



Estimación del Precio Social del CO₂

Santiago, Febrero 2017

División de Evaluación Social de Inversiones

Subsecretaría de Evaluación Social

Sistema Nacional de Inversiones

Contenido

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUCCIÓN | 2 |
| 2. PRECIO SOCIAL DEL CARBONO PARA SER UTILIZADO EN LA EVALUACIÓN SOCIAL DE PROYECTOS E INVERSIÓN..... | 4 |
| 3. MARCO TEÓRICO..... | 6 |
| 2.1. Costo Social del Carbono..... | 6 |
| 2.2. Precio sombra de carbono | 7 |
| 4. Propuesta Metodológica para Chile..... | 8 |
| 4.1 MAPS Chile | 9 |
| 4.2 Análisis de los escenarios de MAPS Chile..... | 10 |
| 4.3 Curva de costo abatimiento marginal | 12 |
| 4.4 Cálculo del precio sombra | 14 |

1. INTRODUCCIÓN

El presente documento se basa en el estudio “Integrando el Cambio Climático en el Sistema Nacional de Inversión Pública de Chile”¹, y corresponde a un resumen del informe completo, a modo de reportar el trabajo realizado para la obtención de un Precio Social atribuible a cambios en emisiones de CO₂ en los proyectos de inversión pública.

El Sistema Nacional de Inversiones de Chile tiene por objetivo contribuir a mejorar la calidad de la inversión pública nacional, mediante la asignación de los recursos públicos a iniciativas que generan mayor bienestar a la sociedad, medido a través de una mayor rentabilidad social y económica de acuerdo a estándares técnicos, y en conformidad con los lineamientos de las políticas de Gobierno (Ministerio de Desarrollo Social, 2015).

En 2013, la División de Evaluación Social de Inversiones del Ministerio de Desarrollo Social realizó una estimación de un precio social de carbono con el objetivo de incorporar dentro de la evaluación el costo (o beneficio) social que tiene aumentar (o disminuir) las emisiones de gases de efecto invernadero de un determinado proyecto. La metodología seleccionada para estimar el precio social del carbono consistió en utilizar el precio de mercado como proxy arrojando valores de US\$4,05/tCO₂ para el año 2013², y US\$8,44/tCO₂ para el año 2015³.

Sin embargo, el precio del mercado del carbono actual fracasa en reflejar el real valor de la tonelada de dióxido de carbono transada, debido a que este mercado no es competitivo y posee restricciones en su oferta y demanda. Por otro lado, la única metodología de evaluación social de proyectos que incorpora de manera explícita el beneficio por reducción de emisiones de gases de efecto invernadero es la de transporte ferroviario.

Sin embargo, no existe una directriz transversal que incentive a los gestores y formuladores de proyecto a estimar el impacto positivo o negativo que generan los respectivos proyectos en las emisiones de gases de efecto invernadero, y por lo tanto, no se observa una aplicación intensiva del precio social de

¹ POCH Ambiental S.A. y Embajada Británica en Chile, 2016. Puede revisarse el estudio completo en: <http://sni.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/evaluacion-iniciativas-de-inversion/evaluacion-ex-ante/metodologias-precios-sociales/>

² (Ministerio de Desarrollo Social, 2013)

³ (Ministerio de Desarrollo Social, 2015)

carbono publicado por el Ministerio de Desarrollo Social al año 2016. Esto se suma a que el actual precio es bajo en comparación con precios sociales utilizados por otros países, por lo que su impacto en la evaluación de proyectos podría ser marginal, lo que tampoco genera incentivos a los formuladores para cuantificar y valorar este efecto en los proyectos.

Así, surge la necesidad de proponer una nueva metodología de cuantificación de un precio social de carbono para Chile, y estimar su valor con la metodología propuesta.

La importancia de un nuevo precio social del carbono se contextualiza en el Acuerdo de París, realizado en diciembre de 2015, en el cual 195 países, entre ellos Chile, se comprometieron a reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero para limitar el aumento de temperatura del planeta por debajo de 2°C, e incluso por debajo de los 1,5°C. El 05 de octubre de 2016 se lograron los requisitos mínimos de ratificación para la entrada en vigor del Acuerdo de París bajo la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático, por lo que el Acuerdo entró en vigor el 04 de noviembre de 2016. Esto demuestra el compromiso político de todos los países del mundo de actuar con urgencia para frenar el cambio climático.

Bajo el Acuerdo de París, los países son responsables de tomar acción y reportar el progreso de sus acciones. Los países presentaron sus mejores esfuerzos a través de "contribuciones determinadas a nivel nacional" y poseen la obligación de implementar dichas contribuciones y reportar el avance de las mismas. Las contribuciones son conocidas por la sigla NDC (nationally determined contribution) e incluyen compromisos sobre: mitigación, adaptación, construcción y fortalecimiento de capacidades, desarrollo y transferencia de tecnologías, y financiamiento.

Los países revisarán sus metas al alza cada cinco años, con la idea de ir aumentando el compromiso de reducción en el tiempo para asegurar que se alcanza el objetivo del Acuerdo. Esto debido a que las metas de mitigación agregadas de todos los países no son suficientes para mantener la trayectoria de temperatura por debajo de los 2°C.

Además, los países se proponen que sus emisiones alcancen un máximo lo antes posible, reconociendo que esta tarea llevará más tiempo para los países en desarrollo.

Por último, los países se comprometen a lograr “un equilibrio entre los gases emitidos y los que pueden ser absorbidos” en la segunda mitad de siglo, lo que implica cero emisiones netas.

