

Estimación del precio social del carbono para la evaluación de la inversión pública en República Dominicana



Este documento es el resultado de la asistencia técnica solicitada por la Dirección General de Inversión Pública del Ministerio de Economía, Planificación y Desarrollo (MEPyD) de la República Dominicana a la División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe – CEPAL, para la estimación del precio social del carbono. La coordinación técnica y supervisión del documento estuvieron a cargo de Martín Francos y Yanna Dishmey, de la Dirección General de Inversión Pública de República Dominicana y por Jimmy Ferrer Carbonell, de la División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos de la CEPAL. Este documento fue preparado por Andrés Pica-Téllez, consultor de la Unidad de Economía del Cambio Climático de la División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos de la CEPAL, con el apoyo de Rodrigo Dittborn, Francisca Cid y Erik Frenette, en el marco de las actividades del programa EUROCLIMA, con financiamiento de la Unión Europea. Esta versión es aún preliminar y está en prensa.

Índice

Resumen	4
Introducción.....	13
Alternativas metodológicas para definir un Precio Social del Carbono a nivel Nacional.....	15
Precio Social del Carbono	15
Calcular el Costo Social del Carbono.....	19
Costo de mitigación para alcanzar objetivo de Política Pública.....	26
Definición política basada en evidencia.....	31
1. Experiencias de otros países:.....	31
2. Según estudios y literatura	33
3. Según organismos multilaterales.....	34
4. Según Mercados de Carbono	35
Benchmark para un Precio Social del Carbono.....	36
Síntesis de ventajas y desventajas de cada método.....	38
Requerimientos de información por alternativas.....	40
Costo Social del Carbono.....	40
Costo de Mitigación para alcanzar un Objetivo de Política Pública	40
Definición política basada en evidencia	42
Disponibilidad de información nacional para cálculo del PSC	43
Meta de mitigación	43
Información histórica	44
Información respecto a la proyección de emisiones	46
Medidas de mitigación	50
Tasa Social de Descuento.....	54



Evaluación de alternativas para el cálculo del PSC nacional.....	55
Evaluación de antecedentes para el método de “Costo de Mitigación para alcanzar un Objetivo de Política Pública”	56
Herramienta de cálculo	61
Detalles de cálculo de los modelos.....	62
Tasa de descuento	64
Cálculo y aplicación de la TSD	66
Resultados	67
Proyección de PSC futuros	68
Recomendaciones	70
Recomendación para aplicar el PSC a nivel nacional.....	72
Anexos	82
Mimi Framework	82

Resumen

Los más recientes informes del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) han mostrado la responsabilidad humana en el calentamiento del planeta. La temperatura promedio de la tierra ha aumentado 1.1°C respecto a los niveles preindustriales. Los esfuerzos globales por reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, plasmados en las contribuciones nacionalmente determinadas, no son suficientes para lograr los objetivos del Acuerdo de París, de limitar el aumento de la temperatura a 2°C y a hacer esfuerzos mayores para no superar los 1.5°C.

En este contexto, se requieren cambios estructurales en los estilos de desarrollo y en los modos de producción, consumo y distribución para alcanzar los objetivos climáticos. Para lograrlo resulta esencial incorporar incentivos y criterios de cambio climático en la evaluación de la inversión pública, con la idea de que tanto la inversión pública como la privada puedan dirigirse hacia sectores y actividades bajas en carbono. Una de las maneras para lograrlo es a través de la inclusión de un precio social del carbono como un criterio adicional en el proceso de evaluación de la inversión pública.

La CEPAL, en el marco del Programa EUROCLIMA, y en apoyo a la Red de los Sistemas Nacionales de Inversión Pública – RedSNIP, ha estado impulsando la iniciativa regional Precio Social del Carbono en la evaluación de la inversión pública en América Latina y el Caribe, donde la Dirección General de Inversión Pública de la República Dominicana solicitó asistencia técnica para la estimación del Precio Social del Carbono en la República Dominicana. En este contexto, se presenta a continuación las opciones metodológicas para la estimación del precio social del carbono, así como los requerimientos de información para utilizar cada uno de estos, los resultados técnicos de la estimación y las recomendaciones de política para su implementación.

La primera sección recapitula las principales características y opciones de cálculo encontradas en literatura, las que son explicadas con mayor detalle en el Informe Metodología General (SSG, 2022). En términos generales, la estimación del PSC a nivel nacional se puede llevar a cabo a través de tres aproximaciones distintas (ver Figura RE1). La primera es a través del cálculo del daño marginal producto del cambio climático, es decir, estimando el Costo Social del Carbono (CSC); la segunda es estimar el Costo de mitigación para alcanzar un Objetivo de Política Pública, el que estima el Precio Sombra de los costos marginales de mitigación, sujeto a una restricción presupuestaria de carbono. Otro método comúnmente utilizado se basa en adoptar un PSC en base a antecedentes desarrollados por

terceros, ya sea de revisar bibliografía (e.g. recomendaciones del IPCC), experiencias internacionales (e.g. CSC adoptado por otro país) y/o Precio de un Mercado de Permisos de Emisión (e.g. Mecanismo de Desarrollo Limpio [MDL]). Adicionalmente, y de acuerdo a la revisión de los antecedentes de otros países que han desarrollado e implementado un PSC, se realizó un análisis econométrico (descrito con mayor profundidad en (SSG, 2022)), a partir del cual se generó un benchmark (o valor de referencia) para el PSC a nivel nacional para cualquier país en función de su PIB (PPA) per cápita.

Cada alternativa es válida y distintas naciones las han utilizado para el cálculo oficial de su PSC. Dependiendo de la información disponible para un país en específico, se podría tener hasta 3 alternativas metodológicas:

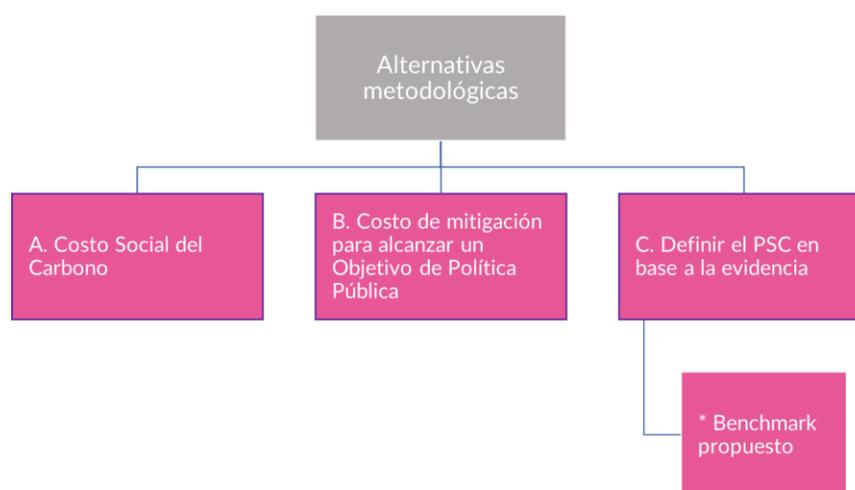


Figura RE1: Esquema de alternativas metodológicas disponibles para el cálculo del PSC.

Fuente: Elaboración propia

A. Costo Social del Carbono: Debido a que no existen modelos desarrollados para cada país, se pueden utilizar modelos desarrollados por centros de investigación internacionales, que realizan el cálculo a nivel global. Gracias a las plataformas abiertas disponibles en línea, aplicar y correr estos modelos es factible a bajos costos y requerimientos de información. Por lo tanto, el cálculo sólo requiere:

1. Seleccionar uno de los tres modelos (DICE, FUND o PAGE) o una combinación de éstos;
2. Seleccionar el escenario de emisiones a considerar o una combinación de éstos (si aplica); y
3. Definir una tasa social de descuento (e.g. TSD nacional).

B. Costo de mitigación para alcanzar un Objetivo de Política Pública: Este método es el que tiene mayores requerimientos de información, además estos antecedentes tienen que estar en un formato específico. Existen dos tipos de antecedentes, un objetivo de política pública del que sea posible derivar un presupuesto de carbono y estudios de mitigación, como se muestra en la Tabla RE1.

C. Definición política basada en evidencia: En este caso, no se requiere de antecedentes nacionales complejos, sino más bien seleccionar el tipo de evidencia a considerar (e.g. organismos multilaterales, experiencia internacional) para luego evaluar cuál de las alternativas disponibles, se ajusta mejor al contexto nacional. En caso de utilizar el *benchmark* propuesto, se debe tener disponibilidad de:

1. El PIB (PPA) per cápita nacional más actualizado disponible al momento del cálculo del PSC (e.g. 2020);
2. Trayectoria de crecimiento de PIB (PPA) per cápita en caso de querer dejar calculado el PSC para un periodo futuro, por ejemplo del 2022 al 2030 (opcional).

Para el caso de República Dominicana se tiene que, dado que su PIB (PPA) per cápita al 2020 fue de 17.003 USD 2017, un Precio Social del Carbono mínimo debiera ser de 17 USD 2021/tCO₂e, un valor esperable debiera ser de 31 USD 2021/tCO₂e, y para ser considerado un país con alta ambición climática debiera tener un PSC superior a los 44 USD 2021/tCO₂e.

Tabla RE1: Principales características de los antecedentes mínimos para aplicar el método de Costo de mitigación para alcanzar un Objetivo de Política Pública.

Características del objetivo de Política Pública	Características de los antecedentes de mitigación
<ul style="list-style-type: none"> ● Objetivo principal identificable (e.g. 100 millones de toneladas de CO₂e al 2030); ● Presupuesto de carbono con un valor numérico determinado en toneladas de CO₂e (e.g. no solo % de ERNC); ● Alcance sectorial del objetivo de mitigación (e.g. todos los sectores del inventario); ● GEI a considerar en la meta (e.g. especificar GEIs). 	<ul style="list-style-type: none"> ● Proyección de emisiones para todos los sectores emisores incluidos en la meta de mitigación; <ul style="list-style-type: none"> a. Referencia/<i>BAU</i>; b. Máxima mitigación, que permita sobre cumplir el objetivo de mitigación. ● Caracterización de las opciones de mitigación para el escenario de máxima mitigación; <ul style="list-style-type: none"> a. Potencial de abatimiento; b. Costo Marginal de abatimiento incremental.

Fuente: Elaboración propia

La segunda sección del documento presenta los antecedentes nacionales relativos a los compromisos nacionales de reducción de GEI, la información histórica, las proyecciones de emisiones nacionales, así como de los modelos utilizados tanto para la proyección de las variables como para el análisis de carteras de medidas de mitigación y las tasas de descuento social utilizadas nacionalmente. Los principales antecedentes identificados fueron el Inventario Nacional de GEI publicado en el Primer Informe Bienal de Actualización (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales et al., 2020) que abarca el periodo 1990-2015, el Plan de Desarrollo Económico Compatible con el Cambio Climático (DECCC) del 2011 con un horizonte temporal al 2030 y una serie de estudios (Mordán, 2020a, 2020b; Ovalles, 2020) para buscar la carbono neutralidad al 2050 apoyados por el Banco Mundial.

La revisión de los antecedentes consistió en examinar el cumplimiento de los requisitos mínimos; la pertinencia de la información disponible para el cálculo del PSC; el acceso a las bases de datos correspondientes; y las eventuales brechas de información. Para esto, se dividió el análisis en seis elementos: meta de mitigación; información histórica; proyecciones de emisiones; medidas de mitigación; y tasa social de descuento. Estos antecedentes se

evaluaron en la sección siguiente, contrarrestando con los requerimientos mínimos de información para cada metodología de cálculo. Los resultados de esta evaluación fueron los siguientes:

- Tanto para el caso del “Costo Social del Carbono” como de la “Definición política basada en evidencia” no existe una limitación de la información disponible para utilizar esta alternativa. En otras palabras, es posible aplicar cualquiera de estos métodos casi de forma directa.
- El método del “Costo de Mitigación para alcanzar un Objetivo de Política Pública” presenta mayor requerimiento de antecedentes. Primero se detallan los Objetivos de Política Pública encontrados para República Dominicana (ver Tabla RE2) para luego evaluar los antecedentes nacionales (ver Tabla RE3).

Tabla RE2: Objetivos de Mitigación para definir un Presupuesto de Carbono para República Dominicana

Posible Objetivo de Mitigación - Fuente	Periodo Presupuesto de Carbono	¿Objetivo principal?	Alcance sectorial	GEI	Presupuesto de carbono (MtCO ₂ e)
Objetivo a mediano plazo al 2030 - NDC 2020	2030	Principal	Todos los sectores del inventario	Aparentemente CO ₂ , CH ₄ , y N ₂ O	37,13
Objetivo a largo plazo al 2050 - Estrategia Climática de Largo Plazo (ECLP) y mencionada en NDC 2020	2050	Posible	Aparentemente todos los sectores del inventario	Aparentemente CO ₂ , CH ₄ , y N ₂ O	0

Fuente: Elaboración propia.

Tabla RE3: Evaluación de antecedentes de mitigación para República Dominicana.

Antecedente de mitigación	Mínimos						Recomendados						
	1)	2)	3)	4)	5)	6)	7)	8)	9)	10)	11)	12)	13)
Plan DECCC 2011	✗	✓	✓	✗	✗	✗	✓	✗	✓	✓	✗	✗	✗
Proyecto BM 2020 - Objetivo a mediano plazo	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✗	✗	✗	✓	✓
Proyecto BM 2020 - Objetivo a largo plazo	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✗	✗	✗	✓	✓

Fuente: Elaboración propia.

1. Sectores y GEI considerados consistentes con el Objetivo de Política pública;
2. Proyección de emisiones en el escenario de referencia sin medidas de mitigación (o BAU) para todos los sectores emisores incluidos en la meta de mitigación;
3. Proyección de emisiones en el escenario de máxima mitigación para todos los sectores emisores incluidos en la meta de mitigación;
4. Potencial de mitigación de cada medida para el periodo del Presupuesto de Carbono;
5. Costo Marginal de abatimiento incremental para cada medida de mitigación en comparación con el escenario BAU;
6. PSC estimado da un valor positivo;
7. Realizado por una agencia de gobierno o encargada de este;
8. Realizado en un contexto consistente con el Objetivo de Política Pública;
9. Fue sometido a un proceso de validación o consulta pública;
10. Realizó una modelación coherente para todos los sectores de emisión (mismos parámetros de modelación y periodos de análisis para todos los sectores);
11. Presenta proyecciones de emisiones nacionales actualizadas, incluyendo los efectos de la pandemia;
12. Proyección de emisiones nacionales son consistentes e idealmente fueron calibradas con los inventarios de GEI nacionales;
13. Es posible acceder a los modelos o al menos a las planillas de cálculo detalladas con los resultados de modelación.

Como podemos apreciar, no es posible utilizar con los antecedentes disponibles el método de “Costo de Mitigación en base a un Objetivo de Política Pública”. Si se desea utilizar este método en el futuro es necesario, en primer lugar, actualizar el Objetivo de Política Pública para el 2030 en base a proyecciones de emisiones actualizadas y no seguir usando las desarrolladas el 2011 o alternativamente utilizar el objetivo de carbono neutralidad al 2050. En segundo lugar, será necesario desarrollar estudios actualizados de mitigación con una modelación de escenarios de mitigación que considere las interacciones de las medidas y un análisis exhaustivo de las medidas de mitigación que permitan lograr reducciones más allá

del nuevo objetivo formulado, incluyendo una caracterización de costos marginales de abatimiento y reducciones por medida, junto a proyecciones de emisiones para al menos un escenario de referencia y uno de máxima mitigación.

