

**Metodología para la estimación del precio social del
carbono en Chile y fortalecimiento de capacidades
para su aplicación en países de América Latina y el
Caribe**

FERNANDO CARTES MENA

Índice

1. Introducción.....	2
2. Marco conceptual.....	4
2.1 Precio de Mercado.....	8
2.2 Costo Social del Carbono	11
2.2.1 Principales Modelos.....	11
2.2.2 Limitaciones de los Modelos	16
2.3 Costos Marginales de Reducción de Emisiones.....	18
2.3.1 Curva de abatimiento marginal	18
2.3.2 Limitaciones de las curvas MAC.....	21
3. Proceso de establecimiento del precio social del carbón en la evaluación de proyectos de inversión pública en Chile	24
3.1 Evaluación social en Chile.....	24
3.2 El Precio Social del Carbono en Chile	25
3.2.1 Contexto internacional y nacional.....	25
3.2.2 Metodología de estimación.....	27
4. Método de cálculo del precio social del carbón en la evaluación de proyectos de inversión pública en países de América Latina y el Caribe	34
4.1 Metodología	34
4.2 Aspectos críticos de la metodología	37
4.3 Recomendaciones de política pública	40
5. Bibliografía	41

1. Introducción

El cambio climático es resultado de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que son generadas fundamentalmente por actividades antropogénicas que se emiten a la atmósfera como una consecuencia colateral de diferentes actividades económicas y estilos de vida. El cambio climático se manifiesta fundamentalmente en el aumento de temperatura, modificaciones en los patrones de precipitación, en alzas del nivel del mar, en reducciones de los glaciales y en cambios en los patrones climáticos extremos. Estos cambios o variabilidad climática inciden de diversas formas y tienen numerosas consecuencias sobre las actividades económicas, los estilos de vida, el bienestar de la población y la biodiversidad y ecosistemas.

Tomando en consideración sus causas y efectos, el cambio climático es uno de los grandes retos al que se enfrenta la humanidad en el presente siglo. La comunidad internacional a través del Acuerdo de París se comprometió a trabajar por mantener el aumento de la temperatura global por debajo de los 2°C y en este contexto, los países presentaron a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático sus metas de reducción de emisiones de GEI mediante sus Contribuciones Nacionalmente Determinadas (NDCs, por su sigla en inglés). Los países de América Latina y el Caribe se han unido a este compromiso y, por lo tanto, al igual que los países del resto del mundo requieren avanzar hacia un cambio estructural con patrones de producción y de consumo que sean más sostenibles y compatibles con la meta climática.

Muchos países para avanzar hacia este objetivo han realizado cambios regulatorios, a la política fiscal y a los incentivos económicos; sin embargo, el actual sistema de valoración de las emisiones no necesariamente toma en cuenta todas las variables relevantes y por lo tanto puede estar sesgado. En este escenario, resulta fundamental poder contar con un estudio en el que se logre presentar una metodología regional para la estimación del precio social del carbono en países de América Latina y el Caribe. En este contexto, la CEPAL a través del programa Euroclima+ busca apoyar a los países de América Latina y el Caribe en la elaboración de materiales técnicos y de diagnóstico como insumo para la toma informada de decisiones.

El objetivo de este estudio es proponer una metodología regional para la estimación del precio social del carbono en países América Latina y el Caribe y apoyo al fortalecimiento de capacidades para su aplicación en países miembros del Programa EUROCLIMA+.

Este documento corresponde al informe final, el que incluye los siguientes productos de la consultoría:

1. Revisar el estado del arte sobre las metodologías implementadas para la estimación del precio social del carbono a nivel internacional;
2. Selección y propuesta de un método que permita facilitar la estimación del precio social de carbono en países de América Latina y el Caribe;
3. Descripción de cada uno de los pasos metodológicos e identificar aspectos críticos a considerar en la estimación del precio social del carbono en Chile, requerimientos de información, fuentes de información, actores relevantes y otros que sean críticos para su estimación;
4. Recomendaciones de política pública y/o de reformas, institucionales en caso de ser necesario, que permitan avanzar hacia el objetivo de fijar un precio social del carbono en países de ALC.

Adicionalmente, junto a este informe se presenta archivo en power point con el material diseñado y elaborado para la difusión y capacitación presencial y digital de la metodología a los tomadores de decisiones de los países.

2. Marco conceptual

Desde el punto de vista económico las emisiones de GEI son una externalidad negativa, ya que quienes emiten no internalizan el costo que imponen a la sociedad por la emisión a la atmósfera de sustancias contaminantes que tienen efectos nocivos sobre la salud o el medio ambiente. En el caso particular de los GEI, los efectos nocivos que nos preocupan están asociados fundamentalmente al cambio climático.

En términos de teoría económica, el cambio climático puede ser considerado un “mal público”, ya que se cumplen las condiciones de no rivalidad y exclusión. Tal como se señala en (Ibarrarán, 2010) , *“La no rivalidad en este caso implica que el que un individuo se vea afectado por el cambio climático no impide que otros también se vean afectados, es decir, puede afectar a muchas personas e incluso países al mismo tiempo. La no exclusión se refiere a que es imposible o muy costoso aislar a un individuo, grupo de individuos o país de los efectos nocivos del cambio climático, sobre todo porque el cambio en temperatura se supone afectará a todo el planeta simultáneamente”*.

Dada esta condición de “mal público”, es evidente que la solución del problema requiere un compromiso global y en este sentido, el acuerdo logrado por casi 200 países en la COP21 en París 2015, de mantener *“el aumento en la temperatura promedio global muy por debajo de 2 ° C por encima de los niveles preindustriales y continuar los esfuerzos para limitar el aumento de la temperatura a 1,5 ° C”*, es fundamental y está motivado en gran medida por las preocupaciones sobre la inmensa escala potencial de daños económicos, sociales y ecológicos que podría resultar de la incapacidad de gestionar el cambio climático de manera efectiva.

Los objetivos de temperatura establecidos requieren una transformación a gran escala en la estructura de la actividad económica y para lograrlo, se requiere de un cuidadoso diseño de una política climática. Tal como establece la Comisión de Alto Nivel sobre los Precios del Carbono (High-Level Commission on Carbon Prices, 2017), un precio del carbono bien diseñado es una parte indispensable de una estrategia para reducir las emisiones de manera eficiente y puede complementarse de manera adecuada con la fijación de precios sombra en las actividades del sector público.

En la literatura económica, se entiende por “precio sombra” (shadow price) al valor monetario de un bien o servicio que no tiene un precio de mercado. En general en Latinoamérica y el Caribe

(LAC), y en específico en la mayor parte de los Sistemas Nacionales de Inversión Pública de LAC, se hace referencia a este concepto como “precio social” (término que se utilizará en este informe).

De acuerdo a un reciente reporte de (World Bank and ECOFYS, 2018), los Bancos Multilaterales de Desarrollo (BMD) han asumido un papel de liderazgo al abordar el cambio climático en sus propias operaciones y ayudar a sus clientes a hacer lo mismo. Para ello están comenzando a utilizar precios internos del carbono –equivalente a un precio sombra- para influir en sus decisiones de inversión y abordar los riesgos climáticos. A continuación, se resume el estado actual de los precios internos del carbono para los BMD que están utilizando activamente el precio del carbono en la actualidad:

- El Banco Asiático de Desarrollo (ADB por su sigla en Inglés) incorpora un costo social de carbono como parte del análisis económico de proyectos en los sectores de energía y transporte y proyectos con un enfoque de mitigación de emisiones de GEI. En 2016, se utilizó un precio de carbono de US \$ 36,3 / tCO₂e, que aumenta anualmente en un 2% en términos reales para tener en cuenta el creciente daño marginal del cambio climático a lo largo del tiempo. El enfoque identifica y valora el cambio neto en las emisiones resultantes de un proyecto dado a través de una comparación “con y sin proyecto”.
- El Banco Europeo de Reconstrucción y Desarrollo (EBRD por su sigla en inglés) ha revelado públicamente su metodología de fijación del precio del carbono para los proyectos de generación de energía a base de carbón. El costo de las emisiones se tiene en cuenta como parte de los costos de por vida de los proyectos de generación de energía a base de carbón considerados, junto con otras externalidades relevantes, y se utiliza para comparar con diferentes proyectos viables alternativos. El precio del carbono que se aplica comienza en € 35 / tCO₂e (US \$ 43 / tCO₂e) para las emisiones de GEI de 2014, aumentando en un 2 por ciento anual en términos reales. Desde la introducción de la metodología, el BERD no ha financiado ningún proyecto de energía a base de carbón.
- El Banco Europeo de Inversiones (EIB por su sigla en inglés) comenzó a incorporar las externalidades ambientales, incluidos el carbono y los contaminantes atmosféricos locales, en su evaluación económica de proyectos a mediados de los años noventa. El EIB, como parte de su estrategia de acción climática más amplia, ha establecido los precios internos del carbono hasta 2050. El precio central del BEI para las emisiones de carbono en 2018 es de € 38 / tCO₂e (US \$ 47 / tCO₂e), aumentando anualmente en términos reales

de 2016 a € 121 / tCO₂e (US \$ 150 / tCO₂e) para el año 2050. El BEI también utiliza un escenario de bajo y alto precio de carbono en sus pruebas de sensibilidad.

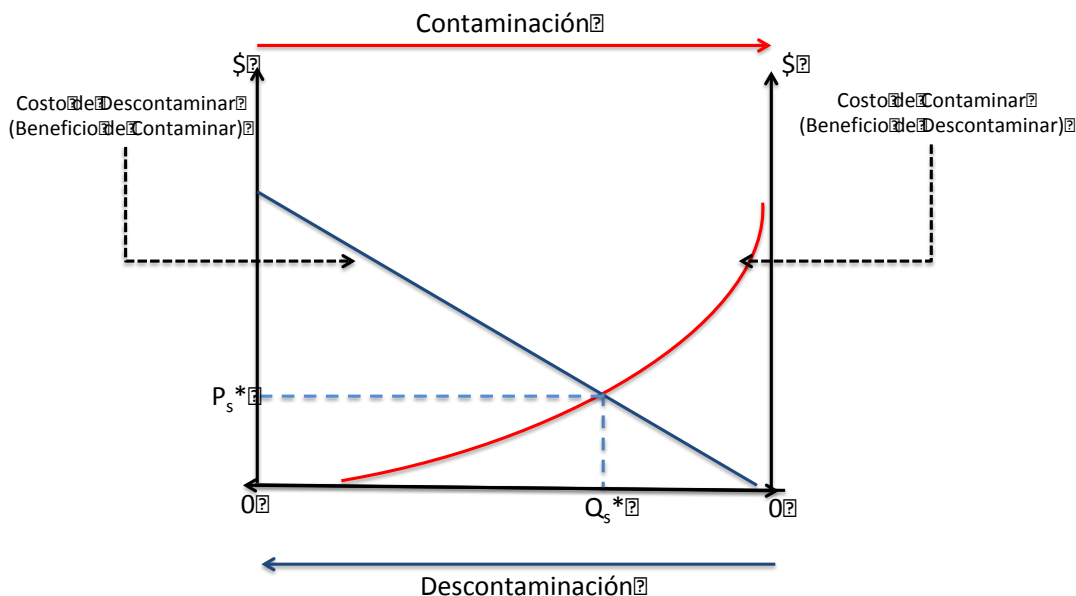
- El Banco Mundial (WB por su sigla en inglés) actualizó su enfoque en septiembre de 2017 para alinear los precios del carbono utilizados con los precios compatibles con París de la Comisión de alto nivel sobre precios del carbono. El uso de un precio sombra de carbono en el análisis económico es un compromiso corporativo para todos los proyectos de inversión de la Asociación Internacional de Desarrollo / Banco Internacional de Reconstrucción y Desarrollo en sectores sujetos a contabilidad de GEI y que tengan notas conceptuales aprobadas a partir del 1 de julio de 2017. Al realizar un análisis económico de proyectos, se requiere un precio bajo y alto, comenzando en US \$ 40 / tCO₂e y US \$ 80 / tCO₂e, respectivamente, en 2020 y aumentando a US \$ 50 / tCO₂e y \$ 100 / tCO₂e para el 2030. Más allá 2030, el precio aumenta a una tasa de 2,25% anual hasta 2050.
- La Corporación Financiera Internacional (IFC por su sigla en inglés) ha operado un programa piloto de fijación de precios de carbono desde noviembre de 2016 utilizando niveles de precios de US \$ 30 / tCO₂e en 2016, aumentando a US \$ 80 / tCO₂e para el año 2050. El precio se aplica al análisis de la tasa de rentabilidad económica del proyecto inversiones en los sectores de cemento, energía térmica y productos químicos, y se considera como una de las diversas aportaciones a la decisión de inversión. El precio se aplica a las emisiones brutas de Alcance 1 y 2. La IFC se está moviendo a la implementación total en acuerdos de financiación de proyectos en los tres sectores mencionados anteriormente, y planea pilotar la aplicación de un precio de carbono para financiar proyectos de inversión en otros sectores con emisiones anuales superiores a 25 ktCO₂e.