Chile presentó su NDC en septiembre de 2015 (Gobierno de Chile, 2015), la que incluye compromisos sobre mitigación, adaptación, construcción y fortalecimiento de capacidades, desarrollo y transferencia de tecnologías, y financiamiento. Para efectos del presente documento, sólo se presenta y analiza el compromiso asociado a la mitigación (reducción o captura de gases de efecto invernadero):

- Una meta de intensidad de carbono, expresada en toneladas de CO₂ equivalentes por unidad de PIB en millones de CLP\$2011, sin incluir al sector Uso de Tierra, Cambio Uso de Tierra y Silvicultura (UTCUTS).
- Una meta expresada en toneladas de CO₂ equivalente exclusivamente para el sector UTCUTS.

Chile se compromete a reducir sus emisiones de CO₂ por unidad de PIB en un 30% al año 2030, con respecto al valor alcanzado en 2007, considerando un crecimiento económico futuro que le permita implementar las medidas adecuadas para alcanzar este compromiso. Condicionado a la obtención de aportes monetarios internacionales, el país se compromete al 2030 a aumentar su reducción de emisiones de CO₂ por unidad de PIB hasta alcanzar una disminución entre 35% a 45% con respecto al nivel alcanzado en 2007, considerando un crecimiento económico futuro que le permita implementar las medidas adecuadas para alcanzar este compromiso.

2. PRECIO SOCIAL DEL CARBONO PARA SER UTILIZADO EN LA EVALUACIÓN SOCIAL DE PROYECTOS E INVERSIÓN

El precio social del carbono permite incorporar dentro de las evaluaciones de proyectos los beneficios o costos sociales por disminuir o aumentar las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), es decir, para valorar cambios en las emisiones de CO₂ equivalentes. Este precio se podrá utilizar para cualquier tipo de proyectos en que exista una medida de reducción de emisiones de GEI⁴ y que puedan ser expresados en equivalentes de carbono. La elaboración de este precio resulta relevante para la contribución de Chile en

⁴ Tales como residuos Sólidos, Hidroeléctricas, transporte, entre otros.

los esfuerzos mundiales para la reducción de los GEI causantes del calentamiento global.

Conforme a la revisión de conceptos y metodologías de cuantificación de costos sociales y precios sombra, se propone seguir el modelo de Reino Unido y estimar un precio de sombra de carbono a partir de la disposición de Chile de reducir, y por ende de pagar, emisiones de gases de efecto invernadero conforme a su meta de mitigación bajo el Acuerdo de París, denominada "contribución nacional determinada".

De este modo, se propone estimar el precio sombra a partir del análisis de los costos marginales de abatimiento de dióxido de carbono que permiten cumplir con las metas de mitigación de Chile bajo el Acuerdo de París, definidas en 3 niveles: incondicional (reducción del 30% de las emisiones), y condicionadas a financiamiento (35% y 45% de reducción). El análisis de los costos marginales de abatimiento para Chile deriva de la mejor información disponible a la fecha, que consiste en los resultados del proyecto MAPS Chile. Los resultados del análisis arrojan un precio social de carbono que corresponde a 32,5 [USD/ton CO₂] con un rango de sensibilidad entre 20,2 [USD/ton CO₂] y 43,2 [USD/ton CO₂].

Considerando estos valores, se selecciona el valor central de 32,5 [USD/ton CO₂]. A un precio del dólar observado al 30-dic-2016 de 667,3 CLP/USD, se obtiene un valor de 21.687 Pesos por Tonelada de CO₂. Como este valor debe ser libre del uso del año de la moneda, se dejará expresado en UF. La UF del mismo 30-dic-2016 es de 26.348.

Tabla 4 - Precio Social del Carbono

| Base | Precio Social UF/tonCO ₂ |
|------------------------------------|--|
| Precios Social del CO ₂ | 0,823 |

Fuente: Elaboración propia.

Este precio se deberá utilizar para valorar los aumentos o disminuciones por tonelada de CO₂ en la Evaluación Social de Proyectos de inversión, cuando se compare la cantidad de emisiones de CO₂ de la situación base (optimizada) con las emisiones de las distintas alternativas de proyecto.

En el resto del documento se detalla el marco teórico y el análisis cuantitativo que lleva a la obtención de este precio social, así como al rango de valores.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Costo Social del Carbono

El costo social del carbono mide el costo global actual de una unidad incremental de carbono⁵ emitida ahora, sumando los costos globales de los daños que impone en la totalidad del tiempo que permanecerá en la atmósfera. Mide la magnitud de la externalidad que debe ser incorporada en las decisiones sobre política e inversión pública (Defra, 2007). En teoría, este costo señala cuánto estaría dispuesto a pagar la sociedad hoy para evitar un daño futuro causado por una tonelada de carbono adicional. Por ejemplo, un costo social de €7,61 por tonelada de CO₂ significa que emitir una tonelada adicional de carbono hoy tiene el mismo impacto en el bienestar esperado de la sociedad como la reducción del consumo de una persona en €7,61.

Debido a que el daño causado por cada unidad adicional de carbono en la atmósfera depende de su concentración en la atmósfera hoy y en el futuro, el costo social del carbono depende de las emisiones actuales y de la trayectoria de emisiones futuras.

El costo social del carbono es conceptualmente diferente de:

- El precio de mercado de carbono - que refleja el valor de los derechos de emisión que están en el mercado, dadas las restricciones en la oferta y la demanda, y
- El costo marginal de reducción o abatimiento - que refleja el costo de reducción de las emisiones (en lugar de los daños generados por la emisión).

