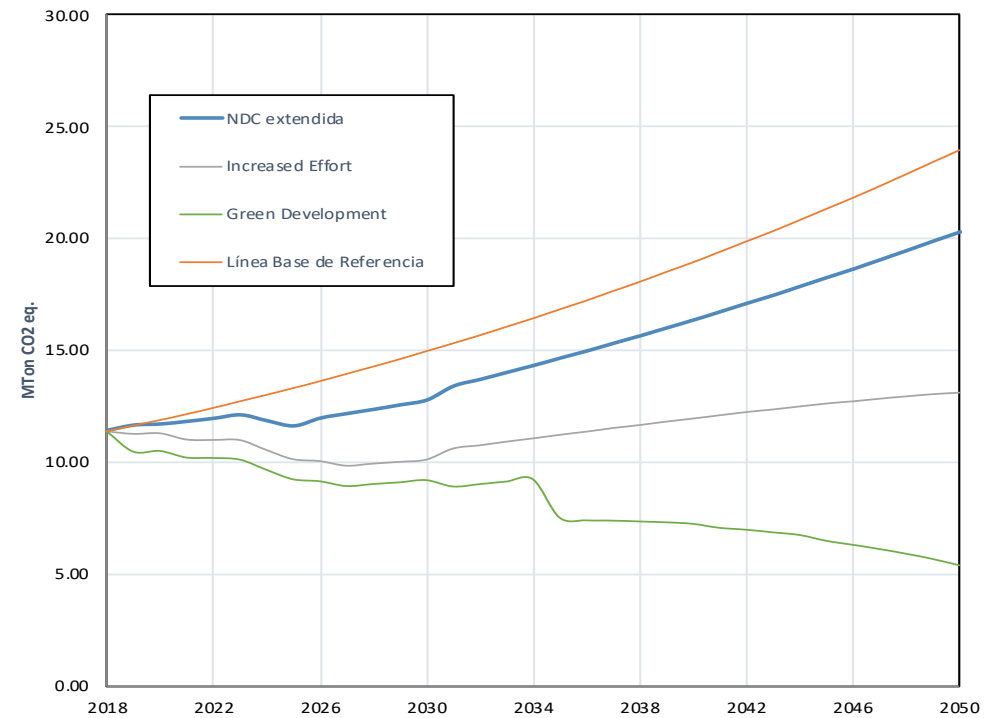
Escenarios - Edificaciones

La implementación de código de construcción y medidas “retrofit” en los sectores residencial y comercial juegan un papel crucial en la expansión del potencial de mitigación a lo largo de los escenarios analizados



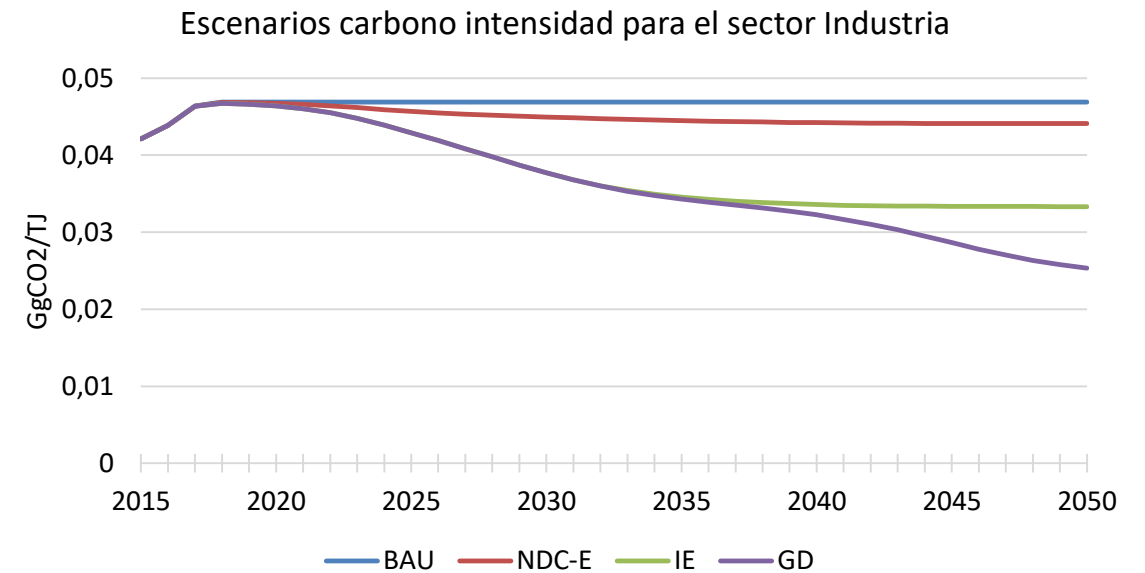
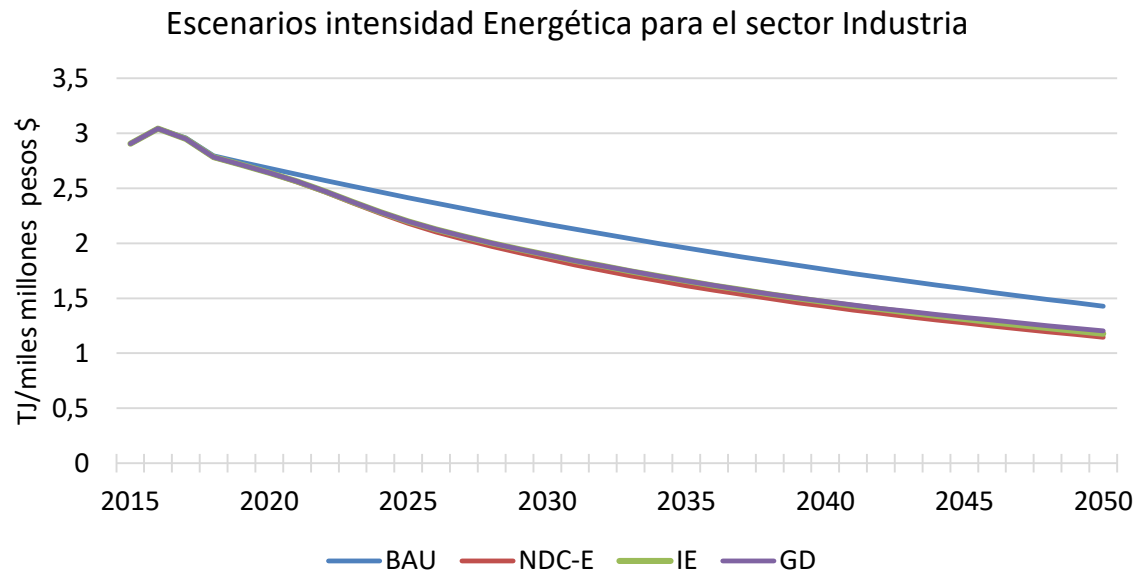
Escenarios - Edificaciones