Si bien el método de “Definición política basada en evidencia” no tiene restricciones de información que impidan implementarlo de forma directa en el país, se optó para este proceso de cálculo del PSC de República Dominicana por la aproximación técnicamente correcta que valora la externalidad producida por el cambio climático, es decir, se empleó el método del “Costo Social del Carbono”. El ejercicio implicó utilizar los modelos más comúnmente utilizados, en sus versiones más actualizadas abiertamente disponibles en la plataforma Mimi Framework. Estos son el DICE 2016 R2 (Nordhaus, 2018) y PAGE 2020 (Kikstra et al., 2021). Si bien el modelo FUND también ha sido utilizado en el pasado por distintos centros, a la fecha este se encuentra significativamente desactualizado (Waldhoff et al., 2014)¹ en comparación a sus contrapartes, por lo que se desestimó su uso. El cálculo se realizó mediante el uso de una plataforma en línea abierta llamada Mimi Framework, desarrollada por el grupo de trabajo *Resources for the Future* (RFF), donde se encuentran los códigos abiertos de cada modelo como paquetes para ser utilizados en lenguaje Julia.

Los valores de CSC obtenidos para el año 2020 con los modelos DICE y PAGE se muestran en la Tabla RE 4 con los valores por defecto de cada modelo, así como al aplicar una tasa social de descuento compatible con la realidad nacional y de estructura decreciente² entre 2020 y 2300. Las tasas decrecen en una razón del 10% en cada década, empezando con un 8% hasta converger a un 1%.

Tabla RE4: Valores de Costo Social del Carbono para República Dominicana (USD 2021/tCO₂) para el año 2020.

Modelo	CSC (USD 2021/tCO ₂) - TSD por defecto	CSC (USD 2021/tCO ₂) - TSD decreciente
DICE 2016R2	44	28

¹ Los escenarios de emisiones utilizados datan de la década de los noventas.

² Una TSD decreciente representa la esperable disminución de la TSD en el futuro, lo que es esperable en la medida que República Dominicana aumente sus ingresos per cápita, además incorpora de mejor manera elementos de justicia intergeneracional muy pertinentes en relación a los impactos del cambio climático.

PAGE 2020	279	24
Promedio	162	26

Fuente: Elaboración propia.

Se recomienda utilizar un **PSC de 26 USD₂₀₂₁/tCO₂ para República Dominicana**, el cual se obtiene del promedio de ambos modelos, pudiendo hacerse sensibilidades en el análisis con los valores de 24 y 28 USD₂₀₂₁/tCO₂. Cabe destacar que esta valor cae dentro del intervalo de confianza del *benchmark* desarrollado, por lo que refleja un PSC comparable (ajustado por PIB PPA per cápita) con el de otros países que han avanzado en la materia.

La actualización de los precios sociales es un elemento clave dentro del proceso de los Sistemas Nacionales de Inversiones, lo que también aplica para el PSC. En este respecto, recomendamos actualizar el cálculo del PSC al menos cada 5 años. Sumado a esto, las futuras actualizaciones se realicen con los modelos más actualizados disponibles, ya que entregan una mejor representación del estado del arte en materia de cambio climático, lo que permitirá realizar una mejor estimación del PSC.

El uso del PSC es útil en la evaluación de toda inversión y política pública, sin embargo debe priorizarse para las tipologías de proyectos vinculadas a las medidas de mitigación ya identificadas a nivel nacional.

Para los proyectos de inversión pública es relevante al realizar la evaluación social del proyecto, contemplar la evaluación de la alternativa de bajas emisiones, por ejemplo, al evaluar un proyecto de transporte público comparar la alternativa de buses eléctricos y no solo la alternativa tradicional.

En la evaluación de políticas públicas de alto impacto en emisiones de GEI, tales como políticas energéticas, transporte, infraestructura, agrícolas, forestales y de conservación de ecosistemas. El uso del PSC puede ser un elemento clave para identificar oportunidades de acción climática, además de poder clasificar con claridad las que podrían requerir de incentivos para su implementación.

Para políticas públicas vinculadas al sector energético, resulta de utilidad utilizar el PSC en los modelos de planificación eléctrica, dado que permitirá identificar la solución de menor costo social en el largo plazo, lo que permitirá identificar los nuevos proyectos energéticos a priorizar, las centrales que es recomendable desconectar, entre otros aspectos.



En general, una vez definido el PSC a nivel nacional, el mayor desafío en su adopción se encuentra en poder realizar la proyección de emisiones asociadas a las distintas alternativas de proyectos y/o políticas públicas por parte de los sectorialistas. Para abordar esta barrera es recomendable realizar estudios que identifiquen las tipologías de proyectos de inversión más relevantes a nivel nacional, para luego desarrollar metodologías y herramientas que faciliten la evaluación social por parte de los sectorialistas. CEPAL ha realizado una serie de trabajos en la materia para países de la región para proyectos de Transporte Urbano, Infraestructura de Transporte Interurbano, Energía, entre otros, los cuales pueden servir de punto de partida para los desafíos venideros en la implementación del PSC en República Dominicana.

Introducción

La crisis climática continúa siendo uno de los principales desafíos a nivel global. La comunidad internacional se comprometió, a través del Acuerdo de París, a trabajar por mantener el aumento de la temperatura global por debajo de los 2°C, y a hacer un esfuerzo mayor para que este aumento no supere los 1,5°C. El último reporte del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) llamó nuevamente la atención respecto a la urgencia de acelerar la acción para intentar alcanzar los objetivos del Acuerdo (IPCC, 2022). Por medio de las metas de reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) presentadas en las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (NDCs, por sus siglas en inglés), los países firmantes han ratificado el compromiso de trabajar por evitar un aumento de temperatura que ponga en riesgo la supervivencia humana, así como de ecosistemas y especies.

República Dominicana firmó el Acuerdo de París el 2015, mismo año en el que presentó su Contribución Nacionalmente Determinada Tentativa (iNDC, por sus siglas en inglés). El país ratificó el Acuerdo el año 2017 y presentó una actualización de su NDC el 2020. En ambos compromisos se incluyeron metas tanto en materia de mitigación como de adaptación al cambio climático, donde se busca avanzar hacia una economía baja en emisiones de gases de efecto invernadero y resiliente a los efectos e impactos del cambio climático.

La última actualización de la NDC estableció un compromiso de reducción del 27% de sus emisiones respecto a un escenario base al 2030, proyectado a partir del año base 2010. La proyección al 2030 significa lograr emisiones de 51 MtCO₂e al 2030 en un escenario *Business as usual (BAU)* considerando que no se implementaron nuevas políticas climáticas más allá de las implementadas hasta el 2010. El compromiso se divide en dos componentes: uno condicionado sujeto a financiamiento externo que es del 20% de la reducción; y uno incondicional basado en las capacidades domésticas, que es del 7%. Esto se traduce en una reducción total de 13,85 MtCO₂e en 2030.

Adicionalmente, el compromiso es de alcance nacional, abarca todos los sectores del inventario: Energía, Procesos Industriales y Uso de Productos (PIUP); Agricultura, Silvicultura y Otros Usos de la Tierra (AFOLU) y Residuos; con un total de 46 medidas de mitigación distribuidas entre ellos.

Existe un conjunto de instrumentos que un país puede implementar para intentar reducir sus emisiones de GEI, donde destacan los instrumentos económicos como el impuesto al carbono, sistemas de comercio de emisiones y precio social del carbono, entre otros. El precio social del carbono tiene la particularidad de que puede ser usado en la evaluación de la inversión pública para discriminar entre inversiones altas y bajas en carbono, y a través de ello, cambiar las rentabilidades de los proyectos en favor de las que sean más bajas en emisiones de carbono.

La CEPAL, en el marco del Programa EUROCLIMA, ha estado impulsando la iniciativa regional Precio Social del Carbono en la evaluación de la inversión pública en América Latina y el Caribe. Como parte de ello, se realizaron estudios que midieron el efecto del precio social del carbono en la inversión pública en sectores clave como energía, transporte, infraestructura de caminos y modos de transporte, dando cuenta de la relevancia de incorporar el PSC para la evaluación de inversiones públicas. CEPAL está apoyando a los países de la región en la estimación del precio social del carbono, con la idea de implementarlo en la evaluación de la inversión pública que hacen los Sistemas Nacionales de la Inversión Pública (SNIPs).

En este contexto, este documento tiene como objetivos, (i) presentar las alternativas metodológicas para el cálculo del Precio Social del Carbono, (ii) evaluar la información disponible a nivel nacional para implementar el cálculo del PSC con cada alternativa metodológica, (iii) analizar las ventajas y desventajas para la aplicación de cada alternativa metodológica, y (iv) calcular el PSC para República Dominicana de acuerdo a la metodología seleccionada a través de la evaluación.

Con el fin de cumplir estos objetivos, el documento se estructura de la siguiente forma. La siguiente sección entrega una breve descripción de las distintas aproximaciones metodológicas para el cálculo del PSC. Seguidamente, se realiza una descripción de los antecedentes disponibles a nivel nacional para calcular el PSC. Posteriormente, se presenta una evaluación de cada alternativa metodológica para el cálculo del PSC. La penúltima sección detalla la mecánica de cálculo del PSC y de los modelos utilizados, así como los resultados de este. Finalmente se entregan las recomendaciones para decidir entre las alternativas para el cálculo del PSC.

Alternativas metodológicas para definir un Precio Social del Carbono a nivel Nacional

Esta sección presenta una descripción de lo que es el PSC, seguido de una descripción de las alternativas para el cálculo de este a nivel nacional, junto con las consideraciones a tener en cuenta asociadas a cada opción.

Precio Social del Carbono

Las emisiones de GEI producto de las actividades productivas antropogénicas son una externalidad negativa, que afectan al sistema climático global. Estas externalidades implican ineficiencias económicas, puesto que los verdaderos costos de las acciones no son internalizados por los emisores.

La razón por la que las emisiones de GEI no se reducen a la escala necesaria, aún considerando la vasta evidencia científica, puede entenderse desde la simple explicación de la estrategia de juegos, especialmente con el “Dilema del prisionero” (Foley, 2009). Un agente emisor de GEI percibe el costo marginal de emitir como cero, y aún en el caso hipotético de que sea capaz de predecir las trayectorias de emisiones globales, así como las consecuencias de estas, la mayor parte del daño que generará recaerá sobre otros, y sólo una fracción despreciable sobre él. Por lo tanto, el agente no invertirá en acciones de mitigación ni disminuirá su producción. Todos los emisores tienden a elegir el mismo camino, por lo que las reducciones no ocurren. Es por esto que el cambio climático global a causa de las emisiones GEI constituye un caso de “Tragedia de los [bienes] comunes”. El clima global seguro, y por consiguiente los sumideros de GEI atmosféricos, se consideran un bien público ya que cumplen con el criterio de no rivalidad y no exclusión. Es decir, el clima seguro es un bien compartido, donde cada habitante del planeta recibe los beneficios y estos no son

menores porque el vecino disfrute de estos beneficios (no rivalidad), y no es posible excluir del clima seguro a nadie de la sociedad (no exclusión).

El tamaño del sumidero, las actividades que hacen uso de este y el gran número de agentes emisores obstaculizan la gobernanza del bien (Hardin, 1968; Paavola, 2012). Las consecuencias de esta situación son los cambios en el clima, cuyos impactos negativos (externalidades globales) son un mal común. Es decir, los impactos del cambio climático sobre un agente no impide que otros también se vean afectados, y no es posible aislar (o altamente costoso) de estos impactos a un agente en particular (Cartes Mena, 2021; Ibarrarán, 2010).

En esta situación, el caso óptimo sería la existencia de instituciones que permitan ajustar estas ineficiencias, al promover la internalización de estas externalidades por parte de los agentes emisores. Por ejemplo, por medio de una señal de precio correcta se lograría el equilibrio entre los daños producto de contaminar y los beneficios productivos, alcanzando el óptimo social de producción. En otras palabras, incentivos que gestionen y restrinjan las emisiones de GEI (o de la destrucción de sumideros). Cualquier señal de precio incentiva a invertir recursos en mitigación, y si esta es la misma para todos los agentes, se pueden reducir las externalidades de manera costo eficiente. Sin embargo, el óptimo social se alcanza cuando el costo marginal de la mitigación iguala al beneficio marginal de descontaminar (daño marginal producto del cambio climático evitado).

En la Figura 1 representa las curvas de costos marginales asociadas a distintos niveles de concentración de CO₂ (las que se condicen con una cierta cantidad de CO₂ emitida a nivel global). La curva azul representa la valoración de los daños marginales debido a los impactos del cambio climático o “daños por contaminación”, es decir, cuánto le cuesta a la sociedad emitir una tonelada (o unidad) adicional de CO₂. La curva verde, por otro lado, representa el costo marginal social de reducir las emisiones, o “costo de mitigación”. El cruce de ambas curvas muestra el punto de equilibrio, el que corresponde al Precio Social del Carbono (PSC) óptimo.

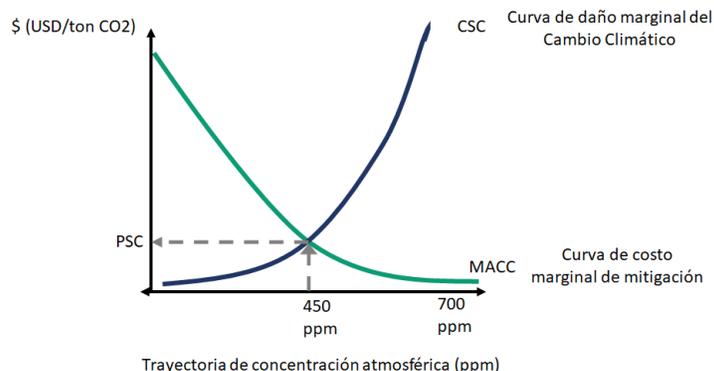


Figura 1 Determinación del Precio Social del Carbono

Fuente: Elaboración propia

La incorporación del PSC en los análisis costo-beneficio resulta útil para la evaluación de proyectos y políticas públicas, ya que permite dimensionar las consecuencias positivas y negativas de la implementación de cada alternativa de diseño. Al valorizar los posibles impactos en la evaluación de un proyecto -incluido el cambio climático- por medio del PSC, la decisión de la opción socialmente más conveniente se hace sencilla para la solución de mayor valor presente.

La estimación del PSC se puede desarrollar a través de distintas metodologías. La primera es a través del cálculo del daño marginal producto del cambio climático, es decir, estimando el Costo Social del Carbono (CSC); la segunda es estimar el Costo de mitigación para alcanzar un Objetivo de Política Pública, el que estima el Precio Sombra de los costos marginales de mitigación, sujeto a una restricción presupuestaria de carbono. Otro método comúnmente utilizado se basa en adoptar un PSC en base a antecedentes desarrollados por terceros, ya sea de revisar bibliografía (e.g. Recomendaciones del IPCC), experiencias internacionales (e.g. CSC adoptado por otro país) y/o Precio de un Mercado de Permisos de Emisión (e.g. Mecanismo de Desarrollo Limpio [MDL]).

El método técnicamente más preciso es el cálculo del CSC marginal producido a nivel global, el que subirá año a año en la medida en que el mundo siga emitiendo GEI y agotando el presupuesto de carbono global. Por otro lado, el método del Costo de mitigación para alcanzar un Objetivo de Política Pública, si el presupuesto de carbono se define óptimamente (punto de intersección de la Figura 1), refleja el Precio Sombra de los costos marginales de mitigación, nos permitirá llegar al mismo resultado dado que representa la solución al problema dual de optimización. Es decir, si existiese un mercado que abarcara todas las emisiones a nivel global y el mercado fuera competitivo, entonces el CSC coincidiría con el valor obtenido a partir de la aproximación del Precio Sombra de los costos de mitigación. A su vez, si se considera el caso de implementación de políticas climáticas costo-efectivas (Price



et al., 2007), el PSC sería el mismo de forma transversal en todos los sectores emisores e igual al CSC. En la práctica, este no es el caso, ya que no existe un mercado global competitivo que transe permisos de emisiones, y los estados implementan una serie de políticas climáticas que dependen de los recursos actualmente disponibles.

A continuación se presentan las 3 categorías de metodologías para la definición de un PSC:

1. Costo Social del Carbono;
2. Costo de mitigación para alcanzar un Objetivo de Política Pública; y
3. Definición política basada en evidencia.