Bajo ciertos supuestos, los tres valores serían iguales. Por ejemplo, si el mercado de carbono cubre todas las emisiones y es competitivo, el precio de

⁵ En este documento, el término carbono se utiliza para referirse a dióxido de carbono o a una cantidad equivalente de otros gases de efecto invernadero, usando la equivalencia del potencial de calentamiento global.

mercado sería igual al costo marginal para una determinada meta de reducción (Defra, 2007). Sin embargo, éste no es el caso actualmente.

Desde una perspectiva económica, el objetivo de estabilización óptimo estaría en el nivel de concentración de carbono en que el costo social es igual al costo marginal de abatimiento necesario para incentivar la reducción de emisiones para lograr el objetivo. Si el costo marginal es menor que el costo social, entonces sería rentable disminuir el nivel de concentración decarbono aún más, y un objetivo de estabilización más bajo (con mayores reducciones) debe ser elegido (Defra, 2007).

La evaluación del costo social de carbono requiere de un modelo de evaluación integrada (IAM) que combina un modelo económico global y un modelo del sistema físico del clima. Un componente central de este acoplamiento es la especificación de los daños, que traduce los resultados del clima físico (en la práctica, principalmente cambios en la temperatura) en efectos sobre el bienestar humano. Idealmente, las especificaciones de daños deben ser lo más completas posibles y consistentes con los mejores resultados disponibles de evaluaciones detalladas de vulnerabilidades, impactos y adaptación (Kopp, 2012).

En principio, se podría utilizar el concepto de costo social de carbono para la evaluación de políticas nacionales e internacionales. Sin embargo, existen dos dificultades para adoptar este enfoque en la práctica: i) en primer lugar, la trayectoria de estabilización en la que se encuentra el mundo no puede ser controlada únicamente por un país, sino que es una función de las emisiones mundiales. Por lo tanto, esto implica hacer supuestos sobre las acciones de otros países; ii) en segundo lugar, existe una considerable incertidumbre en la modelación de los costos sociales asociados a un objetivo particular de estabilización y no hay garantía de que este valor sea suficiente para incentivar la reducción necesaria para alcanzar ese objetivo (Defra, 2007).

3.2 Precio sombra de carbono

Considerando las dificultades que presenta la estimación de un costo social de carbono, debido a que la trayectoria mundial de emisiones no depende de un solo país, por lo que proyectar la trayectoria mundial incluye muchos supuestos, sumado a las imperfecciones del mercado del carbono, surge el enfoque del precio sombra de carbono.

El término económico precio sombra se refiere al valor monetario de costos difíciles de calcular. El origen de estos costos suele deberse a una externalidad. El precio sombra puede entenderse como el costo de las decisiones tomadas en el margen sin tener en cuenta el costo total. En un enfoque empresarial, un precio sombra es el precio máximo que la empresa está dispuesta a pagar por una unidad adicional de un recurso limitado dado.

El cálculo del precio sombra puede proporcionar a los tomadores de decisiones valores sobre las emisiones de dióxido de carbono (CO₂). Por ejemplo, si se restringe la cantidad de dióxido de carbono que se puede emitir a la atmósfera, el precio sombra dirá cuánto debería estar dispuesto a pagar un país por obtener el derecho de emitir una tonelada adicional de dióxido de carbono.

En el caso de Chile, el precio sombra de carbono está basado en el rango de emisiones que está dispuesto a reducir, lo que se ve reflejado en el compromiso técnico-político de reducir emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) adquirido bajo el Acuerdo de París. De este modo, el precio sombra permite reflejar el ambiente político actual multilateral y nacional, junto con el contexto tecnológico actual, en lugar del costo social que determina solamente el limitado entendimiento del daño causado por el cambio climático. La versatilidad del precio sombra permite compatibilizar las decisiones de inversión pública con las metas y compromisos de Chile frente a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático.

4. PROPUESTA METODOLÓGICA PARA CHILE

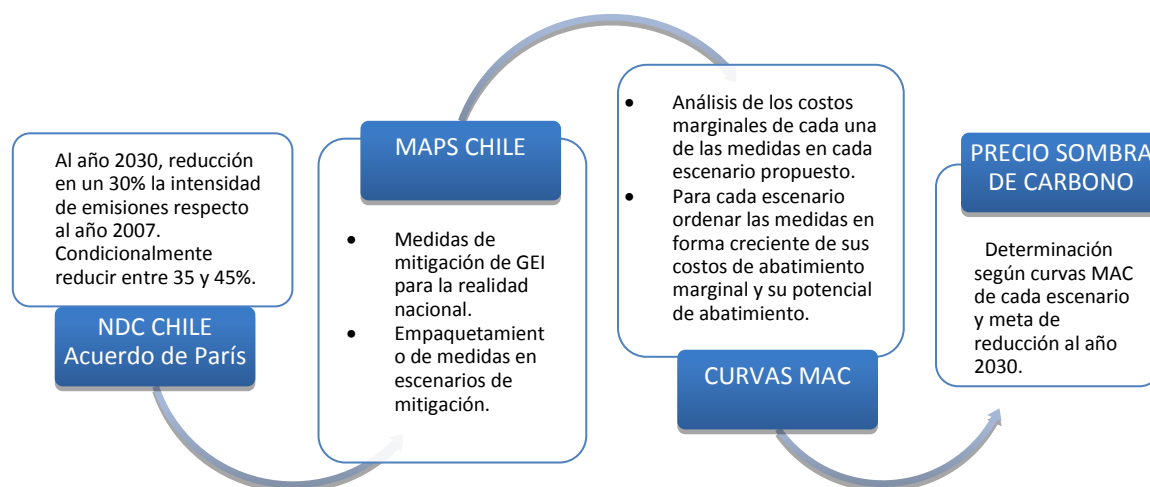
Conforme a la revisión de conceptos y metodologías de cuantificación de costos sociales y precios sombra, se propone seguir el modelo de Reino Unido y estimar un precio de sombra de carbono a partir de la disposición de Chile de reducir, y por ende de pagar, emisiones de gases de efecto invernadero conforme a su meta de mitigación bajo el Acuerdo de París, denominada "contribución nacional determinada".