La pregunta central es cómo se calcula este precio social o precio sombra y al respecto, se debe tener presente que implícito en este concepto subyace el principio de disposición a pagar. Es decir, a qué está dispuesta a “renunciar” la sociedad por obtener dicho bien o servicio.

En la Figura 1 tenemos un hipotético y simplificado “mercado de emisiones de carbono”. Por una parte tenemos una curva de Costo Marginal Social de emitir CO₂ (curva en color rojo), que representa los costos que tiene para la sociedad emitir una unidad adicional de CO₂ (valoración de los daños producidos por el calentamiento global) y por otra, tenemos la curva de costo marginal social de descontaminar (curva en color azul), la cual representa el costo social de implementar

medidas que reduzcan el nivel de emisiones de CO2 y que es equivalente también al beneficio de contaminar, pues es lo que nos evitamos gastar si podemos emitir libremente.

Figura 1: Determinación Precio Social del Carbono



Fuente: Elaboración propia

Lo primero que podemos observar en este “mercado” es que existe un punto de equilibrio, el cual se alcanza donde ambas curvas se cruzan. De esta forma, existe un nivel socialmente óptimo de emisión de CO2 (Q_s^*) y un precio social por emitir CO2 (P_s^*). Este último valor es el que nos interesa determinar, el cual representa también el valor del impuesto pigouviano¹.

En este punto es importante señalar que si bien el exceso de emisiones de dióxido de carbono es el principal causante del calentamiento de la atmósfera por el efecto invernadero, existe un amplio conjunto de sustancias responsables del calentamiento global y otros efectos asociados al cambio climático. Sin embargo, el análisis de externalidades debe centrarse en aquellos gases de efecto invernadero (GEI) que, estando presentes en el inventario de emisiones de referencia, cuenten asimismo, con un margen de confianza suficiente, con información disponible respecto a sus valores de potencial de calentamiento global (GWP: global warming potential). El potencial de

¹ Un impuesto pigouviano es un instrumento de política económica propuesto originalmente por el economista inglés Arthur C. Pigou, para resolver el problema que presentan las externalidades negativas. Las características de este impuesto es que se aplica sobre el elemento que es responsable de producir la deseconomía externa (en este caso, las emisiones de CO2) y no sobre el producto final propiamente tal. Además, la tasa debe ser igual al valor del daño marginal que causa el elemento dañino y debe ser establecida en forma unitaria o específica (por ejemplo, por tonelada de CO2 emitido).

calentamiento global es una unidad distintiva de cada sustancia responsable de dicho fenómeno climático, que permite traducir emisiones de GEI a CO₂e (dióxido de carbono equivalente). Estos potenciales de calentamiento global pueden calcularse para distintos horizontes temporales en función del periodo para el que se estén estimando los impactos futuros (20, 100 y 500 años). De esta forma, cabe destacar que cuando en este informe nos referimos al precio social del carbono, nos referimos al precio de todos aquellos GEI que podemos traducir sus emisiones a CO₂e.

Al revisar la literatura económica sobre el cálculo de precios sociales, se identifican tres métodos de valoración:

- Utilizar un “Precio de Mercado”
- Costo Social del Carbono (Social Cost of Carbon)
- Costos marginales de la reducción de emisiones (Marginal Abatement Cost, MAC)

Estos métodos serán analizados en las secciones siguientes, pues representan el estado del arte en materia de metodologías utilizadas internacionalmente para estimar el precio social del carbono.

2.1 Precio de Mercado

Una de las aproximaciones utilizadas es la de aplicar un “precio de mercado”, en particular el precio de los “bonos de carbono” como un “proxy” de la disposición a pagar por reducir las emisiones de GEI.

Existen dos tipos de mercados de carbono: i) los de cumplimiento regulado y ii) los voluntarios. El mercado regulado es utilizado por empresas y gobiernos que, por ley, tienen que rendir cuentas de sus emisiones de GEI. En el mercado voluntario, en cambio, el comercio de créditos se produce sobre una base facultativa².

En el Protocolo de Kyoto se considera que cuando un país que se encuentra obligado a cumplir con las metas de reducción asumidas en el compromiso no consigue cumplirlas por sí mismo, tendrá la oportunidad de acudir a alguno de los siguientes tres mecanismos, llamados de flexibilización:

² Existen mercados voluntarios a nivel Nacional como el de Corea del Sur o el de Kazajstán, o mercados a nivel regional como el Regional Greenhouse Gas Initiative (RGGI) en EEUU, Western Climate Initiative (WCI) en EEUU y Canadá, el Californian cap-and-trade scheme (EEUU), el Quebec’s cap-and-trade system (Canadá), el Alberta-Based Greenhouse Gas Reduction Program and Offset Credit System (Canadá), y los mercados regionales de Tokio y Saitama en Japón. Cabe resaltar de igual forma, que estos mercados son altamente controlados por instituciones públicas y ONG’s a fin de evitar fraudes como el de la doble contabilidad. Sus metodologías son propias, pero se asimilan mucho al EU-ETS.

- Implementación Conjunta (IC): A través del cual los participantes de Anexo I (países desarrollados) podrán transferir o bien adquirir Unidades de Reducción de Emisiones (ERUs, en inglés)³, los cuales resultan de proyectos tendientes a reducir las emisiones contaminantes de GEI con el fin de cumplir con las obligaciones establecidas dentro del Protocolo.
- Mecanismo para un Desarrollo Limpio (MDL): Dentro del cual los países con mayor emisión de gases contaminantes, podrán adquirir Certificados de Reducciones de Emisiones (CERs)⁴ o Unidades de Remoción (RMUs)⁵ resultantes de proyectos generados en su mayoría por países en vías de desarrollo.
- Comercio de Emisiones: Estas son actividades de comercio de **derechos de emisión** (Allowances o AAUs)⁶ entre partes del Anexo I otorgadas conforme a las metas de reducción de emisiones.

Un certificado de reducción de emisiones, a diferencia de un permiso de emisión, no existe legalmente hasta que no es emitido y su emisión depende de que verificadores y reguladores independientes aprueben que efectivamente ha ocurrido una reducción de emisiones. Por lo tanto, el volumen de CERs y ERUs emitido por la realización de un proyecto determinado está sujeto a alta incertidumbre, pues depende de la efectiva performance del proyecto y de su verificación.

Las condiciones generales para que un proponente de proyecto de un país en desarrollo acceda al MDL son básicamente cuatro:

- **Desarrollo sustentable**: se debe demostrar que el proyecto contribuye a los objetivos de desarrollo sustentable del país anfitrión, incluyendo la conservación de la biodiversidad y el uso sustentable de los recursos naturales.

³ Las Unidades de Reducción de Emisiones corresponden a un monto específico de emisiones de gases de efecto invernadero que dejaron de ser emitidas por la ejecución de un proyecto de Implementación Conjunta.

⁴ Los países que invierten en proyectos bajo el Mecanismo de Desarrollo Limpio pueden obtener Certificados de Reducción de Emisiones (CER) por un monto equivalente a la cantidad de CO₂ equivalente que se dejó de emitir a la atmósfera como resultado del proyecto.

⁵ Las RMUs corresponden a créditos obtenidos por un país durante proyectos de captura de carbono. Solamente pueden ser usadas por los países dentro del período de compromiso durante el cual fueron generadas, y son para cumplir con sus compromisos de reducción de emisiones. Estos créditos no pueden ser considerados en períodos de compromiso posteriores.

⁶ Los Montos Asignados Anualmente (AAU, por su sigla en inglés), corresponden al monto total de emisiones de gases de efecto invernadero que a un país se le permite emitir a la atmósfera durante el primer período de compromiso del Protocolo de Kioto. Cada país divide y asigna su respectivo monto a empresas localizadas en su territorio a manera de límite de emisión por empresa.

- Adicionalidad: se debe demostrar que el proyecto genera reducción de emisiones reales, medibles y de largo plazo, adicionales a las que hubieran ocurrido en ausencia del proyecto. Para ello, se deben comparar los flujos y stocks de carbono de las actividades del proyecto con las que ocurrirían si el mismo no se lleva a cabo (la llamada “línea de base”).
- Certificación: la reducción de emisiones debe ser certificada por una tercera parte independiente llamada “Entidad Operacional” (EO), la cual debe ser acreditada por el Comité Ejecutivo del MDL (CE). Las entidades operacionales son las encargadas de validar los proyectos MDL propuestos ó de verificar y certificar reducciones de emisiones.
- Para participar en el MDL el país anfitrión debe ser parte firmante del Protocolo de Kioto y designar una Autoridad Nacional para el MDL (Autoridad Nacional Designada – AND).

El mercado europeo (EU ETS) es el principal demandante de CERs y el que determina, en mayor medida, los precios de estos certificados. Específicamente, el hecho de que la mayoría de los operadores financieros opera en el Reino Unido (independientemente de su nacionalidad) hace que este país aparezca como el principal comprador mundial de CERs, explicando cerca del 40% del volumen total transado. Pero, en realidad, estos activos terminan en las manos de usuarios finales en toda Europa.

En cuanto a la oferta, las mayores ventas de CERs han provenido históricamente de China, quien domina el mercado con más del 70%. Le siguen en valor y volumen transado la India, y Brasil.

El bajo precio de estas unidades se debe al excedente existente en el mercado, pues los Estados que habían ratificado el Protocolo de Kioto necesitaban abastecerse muy poco para cumplir con sus obligaciones, lo que sumado a la retirada de EEUU y la crisis económica, afectó la demanda por estos instrumentos. Por otra parte, la reconversión industrial de los países de la ex URSS y del bloque socialista se tradujo en una contaminación mucho menor de la prevista, lo que devino en una sobre asignación de AAU’s para esos países, que cuentan con unidades que terminan colocando a precios muy bajos⁷.

De esta forma, el precio de mercado de los bonos de carbono fracasa en reflejar el valor para la sociedad de una tonelada de dióxido de carbono transada debido a que dicho mercado no es competitivo y posee restricciones en su oferta y demanda. Por esta misma razón, esta

⁷ A este fenómeno se le ha llamado “aire caliente”, pues representa un porcentaje de emisiones de GEI que dichos Estados de todas formas iban a dejar de emitir por su transición a una economía de mercado.

metodología no es masivamente utilizada y en los países que ha sido utilizada, como por ejemplo en Chile, ha sido dejada de lado.