Trayectoria de emisiones



Intensidad de energía y de carbono - Industria

- La descarbonización del sector industrial es una combinación de esfuerzos en eficiencia y sustitución de energéticos

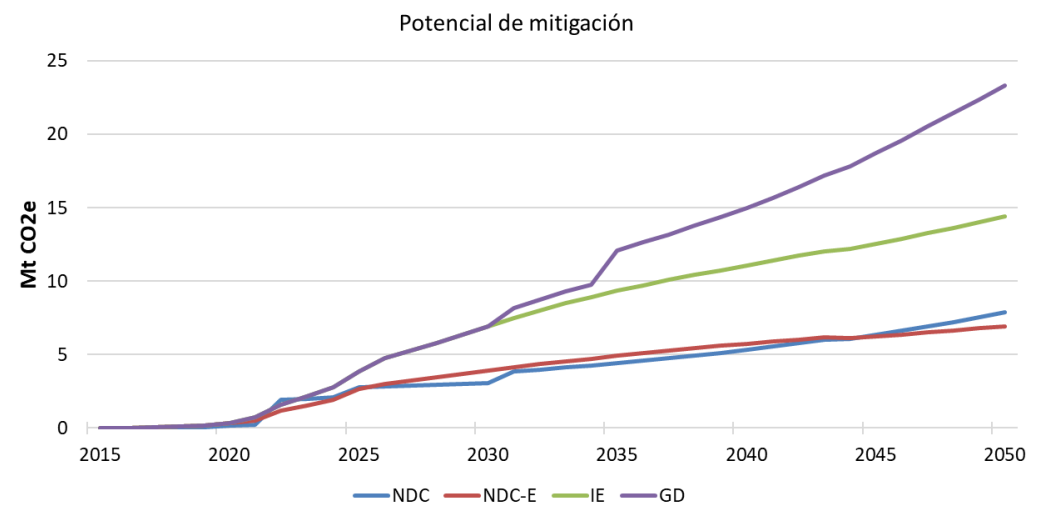
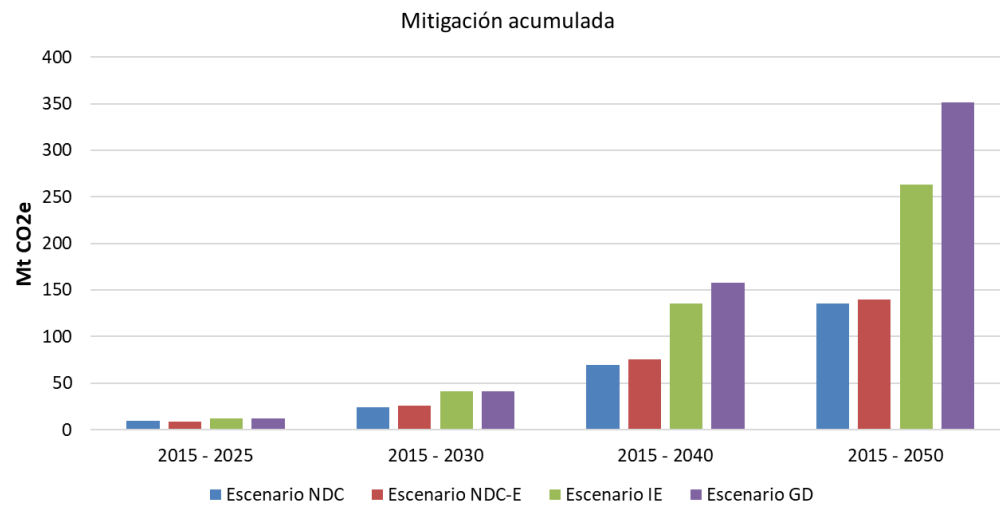