Los detalles de cada alternativa se presentan en las siguientes subsecciones.

Calcular el Costo Social del Carbono

En términos generales, el costo social del carbono (CSC) es una medición económica que entrega un estimado de los daños marginales netos producidos por la emisión de GEI. Al ser un valor neto, implica que considera tanto los impactos negativos como positivos. Así, la cuantificación del CSC se traduce en un valor monetario de los daños futuros causados por la emisión de una 1 tonelada de CO₂ a la atmósfera, o los beneficios de reducir 1 tonelada de CO₂ en un año determinado. Este enfoque busca reflejar lo que debería ser la disposición de la sociedad a pagar hoy por evitar los daños presentes y futuros asociados al cambio climático.

En sus inicios, el cálculo monetario se basó en distintos métodos (Tol, 2011). Por un lado, algunos estudios emplean enfoques *enumerativos*, donde los efectos físicos del cambio climático se obtienen de forma individual desde publicaciones científicas. Los efectos físicos, por lo general, se consiguen a través de modelos climáticos, de impactos o similares. Posteriormente, cada impacto se valora monetariamente y se suman. La evaluación económica depende de si se trata de bienes transables en el mercado o no. Si es el caso, se evalúan en función de los cambios en su productividad (e.g. productividad agrícola) y los precios de mercado. Si no son transables, se refieren a impactos sobre el bienestar humano, lo que se traduce en una evaluación económica de los impactos sobre la salud, por ejemplo, a través de cambios en las tasas de mortalidad producto del cambio climático.

Otros estudios, emplean métodos *estadísticos* que se basan en variaciones observadas dentro de un territorio, en cuanto a precios y gastos provenientes de los impactos en el bienestar humano. Algunos de estos estudios utilizan valores observables por sector y por región, para luego extrapolar los resultados a nivel global. Otros, en tanto, emplean valores agregados de los impactos climáticos sobre los ingresos a nivel global.

La complejidad de ambos métodos subyace en la necesidad de estimar los costos netos de los impactos, es decir, tanto los efectos negativos como positivos. Algunas aproximaciones buscan mostrar de forma agregada los impactos en distintas regiones del mundo donde las diferencias son evidentes; por ejemplo, en el consumo y demanda de energía para enfriamiento o calefacción. Sin embargo, si bien existen beneficios principalmente en el corto plazo, se estima que los costos negativos superan por mucho los positivos en el largo plazo (Tol, 2011). Actualmente, los cálculos involucran además parámetros que permiten hacer distinciones regionales de los impactos y diferencias en ingreso per cápita (ponderaciones por equidad, o *equity weighting*). Es decir, explícita y/o implícitamente se

incorpora la vulnerabilidad de los territorios a los impactos físicos y su capacidad de respuesta y adaptación, ya sea por recursos económicos o capacidades institucionales, entre otros.

Este método no requiere un objetivo de mitigación en particular, sino que calcula, para cada año el CSC, considerando el nivel de emisiones acumulados globalmente hasta ese momento, en base al valor presente de las externalidades futuras que generaría esa tonelada de GEI de ser emitida. Para obtener el CSC a partir de la curva de daño marginal asociado al cambio climático para un año en particular, basta con conocer el nivel de emisiones/concentraciones de GEI para ese año (ver Figura 2), por ejemplo si la concentración actual es de 420 ppm de CO₂.

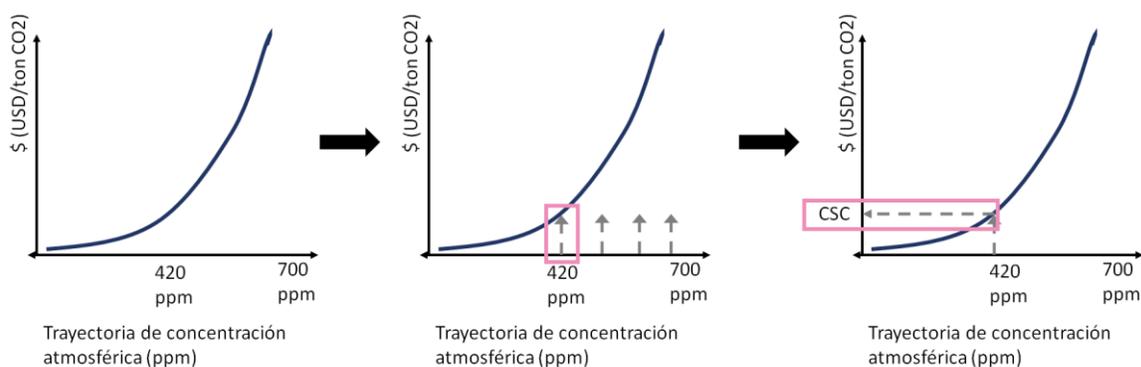


Figura 2 Ejemplo esquemático de determinación del CSC

Fuente: Elaboración propia

En términos generales, la modelación de la curva de daño marginal asociado al cambio climático y el cálculo del CSC implica cinco etapas principales (ver Figura 3): (i) estimación de las emisiones de GEI; (ii) determinar las concentraciones de los GEI en la atmósfera debido a dichas emisiones; (iii) efectos de estas emisiones sobre el sistema climático; (iv) determinar los impactos sobre los sistemas humanos y naturales debido a cambios en el sistema climático, y su valoración monetaria; (v) descuento de los flujos monetarios a valor presente. Estas etapas pueden agruparse en cuatro módulos de trabajo: (a) socioeconómico; (b) climático; (c) función de daño; (d) tasa de descuento. Es relevante mencionar que estas etapas son recursivas, ya que existe retroalimentación entre ellas a lo largo del cálculo; por ejemplo, los impactos pueden tener un efecto sobre los escenarios socioeconómicos y a su vez sobre las emisiones GEI, resultando en mayores/menores concentraciones en la atmósfera.

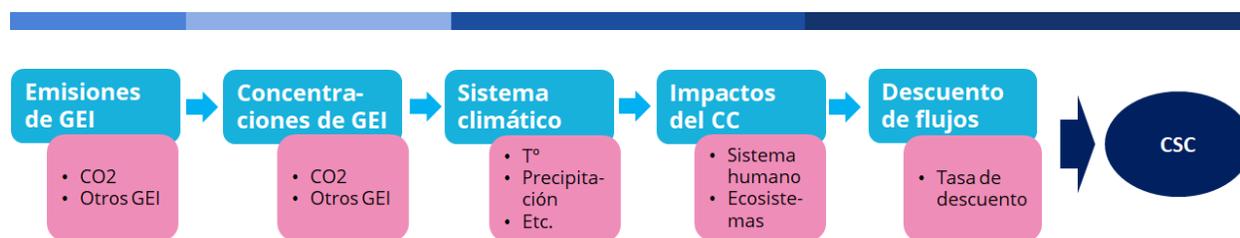


Figura 3 Marco de referencia de la estimación del costo social del carbono.

Fuente: Elaboración propia

La evaluación se realiza a través de Modelos de Evaluación Integrados (IAM, por sus siglas en inglés), entre los cuales los más conocidos son el Dynamic Integrated Climate-Economy (DICE) (Nordhaus, 2010), Framework for Uncertainty, Negotiation and Distribution (FUND) (Anthoff & Tol, 2013a, 2013b), y Policy Analysis of Greenhouse Effect (PAGE) (Hope, 2013). Estos han sido utilizados por el Interagency Working Group en Estados Unidos para los análisis de impacto regulatorio (National Academies of Sciences, 2017).

Los modelos IAMs definen una línea base de trayectorias de emisión al proyectar distintos escenarios futuros de crecimiento económico, población y cambio tecnológico. A esta línea base se le adiciona una tonelada de CO₂ (pulso de adición de emisiones), lo que luego se traduce en estimar las concentraciones de CO₂ en la atmósfera y su resultado en el incremento de la temperatura global del planeta y alza en el nivel mar, entre otras variables climáticas. A partir de este punto, se estiman los impactos físicos y se valoran monetariamente los daños. Sin embargo, debido a que el forzamiento radiativo de los gases emitidos perdura en el tiempo, los cambios presentes en la concentración de GEI en la atmósfera afectarán la productividad económica de las futuras generaciones. Por lo tanto, los flujos monetarios de los daños ocasionados a lo largo del tiempo son convertidos a valores presentes a través de tasas de descuento.

Como se indicaba anteriormente, la estimación del daño marginal asociado a la emisión de una tonelada adicional de CO₂e, requiere la elaboración y/o utilización de IAMs, lo que implica altos requerimientos de información y capacidades computacionales. Cuando se pretende estimar el CSC a nivel nacional, se debe tener en cuenta que no es recomendable aislar los daños a una jurisdicción, ya que impactos sobre otras regiones del planeta influyen indirectamente los impactos sobre dicha jurisdicción. Tampoco es recomendable establecer un CSC en función solo de las emisiones del país respecto al total global. Esto es debido a que los daños económicos asociados al cambio climático, no están relacionados necesariamente con el nivel de emisiones de un país en particular.

Si bien cada país podría desarrollar su propio IAM, los costos y desafíos asociados a esta tarea son significativos además de poco justificados, dado que existe una importante



tradición científica de desarrollo de IAMs globales que ya han sido revisados por la comunidad científica internacional. El principal referente para el cálculo del CSC es Estados Unidos, a partir del cual países como Canadá han decidido utilizar valores similares a los desarrollados por el primero, con pequeños ajustes. Los modelos empleados por Estados Unidos son los más comúnmente utilizados en el cálculo del CSC. La Tabla 1 describe las principales alternativas disponibles y sus características. Cabe destacar que estas alternativas permiten obtener valores de CSC para el uso en evaluación de iniciativas públicas y de impacto regulatorio, donde se pueden ajustar ciertos parámetros de entrada, tasas de descuento, entre otras. Adicionalmente, existen opciones de complementar estas alternativas, ya sea mediante el uso de otros escenarios de mitigación, sistemas de modelación climáticos diferentes, distintas funciones de daño, etc. Aquí se presentan los tres principales modelos que entregan como resultado final el CSC, más allá de las posibles modificaciones a estos dependiendo de las necesidades de cada tomador de decisión.

Tabla 1: Características principales de las alternativas metodológicas para la estimación del CSC.

Modelo y última versión	Áreas geográficas	Gases	Sectores (impactos y daños)	Rango temporal	Adaptación	Módulo climático utilizado	Fuente de información
PAGE (Hope, 2013; Kikstra et al., 2021; Yumashev, 2020; Yumashev et al., 2019) PAGE 2020	8 regiones: Unión Europea, Rusia, China, EE.UU., India, África, Latinoamérica, otros OECD	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, gases lineales, sulfatos, otros GEI	Mercado, no-mercado, aumento en el nivel del mar y discontinuidad estocástica	2008-2200 Opción de modelación anual	Es una variable exógena, por lo que depende de las políticas a desarrollar y no del estado del clima ni del capital.	Representación del clima según el Quinto Informe del IPCC (RCP y SSP)	Sitio en línea donde se encuentra disponible el modelo: https://doi.org/10.5281/zenodo.5256554
DICE (Nordhaus, 2017, 2018) DICE 2016 R2	Global		Componente de daño único, que depende especialmente del aumento de la t° global.	2015-2100	Implícitamente representada en sus parámetros	Representación del clima según el Quinto Informe del IPCC (RCP y SSP)	
FUND (Waldhoff et al., 2014) FUND 3.9	16 regiones: EE.UU., Canadá, Europa occidental, ex-Unión Soviética, Medio Oriente, América Central, Sudamérica, Asia del sur, Sudeste	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, SF ₆ y aerosoles	Agricultura, silvicultura, aumento en el nivel del mar, desórdenes cardiovasculares y respiratorios por estrés de t°, malaria, dengue,	1950-3000, modelación anual	Incluye adaptación de forma endógena, ya que los impactos dependen de los años anteriores	Representación del clima según el Cuarto Reporte de Evaluación del IPCC	Los datos respecto a las proyecciones globales de poblaciones, PIB, escenarios, y otros, se encuentran en: http://www.fund-model.org/documentat ion/

Modelo y última versión	Áreas geográficas	Gases	Sectores (impactos y daños)	Rango temporal	Adaptación	Módulo climático utilizado	Fuente de información
	asiático, China, Norte de África, África Sub-Sahariana, y Pequeños Estados Insulares		consumo energético, recursos hídricos, sistemas no manejados (e.g. ecosistemas), diarrea y tormentas tropicales y extra-tropicales				Mientras que el sitio en línea que permite correr el modelo es: https://github.com/fund-model/MimiFUND.jl

Fuente: Elaboración propia

Estos tres modelos, y otros, han sido computarizados en una plataforma de uso abierto para todo usuario³. La plataforma ha sido desarrollada por el *Resources for the Future* (RFF)⁴ con el fin de mejorar el acceso a los modelos por parte de los tomadores de decisión. Los modelos entregan los valores finales de CSC tanto usando estimados promedio de ciertos parámetros, así como aplicando simulaciones de Montecarlo. Además, es posible ajustar los valores de entrada, ya sea definiendo distintas tasas de descuento, escenarios de mitigación, entre otros, dependiendo de los objetivos de la simulación. La plataforma permite visualizar en detalle todos los supuestos y resultados intermedios, tales como los cambios en la t^o y el nivel del mar.

Entre las recomendaciones de la National Academies of Sciences (2017) también destaca FaIR (Leach et al., 2021; Nicholls et al., 2020), pero a diferencia de los tres mencionados este no es un IAM en particular, sino que un modelo simplificado del clima (*Simplified-earth system model*), por lo que no permite directamente el cálculo final del CSC sino que entrega una herramienta adicional a los IAM para mejorar su módulo climático. En particular, FaIR se destaca entre los modelos debido a su simplicidad y robustez en el cálculo, además de poder ser corrido con bajos requerimientos computacionales; por ejemplo, usando Excel, y sin necesidad de supercomputadores.

Las principales críticas a estos modelos se basan en la subestimación del daño, al no incluir todos los daños posibles -tanto en el mercado como fuera de él-, al presentar debilidades en la cuantificación de eventos extremos y sus impactos, así como al evaluar los beneficios y bienestar de las generaciones futuras en relación a los sacrificios de las actuales. Otros elementos sujetos a crítica se refieren a que no han sido capaces de integrar los nuevos hallazgos científicos en relación a los daños, costos y probabilidades de impacto que se han desarrollado en los últimos años. Sumado a esto, muchas de las trayectorias ignoran la retroalimentación entre distintos módulos (e.g. riesgo de sequía con la producción agrícola), y las estimaciones se basan en una serie de suposiciones que entregan un alto grado de incertidumbre (Pindyck, 2013), presentando más bien un obstáculo para la toma de decisiones y socavando la utilidad de esta aproximación (Stern et al., 2022).

³ Disponible en: <https://www.mimiframework.org>

⁴ Institución de investigación sin fines de lucro.

Costo de mitigación para alcanzar objetivo de Política Pública

La principal alternativa a los modelos IAM para el cálculo del PSC ha sido en base al cálculo del costo de mitigación asociado a un Objetivo de Política Pública. Esto en base a las curvas de costos marginales de abatimiento (MACC, por sus siglas en inglés) y un presupuesto de carbono asociado a dicho objetivo, cuya aproximación también es conocida como *target-consistent approach* (aproximación en base a un objetivo de política pública, según su traducción al español). Este simplifica los requerimientos de información, dado que requiere modelos de emisión y costos de mitigación que pueden ser nacionales, los que son más sencillos y dependen de menos suposiciones sobre el accionar de otros países. Además, tienen la virtud de que generan una señal de precio consistente con los objetivos nacionales de mitigación (ej: NDC), promoviendo la acción climática en todas las políticas e iniciativas públicas evaluadas con este PSC.