2.2 Costo Social del Carbono

La estimación del costo social del carbono (CSC) considera la monetización de los daños asociados a un aumento de emisión de carbono, tales como los efectos en la productividad agrícola, la salud humana, daños a la propiedad debido al aumento del potencial eventos naturales, el valor de los ecosistemas debido al cambio climático, entre otros.

El CSC considera no solo el costo total que genera hoy una unidad adicional de carbono, sino que suma el costo total del daño que el carbono ocasiona al mantenerse en la atmósfera. Se considera entonces el valor presente del impacto del aumento de una tonelada métrica adicional de emisión de carbono, utilizando un horizonte de 100 años. Así se puede contabilizar la externalidad de esta emisión para ser incorporada en evaluación de proyectos o toma de decisiones.

Los modelos que estiman el costo social del carbono corresponden a lo que se denomina Integrated Assessment Modelling (IAM), los cuales utilizan un marco teórico que integra diferentes ciencias y emplean representaciones simplificadas de la sociedad, el clima y las interacciones entre el cambio climático, sus impactos en los sistemas naturales y sociales, y los costos de las políticas para mitigar estos impactos. El resultado final de estos modelos es la estimación monetaria del costo para la sociedad de emitir una tonelada de carbono hoy.

2.2.1 Principales Modelos

Los tres modelos más reconocidos y que son aplicados para determinar el costo social del carbono, son *Dynamic Integrated Climate-Economy* model (DICE-RICE), *Policy Analysis of the Greenhouse Effect* (PAGE) y *Climate Framework for Uncertainty, Negotiation and Distribution* (FUND).

Si bien son modelos que simplifican y asumen representaciones de la realidad, son las únicas herramientas disponibles que contemplan la relación entre el impacto físico de una unidad adicional de carbono con el daño económico y se describen brevemente a continuación:

- Modelo DICE

El modelo DICE es un modelo de crecimiento óptimo basado en una función de producción global con una variable de stock adicional (concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono). Las reducciones de emisiones se tratan como análogas a la inversión en capital natural. Al invertir en capital natural hoy mediante la reducción de emisiones, lo que implica un consumo reducido, se pueden evitar los efectos nocivos del cambio climático y aumentar el consumo futuro.

A los efectos de estimar el Costo Social del Carbono, las emisiones de dióxido de carbono son una función del PIB global y la intensidad de carbono del producto económico, y este último disminuye con el tiempo debido al progreso tecnológico. La función de daño DICE vincula la temperatura promedio global con el impacto global en la economía mundial. Varía de forma cuadrática con el cambio de temperatura para capturar el aumento más rápido de los daños que se espera que ocurran en condiciones climáticas más extremas, y está calibrado para incluir los efectos del calentamiento en la producción de bienes y servicios de mercado y de no mercado. Incorpora impactos en la agricultura, áreas costeras (debido al aumento del nivel del mar), "otros sectores de mercado vulnerables" (basados principalmente en cambios en el uso de energía), la salud humana (basada en enfermedades relacionadas con el clima, como malaria y dengue, y contaminación), servicios de no mercado (basados en recreación al aire libre) y asentamientos humanos y ecosistemas. La función de daño DICE también incluye el valor esperado de los daños asociados con el cambio climático "catastrófico" de baja probabilidad y alto impacto. Este último componente está calibrado según una encuesta de expertos (Nordhaus, 1994). El valor esperado de estos impactos luego se agrega a los otros impactos de mercado y de no mercado mencionados anteriormente.

Ningún componente estructural del modelo DICE representa la adaptación explícitamente, aunque se incluye implícitamente a través de la elección de los estudios utilizados para calibrar la función de daño agregado. Por ejemplo, sus estimaciones de impacto agrícola suponen que los agricultores pueden ajustar las decisiones de uso de la tierra en respuesta a las cambiantes condiciones climáticas, y sus estimaciones de impacto en la salud suponen mejoras en la asistencia sanitaria a lo largo del tiempo. Además, los pequeños impactos en la silvicultura, los sistemas de agua, la construcción, la pesca y la recreación al

aire libre implican una adaptación optimista y sin costo en estos sectores (Nordhaus y Boyer, 2000; Warren et al., 2006). Los costos del reasentamiento debido al aumento del nivel del mar se incorporan en las estimaciones de daños, pero su magnitud no se informa con claridad. En general, DICE asume una adaptación muy efectiva y en gran medida ignora los costos de adaptación.

- Modelo PAGE

El modelo PAGE trata el crecimiento del PIB como exógeno. Divide los impactos en categorías económicas, no económicas y catastróficas y calcula estos impactos por separado para ocho regiones geográficas. Los daños en cada región se expresan como una fracción de la producción, donde la fracción perdida depende del cambio de temperatura en cada región. Los daños se expresan como funciones de potencia del cambio de temperatura. Los exponentes de la función de daño son los mismos en todas las regiones, pero se tratan como inciertos, con valores que van de 1 a 3.

PAGE2002 incluye las consecuencias de eventos catastróficos en una sub función de daño separada. A diferencia de DICE, PAGE2002 modela estos eventos de forma probabilística. Se supone que la probabilidad de una discontinuidad (es decir, un evento catastrófico) aumenta con la temperatura por encima de un umbral especificado. La temperatura umbral, la velocidad a la cual la probabilidad de experimentar una discontinuidad aumenta por encima del umbral y la magnitud de la catástrofe resultante se modelan probabilísticamente.

La adaptación está explícitamente incluida en PAGE. Se supone que ocurren aumentos de temperatura por encima de cierto nivel tolerable (2°C para los países desarrollados y 0°C para los países en desarrollo con impactos económicos, y 0°C para todas las regiones para impactos no económicos), pero se supone que la adaptación reduce estos impactos. Los valores predeterminados en PAGE2002 suponen que los países desarrollados pueden finalmente eliminar hasta el 90% de todos los impactos económicos más allá del aumento tolerable de 2°C y que los países en desarrollo pueden eventualmente eliminar el 50% de sus impactos económicos. Se supone que todas las regiones pueden mitigar el 25% de los impactos no económicos a través de la adaptación.

- Modelo FUND

Al igual que PAGE, el modelo FUND trata el crecimiento del PIB como exógeno. Incluye funciones de daños calibradas por separado para ocho sectores de mercado y de no mercado: agricultura, silvicultura, agua, energía (basada en la demanda de calefacción y refrigeración), aumento del nivel del mar (basado en el valor de la tierra perdida y el costo de protección), ecosistemas, salud humana (diarrea, enfermedades transmitidas por vectores y mortalidad cardiovascular y respiratoria) y clima extremo. Cada sector de impacto tiene una forma funcional diferente, y se calcula por separado para 16 regiones geográficas. En algunos sectores de impacto, la fracción de producción perdida o ganada debido al cambio climático depende no solo del cambio absoluto de temperatura sino también de la tasa de cambio de temperatura y del nivel de ingreso regional. En los sectores forestal y agrícola, los daños económicos también dependen de las concentraciones de CO₂.

(Tol, 2009) analiza los impactos no incluidos en FUND, señalando que es probable que muchos tengan un efecto relativamente pequeño en las estimaciones de daños (tanto positivos como negativos. Sin embargo, él caracteriza varios impactos omitidos como grandes incógnitas: por ejemplo, escenarios climáticos extremos, pérdida de biodiversidad y efectos sobre el desarrollo económico y la violencia política. Con respecto a los eventos potencialmente catastróficos, señala, exactamente lo que causaría este tipo de cambios o qué efectos tendrían si no son bien entendidos, aunque la probabilidad de que ocurra alguno de ellos parece baja. Pero tienen el potencial de ocurrir con relativa rapidez, y si lo hicieran, los costos podrían ser sustanciales. Solo unos pocos estudios sobre el cambio climático han examinado estos problemas.

La adaptación está incluida implícita y explícitamente en el FUND. La adaptación explícita se ve en los sectores de la agricultura y el aumento del nivel del mar. La adaptación implícita se incluye en sectores como la energía y la salud humana, donde se supone que las poblaciones más ricas son menos vulnerables a los impactos climáticos.

La adaptación se incorpora al FUND permitiendo que los daños sean más pequeños si el cambio climático ocurre más lentamente. El efecto combinado de la fertilización con CO₂ en el sector agrícola, los impactos positivos en algunas regiones de las altas temperaturas

y los aumentos suficientemente lentos de la temperatura en estos sectores pueden generar daños económicos negativos como consecuencia del cambio climático.

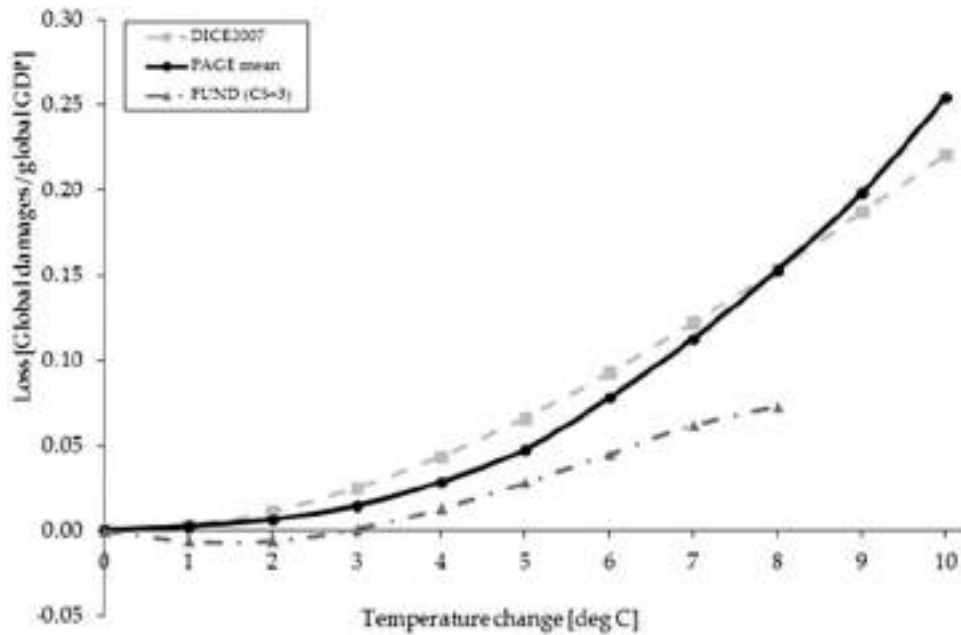
Otras limitaciones se encuentran en el hecho de que sigue siendo un modelo conservador, por no considerar impactos como los daños del aumento en la acidez del océano, daños de gran escala a nivel global como la pérdida de hielo en el mar ártico. Asimismo, los impactos no se encuentran completos en todas las categorías, o están retrasados respecto a nuevos descubrimientos en algunos campos, como por ejemplo en agricultura, donde sigue siendo difícil monetizar categorías como la pérdida de vida salvaje. Asimismo, fallan en determinar cómo los daños en el ambiente causados por emisiones persisten en el tiempo, de forma que nuevas investigación están proponiendo incluir dentro de los modelos el efecto sobre las tasas de crecimiento económico, lo que generaría un costo social severamente mayor.