Opciones de mitigación - Industria

- Se identifica el bagazo (o cualquier otra biomasa) como elemento transformador de la canasta energética en la industria para sustituir carbón en la generación de calor, además con co-beneficios en los sectores agroforestales.
- El gas natural se identifica como energético “puente” coadyuvante de los esfuerzos de mitigación en el mediano plazo. Eventualmente su consumo disminuye el largo plazo (en el escenario GD).
- Se identifica el uso del hidrógeno junto a la biomasa como aquellos que pueden desentrañar el lock-in de los combustibles fósiles (carbón, gas natural) para la generación de calor.
- La costo eficiencia de la implementación de hidrógeno indica que su implementación al día de hoy requiere de una señal sustancial en los precios del carbono, y por tanto, la necesidad de investigación y desarrollo en toda la cadena de valor del hidrógeno.

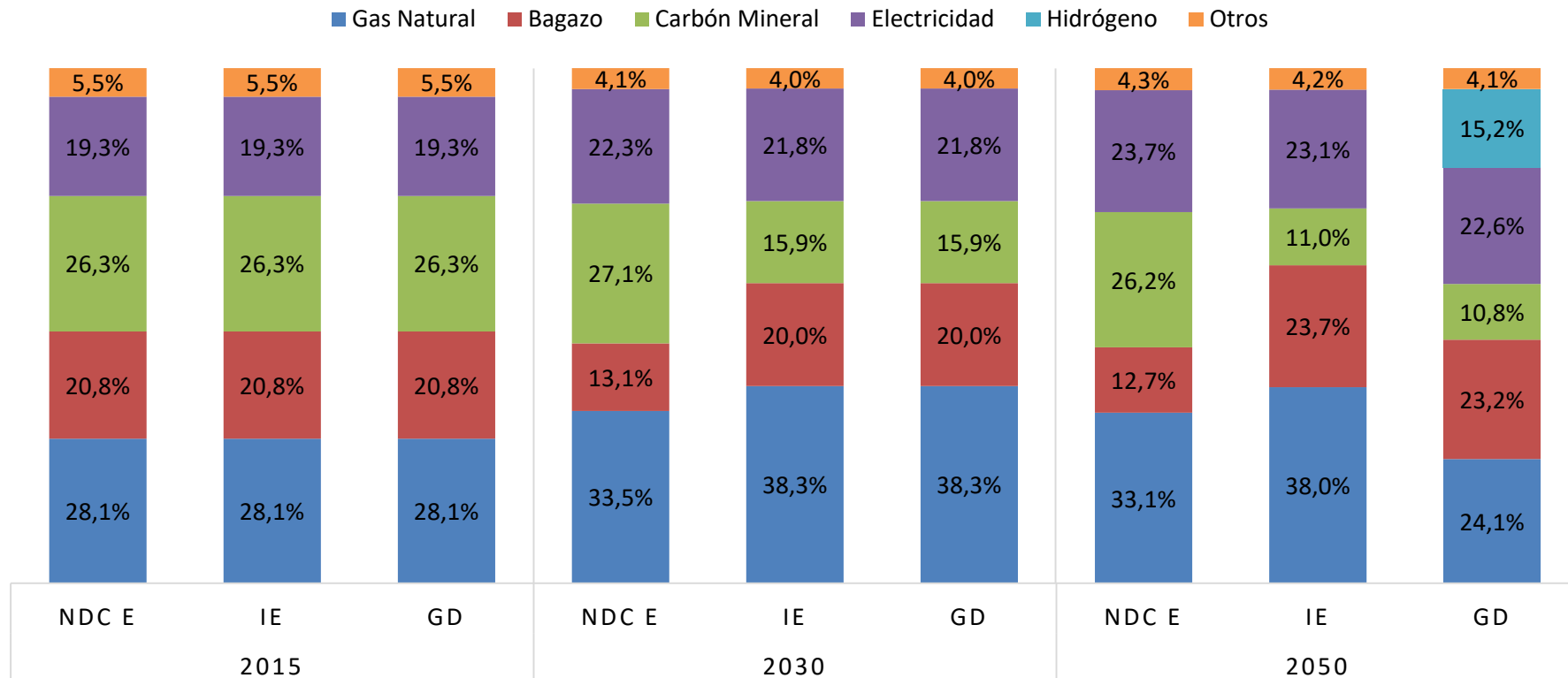
Potencial mitigación - Industria

Combinación de medidas de eficiencia energética, sustitución de combustibles y uso de hidrógeno para generación de calor, permiten aumentar la ambición de mitigación en los diferentes escenarios