La complejidad de la estimación del Costo Social del Carbono (CSC) a través de IAMs se ha traducido en la búsqueda de aproximaciones alternativas, como el uso costo de mitigación para alcanzar un objetivo de política pública, por la mayor simplicidad relativa de calcular una curva de costos de mitigación global, y que se puede obtener el presupuesto de carbono de referencia a partir de los objetivos del Acuerdo de París (e.g. Evitar un calentamiento mayor a 1,5°C). Es importante resaltar que ambos métodos son equivalentes en determinar el PSC óptimo exclusivamente cuando se intersectan las curvas de la Figura 1. En este punto, también se puede inducir el Presupuesto de Carbono Global óptimo (emisiones acumuladas hasta alcanzar el punto de intersección de ambas curvas). Dado que la estimación del Presupuesto de Carbono Global óptimo resulta igual de compleja que el cálculo del CSC, es común la selección de una meta de mitigación (e.g. evitar que el planeta se caliente más de 1,5°C) y sobre esta calcular el Presupuesto de Carbono asociado al cumplimiento de esta meta. Esta aproximación no refleja necesariamente el PSC óptimo socialmente, pero refleja el PSC necesario para cumplir una cierta meta de mitigación; y si esta señal de precio afecta a todos los sectores de la economía, incentivaría la implementación de medidas costo eficientes, cumpliendo con la meta de mitigación al menor costo posible para la economía. La Figura 4 presenta un gráfico que muestra el cálculo del PSC a partir de un Objetivo de Política Pública, y su respectivo presupuesto de carbono.

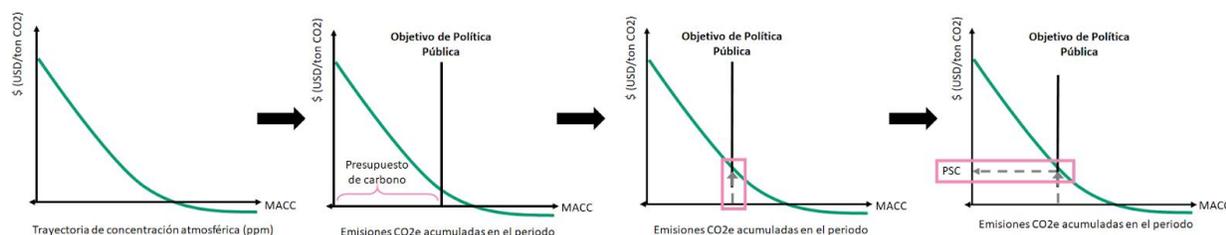


Figura 4 Determinación del PSC a partir de un objetivo de mitigación.

Fuente: Elaboración propia

La Figura 5 representa el proceso necesario para calcular el PSC asociado al cumplimiento de un objetivo de política pública. El primer desafío es identificar el objetivo nacional de mitigación. Un referente natural podría ser cumplir con los compromisos internacionales de mitigación, por ejemplo la NDC en el marco del Acuerdo de París, que establecen un límite máximo de emisiones en un horizonte temporal definido. A partir de este objetivo de mitigación, es posible calcular el Presupuesto de Carbono disponible.

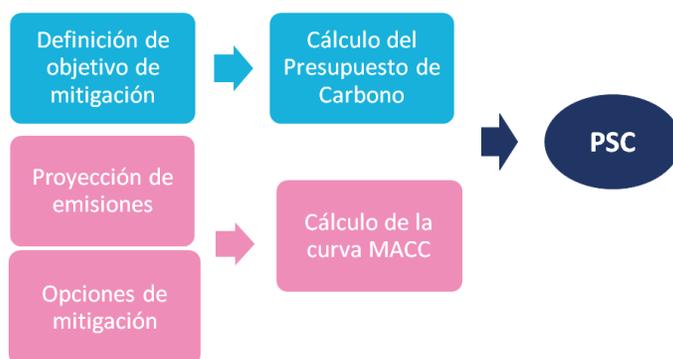


Figura 5 Proceso para determinar el PSC a partir del Precio Sombra del Costo de mitigación para alcanzar un objetivo de política pública

En segundo lugar, a partir de estudios de mitigación, el país puede obtener escenarios futuros de emisiones de GEI y la caracterización de los costos de mitigación, en particular la curva de costos marginales de abatimiento (Curva MAC de su sigla en inglés). Esta organiza las acciones de mitigación desde la más económica a la más costosa (ver Figura 6), dándonos una guía de cómo ir desde el escenario de Línea Base (o Business As Usual, *BAU*) al de máxima mitigación de la manera más económica posible. Del cruce del Presupuesto de Carbono con la curva MAC (ver Figura 4 y 6) se obtiene el PSC necesario para cumplir con el objetivo de política pública. Es relevante mencionar los riesgos de esta aproximación en cuanto a los potenciales valores de PSC negativos, tal como se observa en la Figura 6, es posible que esto suceda cuando el objetivo de mitigación no es suficientemente ambicioso

(Objetivo de Política Pública 1). Estos casos no son inusuales, ya que los países frecuentemente presentan más de un objetivo de mitigación, ya sea a distintos horizontes temporales (2030 y 2050), así como dependiendo de factores externos como el financiamiento climático (meta condicional e incondicional). Es común que las curvas MAC tengan varias medidas con costos marginales negativos, es decir, que generan beneficios económicos netos independientemente de la externalidad evitada⁵.

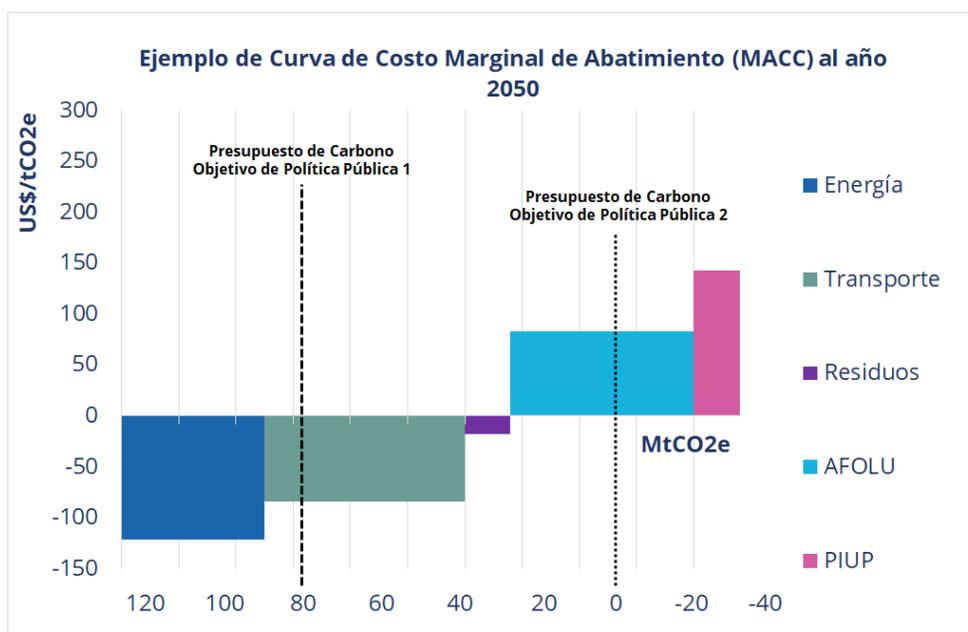


Figura 6 Ejemplo de curva de costos marginales de abatimiento para el 2050.

Fuente: Elaboración propia.

Los mayores desafíos asociados a esta alternativa metodológica se encuentran en la realización de los estudios de mitigación, donde es necesario realizar una serie de supuestos que van desde la proyección de emisiones tendenciales (Escenario *BAU*, que representa la trayectoria de sucesos cuando se asume una ausencia de políticas de mitigación), la selección de medidas de mitigación a analizar (y su nivel de penetración), supuestos de costos y período de análisis, hasta la tasa de descuento utilizada, entre otros. En base a esta

⁵ Existen múltiples razones por la cual existen medidas con costos de mitigación negativo: tasa de descuento utilizada distinta a la de los tomadores de decisiones en la economía (tasa de descuento privada suele ser mayor a la social), información imperfecta por parte de los tomadores de decisiones (estimar los ahorros energéticos futuros de un equipo no es trivial), diferencia entre quien toma la decisión de inversión y quien percibe los beneficios de esta (ej: una vivienda mejor aislada representa ahorros para quien vivirá en la casa, no para la constructora), así como limitaciones en la consideración de todos los costos en el análisis (ej: ausencia de estimación de los costos de transacción).

modelación, es posible calcular la reducción de emisiones de CO₂e que aporta para el cumplimiento del Presupuesto de Carbono una medida *i*, así como el costo marginal de abatimiento de cada medida *i*, lo que se obtiene de la aplicación de la siguiente ecuación:

$$\text{Costo Marginal de Abatimiento}_i = \frac{\text{Valor Presente de los Costos Incrementales}_i}{\text{Reducción de Emisiones de GEI}_i}$$

Un elemento relevante para utilizar esta opción es la disponibilidad de curvas de costos marginales de abatimiento, ya sea globales o nacionales. A nivel nacional, las curvas de abatimiento usualmente se analizan al proponer los compromisos nacionales de reducción de emisiones en sus NDCs. No obstante, también existen otras fuentes que permiten realizar el análisis considerando los costos globales de abatimiento:

- En 2007, la consultora McKinsey presentó un estudio (Enkvist et al., 2007) donde se detallan los posibles métodos de reducción de emisiones disponibles a nivel global, por región geográfica y por sector económico. Para el cálculo se utilizaron las proyecciones desarrolladas por la Agencia de Protección del Medioambiente (EPA, por sus siglas en inglés) de Estados Unidos para establecer el escenario “Business As Usual” (BAU). A partir de este, se estudiaron los costos marginales de mitigación al año 2030 de cada alternativa de abatimiento respecto al escenario BAU, considerando un escenario de mitigación en el que se limitan las concentraciones de GEI en la atmósfera a 450 ppm.

En 2010, se actualizaron estas curvas con el fin de introducir una nueva línea base que refleje la economía global y las emisiones asociadas en un contexto post crisis económica. Los resultados de esta actualización dieron cuenta de que la crisis no tuvo un impacto relevante en las emisiones, y que las curvas se mantienen esencialmente iguales (Enkvist et al., 2010). La última actualización se realizó en 2013, la que incluyó una re-evaluación de disponibilidad y desarrollo de las nuevas tecnologías bajas en carbono y las nuevas tendencias macroeconómicas, entre otros elementos.

Estas curvas fueron utilizadas por el Reino Unido en su primera estimación de PSC (DECC, 2009), y fueron más tarde actualizadas para ser consistentes con las nuevas trayectorias de emisiones y costos de abatimiento propuestas por el IPCC. Adicionalmente, la consultora elaboró curvas de abatimiento para una serie de países durante el período 2007-2010, tales como Grecia, Polonia, India, Bélgica, Brasil, China, Suiza y Suecia, entre otros.

- Alternativamente, el IPCC ha realizado revisiones exhaustivas de los precios al carbono a distintos horizontes temporales (e.g. 2030, 2050, 2100), bajo distintos modelos y escenarios socioeconómicos y de mitigación. La información recopilada respecto a los escenarios se encuentra públicamente disponible⁶. La plataforma contiene tanto los escenarios del Quinto Informe del Grupo, como los más recientes de 1,5°C publicados en el Informe Especial (SR1.5) del año 2018.

El IPCC también ha publicado reportes con análisis detallado de las tecnologías de mitigación disponibles y sus costos (Fischedick et al., 2011). Debido a que el trabajo del Grupo se lleva a cabo en profundidad, esta información está desactualizada en comparación al desarrollo académico actual. No obstante, se puede seguir considerando una fuente confiable de información y como punto de referencia.

- Otras opciones:
 - GloCaF presenta un mercado global idealizado, donde el libre comercio alcanza un nivel óptimo del 100%. Iguala todas las regiones geográficas y estima que cada una de ellas mitiga al mismo costo marginal para lograr el objetivo global de reducción. El modelo entrega las curvas de costos marginales de abatimiento a nivel global para distintos sectores. Fue desarrollado por el Department of Energy and Climate Change (*DECC* - ahora Department of Business, Energy and Industrial Strategy, [*BEIS*]) de Reino Unido, y utilizado para el cálculo nacional del PSC. Debido a que aún está en fase de prueba, solo algunas bases de datos se encuentran públicamente disponibles⁷.
 - El International Energy Agency (*IEA*), en conjunto con el Fondo Monetario Internacional (*IMF*, por sus siglas en inglés), detallan los costos de abatimiento globales de distintas tecnologías, con valores actualizados, para el sector energético (International Energy Agency, 2020).

Esta aproximación no tiene en cuenta directamente la externalidad asociada al cambio climático, reflejando solo los costos de mitigación asociados a evitarla, por lo que es posible que frente a un objetivo de política pública de baja ambición se obtenga un PSC con valores muy bajos -o eventualmente negativos. Esto último es un sinsentido, dado que los GEI emitidos no dejan de producir un daño social solo porque mitigar las emisiones sea

⁶ Ver: <https://iiasa.ac.at/scenario-ensembles-and-database-resources>

⁷ Ver sitio web de Reino Unido: <https://data.gov.uk/dataset/a91a4b2a-6948-4c0d-a5b8-c09ef2e604b2/global-marginal-abatement-cost-curves-by-country-sector-and-mitigation-option-2015-2050>

“rentable”. Adicionalmente, esta aproximación no genera un óptimo social necesariamente, dado que la señal de precio no es necesariamente igual a la externalidad asociada a la emisión de una tonelada de CO₂e. Otra dificultad potencial es que, en ausencia de un objetivo de mitigación que defina claramente un Presupuesto de Carbono, no es posible implementarla, a menos que se defina un objetivo por un método alternativo.

No obstante, debido a que también tiene altos requerimientos de información de antecedentes de mitigación (e.g. costos de capital y de operación de cada medida de mitigación), no se presenta como un método sencillo de aplicar.

Definición política basada en evidencia

Existiendo ya décadas de experiencias y estudios asociados a la determinación de Precios al Carbono, es posible recurrir a muchos antecedentes para que un país determine su PSC en base a la evidencia. Esto se puede hacer por medio de la selección del mismo PSC de otros países, un valor en base a literatura científica, recomendaciones de organismos internacionales y/o precios de mercados de carbono. Esto permite acelerar la aplicación de un instrumento sin necesidad de desarrollar modelos complejos para determinar el PSC, avanzando con una señal clara que se basa en la experiencia y aprendizajes de otros actores.

En primer lugar es posible revisar estudios que hayan calculado el CSC o definiciones de PSC por parte de otros países, dado que estos resultados son de alcance global, cualquier país puede utilizarlos como referencia, por ejemplo Canadá para la definición de su PSC utilizó el valor calculado por el (Interagency Working Group, 2016) para EEUU. En segundo lugar, es posible adoptar un PSC, en base a recomendaciones de Organismos Multilaterales sobre la adopción de Precios al Carbono (ya sea para PSC o para impuestos al carbono), aquí destaca el trabajo realizado por CEPAL (Alatorre et al., 2019), que por medio de un metaanálisis obtiene un valor potencial de 25,83 USD/ton CO₂e, pero también hay otros referentes como el FMI (Parry et al., 2021), que recomienda 3 niveles de impuesto al carbono 25, 50 y 75 USD/ton CO₂e, en función del nivel de ingresos de un país. Una tercera alternativa, que algunos países han utilizado, es definir su PSC a partir de precios de mercados de carbono, este fue el camino de países como Dinamarca o Chile en su primera definición de PSC.