Los modelos DICE, PAGE, y FUND toman enfoques altamente simplificados para estimar el Costo Social del Carbono. Traducen las emisiones en cambios en las concentraciones atmosféricas de GEI, las concentraciones atmosféricas en los cambios de temperatura y los cambios en la temperatura en daños económicos. Las proyecciones de emisiones de referencia se basan en vías socioeconómicas específicas (producto interno bruto y población). Estas emisiones se traducen en concentraciones utilizando el ciclo del carbono incorporado en cada modelo, donde las concentraciones se traducen en cambios de temperatura en función de la representación simple del clima de cada modelo y un parámetro clave, la sensibilidad climática. Finalmente, los efectos del cambio de temperatura se monetizan en función de una o más funciones que traducen los impactos físicos asociados con el aumento de temperatura en daños económicos y la tasa de descuento que se utiliza para convertir la corriente de daños económicos en un valor único.

En la

Figura 2 se presenta un ejemplo de las funciones de daños para cada IAM, en función de supuestos predeterminados de los modelos. El eje X indica aumentos en la temperatura anual en 2100; el eje Y indica la pérdida de consumo anual en el año 2100 como porcentaje del PIB mundial.

Figura 2: Resultados IAM



Fuente: Estudio "Developing a Social Cost of Carbon for US Regulatory Analysis: A Methodology and Interpretation"

Como se puede apreciar, existen diferencias significativas entre los modelos con incrementos más bajos y más altos en la temperatura promedio global, lo que refleja, en parte, diferencias en los supuestos sobre la tasa de cambio tecnológico y la capacidad de los sistemas humanos y naturales para adaptarse a los efectos del cambio climático. La función de daño del FUND predice que aumentos de la temperatura hasta aproximadamente 3°C son beneficiosos debido al efecto combinado de CO₂ en la fertilización en el sector agrícola, los impactos positivos de la temperatura más alta en algunas regiones, y los aumentos de temperatura que son lo suficientemente lentos para permitir la adaptación.

2.2.2 Limitaciones de los Modelos

Las estimaciones del Costo Social del Carbono incorporan las últimas investigaciones científicas y económicas; sin embargo, durante la modelización, quedó claro que varios problemas requieren investigación adicional para estimar de manera más precisa el Costo Social del Carbono para su uso en análisis de costo-beneficio:

- Tratamiento incompleto de impactos no catastróficos

Se espera que los impactos incrementales (es decir, no catastróficos o de ocurrencia gradual) del cambio climático sean generalizados, diversos y heterogéneos. Sin embargo, la magnitud de estos impactos es incierta debido a la complejidad de los procesos climáticos y las incertidumbres sobre el comportamiento económico de las poblaciones actuales y futuras y la tasa de cambio tecnológico y adaptación.

- Tratamiento incompleto de posibles impactos catastróficos

Recientemente se han debatido bastante sobre el riesgo de impactos catastróficos del cambio climático y la mejor forma de dar cuenta de los escenarios extremos, como las grandes liberaciones de metano por el derretimiento del permafrost y el calentamiento de los océanos. Las funciones de daño subyacentes a los tres IAM utilizados para estimar el CSC varían en el grado en que capturan los efectos económicos de tales catástrofes inducidas por el cambio climático. En particular, las formas funcionales de los modelos pueden no capturar adecuadamente:

- Comportamiento potencialmente discontinuo de punto de inflexión en el sistema terrestre.
- Las interacciones intersectoriales e interregionales, incluyendo los efectos de la seguridad mundial de los niveles más elevados de calentamiento.
- Potencial limitado a corto plazo para la sustituibilidad entre los daños a los sistemas naturales y el aumento del consumo.

- Tasa de Descuento

La tasa de descuento pretende reflejar la tasa marginal de sustitución de la sociedad entre el consumo en diferentes períodos de tiempo. Sin embargo, la elección de una tasa de descuento que se utilizará durante periodos de tiempo muy largos plantea cuestiones científicas, económicas, filosóficas y legales muy controvertidas y muy desafiantes. Como resultado, no existe un acuerdo generalizado en la literatura sobre las tasas de descuento que deberían utilizarse en un contexto intergeneracional.

El descuento juega un papel crítico en la determinación de las estimaciones de CSC, ya que éste se calcula estimando los daños de una unidad adicional de CO₂ emitida en un año

particular en términos de consumo reducido debido a los impactos de las temperaturas elevadas en el futuro. Debido a que el CO₂ tiene una vida media de aproximadamente cien años, los daños de una unidad de emisiones ocurren a lo largo de muchas décadas. La tasa de descuento se utiliza para calcular el valor actual de la corriente de daños en el año en que se emitió la unidad adicional de emisiones.

- Sensibilidad Climática

La sensibilidad climática de equilibrio (ECS por su sigla en inglés) se define como el alza en la temperatura si se duplica el CO₂ por encima de los niveles preindustriales de 280ppm a 560ppm.

Sin embargo, los tres modelos utilizados para calcular el CSC están contruidos en torno al rango de ECS de un informe anterior del IPCC publicado en 2007, la cual tenía un rango probable ligeramente más alto para ECS de 2°C a 4.5°C.

También hay otra manera de ver la sensibilidad climática. En lugar de lo que sería la temperatura una vez que el sistema climático se equilibra por completo, existe una medida más simple conocida como Respuesta Climática Transitoria (TCR por sus siglas en inglés). Esta es la temperatura en el momento en que alcanzamos el doble de CO₂, suponiendo una situación idealizada donde la concentración aumenta en un 1% por año. El TCR no permite procesos muy lentos, como el intercambio de calor entre la atmósfera y el océano profundo.

2.3 Costos Marginales de Reducción de Emisiones

El tercer método utilizado para estimar el Precio Social del Carbono corresponde al de los Costos Marginales de Reducción de Emisiones, el cual utiliza las curvas de costos de abatimiento como una base cuantitativa de lo que podría costar reducir las emisiones, ya representan los costos adicionales de reemplazar una tecnología de referencia por una alternativa de bajas emisiones.

2.3.1 Curva de abatimiento marginal

Desde hace varios años, los países se han reunido en comités internacionales especiales y han firmado acuerdos con el fin de reducir la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera. Uno de estos tratados es el Acuerdo de París, el cual hace que los países participantes definan su contribución determinada a nivel nacional (NDC, son sus siglas en inglés: Nationally

Determined Contribution) para reducir las emisiones de carbono generadas. Además, en esta línea, los países deben incluir compromisos sobre: mitigación, adaptación, construcción y fortalecimiento de capacidades, desarrollo y transferencia de tecnologías y financiamiento; y además, se deben revisar estos compromisos al alza de reducción de emisiones cada 5 años, con la idea de ir aumentando la ambición en el tiempo para asegurar que se alcance el objetivo del Acuerdo, ya 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.

Para alcanzar los objetivos propuestos en los acuerdos internacionales (en general propuestos a 20 años más) y en línea con los programas y políticas impulsadas por el gobierno de turno, los países formulan un conjunto de medidas de mitigación a implementar en distintos sectores de su economía, las cuales deben contener como métricas, los respectivos costos de implementación y el impacto positivo⁸ que genera su implementación en el medio ambiente.

Dado que los presupuestos son limitados y la cartera de proyectos públicos es amplia, se debe evaluar qué medidas de mitigación del conjunto de medidas propuestas se van a implementar en pos de maximizar el beneficio neto que éstas generan. Para ello y tomando como base las medidas de mitigación, se construyen curvas de abatimiento (o más conocidas como curva MAC), las cuales⁹ son una forma gráfica de presentar las medidas de mitigación que debiesen implementarse primeramente¹⁰ para cumplir con los objetivos meta de reducción de emisiones de GEI propuestos por los países y además permiten ilustrar la viabilidad económica y tecnológica de las medidas de mitigación.

Dicho lo anterior, este tipo de curvas muestran el costo marginal de implementar cada medida y el potencial de abatimiento de éstas con respecto a una línea base¹¹; la cual cambia a medida se incorpora una nueva medida de mitigación y es la variable decisiva para evaluar el costo y el potencial de abatimiento de cada una de las medidas.

Como se piensa en un horizonte de evaluación y ejecución futuros, por un lado, estas medidas pueden incluir tecnologías que aún se encuentran en desarrollo; y, por otro lado, dados los avances tecnológicos y la velocidad de las curvas de aprendizaje de la tecnología, se pueden

⁸ Ya sea por disminución de las emisiones potencialmente generadas o la eliminación de emisiones de carbono.

⁹ (POCH, 2017).

¹⁰ Corresponde a las medidas con menor costo de abatimiento, del conjunto de medidas en estudio.

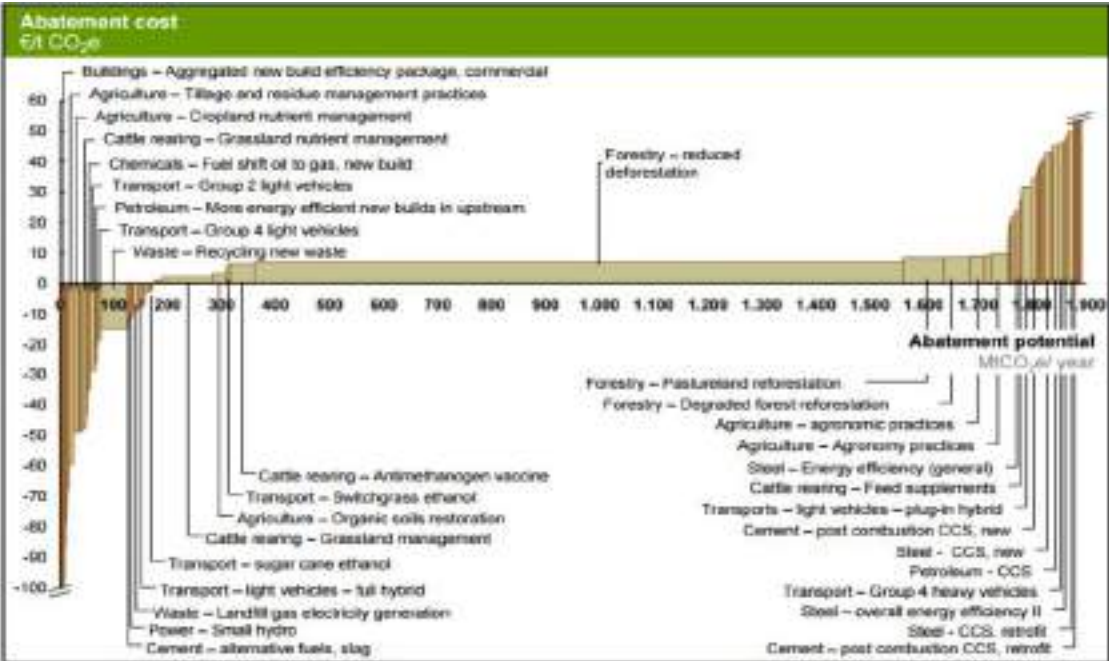
¹¹ Corresponde a la proyección de las emisiones de carbono bajo el escenario en que no se realizan esfuerzos de mitigación adicionales (business as usual).

eliminar o agregar mejoras, ya sea por inviabilidad de la tecnología o surgimiento de una tecnología superior; por lo que, es necesario actualizar constantemente las curvas.

Además, según (Price, Thornton, & Nelson, 2007), estas curvas suponen agentes racionales, información perfecta y ausencia de costos de transacción.

A modo de ejemplo, en la Figura 3, se muestra la curva de costo de abatimiento de GEI para el caso de Brasil centrado en el año 2030, desarrollada por (McKinsey & Company, 2009). Allí, cada barra muestra el costo de abatimiento relativo a la línea base por cada tonelada de emisiones evitada de cada una de las 33 medidas de mitigación propuestas y el ancho de éstas, muestra el impacto o potencial de abatimiento de las medidas relativo a la línea base. Donde la suma del ancho de las barras permite conocer el potencial total de abatimiento del conjunto de medidas formuladas.

Figura 3: Curva de costo de abatimiento de GEI para el caso de Brasil y centrado en el año 2030



Fuente: (McKinsey & Company, 2009).