Canasta de energéticos - Industria

CANASTA ENERGÉTICOS INDUSTRIA



Comparación de los escenarios con las trayectorias teorías requeridas por la ciencia

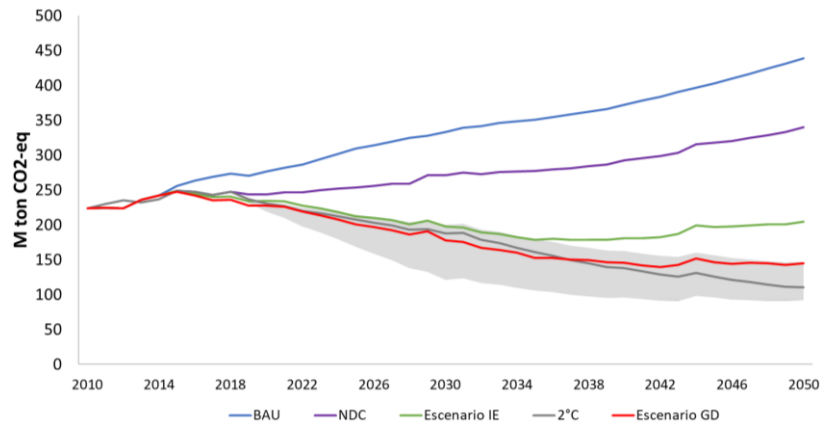
Comparación de los escenarios con las propuestas del PEN

Datos adicionales del escenario GD1.5

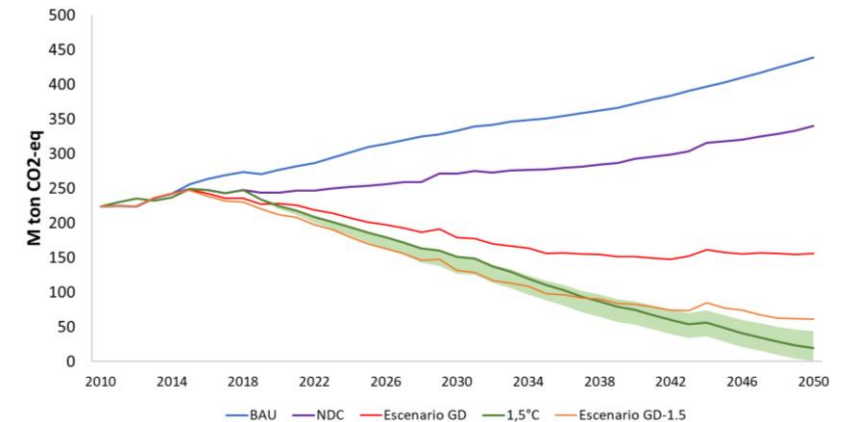
Datos adicionales en el cálculo de los escenarios de transporte

Comparación con los escenarios requeridos por la ciencia

- Escenarios GD es compatible con el limite superior del Escenario 2°C
- Escenarios GD1.5 es compatible con el limite superior del Escenario 1.5°C