De este modo, se propone estimar el precio sombra a partir del análisis de los costos marginales de abatimiento de dióxido de carbono que permiten cumplir con las metas de mitigación de Chile bajo el Acuerdo de París. El análisis de los costos marginales de abatimiento para Chile deriva de la mejor información disponible a la fecha, que consiste en los resultados del proyecto MAPS Chile⁶.

⁶ Fuente: www.mapschile.cl

La metodología general a seguir se muestra esquemáticamente a continuación:

Figura 1. Metodología general para estimar el precio social del carbono para Chile



Fuente: Estudio “Integrando el Cambio Climático en el Sistema Nacional de Inversión Pública de Chile”

4.1 Proyecto MAPS Chile

El proyecto MAPS Chile es un acrónimo en inglés de Mitigation Action Plans and Scenarios y nace como un desafío de pensar, modelar, analizar y discutir posibles escenarios futuros para mitigar efectivamente las emisiones de gases de efecto invernadero de Chile. En este sentido, busca generar la mejor evidencia posible para informar la toma de decisiones sobre la mitigación del cambio climático y el desarrollo bajo en carbono del país (www.mapschile.cl).

Los resultados de la Fase 2 del proyecto incluyen la línea base de emisiones de GEI 2013-2030, las medidas y escenarios de mitigación considerando sectores energía, industria, residencial, entre otros, además de análisis de los efectos macroeconómicos asociados a los distintos escenarios.

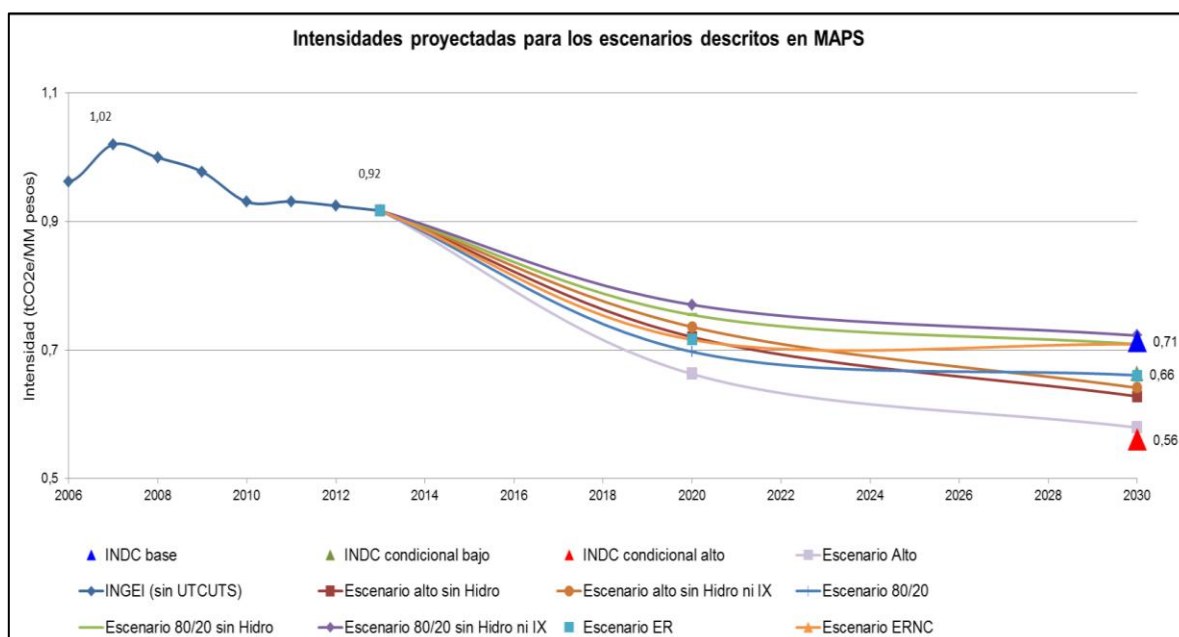
Dentro de los principales resultados disponibles se muestra que en nuestro país el sector generación eléctrica es el que más contribuiría a las emisiones de gases de efecto invernadero con un 38%, seguido por un 21% para el sector transporte e industria y minería con un 18% para el año 2020. Junto con realizar un diagnóstico de la situación actual y un análisis prospectivo, el proyecto incluye la evaluación de aproximadamente 100 medidas de mitigación en los distintos sectores de la economía del país que son el principal insumo utilizado por el presente documento.

Adicionalmente, en el proyecto MAPS Chile se construyeron escenarios de mitigación en base a medidas de mitigación específicas que cumplan ciertos criterios pre-establecidos. Por ejemplo, un escenario de “eficiencia energética” resultaría al considerar el subconjunto de medidas de mitigación relacionadas con la eficiencia energética; un escenario de “energías renovables no convencionales” resultaría al considerar el subconjunto de medidas de mitigación relacionadas con las energías renovables no convencionales. De este modo, los escenarios de mitigación en MAPS Chile son esencialmente distintas maneras de agrupar las diversas medidas de mitigación consideradas.