Cabe destacar que, los costos de abatimiento mostrados en la curva incluyen: costos de inversión, operación y mantenimiento del proyecto; costos de la tecnología (promedio de varios proyectos que utilizan tecnología similar y consideran la evidencia de la curva de aprendizaje); costos asociados al impacto generado para todo el sector; y el costo macroeconómico producto del

impacto de la implementación de la medida en todos los sectores económicos. Sin embargo, se excluyen: costos indirectos como la demanda perdida de los consumidores de las antiguas alternativas previo a la implementación de la mejora, costos de implicaciones de bienestar; costos no financieros (como el costo de búsqueda de información); costos de implementación de políticas; y costos de transacción. Lo cual hace que la curva MAC no represente los costos reales de implementación de medidas.

Al observar el lado izquierdo de la Figura 3, se tiene que 14 de las 33 medidas tienen costo de abatimiento negativo, lo que significa que “se pagan por sí mismas” incluso en ausencia de cualquier precio de carbono, es decir, generan un beneficio neto aun cuando no esté definido el precio.

2.3.2 Limitaciones de las curvas MAC

Las curvas MAC son una herramienta fácil de entender y debido a que sustentan gran parte del análisis de los costos y potenciales relacionados con la mitigación del cambio climático llevados a cabo para la formulación de políticas, es importante garantizar que las cifras en las que se basan sean sólidas, lo cual depende de dos factores: la calidad de los supuestos y el método empleado para generar la curva de costos.

Al revisar la literatura, se identifican algunas de las limitaciones de las curvas de abatimiento, las cuales se presentan a continuación:

- **Las curvas MAC son estáticas en el tiempo** (POCH, 2017), lo que dificulta entender el impacto de los escenarios de mitigación a través del tiempo (antes y después de la implementación de las medidas). Además, no dimensionan el efecto macroeconómico de un escenario de mitigación, al no considerar las interacciones entre los distintos sectores de la economía ni en el mismo sector.
- **No capturan las barreras no comerciales a la implementación, incluidos los costos indirectos o no relacionados con la transacción.**

Como se puede apreciar en la figura 3, más de una cuarta parte de las opciones presentadas en la curva MAC tienen costos negativos, lo que representa casos en los que la opción baja en carbono es más barata que la opción de BAU. Si bien en algunos casos esto apunta a oportunidades comerciales reales, en otros casos las barreras no comerciales pueden obstaculizar la implementación de estas opciones. En la práctica, se

debe tener precaución al combinar opciones con costos negativos y positivos para llegar a una implementación sin costos. Además, las oportunidades de negocios solo surgen si la persona que toma la decisión de inversión puede capturar los costos adicionales negativos.

- **Contiene un tratamiento muy limitado de las incertidumbres en los análisis suyacentes y supuestos utilizados.**

El punto de partida para la elaboración de una curva MAC es la construcción de una línea base de emisiones en el año objetivo, y un inventario de las tecnologías del escenario BAU. Esto no solo es necesario para evaluar los costos marginales de las alternativas bajas en carbono, sino también para evaluar el potencial de cada una. A continuación, se deberá realizar un análisis de las alternativas tecnológicas disponibles con bajas emisiones de carbono en el año objetivo. En tercer lugar, es necesario hacer supuestos sobre los aspectos económicos de las opciones de mitigación específicas (es decir, cuál es la vida económica, cuáles son las propiedades de riesgo y rendimiento) y sobre la cuestión más general de cómo traducir los costos y beneficios futuros a cifras anuales (es decir, tasa de descuento). Puede haber incertidumbres significativas en cada supuesto, especialmente en un contexto de país en desarrollo con altas tasas de crecimiento económico, altas tasas de descuento y disponibilidad limitada de datos estadísticos de alta calidad.

- **Tiene dificultad para capturar las interacciones entre diferentes medidas que pueden limitar el potencial de reducción total**

Los costos de reducción dependen de acciones anteriores al año de la curva MAC; por lo que las estrategias de reducción se presentan y consideran mejor como escenarios o trayectorias, en las cuales las decisiones en un período influyen en la trayectoria posterior. Las emisiones acumuladas son un indicador más sólido desde el punto de vista científico del compromiso de calentamiento global que los potenciales de reducción en uno o dos años horizontales.

- **No aborda dimensiones que no sean costos directos, incluidos factores estratégicos, operativos o políticos.**

No todos los elementos de costo se pueden monetizar; las decisiones sobre qué medidas de reducción se priorizan deben ir más allá de los costos presentados en cualquier curva MAC, para considerar los costos que pueden haber escapado a la monetización y a

problemas más amplios, lo cuales pueden incluir beneficios secundarios (contaminación del aire y del agua) o fallas del mercado.

Basar las decisiones solo en los costos tecnológicos estimados puede no solo no producir los ahorros de carbono prometidos, sino también dar como resultado consecuencias involuntarias o perversas.

3. Proceso de establecimiento del precio social del carbón en la evaluación de proyectos de inversión pública en Chile

En este capítulo se aborda el proceso que se llevó a cabo en Chile para el establecimiento de un precio social del carbono aplicable a la evaluación de las inversiones públicas en ese país.

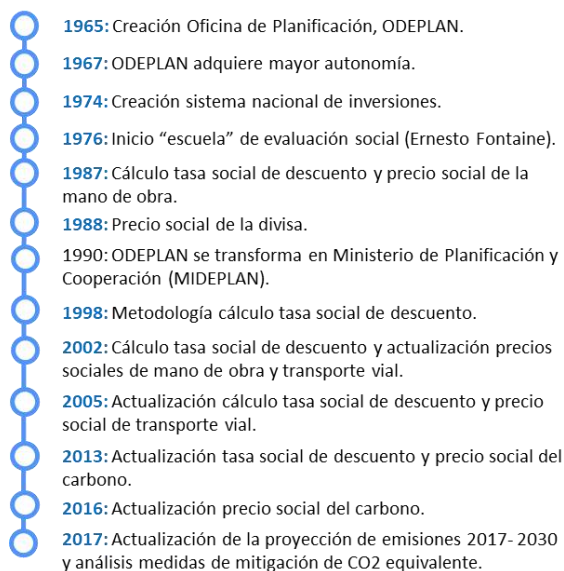
3.1 Evaluación social en Chile

Para evaluar la conveniencia para el país de los proyectos públicos que se financian, Chile cuenta con una robusta institucionalidad, que se encarga de entregar metodologías de formulación y evaluación de proyectos según el sector económico donde se desarrolla y además, de estimar y publicar anualmente los precios sociales, los cuales son utilizados en el proceso de evaluación y cálculo de indicadores relevantes. El organismo encargado de realizar lo anterior, es el Ministerio de Desarrollo Social del país. Además, se cuenta con un Sistema Nacional de Inversión Pública, el cual tiene como 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, 2018).

En cuanto a los precios sociales que cuenta el país, se tienen los siguientes: tasa social de descuento, precio social de la mano de obra, precio social de la divisa, valor social del tiempo de viaje, precio social del combustible, otros precios sociales de operación vehicular (neumáticos, lubricantes, entre otros), valor estadístico de la vida (VEV) y precio social del carbono (CO₂). La determinación de éstos ha sido un proceso de varios años, tal como se muestra en la

Figura 4.

Figura 4 – Evolución evaluación social de proyectos en Chile.



3.2 El Precio Social del Carbono en Chile

3.2.1 Contexto internacional y nacional

En diciembre de 2015, durante la Conferencia de las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (COP21), se adoptó el acuerdo de París, en el cual los 195 países participantes son responsables de tomar acción y reportar el progreso de sus acciones para alcanzar la meta global propuesta de contener el aumento de la temperatura media global por debajo de los 2°C respecto al nivel alcanzado en la era preindustrial, hacia fin de siglo; y limitar el aumento de la temperatura a 1,5°C.

En cuanto al mecanismo de acción que tomó Chile en el marco de su participación en el Acuerdo de Paris, se tiene según (POCH, 2017) y (POCH, 2016):

- Definición de la contribución determinada a nivel nacional (NDC, Nationally Determined Contribution). Para ello, se definió la contribución de mitigación sin el sector UTCUTS¹² y específicas para dicho sector, estableciendo dos metas para cada uno: meta de intensidad de carbono y meta expresada en toneladas de CO₂ equivalentes.

¹²UTCUTS: Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura.

- Incorporación de compromisos sobre: mitigación, adaptación, construcción y fortalecimiento de capacidades, desarrollo y transferencia de tecnologías y financiamiento.
- Implementación de las medidas y reporte de avance de éstas.
- Revisión de sus compromisos al alza cada 5 años, con la idea de ir aumentando la ambición en el tiempo para asegurar que se alcanza el objetivo del Acuerdo, ya 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.

Desde el 2015 a la fecha, las principales líneas de acción en torno a la lucha contra del cambio climático han sido lideradas por el Ministerio del Medio Ambiente, con una amplia participación de las distintas secretarías de Estado. A continuación, se detallan los esfuerzos realizados:

- Incentivo a las energías renovables no convencionales (ERNC), donde a través de la Ley 20.698 se exige que, al año 2025, el 20% de las inyecciones para los contratos sujetos a la ley provenga de ERNC.
- Tránsito hacia una matriz energética más limpia, apuntando a un 45% de la capacidad de generación eléctrica que se instale en el país provenga de las ERNC.
- Reforma tributaria e impuesto sobre las emisiones de CO₂ procedentes de fuentes fijas, tanto a la emisión de contaminantes globales (CO₂) como a la emisión de contaminantes locales (SO_x, NO_x, PM): El año 2014 se hizo pública la incorporación del impuesto sobre las emisiones de CO₂ procedentes de fuentes fijas, tanto a la emisión de contaminantes globales (CO₂) como a la emisión de contaminantes locales (SO_x, NO_x, PM), a través de la ley 20.780; pero no fue hasta el 2017 cuando entró en vigor la recaudación de este impuesto.

Según lo expuesto en (Ministerio de Medio Ambiente, 2018), el impuesto tiene un “componente fijo” equivalente a US\$5 por toneladas de CO₂ emitidas y un componente variable para las emisiones de los otros contaminantes considerados el cual es determinado sobre la base de la cantidad de emisiones, el nivel de concentración de dichos contaminantes en la zona donde se generan y la población afecta. Al analizar lo anterior, se tiene que el valor del impuesto es muy bajo en comparación al precio social del carbono de la fecha fijado en US\$32/tCO₂, por lo que no genera el efecto esperado de

desincentivar las emisiones de gases contaminantes por parte de los entes afectados por el impuesto.

Se espera que se hagan modificaciones al impuesto, tanto en aumentar su monto impositivo como en incorporar otros mecanismos complementarios que permitan ampliar las herramientas disponibles para cumplir los objetivos de lucha contra el cambio climático en el país.

3.2.2 Metodología de estimación

Según (POCH, 2016), el 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 de proyectos públicos el costo (o beneficio) social que tiene aumentar (o disminuir) las emisiones de gases de efecto invernadero de un determinado proyecto.

Esta estimación consideraba el precio de los instrumentos que se transan bajo el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), es decir, los precios promedio anuales de los certificados de reducción de emisiones de proyectos implementados en países en desarrollo (CERs), en base a niveles de emisiones permitidas (o cantidades asignadas), las cuales se pueden transar (EUAs).

De esta forma, el precio social del carbono se calculaba según la siguiente expresión:

$$PSC_t = PMC_{t-1}$$

Donde PSC_t es el precio social del carbono en el año t y PMC_{t-1} es el precio promedio anual de los certificados de reducción de emisiones del año $t-1$. Mediante esta metodología se obtuvo valores de US\$4,05/tCO₂ para el año 2013, y US\$8,44/tCO₂ para el año 2015.