1. Experiencias de otros países:

Las principales fuentes del CSC son a partir del resultado de la aplicación de los modelos antes mencionados (e.g. PAGE, DICE), u optando por los valores estimados, por ejemplo, en

Estados Unidos. Como ya se describió anteriormente, este país realizó una modelación el año 2016 que involucró un comité especializado de académicos de diferentes disciplinas y combinando tres modelos distintos de cálculo, lo que entregó valores de CSC globales a ser utilizados a nivel nacional (ver Tabla 2). Debido al esfuerzo detrás, así como a la confiabilidad de los datos, países como Canadá optaron por adoptar directamente estos valores ajustando solo a moneda nacional y por inflación. Una de las desventajas de utilizar este valor de forma directa se debe a que no considera la ponderación por equidad (*Equity weighting*), es decir, que estima un valor único de CSC más allá del país donde se aplique. Esto es problemático, porque no todos los países han contribuido de la misma manera para llevarnos a la crisis climática actual, ni cuentan con los mismos recursos para enfrentar los costos de mitigación, pudiendo esto afectar sus posibilidades de desarrollo. Por lo tanto, la aplicación del *Equity weighting* permite equilibrar estas diferencias.

Tabla 2: Costos social del CO₂ en Estados Unidos, 2020-2050 (en USD₂₀₂₀/tCO₂)

Emissions Year	Discount Rate and Statistic			
	5% Average	3% Average	2.5% Average	3% 95 th Percentile
2020	14	51	76	152
2025	17	56	83	169
2030	19	62	89	187
2035	22	67	96	206
2040	25	73	103	225
2045	28	79	110	242
2050	32	85	116	260

Fuente: (Interagency Working Group, 2021)

Al igual que en el caso de CSC, algunos países han desarrollado aproximaciones de cálculo *target-based* en base al contexto global para ser utilizados como valores nacionales. Reino Unido es uno de éstos casos (ver Tabla 3), el que además fue uno de los primeros en implementar la metodología del Costo de mitigación para alcanzar objetivo de Política Pública y ha servido como ejemplo para su implementación en otros países, tales como Chile. A diferencia del CSC, los valores de PSC obtenidos con este método dan cuenta del “nivel” esfuerzo de mitigación que un país ha decidido adoptar para cumplir con su objetivo de política pública, por lo que no necesariamente otro país va a tener exactamente la misma ambición. Sin embargo, es un referente de utilidad si se toma en consideración a naciones de condiciones similares.

Tabla 3: Valores de PSC de CO₂ en Reino Unido, 2020-2030 (en GBP₂₀₂₀ / tCO₂)

Year	Low series	Central Series	High Series
2020	120	241	361
2021	122	245	367
2022	124	248	373
2023	126	252	378
2024	128	256	384
2025	130	260	390
2026	132	264	396
2027	134	268	402
2028	136	272	408
2029	138	276	414
2030	140	280	420

Fuente: (BEIS, 2021)⁸

2. Según estudios y literatura

Existe un amplio rango de valores disponibles en literatura para este cálculo, entre los que se encuentran los siguientes:

- IPCC: por ejemplo, el Capítulo 2 del SR1.5 contiene rangos de valores de precio al carbono para distintos escenarios (Rogelj et al., 2018). Estos pueden ser utilizados como puntos de referencia o directamente como un promedio, según el escenario a considerar a nivel nacional.
- OECD/IEA & IRENA (2017) realizaron una estimación de la señal de precio al carbono necesaria para promover una transición energética acelerada y de grandes alcances, para lograr un escenario de calentamiento que no supere los 2°C a finales de siglo (presupuesto de carbono global para el sector energético de 790 GtCO₂ para el período 2015-2100). Respecto a este escenario, estimó valores diferentes para países parte de la OECD, economías emergentes (e.g. Brasil, China, Rusia y Sudáfrica) y otras regiones. Los valores se muestran en la Tabla 4.

⁸ La tabla muestra solo los valores al 2030, sin embargo, la estimación se hizo a 2050. Ver: BEIS (2021).

Tabla 4: Resumen de valores de precios al CO₂ en un escenario que limita a 2°C (USD/ton CO₂)

	2020	2030	2040	2050
OECD countries	20	120	170	190
Major emerging economies*	10	90	150	170
Other regions	5	30	60	80

* includes People's Republic of China (hereafter "China"), the Russian Federation (hereafter "Russia"), Brazil and South Africa.

Fuente: (OCDE/IEA & IRENA, 2017)

- CDP & CPLC (2018) presentan valores de mercado aplicables al sector privado que son consistentes con un escenario de calentamiento bajo los 2°C de calentamiento. El estudio se basó en las tendencias globales de las empresas de implementar precios al carbono internos, así como en los precios de mercado proyectados de las tecnologías bajas en carbono que se han desarrollado en distintas trayectorias (en línea con los 2°C). El rango de precio varía entre USD 24-50 al año 2020, hasta USD 30-100 al año 2030 (CDP & CPLC, 2018).
- High-Level Commission on Carbon Prices (2017) estimó que una señal de precio consistente con el objetivo establecido en el Acuerdo de París (bajo los 2°C de aumento de tº) debiese ser de entre USD 40-80 a 2020, y USD 50-100 a 2030 (High-Level Commission on Carbon Prices, 2017).
- Tol (2019) presenta una estimación del CSC para cada país basado en los niveles de actividad económica de cada país bajo los escenarios de SRES y SSP en cuanto a población, ingresos y emisiones. Estos escenarios se trabajan de forma proporcional a nivel nacional, de acuerdo a los últimos datos de estos parámetros obtenidos a nivel nacional. El horizonte temporal es de 2015-2100 para la estimación de costos por daños, lo que resulta en un CSC global en 2015 de USD 24 por tonelada de carbono. Para Latinoamérica, el valor es de USD 6,8 (Tol, 2019).

3. Según organismos multilaterales

Diversos organismos han recomendado precios al carbono, los que tienen una fuerte componente regional, como es el caso de CEPAL. Entre éstos se encuentran:

- El IMF estimó en 2021 que lograr la meta de 1,5 y 2°C de calentamiento global requeriría más que la carbono-neutralidad a 2050, y entre las medidas adicionales se especifican impuestos al carbono. Se recomendó que al año 2030 este impuesto al carbono debiese alcanzar un valor de USD 75 por tonelada de CO₂ a nivel global. Además, la recomendación distingue entre distintos niveles de desarrollo para la definición de un precio al carbono debido, por ejemplo, a la intensidad de la producción industrial, pero también considera una distribución más equitativa de la

carga. Para economías emergentes se estima un precio de USD 25 al año 2030, para economías de altos ingresos aumenta a USD 50, mientras que para las economías avanzadas el valor llega a USD 75 (Parry et al., 2021).

- La Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) llevó a cabo en 2019 un metaanálisis de la literatura disponible respecto a CSC, con el fin de obtener un valor medio. El valor obtenido es de USD₂₀₁₄ 25,83; sin embargo, se considera un valor conservador debido que subestima las retroalimentaciones del sistema climático e ignora otros procesos socioeconómicos, tales como migraciones. En el caso de América Latina, las retroalimentaciones son particularmente relevantes debido a los potenciales efectos de eventos catastróficos extremos (Alatorre et al., 2019).
- El Banco Mundial elaboró en 2017 una guía de orientación a los proyectos privados que busquen financiamiento en el Banco, para llevar a cabo análisis económicos usando el Precio Sombra del Carbono. Recomienda utilizar los valores entregados por el High-Level Commission on Carbon Prices para el período 2020-2030, y extrapolar desde 2030-2050 usando una tasa de crecimiento de 2,25% anual (Banco Mundial, 2017).

4. Según Mercados de Carbono

Los mercados de carbono se dividen en dos grandes tipos: los sistemas de comercio de emisiones (ETS, por sus siglas en inglés) y la compensación de emisiones (*offsets*). El ETS opera bajo el concepto de cap-and-trade, es decir, limitan las emisiones totales de una instalación, región, país o grupo de países, entregando permisos de emisión (*carbon allowances*). Si las emisiones de las fuentes emisoras emiten por sobre o por debajo de este límite máximo, la diferencia puede ser intercambiada en el mercado, ya sea vendiendo los excesos de allowances o comprando excedentes de terceros para compensar. Usualmente este mercado es regulado, es decir, existe un marco normativo que establece dichos límites y procura el cumplimiento por parte de los entes regulados.

Los sistemas offsets, por su lado, pueden ser mecanismos regulados o voluntarios. Los instrumentos regulatorios que los impulsan son del tipo impuesto al carbono y/o como esquema complementario al ETS. Las fuentes emisoras no tienen necesariamente un límite establecido, por lo que el mercado se basa en la comercialización de reducciones con el fin de compensar las emisiones GEI. Estas reducciones se pueden certificar y cumplen con metodologías que entregan lineamientos mínimos de contabilidad.

Dos de los principales instrumentos que permiten la transacción de reducciones son el mecanismo de Implementación Conjunta (JI, por sus siglas en inglés), y el mecanismo de

Desarrollo Limpio (MDL). Estos se crean a partir del Protocolo de Kioto y permiten que los países Anexo I cumplan con sus compromisos de reducción. Ambos mecanismos se consideran como sistemas offsets y difieren del ETS, en particular, por el origen de las reducciones. El JI y MDL permiten el uso de reducciones solo cuando estas ya ocurrieron y han sido verificadas y certificadas. En contraste, en el caso de ETS la transacción ocurre debido al incumplimiento normativo, y las reducciones pueden provenir tanto de los permisos de emisión excedentarios de otros agentes regulados, como de los certificados de reducción de emisiones (CERs, por sus siglas en inglés) otorgados por mecanismos como MDL y JI.

La comercialización de estas reducciones entrega una señal de precio que indica la disposición a pagar por las emisiones. Esta información funciona como *proxy* para el establecimiento de un Precio Social del Carbono.

Esta metodología de cálculo ha sido ampliamente criticada, ya que la señal de precios está distorsionada por otros factores (Ahrens & Ruf, 2016; European Commission, 2012, 2015) según lo evidenciado durante la tercera fase de implementación del mecanismo ETS en la Unión Europea el año 2012. Los límites máximos de emisión no fueron suficientemente estrictos, por lo que los permisos de emisión, en muchos casos, eran mayores a las emisiones reales de las fuentes emisoras. Esto resultó en un exceso de permisos que se comercializaron colapsando el mercado, en el cual el precio decreció a valores cercanos a los €3.00 por tonelada de CO₂ equivalente reducida el año 2013.

Por último, una dificultad transversal de este método es la enorme cantidad de alternativas de PSC a seleccionar, lo que puede hacer difícil tomar la “mejor” decisión.

Benchmark para un Precio Social del Carbono

Se construyó un valor de referencia para lo que debiera ser un PSC a nivel nacional. Este trabajo se basó en un análisis econométrico de las preferencias reveladas de los países que han implementado un PSC a nivel nacional (ver Anexos).

Los valores que se obtienen de este análisis dan cuenta de un esfuerzo compatible o coherente con el que ha tomado la comunidad internacional. No refleja un CSC o el costo de

mitigación para alcanzar un objetivo de política pública, pero da cuenta del rango en el que debiera estar el PSC de un país en función de su PIB (PPA)⁹ per cápita.

En este análisis se probaron múltiples modelos de regresión (Regresión Lineal Simple, Efectos Aleatorios, etc.) y posibles variables explicativas (PIB per cápita, región, pertenencia a la OECD, país y año de cálculo del PSC). Finalmente, la opción seleccionada debido a su mayor versatilidad, ajuste y significancia estadística fue un modelo de Efectos Aleatorios que utilizó como variables el país, año de cálculo del PSC y PIB (PPA) per cápita para explicar el PSC. La Tabla 5 presenta un resumen de los resultados de la regresión seleccionada. Como se puede apreciar, el modelo tiene un ajuste superior al 50% y es significativo estadísticamente.

Tabla 5 Resumen del Modelo de Efectos Aleatorios para estimar Precio Social del Carbono

Parámetro	Valor
Observaciones	24
Entidades	14
R2	0,52
Estadístico F	25,4
Valor P	0,00

Fuente: elaboración propia.

Esto permite contar con un modelo para calcular un valor de referencia para el PSC para cualquier país en función de su PIB (PPA) per cápita con el que, complementado al Intervalo de Confianza (IC) de un 95%, podemos obtener un rango de valores de PSC coherentes con las preferencias reveladas internacionalmente por otros países. El resultado del modelo indica que, por cada 1.000 USD 2017 de PIB (PPA) per cápita, el PSC debe subir 1,8 USD 2021/tCO₂e como valor central, y un rango de entre 1 y 2,5 USD 2021/tCO₂e. La Figura 7

⁹ Se refiere al Producto Interno Bruto de un país ajustado por poder adquisitivo en USD constantes del 2017, en base al Banco Mundial (<https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.PP.KD>).

representa de manera gráfica el rango de PSC para un país en función de su PIB (PPA) per cápita en USD 2017.

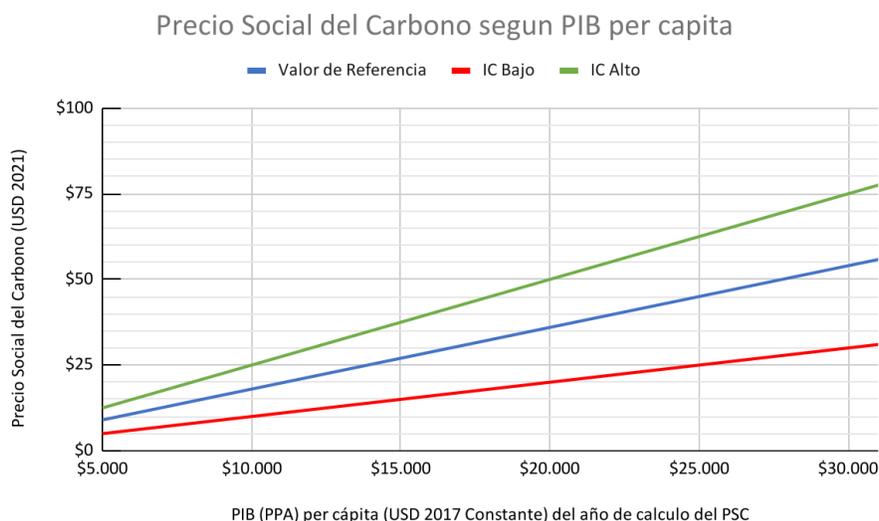


Figura 7 Rango de PSC esperado para un país en función de su PIB per capita

Fuente: Elaboración propia

Para el caso de República Dominicana tendríamos que dado su PIB (PPA) per cápita al 2020 era de 17.003 USD 2017, un PSC del carbono mínimo debiera ser de 17 USD 2021/tCO₂e, un valor esperable debiera ser de 31 USD 2021/tCO₂e, y para ser considerado un país con alta ambición climática debiera tener un PSC superior a los 44 USD 2021/tCO₂e.

Síntesis de ventajas y desventajas de cada método

Como se puede apreciar, existen diferentes opciones metodológicas para la definición de un PSC. Todas las alternativas tienen ventajas y desventajas asociadas, y la Tabla 6 presenta una síntesis de estas.

Tabla 6: Comparación de métodos de estimación del PSC.

Método	Ventajas	Desventajas
Costo Social del Carbono	<ul style="list-style-type: none"> ● Es costo eficiente si se implementa para todos los sectores de la economía; ● Distintos centros de investigación ya han 	<ul style="list-style-type: none"> ● Alta complejidad de los modelos ● Es demoroso y costoso si se opta por desarrollar un modelo

	<p>desarrollado el cálculo y disponibilizado modelos;</p> <ul style="list-style-type: none"> • Es la alternativa técnicamente más correcta, debido a su enfoque pigouviano¹⁰, lo que permite alcanzar el óptimo social. 	propio.
Costo de mitigación para alcanzar un objetivo de Política Pública	<ul style="list-style-type: none"> • Es costo eficiente si se implementa para todos los sectores de la economía; • Permite contar con un PSC propio alineado a los objetivos nacionales de mitigación. • Se puede desarrollar con un esfuerzo acotado a partir de datos nacionales. 	<ul style="list-style-type: none"> • En caso de no haber un objetivo claro de política pública, se necesita definir si puede realizar el cálculo del <i>Fair share</i> para el país; • Requiere estimar los costos de mitigación nacionales (si no se ha realizado antes). • Si el objetivo de política pública es poco ambicioso, puede haber un PSC negativo
Definición política basada en evidencia	<ul style="list-style-type: none"> • Es costo eficiente si se implementa para todos los sectores de la economía; • Bajo costo y sencillo de definir; • Podría ser el óptimo social si se elige una experiencia de CSC. 	<ul style="list-style-type: none"> • Múltiples opciones obstaculizan la elección del PSC “más apropiado”; • Enfoque de mercados de carbono es muy susceptible a la volatilidad, por lo que no da una señal de largo plazo.