4.2 Análisis de los escenarios de MAPS Chile

Con el objetivo de alcanzar la meta de mitigación del país, los escenarios de MAPS muestran proyecciones hacia el año 2030 y, en términos generales, se evidencia que en su mayoría pueden cumplir la meta incondicional para el país (30%). Sin embargo, para cumplir las metas condicionadas a financiamiento internacional, de 35% y 45% de reducción con respecto al año 2007, sólo los escenarios más ambiciosos en términos de reducción de emisiones podrían cumplir dichas metas condicionadas. Lo anterior se presenta en la siguiente gráfica para un subconjunto de escenarios evaluados en MAPS Chile.

Figura 2. Intensidades proyectadas al año 2030 de un subconjunto de escenarios evaluados en MAPS.



Fuente: Estudio “Integrando el Cambio Climático en el Sistema Nacional de Inversión Pública de Chile”

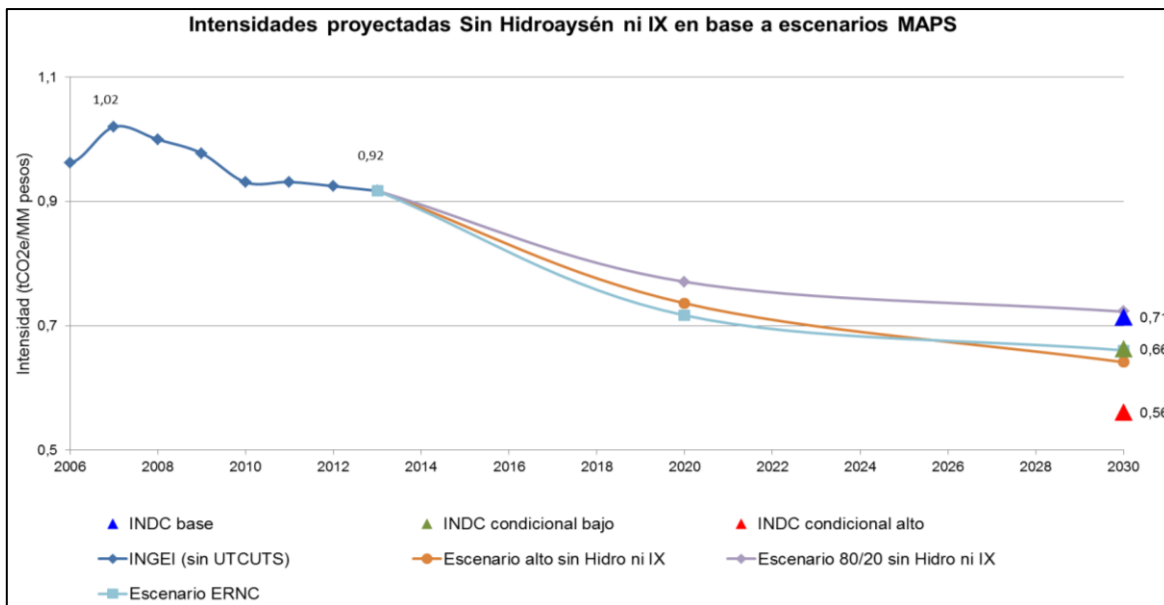
Para efectos de calcular el precio sombra del carbono en base a la meta propuesta por Chile, se trabajó con un subconjunto de escenarios que permitan cumplir con el rango inferior y superior. Estos escenarios corresponden a:

- Escenario 80/20: Este escenario agrupa 16 medidas de mitigación que representan un alto potencial de abatimiento. Estas medidas están asociadas en su mayoría en el sector de generación eléctrica e involucra algunas medidas asociadas a la industria y minería. Dentro de las medidas con mayor potencial de mitigación se encuentran: Expansión hidroeléctrica en Aysén, Interconexión regional con otros países, Incentivos a una tecnología ERNC específica - Eólica (Nivel 2) y Modificación de la Ley ERNC: 30/30. Para los fines de calcular el precio sombra del carbono, se han excluido las medidas de expansión hidroeléctrica en Aysén e interconexión regional con otros países por considerarse inviables en el rango de tiempo considerados.
- Escenario Alto: Este escenario representa un alto esfuerzo en términos de implementación de medidas con altos costos y baja factibilidad. Corresponde al escenario con mayor cantidad de medidas de mitigación (alrededor de 80) correspondiente a sectores de generación eléctrica, industria y minería, transporte, comercial y residencial, entre otros y que en su conjunto permite acercarse de mejor manera al cumplimiento de la meta del 45% al 2030. En este escenario, al igual que para el escenario 80/20, no se incluyen las medidas de hidroelectricidad en Aysén ni la interconexión regional con otros países.
- Escenario ERNC: Este escenario agrupa 18 medidas de mitigación asociadas con generación de energía con recursos renovables. Este escenario es similar al de energías renovables, con la diferencia que no incluye la medida de expansión hidroeléctrica en Aysén ya que esta involucra a centrales de generación superiores a una potencia instalada de 20[MW].

Para cada escenario, las medidas de mitigación de "Expansión Hidroeléctrica en Aysén" e "Interconexión Regional" aportan un gran potencial de abatimiento, aunque para la evaluación de las metas propuestas por el país, han sido excluidas por considerarse inviables dentro de los plazos estipulados.

Considerando la exclusión de estas medidas, la situación proyectada para el año 2030 se muestra a continuación:

Figura 3. Intensidades proyectadas para el año 2030 en base a los escenarios de MAPS sin incluir las medidas de Expansión Hidroeléctrica en Aysén ni Interconexión Regional.