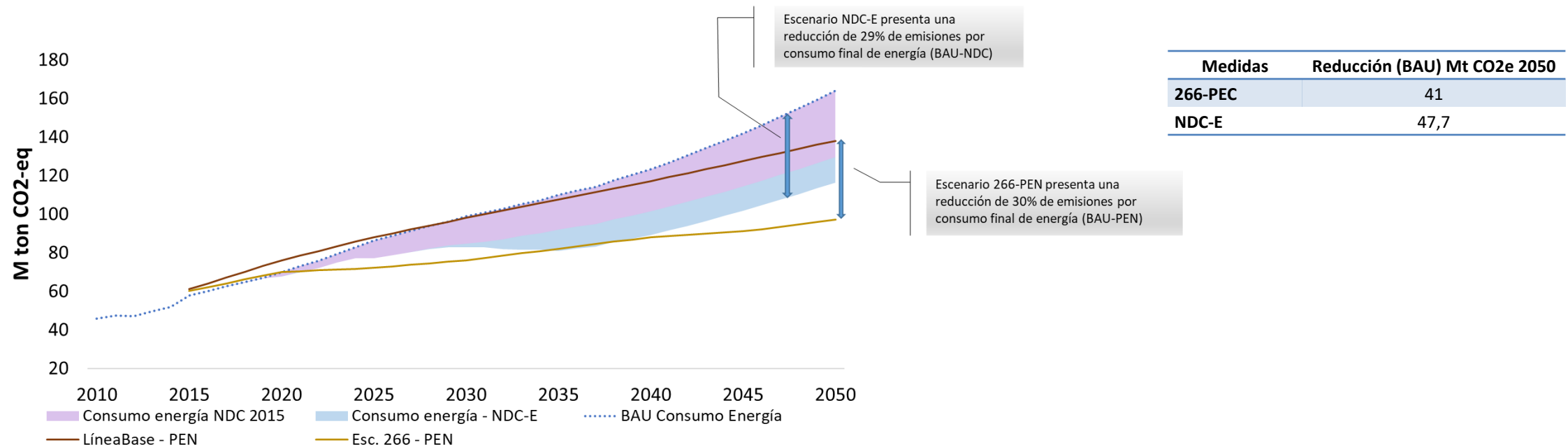


Brecha Mt CO2e	Esc 2°C	Esc 1.5°C
IE	94	184
GD	35	125
GD-1.5	-60	30



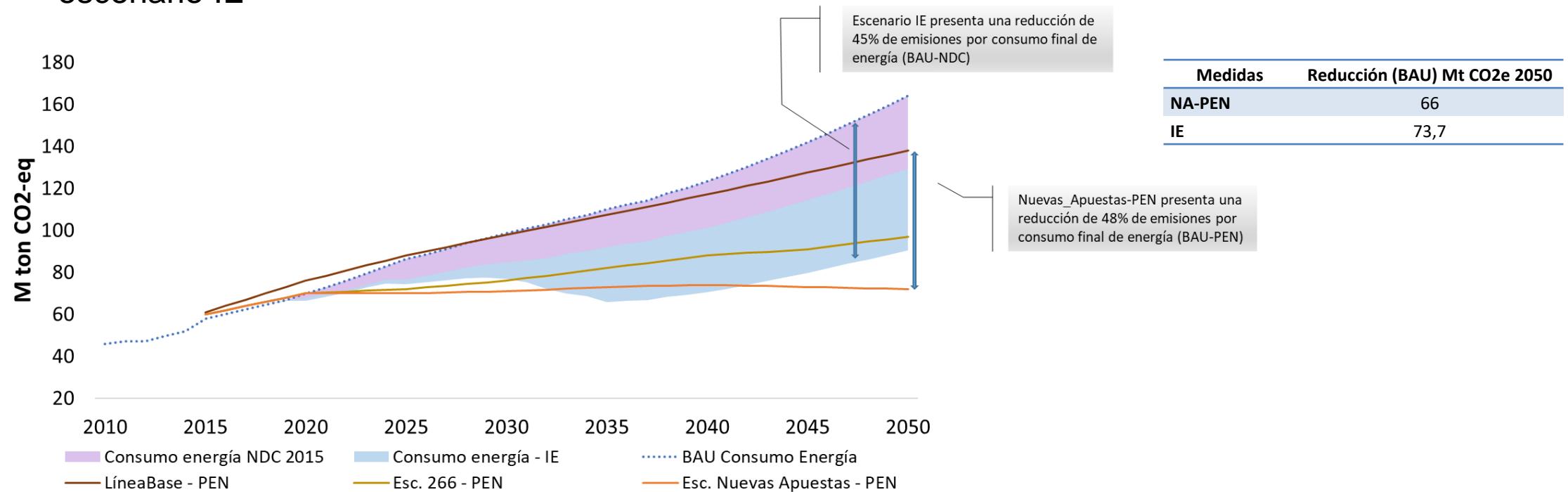
Comparación de los escenarios con las propuestas del PEN

- Emisiones por consumo de energía – Análisis PEN vs emisiones por consumo final en el escenario NDC-E