Fuente: Elaboración propia

No obstante el método, implementar un PSC para la evaluación de inversiones públicas será siempre positivo, dado que:

¹⁰ Busca que los agentes económicos internalicen la externalidad negativa a través de la implementación de un impuesto.

- Permite levantar información y generar capacidades nacionales acerca de los impactos de las decisiones de inversión pública;
- Hace más eficiente económicamente las inversiones públicas, incentivando el análisis de las opciones menos contaminantes y que, eventualmente, podrían ser las opciones más rentables socialmente independiente del PSC;
- Siempre es costo-eficiente si se aplica de forma transversal a todos los sectores, ya que cumple con el principio de equimarginalidad.

Adicionalmente, la implementación de un PSC, permitirá identificar las iniciativas públicas susceptibles de recibir financiamiento climático, ya sean donaciones o financiamiento a tasas preferenciales (ej: Bonos verdes, Fondo Verde del Clima, etc.).

Requerimientos de información por alternativas

Cada alternativa está sujeta a implementación dependiendo de la información mínima necesaria para desarrollarla.

Costo Social del Carbono

No existen modelos desarrollados para cada país de este método, por lo que se utilizan modelos desarrollados por centros de investigación internacionales, que realizan el cálculo a nivel global, dentro de los cuales los más comunes y disponibles en plataformas abiertas son el DICE, FUND y PAGE. Estos modelos también permiten obtener un CSC desagregado por territorio impactado, por ejemplo para Latinoamérica.

Gracias a las plataformas abiertas disponibles en línea, aplicar y correr estos modelos es factible a bajos costos y requerimientos de información. Por lo tanto, el cálculo sólo requiere:

- Seleccionar uno de los tres modelos (DICE, FUND o PAGE);
- Seleccionar el escenario de emisiones a considerar (si aplica); y
- Definir una tasa social de descuento.

Costo de Mitigación para alcanzar un Objetivo de Política Pública

Este método es el que más requiere de información en comparación a las otras dos alternativas (CSC y basado en evidencia), además de requerir fuentes de información de alta

calidad. Existen dos tipos de antecedentes principales que permiten su aplicación, que son los siguientes:

I. Objetivo de Política Pública (e.g. NDC)

El país debe contar un objetivo de mitigación claro, a partir del cual se pueda desprender un presupuesto de carbono para un horizonte temporal definido (e.g. una meta de emisiones para un año o periodo). La claridad del objetivo depende de:

- Existe un objetivo de política pública principal dado, que es multisectorial y está claramente definido. Si bien es común la existencia de varios objetivos, este debe ser identificable como el principal en comparación a objetivos/medidas sectoriales, los que también pueden aparecer en documentos oficiales (e.g. NDC, Estrategia de Descarbonización, etc.);
- Del objetivo de política pública es posible desprender un presupuesto de carbono con un valor exacto de emisiones, por ejemplo, la NDC establece que al 2030 no se puede emitir más de 100 millones de toneladas de CO₂e, por el contrario objetivos como un % de energías renovables, o de disminución de la intensidad de carbono de la economía no son útiles, dado que requiere hacer supuestos discutibles para calcular el presupuesto de carbono;
- Alcance sectorial del objetivo de mitigación es claro, ya sea porque abarca todos los sectores emisores o se enfoque solo en uno, por ejemplo, en energía;
- Los GEI considerados para el objetivo de mitigación son claros, especificando los contaminantes incluidos (e.g. emisiones de CO₂, CH₄, N₂O).

II. Antecedentes de Mitigación (e.g. estudios nacionales de mitigación)

Para esto se debe contar con:

- Proyección de emisiones para todos los sectores emisores incluidos en la meta de mitigación, para los siguientes escenarios:
 - Escenario de referencia sin medidas de mitigación (o *BAU*);
 - Escenario de máxima mitigación: en este caso debe ser posible tener un escenario donde se pueda reducir las emisiones más allá del Objetivo de Política Pública.
- Caracterización de las opciones de mitigación para el escenario de máxima mitigación, contando al menos con:

- El potencial de mitigación de cada medida para el periodo del Presupuesto de Carbono;
- Costo Marginal de abatimiento incremental para cada medida de mitigación en comparación con el escenario BAU.
- Antecedentes que aseguren que el cálculo del PSC entregue un valor positivo.

Para asegurar la pertinencia de los antecedentes de mitigación respecto al objetivo de este trabajo, se recomienda lo siguiente::

- Que el estudio sea realizado por una agencia de gobierno o encargada por este;
- Que el estudio sea realizado en un contexto consistente con el Objetivo de Política Pública;
- Que el estudio haya sido sometido a un proceso de validación o consulta pública;
- Que el estudio presente una modelación coherente para todos los sectores de emisión (mismos parámetros de modelación y periodos de análisis para todos los sectores);
- Que el estudio presente proyecciones de emisiones nacionales actualizadas, incluyendo los efectos de la pandemia;
- Que la proyección de emisiones nacionales sean consistentes e idealmente fueron calibradas con los inventarios de GEI nacionales;
- Que sea posible acceder a los modelos o al menos a las planillas de cálculo detalladas con los resultados de modelación.

Definición política basada en evidencia

En este caso, no se requiere de antecedentes nacionales complejos, sino más bien seleccionar el tipo de evidencia a considerar (e.g. organismos multilaterales, experiencia internacional) para luego evaluar cuál de las alternativas disponibles, se ajusta mejor al contexto nacional.

En caso de utilizar el benchmark propuesto, se debe tener disponibilidad de:

- PIB (PPA) per cápita nacional para el año de cálculo del PSC (e.g. 2022);
- Trayectoria de crecimiento de PIB (PPA) per cápita en caso de querer dejar calculado el PSC para un año objetivo (opcional).

Disponibilidad de información nacional para cálculo del PSC

Se hizo una revisión bibliográfica de la información públicamente disponible de República Dominicana, especialmente basada en levantar toda información relativa a los compromisos nacionales de reducción de GEI, la información histórica, las proyecciones de emisiones nacionales, así como de los modelos utilizados tanto para la proyección de las variables como para el análisis de carteras de medidas de mitigación, y las tasas de descuento social utilizadas nacionalmente. Con esta revisión se busca compilar los antecedentes del país, para luego someterlos a evaluación respecto a los requerimientos de información según metodología de estimación del PSC.

Meta de mitigación

El año 2020, República Dominicana presentó una actualización de la NDC publicada el 2015 en el marco del Acuerdo de París. Dicha actualización logró cuantificar de forma más precisa el compromiso nacional de mitigación, ya que progresa de una meta en función una reducción de la intensidad de emisiones por población (3.6 tCO₂e per cápita del año base 2010) a una meta nacional de emisiones respecto a un escenario proyectado *Business as Usual*. La nueva meta implica una disminución del 27% del total de emisiones proyectadas, que corresponde a una reducción de alrededor de 13 MtCO₂e. La actualización constituye una mejora respecto a la del 2015, no obstante, es relevante mencionar que tiene dos componentes nuevos a diferencia de la meta previa. Por un lado, la meta nacional del 2015 plantea una reducción total de 25% de las emisiones nacionales correspondientes a un esfuerzo doméstico. En contraste, la nueva meta plantea una reducción incondicional solo del 7%, que responde a los esfuerzos domésticos, mientras que el 20% restante representa reducciones condicionales, sujetas a financiamiento externo. Adicionalmente, el 7% incondicional diferencia entre los esfuerzos públicos y privados, asignando un 2 y 5%, respectivamente.

La meta planteada en la NDC es suficientemente clara y precisa como para cuantificar el presupuesto de emisiones del año 2030 (37 MtCO₂e). Ésta plantea un objetivo específico en un horizonte temporal definido. En este objetivo se incluyen todos los sectores del inventario Energía, PIUP, AFOLU y Desechos. Además, si bien el país identifica 7 gases de efecto invernadero (CO₂, CH₄, N₂O, HFCs, PFCs, SF₆s y NF₃) provenientes de dichos sectores, sólo informa tres: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O). A partir de esto, no queda del todo claro qué gases están incluidos dentro del compromiso nacional.

Además del compromiso a mediano plazo planteado en la NDC, República Dominicana está trabajando por una meta a largo plazo de carbono neutralidad al 2050, según lo publicado por el Gobierno el año 2019, con el apoyo del Banco Mundial y el NDC Partnership (Mordán, 2020a; Ovalles, 2020). Si bien esta meta se presenta como una meta secundaria en la NDC 2020, sigue siendo relevante como meta de mitigación nacional en el largo plazo. En este contexto, el apoyo del Banco Mundial ha permitido elaborar una serie de trabajos para apoyar la implementación tanto del compromiso a largo como a mediano plazo.

Estos trabajos han estado relacionados a la actualización de la NDC presentada el 2020, así como entregan análisis relevantes para lograr la carbono neutralidad. Dichos estudios priorizan tres sectores de la economía dominicana, que son Energía (Generación Eléctrica [GE] y Eficiencia Energética [EE]); Transporte; y AFOLU. Los tres objetivos principales son, primero, desarrollar una Estrategia de Largo Plazo (ELP) para lograr la descarbonización al 2050 (carbono neutralidad). La meta de la ELP incluye los gases CO₂, CH₄ y N₂O. Esta Estrategia aún no ha sido publicada, y se desconoce la fecha al momento de la redacción de este documento. El segundo es la evaluación y actualización de la NDC 2015. El tercero es promover y “desbloquear” las inversiones del sector público y privado para la implementación de la NDC.

Información histórica

El último inventario publicado por República Dominicana es del 2020 publicado como parte del Primer Informe Bienal de Actualización (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales et al., 2020), donde registra las emisiones GEI nacionales hasta el año 2015 (ver Tabla 7). Tanto este registro como el publicado en la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2018) (ver Tabla 8) fueron utilizados para la actualización de la NDC.

Tabla 7: Tendencia de las emisiones y absorciones de GEI por sector, serie 1990-2015 de República Dominicana.

Sector	1990*	1994*	1998*	2000*	2010**	2015
Energía	8,469.30	14,788.78	15,868.81	18,090.66	18,861.86	22,266.69
IPPU	541.10	643.80	1,045.70	811.06	1,167.51	2,892.61
AFOLU (Agricultura y suelos)	2,280.12	2,489.10	5,211.49	5,701.10	4,653.32	4,753.10
AFOLU (Tierras)	-5,555.99	-6,504.22	NE	-18,794.10	-12,633.03	-10,851.79
Desechos	1,305.78	2,519.37	1,615.59	1,673.36	5,175.15	5,573.64
Balance (Emisiones netas en Gg CO₂eq)	7,040.31	13,936.83	NE	7,482.08	17,224.81	24,634.24
Total (Emisiones totales en Gg CO₂eq)	12,596.30	20,441.05	23,741.59	26,276.18	29,857.84	35,486.03

* Datos no recalculados

** Datos recalculados en INGEI 2015

Fuente: (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales et al., 2020)

Tabla 8: Serie temporal de las emisiones de República Dominicana (ktCO₂e) 1990-2010, según la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático.

Serie temporal por sector	1990	1994	1998	2000	2010
Energía	8,469.30	14,788.78	15,868.81	18,090.66	21,138.54
Procesos industriales	541.10	643.80	1,045.70	811.06	1,803.45
Agricultura	2,280.12	2,489.10	5,211.49	5,701.10	6,812.21
Uso de suelo y silvicultura	-5,555.99	-6,504.22	No se incluyó	-1,8794.10	-3,100.64
Residuos	1,305.78	2,519.37	1,615.59	1,673.36	4,390.53
*Las series no han sido reconstruidas					

Proyecto TCNCC.

Fuente: (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2018)

Adicionalmente, se han desarrollado trabajos sectoriales para la actualización de los inventarios para distintos sectores. El sector Energía (1.A.1) presenta una actualización para el periodo 2015-2018 que se logró a través del Proyecto de Transición Energética apoyado por GIZ y el Ministerio de Ambiente. Asimismo, el sector Cemento presenta una actualización para el periodo 2010-2017.

Respecto a los datos históricos de PIB y población, estos pueden encontrarse en el Banco Central de República Dominicana¹¹ y en la Oficina Nacional de Estadísticas¹², respectivamente. Además, de acuerdo a los trabajos realizados para la actualización de la

¹¹ Los datos se pueden encontrar en: <https://www.bancentral.gov.do/a/d/2533>

¹² Los datos se encuentran disponibles en: <https://www.one.gob.do/datos-y-estadisticas/temas/estadisticas-demograficas/estimaciones-y-proyecciones-demograficas/>

NDC 2020, los datos del PIB fueron obtenidos a partir del Informe Anual de Crecimiento 2019 de CEPAL. No obstante, no se encontró acceso públicamente disponible a estos datos.

La información socioeconómica también puede ser obtenida a partir de fuentes externas, tales como el registro histórico del Banco Mundial¹³ en cuanto a población y PIB, así como las bases de datos de CEPAL¹⁴ y del World Resources Institute.

Información respecto a la proyección de emisiones

Como se mencionó anteriormente, República Dominicana presenta dos objetivos importantes de mitigación, uno corresponde a su NDC 2020 y el otro a la carbono neutralidad al 2050. Cabe mencionar que tanto el objetivo a largo plazo como la actualización de la NDC se logró a través del trabajo realizado con apoyo del Banco Mundial (Proyecto BM). Adicionalmente, la NDC se sustenta, en parte, en el trabajo realizado el 2011 en el Plan de Desarrollo Económico Compatible con el Cambio Climático (DECCC) con un horizonte temporal al 2030. Sin embargo, las actividades desarrolladas en el Proyecto BM tienen un enfoque centrado, principalmente, en la identificación y análisis de medidas de mitigación; por lo tanto, este se analiza con mayor detalle en la siguiente subsección “Medidas de mitigación”.

En primera instancia, respecto a la meta de mediano plazo propuesta en la NDC, ésta se basa en un escenario de referencia proyectado al 2030 a partir del año 2010, que abarca todos los sectores. Los datos del año base (2010) utilizados no coinciden con los presentados en el Inventario de emisiones (ver Tabla 8) publicados en la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático (2018). Si bien el documento oficial no entrega información detallada sobre las proyecciones de los escenarios *BAU* y de mitigación, sí especifica que el primero es el mismo que se presentó en el DECCC el 2011 (ver Figura 8). No se encontró información públicamente disponible de las bases de datos utilizadas para la proyección, solo de los supuestos utilizados. Esta fuente de información es consistente con el escenario *BAU* nacional, pero no es consistente con las nuevas proyecciones de emisiones desarrolladas por el Proyecto BM. La proyección, aparentemente, incluye todos los sectores del inventario de emisiones GEI. Mientras que en cuanto a los gases, no es claro si incluye todos los gases del inventario y su concordancia con la nueva meta de mitigación del 2020.

¹³ Ver más en la plataforma abierta: <https://datos.bancomundial.org/>

¹⁴ Más detalles en: <https://statistics.cepal.org/portal/cepalstat/index.html>

Premisas del escenario tendencial

- Crecimiento anual PIB 5% anual
- Tasa anual de crecimiento poblacional a la baja (de 1.4% en 2010 a 0.9% en 2030)
- Premisas sectoriales alineadas con desarrollo económico en el escenario tendencial
- Contempla cambios en aspectos clave del sector solo si
 - Es seguro que ocurran (plantas eléctricas en construcción)
 - Son autónomos económicamente (no incluye proyectos futuros subsidiados de energías renovables)

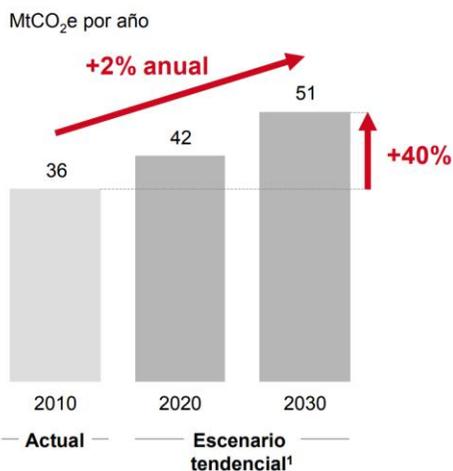


Figura 8 Proyección tendencial del escenario BAU de República Dominicana y los supuestos asociados - Plan DECCC 2011.