Fuente: Estudio “Integrando el Cambio Climático en el Sistema Nacional de Inversión Pública de Chile”

Como se observa en la Figura 3, ninguno de los escenarios de mitigación (sin la expansión hidroeléctrica en Aysén ni la interconexión regional con otros países) permiten, en teoría, cumplir la meta de reducción del 45%. Sin embargo, es necesario mencionar que los escenarios evaluados en MAPS deben ser considerados de forma referencial y no excluyentes con otros esfuerzos de mitigación.

4.3 Curva de costo abatimiento marginal

Una curva de costo de abatimiento marginal (MACC, por sus siglas en inglés) corresponde a una forma sencilla de exponer opciones de mitigación y los costos e impactos que estas alternativas pueden representar. En términos simples, una MACC muestra el costo adicional o marginal de implementar una medida, junto con el potencial de abatimiento de la misma, con respecto a una línea base.

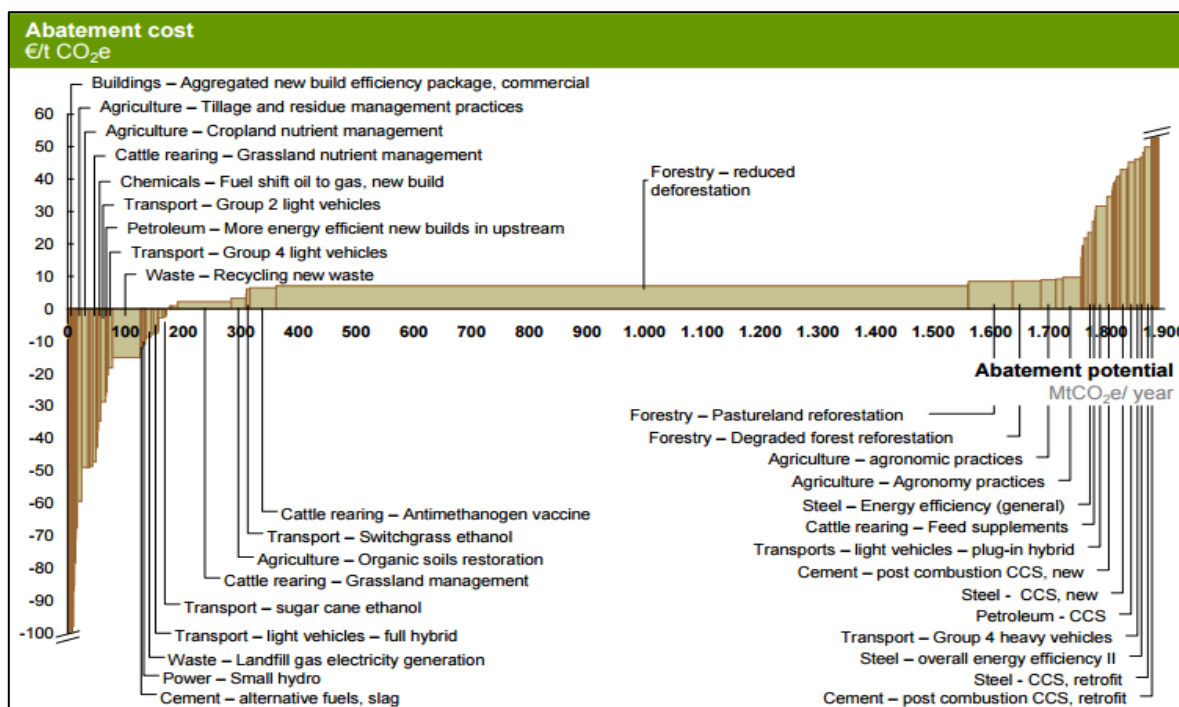
En términos simples, para leer una MACC, se debe considerar lo siguiente:

- Cada barra mostrada representa una sola opción de mitigación de GEI.
- El ancho de la barra representa el potencial de abatimiento relativo a la línea base, que corresponde a la proyección de las emisiones sin realizar esfuerzos de mitigación adicionales, en inglés denominado business as usual (BAU).
- La altura de cada barra representa el costo de abatimiento de la medida, relativa a la línea base por cada tonelada de emisiones evitada. Por lo general estos costos se muestran en [US\$/tCO₂].

La suma del ancho de todas las barras permite conocer cuál es el potencial total de abatimiento y el costo total estará representado por el área total de las barras.

La siguiente figura muestra una típica MACC, en este caso una curva de costo de abatimiento de GEI para el caso de Brasil y centrado en el año 2030 (McKinsey & Company, 2009):

Figura 2. Curva de costo abatimiento marginal para Brasil en el año 2030



Fuente: Estudio "Integrando el Cambio Climático en el Sistema Nacional de Inversión Pública de Chile"

Se construyen las curvas de costo abatimiento marginal a partir de los escenarios de MAPS Chile mencionados en la sección anterior. Además, para la construcción de una MACC, es necesario centrarse en un corte temporal particular, que en este caso corresponde al 2030 según los compromisos suscritos bajo el Acuerdo de París. Para cada escenario, se ordenaron las medidas de forma ascendente según sus costos de abatimiento para distintas tasas de descuento (1%, 3%, 10%) y se utilizaron los potenciales de abatimiento de manera acumulativa.

Es necesario mencionar que en las curvas MAC no se considera explícitamente el efecto de interacción entre las medidas de mitigación, por lo que, al evaluar las medidas de mitigación de forma individual con su potencial de abatimiento, se mostrará un potencial de abatimiento superior al caso de evaluar cada escenario en su conjunto. Lo anterior puede reflejar discrepancias con los resultados presentados en la Fase 2 de MAPS Chile.