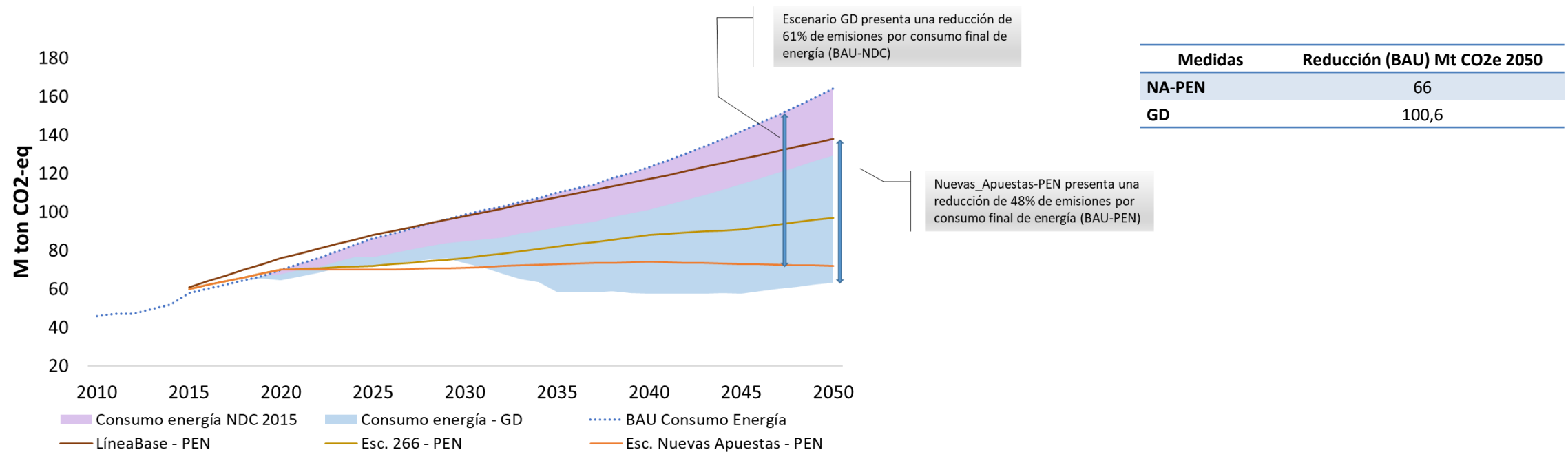
Comparación de los escenarios con las propuestas del PEN

- Emisiones por consumo de energía – Análisis PEN vs emisiones por consumo final en el escenario IE



Comparación de los escenarios con las propuestas del PEN

- Emisiones por consumo de energía – Análisis PEN vs emisiones por consumo final en el escenario GD

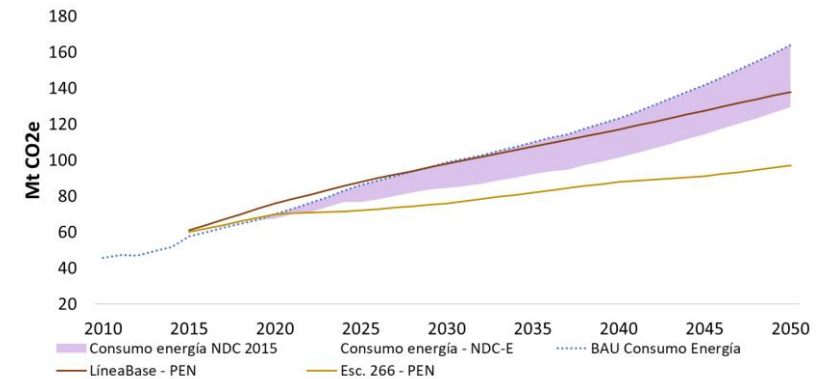
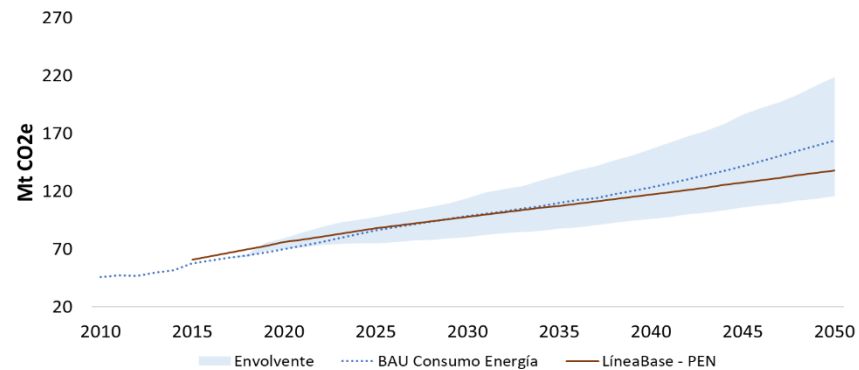