Fuente: (Presidencia de la República Dominicana, 2011)

El mismo documento plantea un análisis de potencial de abatimiento de las emisiones GEI, donde se presenta un escenario de máxima mitigación, que resultaría en una reducción del 65% de las emisiones respecto al *BAU* o de un 50% respecto a la línea base del 2010 (ver Figura 9). Este corresponde solo a un escenario tendencial, asumiendo que todas las medidas de mitigación propuestas se logren en su totalidad, mas no se traduce en una meta de mitigación nacional. Tomando este trabajo, la actual NDC (2020) plantea una reducción máxima de 27% respecto a este mismo escenario *BAU*.

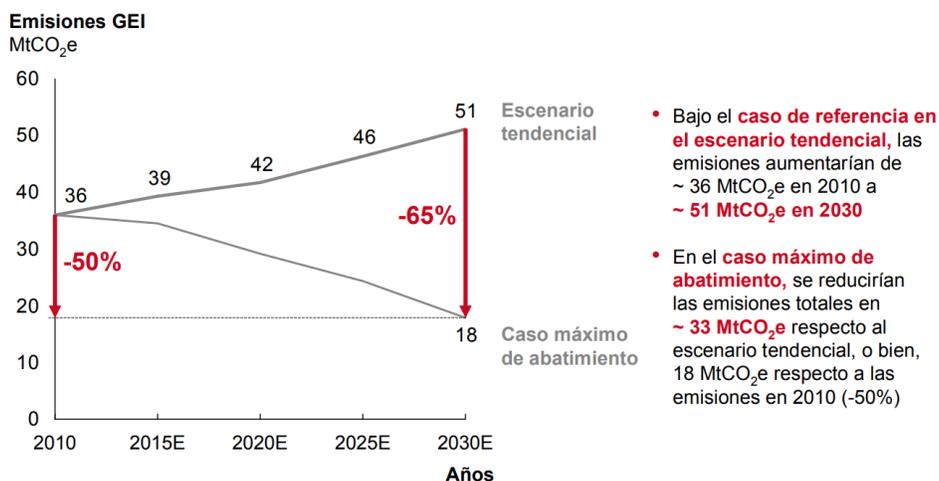


Figura 9 Escenario de máxima mitigación planteado como parte del Plan de Desarrollo Económico de República Dominicana 2011.

Fuente: (Presidencia de la República Dominicana, 2011)

Una de las principales desventajas de este Plan es su desfase temporal (desarrollado hace más de una década) y a su inconsistencia con los inventarios nacionales de GEI para los años 2010 y 2015 (ver Tabla 7 y 8), lo que hace esperable diferencias también en lo que respecta a las proyecciones de emisiones hacia el 2030.

Los datos, además, fueron utilizados en el Proyecto BM para fines de comprender en mayor detalle los sectores Energía, Transporte y AFOLU, sin embargo, no se encontraron nuevas proyecciones a nivel nacional. Otra desventaja es que no se encontraron las bases de datos en las que se sustentan los gráficos presentados en las Figuras 8 y 9, ni las proyecciones sectoriales. Este Plan fue también un insumo para la definición de medidas de mitigación en el Proyecto BM.

Respecto al año base (2010), este se ha utilizado tanto en la NDC del 2015 como en su actualización del 2020, así como también concuerda con la Ley de Estrategia Nacional de Desarrollo 2030 (Artículo 28) (Ministerio de Economía, Planificación y Desarrollo, 2012), donde se estipulan metas quinquenales de reducción de emisiones de dióxido de carbono para el periodo 2010-2030. Las metas planteadas en este último documento ya no son válidas, ya que se actualizaron en la NDC.

La principal ventaja de las fuentes descritas es su concordancia entre ellas y con las políticas públicas desarrolladas posteriormente a nivel nacional. Mientras que una desventaja relevante es su desactualización respecto a las condiciones nacionales actuales. Esto no es un factor excluyente para la utilización del método “Costo de mitigación para alcanzar un objetivo de Política Pública”, pero si lo hace menos recomendable.

En cuanto a los supuestos utilizados en las proyecciones, estos se basan en información histórica del país respecto al crecimiento el PIB y población. Adicionalmente, la Oficina Nacional de Estadísticas el 2015 presentó una proyección de la población al 2030. Las proyecciones socioeconómicas también pueden ser obtenidas a partir de fuentes externas como del World Population Prospects elaborado por el Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas, cuya última actualización se publicó el 2019 que data hasta el 2100 (United Nations, 2019). Todas estas fuentes de información son de libre acceso.

En segundo lugar, se encuentra el Proyecto BM que permite identificar las vías de descarbonización al 2050. Los trabajos se centran en los sectores Energía (solo GE y EE), Transporte y AFOLU. Para lograr esto, se utilizaron los resultados del Plan DECCC 2011 y se actualizó la proyección del escenario *BAU* para los tres sectores, partiendo el 2018 como año base, hasta 2030 y 2050. Es relevante mencionar que el año base utilizado en el proyecto no

concuenda con el año base (2010) del Plan DECCC 2011. Respecto a esta discrepancia no fue posible aclarar cómo se relacionan las proyecciones del Plan DECCC 2011 con las del Proyecto BM. En ninguno de los dos casos es posible acceder a los escenarios de trayectorias de emisiones nacionales, donde se integren todos los sectores emisores, ni tampoco a nivel sectorial.

Asimismo, si bien las proyecciones de emisiones fueron actualizadas y se basaron en el Plan DECCC, no quedan claros los cambios en la contribución sectorial a las emisiones nacionales. En otras palabras, la actualización de las proyecciones de emisiones solo se realizaron para los subsectores mencionados, mientras que las proyecciones nacionales aún se basan en el Plan DECCC 2011. Esto implica que, eventualmente, al sumar las nuevas proyecciones sectoriales, no haya concordancia con el escenario *BAU* del 2011, sino que se traduzca en un nuevo escenario *BAU*-no contemplado en la NDC 2020.

Para el caso del escenario de mitigación, ocurre una situación similar a la del *BAU*, ya que al sumar las reducciones de los tres sectores analizados en el Proyecto BM (de acuerdo a las bases de datos disponibles), estas sobrepasan con creces la reducción nacional estimada para la NDC 2020, incluso superan por mucho el total de emisiones del escenario *BAU* al 2030 que es de 51 MtCO_{2e} (ver Tabla 9). En este caso, es evidente que las reducciones proyectadas sobrepasan la meta nacional de reducción. Esto indica tres conclusiones relevantes. Primero, da cuenta de un potencial problema de cálculo del escenario de mitigación sectorial, que está sobreestimando las reducciones de las medidas, probablemente asociado a una modelación no integrada de las medidas o a un error de cálculo de otro tipo. Segundo, de los resultados del estudio se desprendería que hay una baja ambición climática de la meta nacional, respecto a las medidas y escenarios propuestos para cumplirla, dado que el escenario no rescata ni siquiera las medidas rentables. Y tercero, de la necesidad de corregir el escenario *BAU*, por uno que sea consistente con los inventarios nacionales de emisiones.

Tabla 9: Reducciones estimadas para República Dominicana de acuerdo a su compromiso NDC y a los sectores analizados en el Proyecto BM.

Fuente	Total reducciones estimadas al 2030 (MtCO _{2e})
Compromiso Nacional en la NDC	13
Energía	31,6

Transporte	13,5
AFOLU	23,2
Potencial mitigación agregados estudios BM	68,3

Fuente: Elaboración propia a partir de (Mordán, 2020a, 2020b; Ovalles, 2020).

Medidas de mitigación

Como parte del compromiso de la NDC 2020, se propusieron 46 medidas de mitigación, que abarcan todos los sectores del inventario de emisiones GEI (ver Tabla 10).

Tabla 10: Medidas de mitigación propuestas en la NDC y su distribución según los sectores del Inventario de emisiones GEI.

Sector	Nº medidas
Energía	27
PIUP	4
AFOLU	10
Desechos	5

Fuente: Elaboración propia a partir de (Presidencia de la República Dominicana, 2020)

Las medidas propuestas se sustentan en los análisis desarrollados el 2020 por el Proyecto BM para los sectores Energía (Mordán, 2020a), Transporte (Mordán, 2020b) y AFOLU (Ovalles, 2020).

Por su parte las medidas propuestas en el DECCC 2011, en su conjunto, permitirían reducir aproximadamente 33 MtCO₂e en el 2030 respecto al escenario *BAU*, lo que se aprecia en la Figura 10. Esta curva MAC muestra el total de reducción en el año 2030. Un problema que se avizora de utilizar esta curva, en combinación con el presupuesto de carbono asociado al objetivo de política pública de la NDC al 2030, es que el PSC que se obtendría de usar el método de Costo de Mitigación para Alcanzar un Objetivo de Política Pública es evidentemente un valor negativo, lo que no tiene sentido. Debido a que la curva MAC (Figura 10) permite reducir aproximadamente 33 MtCO₂e y el objetivo de mitigación nacional solo requiere reducir aprox. 13 MtCO₂e, se observa que alcanzar ese objetivo, se debiera considerar el costo marginal de abatimiento asociado a la medida de "Energía Solar

Fotovoltaica”, es decir un PSC de alrededor de -50 USD/tCO₂e, lo que claramente no corresponde, dado que el cambio climático es una externalidad negativa.

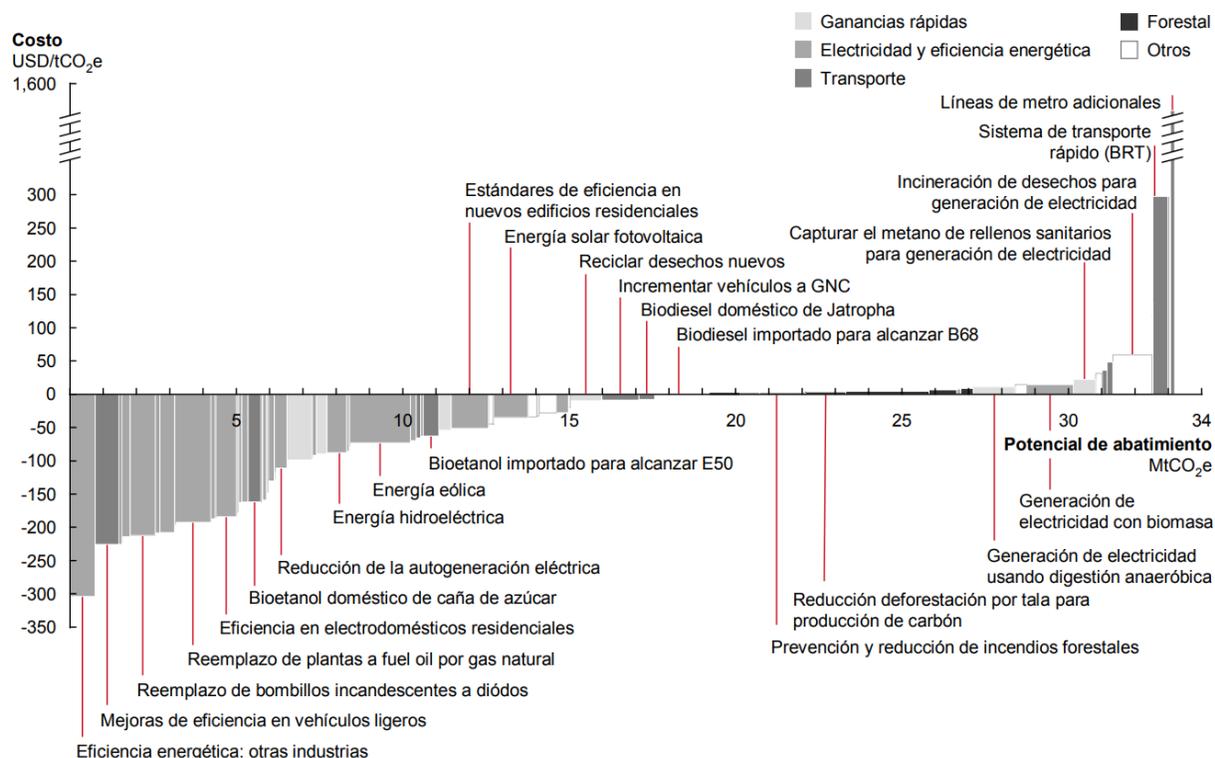


Figura 10 Curva de costos marginales de abatimiento de República Dominicana para el 2030 - Plan DECC 2011.

Fuente: (Presidencia de la República Dominicana, 2011)

Además de los detalles presentados en la NDC 2020 (e.g. responsable, meta cuantitativa, periodo de planificación, entre otros), también es posible encontrar un análisis detallado de los costos marginales de abatimiento al 2030 de las medidas de dichos sectores en el Proyecto BM (solo para sectores Energía, Transporte y AFOLU). Una ventaja de esta fuente de información es que el equipo consultor ha podido tener acceso a las bases de datos de resultados.

Las curvas MAC al año 2030 del proyecto del BM se detallan en las Figuras 11, 12 y 13, y también es posible acceder a las mismas curvas para el año 2050. Cabe mencionar que estas curvas solo consideran las medidas de los sectores mencionados, faltando el sector Procesos Industriales y Uso de Productos (PIUP), Residuos y, eventualmente, subsectores de Energía. Esta brecha de información es una desventaja para utilizar los datos del Proyecto BM como base para el cálculo del PSC, ya que no es consistente con la meta de mitigación nacional, excluyendo algunos sectores emisores, como también lo es los probables errores de cálculo en las reducciones (como se muestra en la Tabla 9). En este contexto, la NDC reconoce la

falta de información del sector Residuos (también llamado Desechos), y especifica que se realizó un análisis del sector PIUP. Aunque no se encontraron datos del sector ni es posible confirmar la naturaleza de los análisis llevados a cabo.

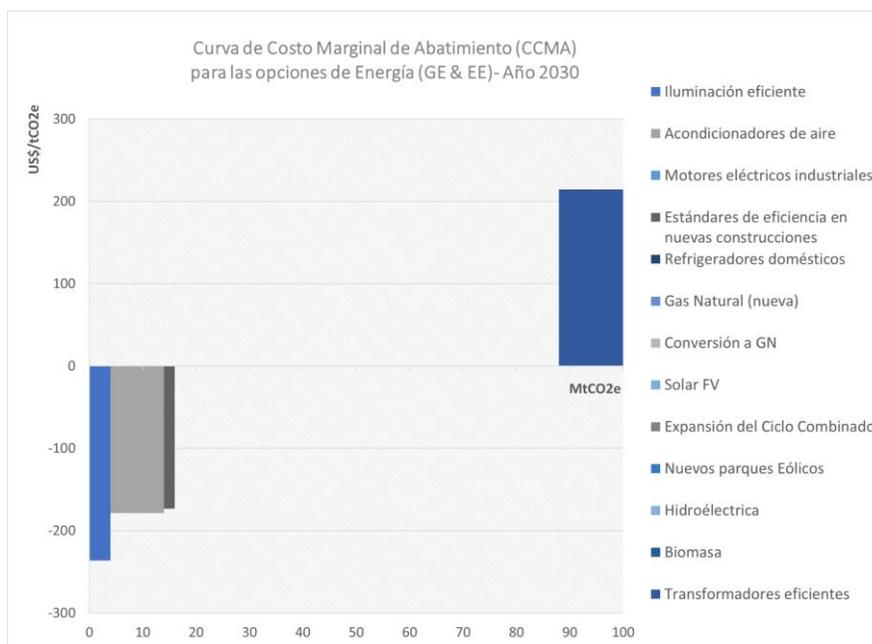


Figura 11 Curva de costos marginales de abatimiento del sector Energía (GE + EE) de República Dominicana para el 2030 - Proyecto BM.