Por lo tanto, la principal desventaja de las curvas MAC es que son estáticas, con lo cual los cortes temporales de éstas dificultan entender el impacto de escenarios de mitigación a través del tiempo. Adicionalmente, las curvas MAC no dimensionan el efecto macroeconómico de un escenario de mitigación, considerando las interacciones entre los distintos sectores de la economía nacional. En definitiva, los análisis de costos basados en las curvas MAC convencionales capturan solo parcialmente la complejidad del problema modelado y se considera relevante entender las desventajas de dicha aproximación.

4.4 Cálculo del precio sombra

Los pasos para la determinación del precio sombra a partir de las curvas de costo abatimiento marginal se describen a continuación.

Determinación tCO₂ a mitigar en el año 2030

El primer paso consiste en la determinación de la cantidad de toneladas de CO₂ equivalentes a mitigar en el año 2030 para cada meta de Chile, según la línea base para ese año. Las cantidades a mitigar en el año 2030 son las siguientes:

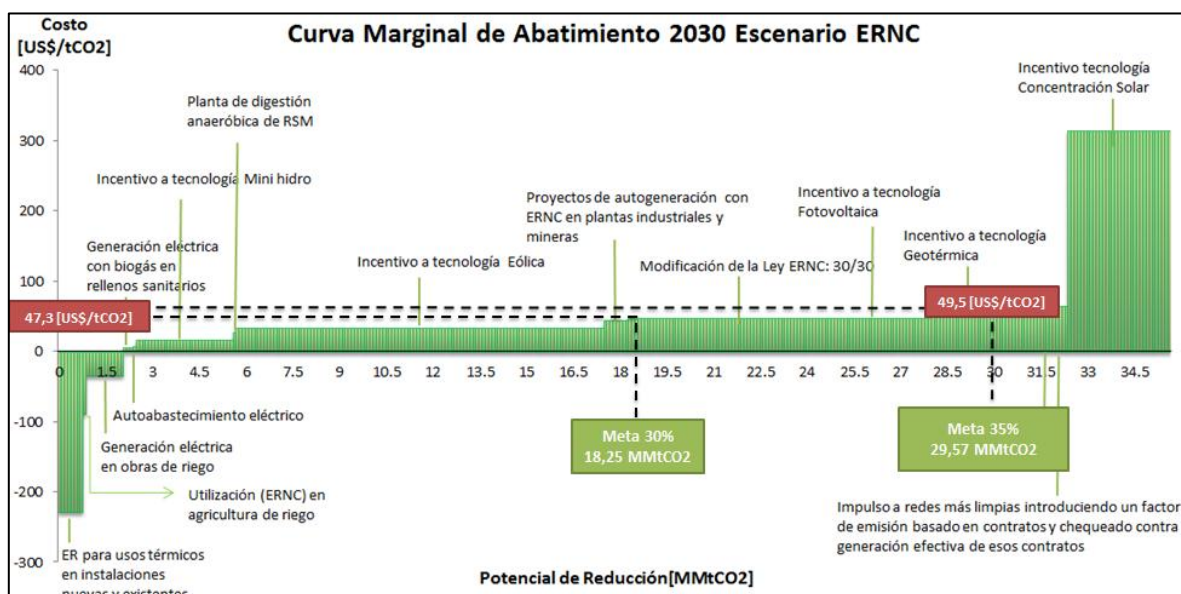
- Meta incondicional (30%): mitigar 18,25 millones de tCO₂.
- Meta condicional baja (35%): mitigar 29,57 millones de tCO₂.
- Meta condicional alta (45%): mitigar 52,19 millones de tCO₂.

Costo marginal de abatimiento para cada escenario

El segundo paso consiste en, una vez construida la curva de costo marginal de abatimiento, identificar el costo marginal de aquella medida que permite alcanzar la reducción de emisiones acumulada para la determinada meta. A modo de ejemplo, para cumplir la meta incondicional (30%) es necesario mitigar 18,25 millones de tCO₂. Una vez ordenadas las medidas, se debe identificar aquella que sobrepase este valor de reducción acumulada.

A modo esquemático, se presenta la curva de costo abatimiento marginal para el escenario de ERNC y la determinación del costo marginal [US\$/tCO₂].

Figura 3: Curva marginal de abatimiento 2030 escenario ERNC



Fuente: Estudio "Integrando el Cambio Climático en el Sistema Nacional de Inversión Pública de Chile"

En este caso en particular, para la meta del 30% se determina un costo de abatimiento marginal de 47,3 [US\$/tCO₂] y se encuentra asociado a la medida "Modificación de la Ley ERNC: 30/30", ya que la reducción acumulada al incluir esta medida supera el valor de 18,25 MMtCO₂. Por otro lado, para el cumplimiento de la meta del 35%, la medida a implementar que determina el costo marginal corresponde a "Incentivo a tecnología Geotérmica" y presenta un valor de 49,5 [US\$/tCO₂].

En la determinación de los costos marginales asociados a los escenarios se desprecian los valores negativos y se consideran cero. Los valores negativos resultan de escenarios con medidas rentables que no requieren soporte

adicional, aunque en la realidad una serie de barreras pueden limitar la implementación de estas medidas. Un claro ejemplo correspondería a la decisión de invertir en aislación de edificios con fines habitacionales aportando a la eficiencia energética del mismo. Si bien esta decisión presentaría costos marginales negativos, no existe un incentivo claro ni para las constructoras ni para los habitantes de costear la inversión adicional. Por tales motivos, resulta razonable usar precios sombra de carbono de cero para reflejar dicha situación.