Sin embargo, el precio del mercado del carbono actual no permite reflejar el valor real de la tonelada de dióxido de carbono transada debido a que dicho 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.

A esa fecha no existía una directriz transversal que incentivara a los gestores y formuladores de proyectos a estimar el impacto positivo o negativo que generan los proyectos en las emisiones de gases de efecto invernadero, y por lo tanto no se observaba una aplicación intensiva del precio social de carbono publicado por el Ministerio de Desarrollo Social. Esto sumado a que el precio

calculado era bajo en comparación con precios sociales utilizados por otros países, por lo que su impacto en la evaluación de proyectos resultaba ser marginal.

De esta forma, el año 2016 se lleva a cabo el proyecto “Integrando el cambio climático en el Sistema Nacional de Inversiones de Chile” desarrollado por las empresas Poch y Ricardo Energy & Environment, apoyado por la Embajada Británica de Santiago, y bajo el mandato del Ministerio de Desarrollo Social, el Ministerio de Obras Públicas y el Ministerio del Medio Ambiente, tiene por objetivo apoyar la inclusión de la externalidad negativa (o positiva) que generan las emisiones (o reducciones) de gases de efecto invernadero y su respectiva valoración económica, en la evaluación socioeconómica de la inversión pública en Chile.

La metodología propuesta pretende determinar el precio social del carbono a partir del análisis de los costos marginales de abatimiento de dióxido de carbono que permiten cumplir con las metas de mitigación de Chile. El análisis de los costos marginales de abatimiento para Chile, se deriva de información disponible a esa fecha, proveniente del proyecto *Mitigation Action Plans and Scenarios* (MAPS) Chile.

En la siguiente se muestra de manera esquemática la metodología utilizada por Chile:

Figura 5: 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”

El proyecto MAPS-Chile, “Opciones de mitigación para enfrentar el cambio climático” (Mitigation Action Plans and Scenarios), es un proyecto de gobierno en el que participaron activamente siete ministerios (Ministerio de Relaciones Exteriores, de Hacienda, Transporte y Telecomunicaciones,

Agricultura, Energía, Medio Ambiente y Minería) y cuya secretaría ejecutiva era la Oficina de Cambio Climático del Ministerio del Medio Ambiente.

MAPS surgió de la experiencia de los escenarios de mitigación a largo plazo (LTMS) en Sudáfrica, que se desarrolló entre 2005-2007. El LTMS recibió una evaluación favorable del Banco Mundial que describió el proceso como pionero, "un logro importante y merecedor de apoyo y desarrollo" (Wang et al., 2008). Después de esta revisión, se alentó al equipo a compartir las lecciones aprendidas con otros países del Sur. Esto llevó a los procesos de país de MAPS que se ejecutaron durante el período 2010-2015: Implicaciones Económicas y Sociales (IES-Brasil) en Brasil, MAPS Chile en Chile, Planificación Ante el Cambio Climático (PlanCC) en Perú, y aportes a la Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono (ECDBC) en Colombia.

En el caso de MAPS Chile, a fines del año 2011, se requirió un proyecto que estudiara las mejores opciones que tiene el país para la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), con una línea base de tiempo de 2013 hasta el 2030, arrojando las medidas y escenarios de mitigación, junto a un análisis de los efectos macroeconómicos asociados a los distintos escenarios.

El proyecto MAPS Chile, analizó y evaluó más de 96 medidas de mitigación para la reducción de emisiones de GEI, a las que suman distintos niveles de aplicación de las mismas.

La elaboración de escenarios de mitigación presentó información específica sobre costos de abatimiento, potencial de mitigación y factibilidad de cada medida organizando grupos multisectoriales.

Se elaboraron posibles escenarios específicos base para medidas de mitigación específicas, cumpliendo ciertos criterios pre-establecidos, por ejemplo, eficiencia energética, energías renovables no convencionales, energía nuclear, energías renovables, escenarios específicos (base, medio y alto) y un escenario 80/20 (que grupa un conjunto reducido de medidas de mitigación que suman un potencial alto de mitigación).

Para cada uno de estos escenarios se proyectaron las intensidad de emisiones de CO₂e y se construyeron las Curvas MAC, tal como se presenta en las Figuras a continuación.

Figura 6: Intensidades proyectadas al año 2030 de un subconjunto de escenarios evaluados en MAPS

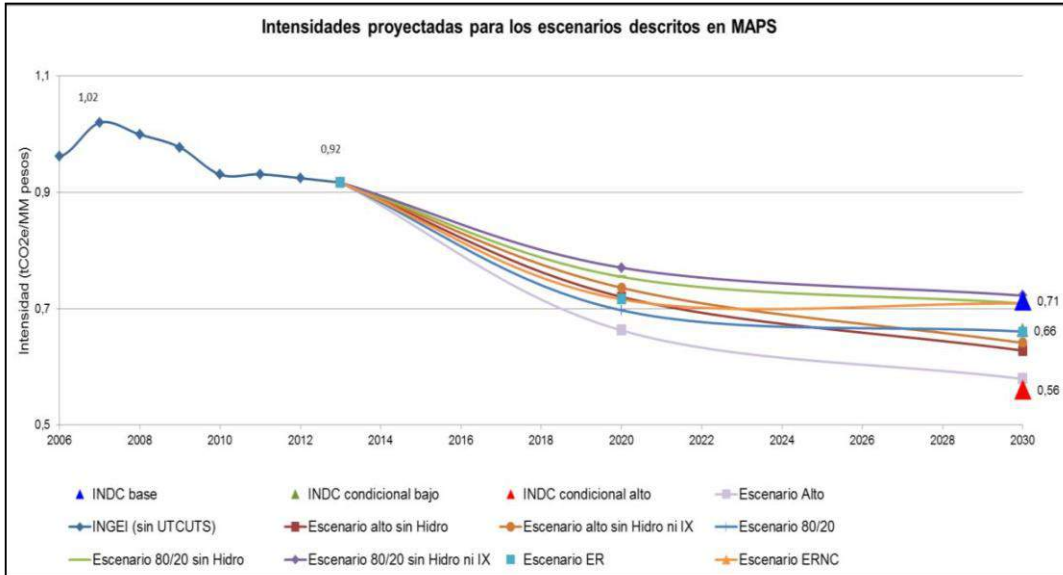


Figura 7: Curva Marginal de Abatimiento 2030, escenario ERNC



Tal como se puede apreciar en la Figura 7, para cada meta existe un precio social del carbono para ese escenario específico¹³. Por ejemplo, en el escenario ERNC, para la meta de 30% de reducción de emisiones (equivalente a una reducción de 18,25 MmtCO₂) el precio social o costo marginal de

¹³Cabe señalar que en la determinación de los costos marginales asociados a los escenarios se desprecian los valores negativos y se consideran cero, ya que estos valores negativos resultan de medidas rentables que no requieren soporte adicional, aunque en la realidad una serie de barreras pueden limitar la implementación de estas medidas.

abatimiento es de 47,3 US\$/tCO₂ y de 49,5 US\$/tCO₂ para la meta de 35% de reducción de emisiones de CO₂ (29,57 MMtCO₂).

Con esta información se contruyen los escenarios de precios sociales que se presentan en la Tabla 1, con los promedios para cada meta que se reportan y que fluctúan entre 20,2 US\$/tCO₂ y 43,2 US\$/tCO₂.

Tabla 1: Costos de abatimiento marginales actualizados al 6%

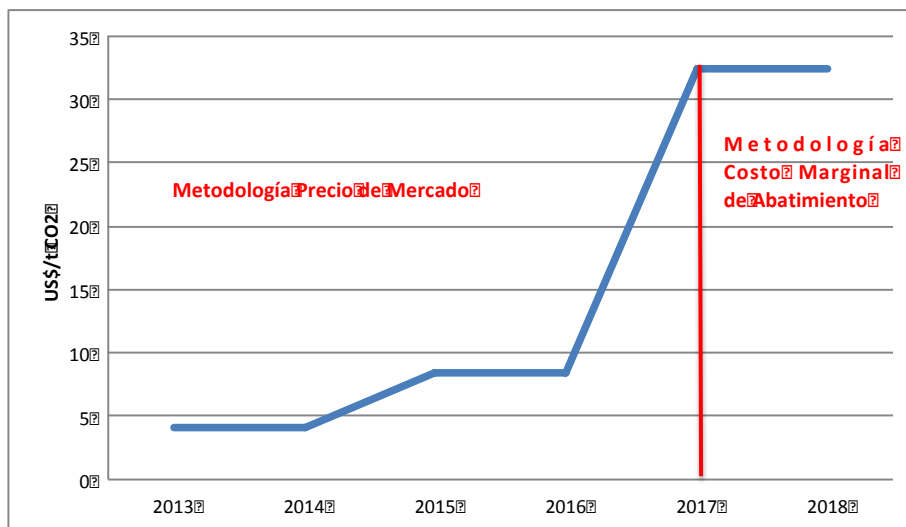
Meta NDC/Escenario	80/20 Sin Hidroelectricidad en Aysén ni Intercambio Regional	Energías Renovables No Convencionales	Alto Sin Hidroelectricidad en Aysén ni Intercambio Regional	Promedio
30%	27,4	33,2	0	20,2
35%	35,9	35,9	25,6	32,5
45%	NO SE ALCANZA META	NO SE ALCANZA META	34,1	43,2 ⁷

Nota: Valor promedio escenario meta 45% fue modificado, pues algunos escenarios no alcanzaban la meta.

La nueva estimación fue ratificada por la Presidente de la República Sra. Michelle Bachelet Jeria en la cuenta pública del 1 de junio de 2017, donde señaló: *“Por lo pronto, y porque el ejemplo empieza por casa, todas las inversiones del sector público incorporarán en sus cálculos sus efectos sobre la contaminación. Cada tonelada de carbono que emitan tendrá un precio social de 40 dólares por tonelada”*.

La Figura 8 , muestra la evolución desde los inicios del proceso de establecimiento del precio social del carbono en Chile, el año 2013, hasta el año 2018, medido en dólares americanos por tonelada de carbono emitida. Los datos fueron obtenidos de las publicaciones realizadas anualmente por el Ministerio de Desarrollo Social en el período 2013-2018.

Figura 8: Evolución histórica desde 2013 a la fecha, del precio social del carbono en el Sistema Nacional de Inversiones de Chile, medido en US\$/tCO₂.

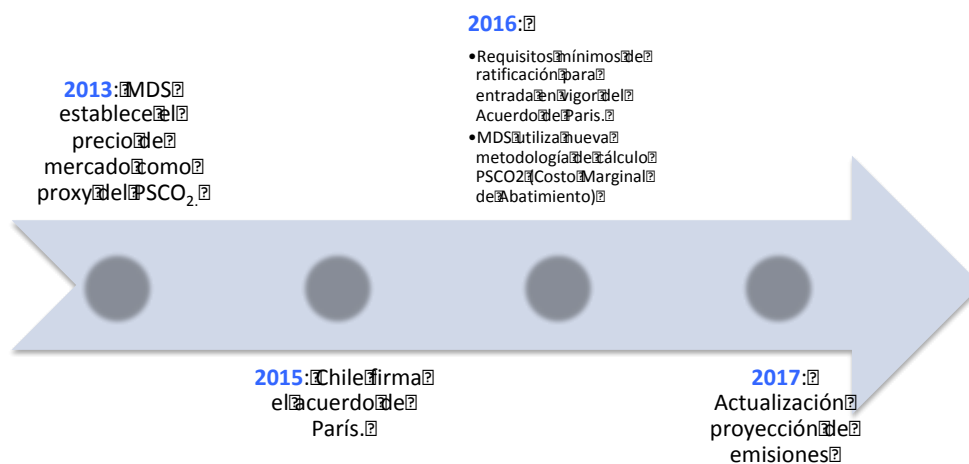


Fuente: Elaboración propia a partir de información del MDS.