Comparación de los escenarios con las propuestas del PEN

- Diferencias en los supuestos

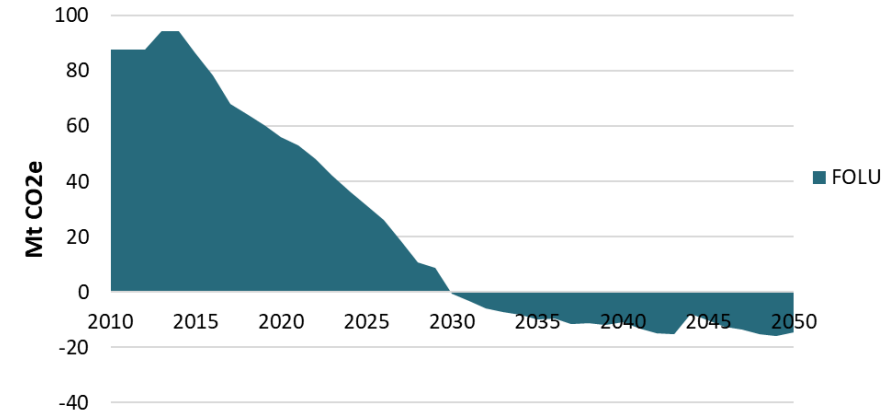
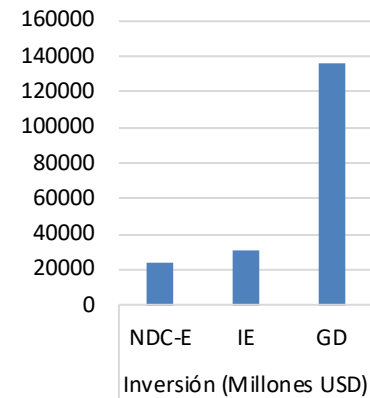
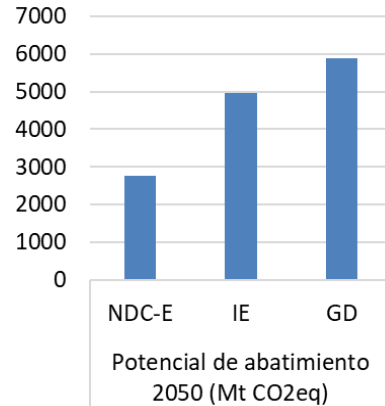
	PEN 266	PEN NA	Estudio U. Andes	Observaciones
Reducción emisiones GEI	30%	48%	Escenarios	Viabilidad de las descarbonización
PIB	3,8%. Pesimista: 2,5%, optimista 4,1%	3,8%. Pesimista: 2,5%, optimista 4,1%	4 fuentes: 4% MCV, 3,5% FMI, 3,4% MHCP, 3,2% UPME	Referencia Marco Fiscal de Mediano Plazo (promedio de 3,4%)
Crecimiento anual población 2020-2050	0,20%	0,20%	0,46%	Linea base 2018 - UPME 48,3 M vs Estudio 45,5 M

- Envolvente de emisiones usando la identidad Kaya, solo por consumo final de energía, vs las emisiones de los escenarios del PEN y la meta NDC 2015



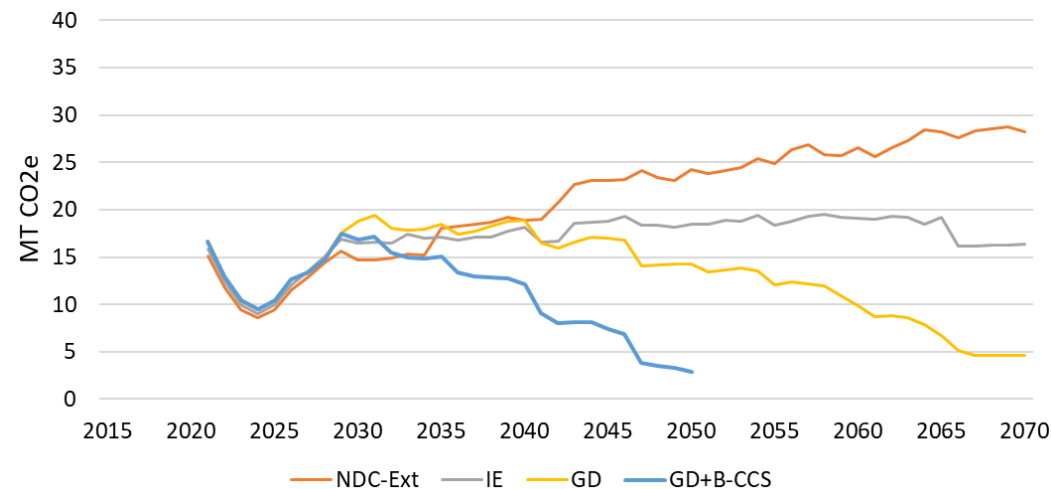
Datos adicionales del escenario GD-1.5

- Existen oportunidades para llenar la brecha en el sector energía y procesos industriales, sin embargo, es necesario considerar el esfuerzo en términos de las barreras de implementación de medidas más ambiciosas.
- Sector FOLU debe pasar de emitir a absorber emisiones desde 2030
- Barrera de los costos de inversión. Mayores costos de inversión con ganancias marginales.