Determinación del rango de sensibilidad

El tercer paso corresponde a la determinación del rango de sensibilidad del precio sombra.

El proyecto MAPS Chile evalúa cada una de las medidas de mitigación utilizando tasas de descuento del 1%, 3% y el 10%. Sin embargo, el Ministerio de Desarrollo Social evalúa todos los proyectos que ingresan al Sistema Nacional de Inversiones utilizando la tasa social de descuento (6% al año 2016), la cual es la que se ha utilizado en definitiva para el cálculo del precio social del carbono.

Los resultados, considerando tasas de descuento del 6% para todos los escenarios, se muestran a continuación:

Tabla 1: Costos de abatimiento marginales actualizados al 6%

| ESCENARIO | Costo abatimiento marginal [US\$/ tCO2 eq] | Meta según NDC |
|---|--|----------------|
| | 6% | |
| 80/20 Sin Hidroelectricidad en Aysén ni Intercambio Regional | 27,4 | 30% |
| | 35,9 | 35% |
| | NO SE ALCANZA META | 45% |
| Energías renovables no convencionales | 33,2 | 30% |
| | 35,9 | 35% |
| | NO SE ALCANZA META | 45% |
| Alto Sin Hidroelectricidad en Aysén ni Intercambio Regional | 0 | 30% |
| | 25,6 | 35% |
| | 34,1 | 45% |

Fuente: Estudio “Integrando el Cambio Climático en el Sistema Nacional de Inversión Pública de Chile”

Analizando los resultados de la tabla anterior es interesante mencionar que puede existir cierto sesgo de los resultados obtenidos al considerar que para la meta propuesta de reducción más ambiciosa correspondiente al 45% de reducción y asociada al escenario Alto se obtengan menores costos de abatimiento que la meta del 35% y asociada a cualquiera de los otros dos escenarios. Lo anterior se debe a que el escenario Alto presenta considerablemente mayor cantidad de medidas de mitigación con respecto al resto de los escenarios y gran cantidad de ellas son costo-efectivas presentando costos negativos de mitigación, tendiendo que ser ajustadas a valor cero. Cabe mencionar que aquellas medidas con costos negativos de abatimiento no siempre se ajustan a la realidad debido a que pueden existir barreras de implementación y costos asociados a las condiciones habilitantes para implementar dichas medidas.

Junto con lo anterior, para evitar la ambigüedad de contar con sólo un valor de cumplimiento para la meta del 45% y por tanto no considerar un valor promedio entre escenarios, se actualiza tal valor para reflejar uno mayor y que se encuentre en concordancia con el resto de las metas propuestas. Lo anterior se realiza considerando la razón real de incremento entre la meta del 35% y 45% para el escenario alto correspondiente a 1,33 (razón entre 34,1 y 25,6) y aplicar este factor sobre el valor promedio de la meta del 35%. Lo anterior corresponde a un valor de 43,2 y se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2. Costos de abatimiento marginales actualizados al 6% considerando modificación de valor promedio 45%

| Meta NDC/Escenario | 80/20 Sin Hidroelectricidad en Aysén ni Intercambio Regional | Energías Renovables No Convencionales | Alto Sin Hidroelectricidad en Aysén ni Intercambio Regional | Promedio |
|---------------------------|---|--|--|-------------------------|
| 30% | 27,4 | 33,2 | 0 | 20,2 |
| 35% | 35,9 | 35,9 | 25,6 | 32,5 |
| 45% | NO SE ALCANZA META | NO SE ALCANZA META | 34,1 | 43,2⁷ |

Fuente: Estudio “Integrando el Cambio Climático en el Sistema Nacional de Inversión Pública de Chile”

Posterior a la determinación de los costos de abatimiento a una tasa de descuento del 6%, se propone la determinación del precio sombra usando la meta de cumplimiento del 35% como valor central. Esto considera como

⁷ Valor actualizado multiplicando 32,5 por la razón 1,33.

enfoque que el país debe ajustar el precio del carbono asegurando consistencia con la meta incondicional propuesta hacia el año 2030. El hecho que Chile esté actualmente recibiendo financiamiento internacional debiese verse reflejado en el cumplimiento de una meta más ambiciosa frente a los compromisos adquiridos.

Por tales motivos, se establece como precio sombra del carbono el promedio de los valores de los tres escenarios asociados al cumplimiento de la meta del 35% y se considera el promedio de las metas del 30% y 45% como el valor inferior y superior respectivamente para establecer el rango del mismo.

Los valores obtenidos se muestran a continuación:

Tabla 3. Precio sombra del carbono asociado a la alternativa 1

| Precio sombra del carbono [USD/tCO₂] | | |
|--|---------------|----------------|
| Valor inferior | Valor central | Valor superior |
| 20,2 | 32,5 | 43,2 |

Fuente: Estudio “Integrando el Cambio Climático en el Sistema Nacional de Inversión Pública de Chile”

Debido a que los valores inferior, central y superior del Precio Sombra del CO₂ representan distintos escenarios de mitigación, y que dichos escenarios no tienen probabilidades de ocurrencia respectivas, de manera de obtener un promedio ponderado o valor esperado, se ha considerado que el valor central representa una estimación razonable para la valoración de cambios en las emisiones de CO₂. Nótese que el valor central no responde necesariamente a un promedio de los valores inferior y superior, sino que representa el costo marginal de abatimiento en un escenario central específico.