En el gráfico anterior, se puede ver una diferencia sustancial en la estimación del precio social antes y después de aplicar la nueva metodología (costo marginal de abatimiento); lo que deja en evidencia lo poco representativo que resulta el precio de mercado frente al precio que le da la sociedad a una tonelada adicional de carbono emitida.

A modo de síntesis del proceso, la siguiente figura presenta la cronología seguida por Chile en el proceso de establecimiento de un precio social del Carbono.

Figura 9: Cronología establecimiento PS CO₂ en Chile



Fuente: Elaboración propia.

En base a lo realizado en Chile contenido en el informe Integrando el cambio climático en el Sistema Nacional de Inversión Pública de Chile (POCH, 2016), se siguió la siguiente metodología para estimar el precio social del carbono e incorporarlo en los procesos de evaluación de proyectos:

- Definir la contribución nacionalmente determinada de Chile.
- Conocer la intensidad de emisiones histórica.
- Analizar emisiones GEI actuales según los distintos sectores económicos.
- Evaluar medidas de mitigación proyectada, en base a “escenarios de mitigación” definidos, entre ellos: escenario 80/20, escenario Alto, escenario ERNC.
- En base a los escenarios, construir las curvas de abatimiento del conjunto de medidas de mitigación contempladas. Para ello es necesario ordenar las medidas de forma ascendente según sus costos de abatimiento, descontados a tasas de descuento dadas. Para ser consistentes, se deben actualizar estos flujos a la tasa social de descuento que maneja el SNI.
- En base a la curva MAC, se puede estimar el precio social del carbono de la siguiente manera:
 - Determinar las toneladas de CO₂ a mitigar en cierto período de tiempo. Se definieron 3 escenarios meta:
 - Alternativa 1: usar el escenario meta del 35% como valor central.
 - Alternativa 2: usar análisis estadístico para cada escenario meta.
 - Alternativa 3: usar análisis estadístico al considerar el promedio de todos los escenarios de mitigación y escenario meta.
 - Calcular el costo de abatimiento para cada escenario meta, considerando los distintos escenarios de mitigación, a distintas tasas de descuento utilizadas en el proyecto MAPS Chile. Sin embargo, como ninguna de estas tasas corresponde a la tasa que maneja el SNI, se realizaron interpolaciones logarítmicas, exponenciales, potencia y lineal entre el costo de abatimiento y las tasas de descuento utilizadas, para utilizar el promedio de estos valores como el costo de abatimiento marginal para el escenario de mitigación y escenario meta determinado.
 - Determinar el rango de sensibilidad.

4. Método de cálculo del precio social del carbón en la evaluación de proyectos de inversión pública en países de América Latina y el Caribe

4.1 Metodología

En función de la experiencia internacional, se propone utilizar la metodología de Costo Marginal de Abatimiento de CO₂ como el método para calcular el precio social del carbono a aplicar en los proyectos de inversión pública en Latinoamérica y el Caribe en el marco de los Sistemas Nacionales de Inversión Pública.

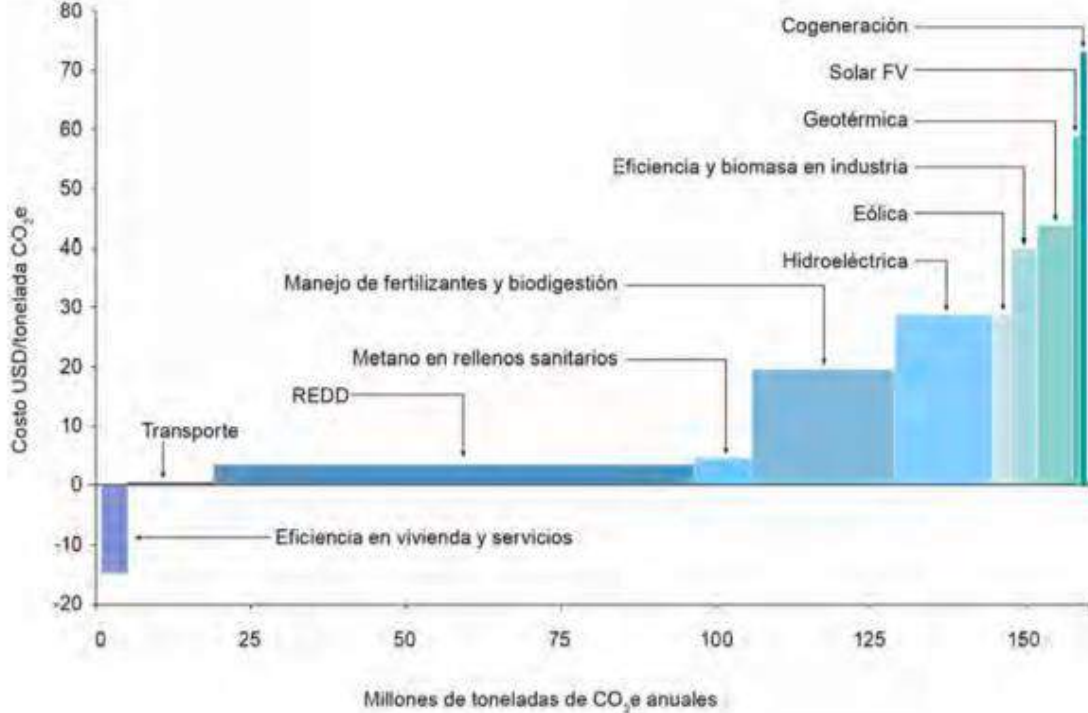
Esta metodología requiere como insumo básico las curvas de costo de abatimiento marginal (curvas MAC, por sus siglas en inglés), las que han sido estimadas en diferentes proyectos realizados en los últimos años en los países de LAC, por lo cual existe información y experiencia al respecto en la región.

Cabe destacar en este sentido el Programa MAPS (Mitigation Actions Plans and Scenarios), que ha estimado estas curvas en proyectos realizados en Brasil, Chile, Colombia y Perú. Por otra parte, en (CEPAL, 2011) se reporta una curva de costos marginales de reducción de emisiones para Centroamérica, la cual considera en conjunto los siguientes países: Belice, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua y Panamá (Ver

Figura 10).

En el caso de Centroamérica, esta información podría permitir una estimación de un precio social del carbono agregado para los países mencionados previamente. Esto requiere una definición o acuerdo por parte de los países, de manera de que el valor que resulte de la aplicación sea efectivamente implementado e incorporado en las normas e instrucciones de formulación y evaluación social de proyectos de inversión pública, en el marco de los Sistemas Nacionales de Inversión Pública (SNIP) de cada país.

Figura 10: Modelaje Inicial de una Curva de de Costos Marginales de Reducción de Emisiones GEI, 2030 (en dólares de Estados Unidos por Tonelada ce CO2e)



Fuente: (CEPAL, 2011)

El procedimiento metodológico a seguir es el siguiente:

1. Proyección de emisiones para línea base.
 - Identificar sectores que contribuyen a las emisiones a nivel nacional.
 - Identificar variables externas que influyen en las emisiones anteriormente identificadas (por ejemplo, PIB y población).
 - Proyectar las variables externas relevantes en el horizonte temporal definido (por ejemplo, 2030).
 - Calcular emisiones para el horizonte temporal establecido (por ejemplo, 2030): Con la proyección de las variables relevantes se proyectan y calculan las emisiones para el horizonte temporal definido. Esto permite establecer las emisiones necesarias de mitigar y por tanto, estimar el costo que tendría implementar un conjunto de medidas específicas.
 - Análisis de sensibilidad de las emisiones, respecto a las variables identificadas.
 - Medir la intensidad de carbono, de manera desagregada por sector y agregada incluyendo todos los esfuerzos de manera global.

2. Identificación medidas de mitigación, se puede realizar a partir de:
 - Evaluación técnico-económica.
 - Valoración de costos-beneficios.
 - Evaluación de las barreras de implementación de éstas.
 - Revisión de la agenda pública del gobierno de turno

3. Estimación del costo y potencial de abatimiento del conjunto de medidas.

Respecto de los costos, se debe considerar en esta estimación los costos de inversión, operación y mantenimiento del proyecto; costos de la tecnología (promedio de varios proyectos que utilizan tecnología similar, teniendo en consideración la evidencia de la curva de aprendizaje); costos asociados al impacto generado para todo el sector; y el costo macroeconómico producto del impacto de la implementación de la medida en todos los sectores económicos e idealmente, otros costos indirectos asociados.

4. Diseño de estrategias bajas en carbono: En base a las medidas identificadas, se selecciona un sub conjunto de medidas que presenten un alto potencial de mitigación y bajo costo de abatimiento. Además, se debiesen considerar otras consideraciones asociadas: beneficios en empleos, impactos en la salud y medio ambiente, análisis de barreras de implementación y factibilidad política.

5. Construcción de la curva de costo marginal de abatimiento (curva MAC).

Se ordenan las medidas de menor a mayor costo, considerando el potencial de abatimiento de cada una de ellas.

6. Definir la meta de reducción de emisiones en un horizonte temporal definido (por ejemplo, 2030) a partir de la contribución nacionalmente determinada del país o conjunto de países.

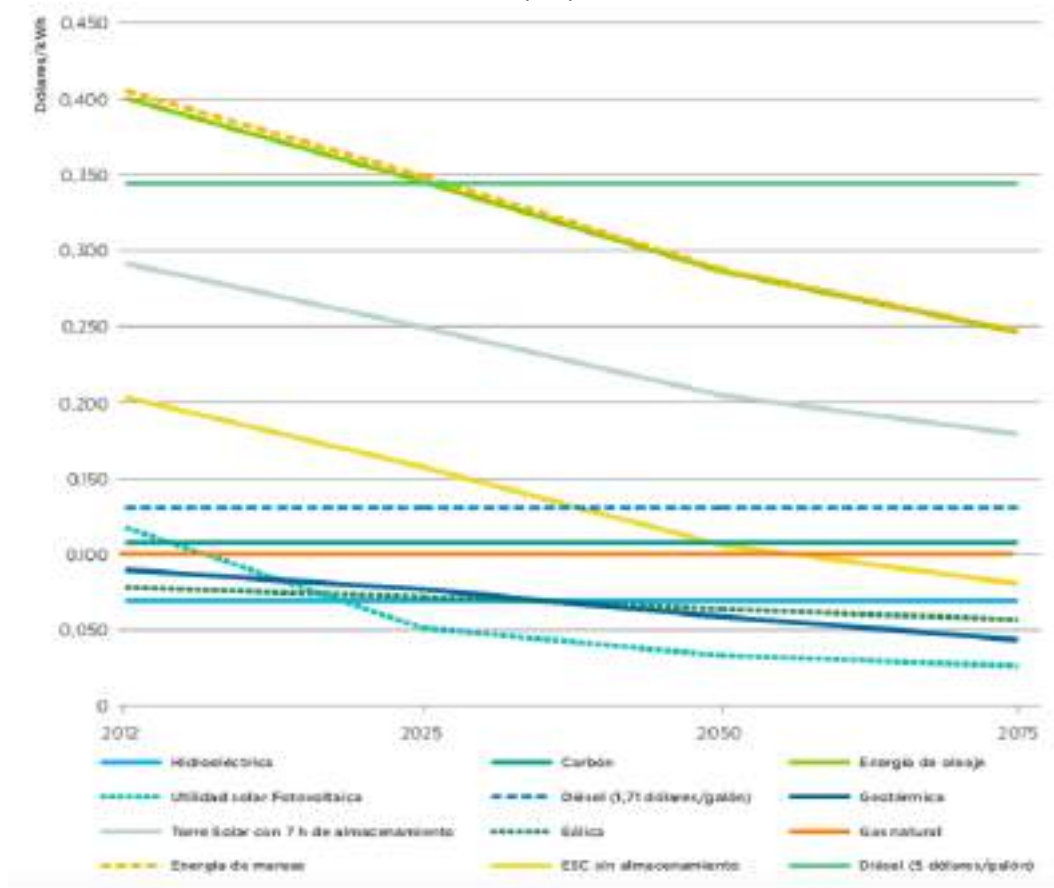
7. Calcular el Precio Social del Carbono como el costo marginal de la medida de mitigación que permite cumplir con la meta de reducción de emisiones en el horizonte temporal definido.