Datos adicionales del escenario GD-1.5

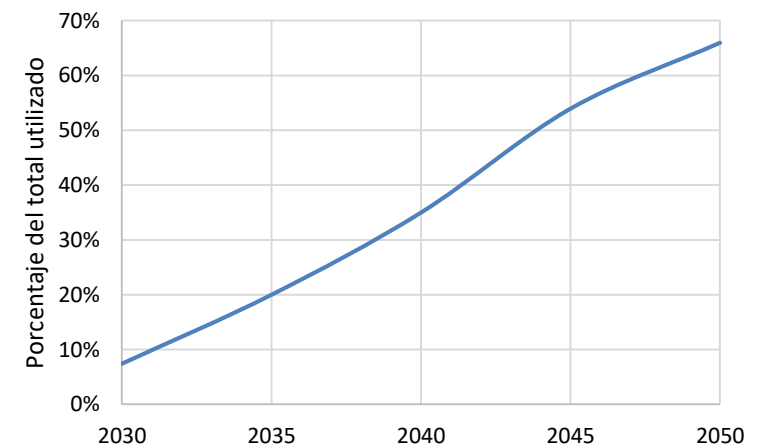
- Opciones de mitigación adicional en generación eléctrica mediante el uso de biomasa y CCS (BECCS)
- Tecnología disponible a partir del 2030
- Se asumió que el total de la generación con biomasa del escenario GD se hace con BECCS. Se genera 4% de la electricidad en 2040 y se llega a 11% del total en 2050



Datos adicionales del escenario GD-1.5

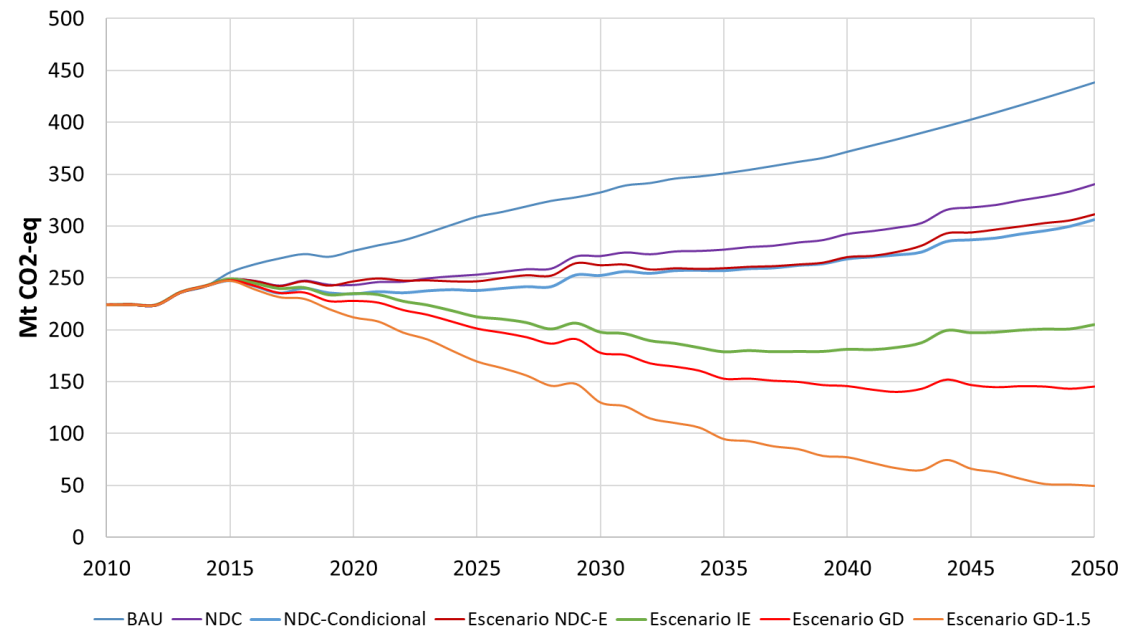
Opciones de mitigación con Bio-Kerosene

- Se supone una trayectoria de reemplazo de jet fuel-kerosene (fósil) para la aviación por su equivalente renovable obtenido de la biomasa
 - Las tecnologías disponibles a partir de 2030 incluyen:
 - (1) Hidro-procesamiento de aceites y grasas (uso de aceite de palma e hidrógeno)
 - (2) Proceso Fischer-Tropsch (ruta de gasificación de la biomasa lignocelulosa)
 - (3) Pirolisis catalítica (ruta pirolisis de la biomasa lignocelulosa)
 - Se supone un rápido desarrollo tecnológico: (1) disponible a partir de 2030; (2) a partir de 2040 y (3) a partir de 2035
 - Se supone una trayectoria de sustitución sobre el total de la producción de jetfuel renovable



Datos adicionales del escenario GD-1.5

Comparación de todas las trayectorias de emisiones obtenidas en el estudio.



	Mt CO2e 2030	Mt CO2e 2050	Reducción 2050
BAU	332	438	
NDC-Incondicional	266	340	22%
NDC-Condional	252	306	30.1%
NDC-E	262	311	29%
IE	197	204	53.4%
GD	177	145	66,9%
GD-1.5	130	50	88,7%

	Mt CO2e 2050	Reducción 2050
2C	110	74.9%
1,5C	20	95.4%

Medidas	Nuevas	NDC-2015
NDC-Incondicional		71
NDC-Condional		88
NDC-E	22	67 (Act)
IE	32	86 (Act)
GD	45	86 (Act)
GD-1.5	Sin definir	