4.2 Aspectos críticos de la metodología

Si bien una de las ventajas de la metodología propuesta es que existen estudios que han determinado las curvas MAC para varios países de la región, uno de los aspectos críticos es que la mayor parte de esos estudios están basados en información de hace algunos años atrás. Por ejemplo, el estudio de (CEPAL, 2011) utiliza información de los inventarios de emisiones del año 2000 y (MAPS Chile, 2014) utiliza información al año 2013. Además, en los últimos años se ha acelerado la adopción de nuevas tecnologías (vehículos eléctricos, energía solar y eólica, iluminación y maquinaria eficiente, entre otros), así como la reducción en los costos de estas tecnologías.

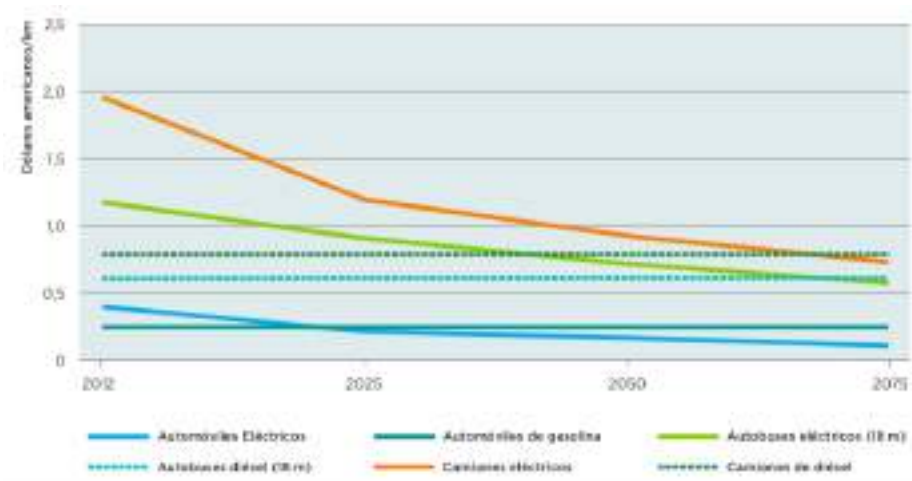
A modo de ejemplo, las figuras a continuación muestran las curvas de aprendizaje proyectadas para energías renovables (expresadas en CNE proyectados) y para opciones de vehículos eléctricos (Vergara, Fenham, & Schletz, 2016).

Figura 11: Curvas de aprendizaje estimadas para energías renovables expresadas en CNE proyectados



Fuente: (Vergara, Fenham, & Schletz, 2016)

Figura 12: Curvas de aprendizaje proyectadas para opciones de vehículos eléctricos.



Fuente: (Vergara, Fenham, & Schletz, 2016)

Por otra parte, se debe analizar el avance en la implementación de las medidas consideradas y la proyección de emisiones en este nuevo escenario base.

En el caso de Chile, (POCH, 2017) es una muy buena fuente de información para actualizar el precio social del carbono, pues este estudio actualiza para Chile la proyección de emisiones de GEI en el periodo 2017-2030 para los distintos sectores a nivel nacional, así como los costos y potencial de mitigación de un conjunto de medidas en el sector energía y forestal que permitan el cumplimiento de los compromisos del país en Cambio Climático. Además, estima una nueva curva de abatimiento para el periodo 2017-2030.

Cabe señalar que comparado con las proyecciones de los estudios de (MAPS Chile, 2014), las emisiones totales proyectadas en (POCH, 2017) han disminuido drásticamente al año 2030 alcanzando un valor de 137 MMtCO_{2e}, mientras que los estudios de (MAPS Chile, 2014) proyectaban 179 MMtCO_{2e}. De igual forma, en términos de intensidad (emisiones por unidad de PIB) (POCH, 2017) proyecta 0,75[tCO_{2e}/MM\$] mientras que (MAPS Chile, 2014) proyectaba 0,79[tCO_{2e}/MM\$], siendo atribuible la diferencia principalmente al sector generación. La comparación en términos de intensidad permite concluir que independiente del crecimiento económico considerado, se evidencian los esfuerzos realizados en materia de mitigación en los últimos años a través de una disminución del parámetro pese a la consideración de una tasa de crecimiento del PIB menor.

Por su parte, el PIB proyectado en (POCH, 2017) al año 2030 en moneda año 2011 corresponde a 182.492.726 MM\$, por lo que las emisiones netas máximas para alcanzar la meta incondicional del país corresponden a 129,57 [MMtCO₂e]. De acuerdo a la proyección de emisiones determinadas en este estudio, al año 2030 se emitirían 136,99[MMtCO₂e], por lo que las medidas de mitigación debiesen por lo menos reducir 7,42 [MMtCO₂e] anuales al 2030. Siguiendo la misma metodología para cumplir el compromiso condicional de reducir en un 45% la intensidad de emisiones respecto al año 2007, se debiesen reducir al menos 34,79 [MMtCO₂e]. En comparación, (MAPS Chile, 2014) establecía que en el periodo 2014-2030 se requerían mitigar 18,25 [MMtCO₂e] para cumplir con la meta incondicional y 52,19 [MMtCO₂e] para reducir en un 45% la intensidad de emisiones respecto de 2007 (meta condicional alta).

En el caso de Centroamérica, se desconoce si existe información más actualizada que permita estimar las curvas MAC para la región. Utilizar la curva MAC disponible en (CEPAL, 2011) puede no reflejar la realidad actual de los países de la región y esta es una consideración que se debe tener en cuenta.

Una fuente de datos que se puede utilizar para actualizar el análisis realizado es Climate Watch (<https://www.climatewatchdata.org>). Esta es una plataforma en línea que reúne docenas de conjuntos de datos para permitir a los usuarios analizar y comparar las Contribuciones Determinadas Nacionalmente (NDC) bajo el Acuerdo de París, acceder a datos históricos de emisiones, descubrir cómo los países pueden aprovechar sus objetivos climáticos para lograr sus objetivos de desarrollo sostenible, y utilice modelos para trazar nuevos caminos hacia un futuro bajo en carbono.

Climate Watch es administrado por el World Resources Institute e incluye:

- Datos y visualizaciones de las emisiones de gases de efecto invernadero de todos los países;
- Una base de datos completa y fácil de usar de todas las contribuciones de los países determinadas a nivel nacional (NDC);
- Mapeo integral de los vínculos entre las Contribuciones Determinadas Nacionalmente (NDC) y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (SDG) y los objetivos asociados de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible;

- Los datos y visuales de las vías de los escenarios de emisiones para los principales países emisores, se derivan de una creciente biblioteca de modelos;
- Páginas de perfil nacional y sectorial que ofrecen una instantánea del progreso climático, riesgos y vulnerabilidades; y
- La capacidad de descargar datos y crear, guardar y compartir visualizaciones de datos personalizadas a través de My Climate Watch.

Otra fuente posible de información on-line corresponde al compendio de Estadísticas Ambientales de la OECD <https://data.oecd.org/environment.htm>

4.3 Recomendaciones de política pública

Establecer un precio social del carbono es indispensable en una estrategia para avanzar en la ejecución de proyectos de infraestructura pública baja en carbono y que contribuya a compatibilizar las decisiones de inversión pública con las metas y compromisos de cada país frente a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático.

En Latinoamérica y el Caribe los Sistemas Nacionales de Inversión Pública son los entes que rigen el proceso de inversión pública y tienen las atribuciones normativas para implementar precios sociales, por lo cual no se requieren cambios legales o normativos adicionales para dotar de atribuciones a los SNIP en su implementación.

Sin embargo, para que la incorporación de un precio social del carbono sea efectiva se requerirá desarrollar modelos que permitan estimar la cantidad de emisiones de las distintas alternativas de proyectos en los distintos sectores, así como capacitar tanto a los profesionales de los SNIP como a los formuladores de proyectos. En este sentido, se recomienda trabajar de forma conjunta entre los SNIP de LAC (por ejemplo, a través de la Red SNIP¹⁴) de manera de desarrollar productos que sean replicables en los diferentes países, sin incurrir en duplicidades.

¹⁴La Red SNIP es auspiciada por el ILPES-CEPAL y el BID (CoPLAC-GPRD) y convoca a los directores de inversión pública de Latinoamérica y el Caribe para intercambiar experiencias y buenas prácticas y promover el perfeccionamiento institucional que facilite una mejor eficiencia en la asignación de los recursos disponibles para inversión pública en los países miembros de la Red.

5. Bibliografía

POCH. (2017). *Actualización de la proyección de emisiones 2017- 2030 y análisis medidas de mitigación de CO2 equivalente*.

POCH. (2016). *Integrando el cambio climático en el Sistema Nacional de Inversión Pública de Chile*.

Ministerio de Desarrollo Social. (2018). *Normas, instrucciones y procedimientos para el proceso de inversión pública (NIP)*.

Gobierno de Chile. (2015). *Contribución nacional tentativa de Chile (INDC) para el acuerdo climático Paris 2015*.

Price, R., Thornton, S., & Nelson, S. (2007). *The Social Cost of Carbon and the Shadow Price of Carbon: what they are, and how to use them in economic appraisal in the UK*.

Ekins, P., Kesicki, F., & Z.P. Smith, A. (2011). *Marginal Abatement Cost Curves: A call for caution*. UCL Energy Institute, London.

McKinsey & Company. (2009). *Pathways to a low-carbon economy for Brazil*. Sao Paulo.

High-Level Commission on Carbon Prices. (2017). *Report of the High-Level Commission on Carbon Prices*. Washington, DC: World Bank.

Ibarrarán, M. E. (2010). *Externalidades, Bienes Públicos y Medio Ambiente*. México D.F.: Universidad de las Américas.

MAPS Chile. (2014). *MAPS Chile Opciones de Mitigación para Enfrentar el Cambio Climático. Resultados Fase 2*. Santiago, Chile: Ministerio del Medio Ambiente.

McKinsey & Company. (2010). *Impact on the Financial Crisis on Carbon Economics: Version 2.1 of the Global Greenhouse Gas Abatement Cost Curve*.

CEPAL. (2011). *La Economía del Cambio Climático en Centroamérica: Reporte Técnico 2011*.

Ministerio de Medio Ambiente. (2018). *Potencialidades y Posibles Tránsitos de los Impuestos verdes en Chile*. Santiago, Chile.

Tol, R. S. (2009). *The Economic effects of Climate Change* (Vol. 23). Journal of Economic Perspectives.

Vergara, W., Fenham, J. V., & Schletz, M. C. (2016). *Carbono Cero América Latina: Una Vía para la Descarbonización Neta de la Economía Regional para Medios de Este Siglo*. UNEP DTU Partnership.

World Bank and ECOFYS. (2018). *State and Trends of Carbon Pricing*. Washington D.C.: World Bank.