Fuente: (Mordán, 2020a)

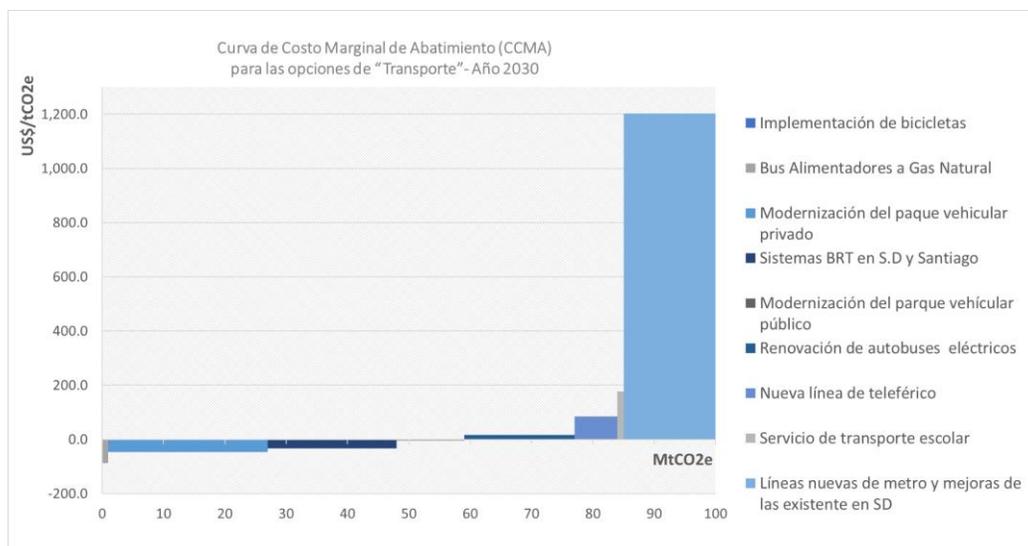


Figura 12 Curva de costos marginales de abatimiento del sector Transporte de República Dominicana para el 2030 - Proyecto BM.

Fuente: (Mordán, 2020b)

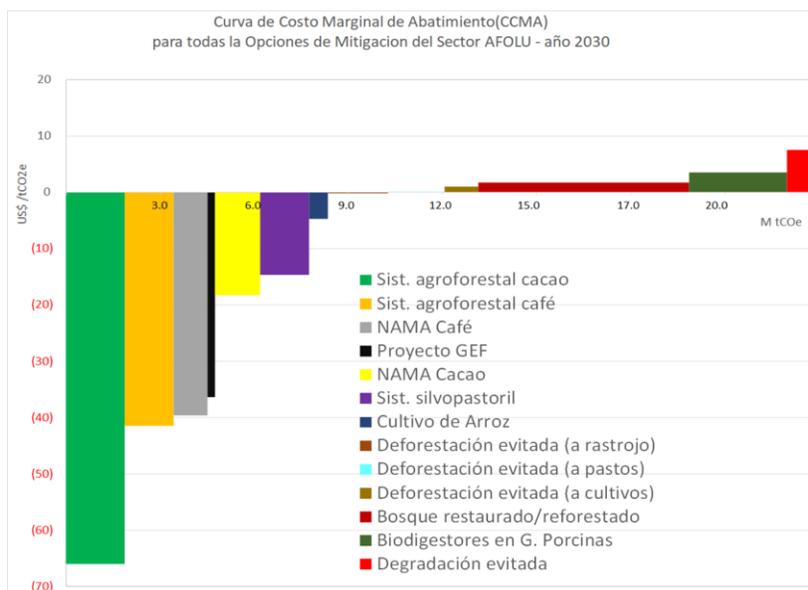


Figura 13 Curva de costos marginales de abatimiento del sector AFOLU de República Dominicana para el 2030 - NDC 2020.

Fuente: (Ovalles, 2020)

De las Figuras 11 y 12 es evidente que existe un problema de cálculo, ya que existe una serie de medidas que entregan valores perfectamente cero. Con respecto a los trabajos de (Mordán, 2020a) y (Mordán, 2020b), es notorio que hay una sobreestimación de las reducciones, además de un error en el cálculo de los costos, debido a alteraciones de conceptos. Por ejemplo, se asume que la inversión inicial asociada a la implementación de las medidas no corresponde a inversión pública, sin embargo si se consideran los ahorros operacionales, esto no es consistente, por lo que es incorrecto ya sea como evaluación social así como en evaluación privada. Respecto a la sobreestimación de las reducciones de emisiones, esto se debe, en parte, a que se tratan los sectores de forma individual, no integrada, lo que es particularmente importante para la modelación del sector energía, donde la implementación de múltiples medidas en conjunto reducen menos que la suma de las medidas individuales. Por ejemplo, si se considera lo siguiente:

- Una serie de medidas de eficiencia energética (e.g. cambio de luminaria) reducen el consumo de electricidad y por tanto las emisiones en 10 MtCO₂e respecto a un escenario *BAU*;
- Una transformación de la matriz eléctrica permite pasar de una matriz a carbón a una 100% renovable, resulta en una reducción de 20 MtCO₂e respecto a un escenario *BAU*;

- Las medidas implementadas en conjunto no reducen 30 MtCO₂e, si no que solo 20 MtCO₂e, dado que si la electricidad es 100% renovable, la eficiencia energética, no aportaría reducciones adicionales.

Esto hace considerar, que pese a que el trabajo de (Ovalles, 2020), no parece tener este problema. El conjunto de estudios del BM no se podrían utilizar para el cálculo del PSC en el contexto de la metodología de Costo de mitigación para alcanzar un Objetivo de Política Pública.

Los antecedentes encontrados muestran que el estudio DECCC 2011 permitirían el cálculo de un PSC, sin embargo se obtendría un PSC negativo, por lo que no es recomendable su uso. Además de ser un antecedente desactualizado e inconsistente con los inventarios nacionales de GEI. Por su parte, el Proyecto BM no presenta proyecciones propias de emisiones para el *BAU* y las curvas MAC construidas en dos de los tres estudios presentan problemas en su cálculo. En este contexto, ninguna de las fuentes de información son suficientes para el cálculo del PSC con el método de "Objetivo de Política Pública".

Tasa Social de Descuento

No se encontró una tasa social de descuento utilizada de forma transversal en el país. Por un lado, los análisis desarrollados en el Proyecto BM utilizan una tasa de descuento del 10%. Mientras que, por otro lado, la Guía Metodológica General para la evaluación de Proyectos de Inversión Pública (2017) del país no entrega un valor específico, sino que menciona "tasas de descuento pertinentes" dependiendo del proyecto. A partir de esto, no es claro si la tasa la define el evaluador de los proyectos y si existe alguna diferencia entre distintos organismos del estado.

Evaluación de alternativas para el cálculo del PSC nacional

Como se discutió anteriormente, los requerimientos de información para cada alternativa metodológica son bastante distintos. En el caso de la alternativa del “Costo Social del Carbono”, no existen modelos nacionales, pero sí hay modelos abiertos internacionales ya validados, por lo que para implementar esta opción metodológica, solo es necesario seleccionar alguno (o una combinación) de los modelos abiertos para este fin (DICE, PAGE y FUND), seleccionar el escenario -o una combinación- (si aplica) a utilizar y la tasa social de descuento nacional a utilizar. Por consiguiente, el único desafío es acordar la tasa de descuento pertinente a utilizar para este propósito.

Para el caso de la utilización de la “Definición política basada en evidencia”, el trabajo Metodología General para el Cálculo del Precio Social del Carbono (SSG, 2022) presenta una amplia revisión de posibles alternativas, lo que se complementa con los resultados del modelo de efectos aleatorios. Este último otorga un valor de referencia o *benchmark* de 31 USD 2021/tCO₂e en función del PIB (PPA) per cápita nacional. Debido a que los valores del PIB (PPA) per cápita son conocidos para años anteriores y que, además, existen antecedentes y fuentes para proyectarlo a futuro, es que se podrían utilizar valores que se encuentren en el rango del *benchmark*, o incluso, usarlo directamente. De lo contrario, el *benchmark* puede ser empleado como punto de referencia para la selección de un PSC en base a otras fuentes de literatura.

Claramente el mayor requerimiento de antecedentes se relaciona con el método del “Costo de Mitigación para alcanzar un Objetivo de Política Pública”, lo que se discute en detalle a continuación, analizando los distintos antecedentes nacionales.

Evaluación de antecedentes para el método de “Costo de Mitigación para alcanzar un Objetivo de Política Pública”

A partir de la revisión, se identificaron dos metas de mitigación nacionales, ambas mencionadas en la actualización de la NDC 2020. La primera de ellas, que conforma el punto prioritario de la NDC 2020 es el compromiso de reducción del 27% de las emisiones respecto al escenario *BAU* al 2030, resultando en una reducción aproximada de 13,85 MtCO₂e. Las reducciones planteadas resultan en un presupuesto de carbono para 2030 de 37,13 MtCO₂e. La segunda se refiere a la carbono neutralidad al 2050, que implicaría emisiones netas 0 MtCO₂e al año 2050.

Las fuentes de información asociadas a estos objetivos son dos principalmente, el trabajo desarrollado para el Plan DECCC 2011 y el financiado por el Banco Mundial el 2020.

En función de la descripción de dichas fuentes de información en la sección anterior, a continuación la Tabla 11 resume los principales elementos para, luego ser evaluados respecto a los requisitos mínimos y recomendados de información para emplear este método (ver Tabla 12). Los criterios de evaluación son los ya descritos en la sección “Requerimientos de información por alternativa”, cuyos requisitos de información se categorizan como:

- Requerimientos mínimos: referidos a la disponibilidad de la información; y
- Recomendados: referido a la idoneidad de la información disponible en relación a este trabajo.

Éstos son evaluados bajo tres tipos de valoración asociados a los colores verde, amarillo y rojo. Una valoración en verde indica que dicho criterio se cumple a cabalidad, es decir, toda la información está disponible y es de libre acceso para el equipo consultor. El amarillo indica que existen barreras en el acceso a la información, que esta se encuentra incompleta y/o altamente desagregada, lo que resulta en mayores costos en tiempo y trabajo. Finalmente, el color rojo indica claramente que dicha información no está disponible de libre acceso o no existe.

Tabla 11: Evaluación de Objetivos de Mitigación para definir un Presupuesto de Carbono para República Dominicana

Posible Objetivo de Mitigación	Periodo para el Presupuesto de Carbono	Fuente	¿Objetivo principal?	Alcance sectorial del objetivo de mitigación	GEI considerados	Presupuesto de carbono (Millones tCO ₂ e)
Objetivo a mediano plazo al 2030	2030	NDC 2020	Principal	Todos los sectores del inventario	Aparentemente CO ₂ , CH ₄ , y N ₂ O	37,13
Objetivo a largo plazo al 2050	2050	Estrategia de Cambio Climático de Largo Plazo (en formulación) y mención en NDC	Posible	Aparentemente todos los sectores del inventario	Aparentemente CO ₂ , CH ₄ , y N ₂ O	0

De la tabla anterior se puede apreciar, que existe más de un posible objetivo de política pública, por un lado la carbono neutralidad al 2050 como el compromiso del 27% de reducciones al 2030 son objetivos formalizados a nivel nacional. De ellos, se rescata el objetivo a mediano plazo como el principal, ya que forma parte de los compromisos nacionales formalizados del país. Para este objetivo a mediano plazo existen dos fuentes de información importantes, ambas con brechas de información. La siguiente tabla evalúa ambas.

Tabla 12: Evaluación de Antecedentes de Mitigación para definir un Presupuesto de Carbono para República Dominicana.

Antecedente de mitigación	Mínimos						Recomendados						
	1)	2)	3)	4)	5)	6)	7)	8)	9)	10)	11)	12)	13)
Plan DECCC 2011	✗	✓	✓	✗	✗	✗	✓	✗	✓	✓	✗	✗	✗
Proyecto BM 2020 - Objetivo a mediano plazo	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✗	✗	✗	✓	✓
Proyecto BM 2020 - Objetivo a largo plazo	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✗	✗	✗	✓	✓

Fuente: Elaboración propia.

- 1) Sectores y GEI considerados consistentes con el Objetivo de Política pública;
- 2) Proyección de emisiones en el escenario de referencia sin medidas de mitigación (o BAU) para todos los sectores emisores incluidos en la meta de mitigación;
- 3) Proyección de emisiones en el escenario de máxima mitigación para todos los sectores emisores incluidos en la meta de mitigación;
- 4) Potencial de mitigación de cada medida para el periodo del Presupuesto de Carbono;
- 5) Costo Marginal de abatimiento incremental para cada medida de mitigación en comparación con el escenario BAU;
- 6) PSC estimado da un valor positivo;
- 7) Realizado por una agencia de gobierno o encargada de este;
- 8) Realizado en un contexto consistente con el Objetivo de Política Pública;
- 9) Fue sometido a un proceso de validación o consulta pública;
- 10) Realizó una modelación coherente para todos los sectores de emisión (mismo parámetros de modelación y periodos de análisis para todos los sectores);
- 11) Presenta proyecciones de emisiones nacionales actualizadas, incluyendo los efectos de la pandemia;
- 12) Proyección de emisiones nacionales son consistentes e idealmente fueron calibradas con los inventarios de GEI nacionales;
- 13) Es posible acceder a los modelos o al menos a las planillas de cálculo detalladas con los resultados de modelación.

Leyenda de colores:

- 
- ✓: información disponible exactamente como se requiere;
 - ✂: información disponible con dificultad de acceso, disgregada, y/o requiere ser trabajada;
 - ✗: información no disponible, no disponible actualmente, y/o incompleta.



De esta tabla se puede apreciar que ninguno de los 3 antecedentes cumple con la totalidad de los requerimientos mínimos, por lo que no es posible utilizar el método del “Costo de Mitigación para alcanzar un Objetivo de Política Pública”.

De los tres métodos presentados, tanto el “Costo Social del Carbono” como la “Definición política basada en evidencia” son métodos que pueden ser utilizados por República Dominicana para definir su PSC. Ninguno de éstos tiene requerimientos de información que demanden estudios previos u objetivos nacionales, más bien pueden aplicarse de forma directa para el país. Entre sus mayores ventajas es la sencillez de su aplicación y que pueden representar el óptimo social si se basan en la metodología del CSC. Para el caso del método de “Costo de Mitigación en base a un Objetivo de Política Pública”, este no es posible aplicarlo bajo las condiciones actuales del país, ya que requiere de antecedentes de mitigación que sean consistentes con el objetivo de política pública. Bajo este escenario, ninguno de los antecedentes cumple con los requisitos mínimos para entregar un valor de PSC positivo.

En este contexto, República Dominicana utilizará la aproximación técnicamente correcta para el cálculo del PSC, valorando la externalidad producida por el cambio climático a través del método del “Costo Social del Carbono”.

Cálculo del Precio Social del Carbono

Para el cálculo del Costo Social del carbono, se corrieron dos modelos públicamente disponibles y comúnmente utilizados (DICE y PAGE), utilizando una tasa social de descuento (TSD) decreciente, así como los valores por defecto de los modelos.

A continuación se describe la herramienta de cálculo, el detalle de los modelos utilizados, y sus versiones, el cálculo de la TSD, para luego entregar los resultados obtenidos.

Herramienta de cálculo

El cálculo del Costo Social del Carbono se lleva a cabo en la plataforma *Mimi Framework*¹⁵, desarrollada por el equipo de trabajo *Resources for the Future* (RFF) a través de la iniciativa *The Social Cost of Carbon Initiative*. El equipo, en principio desarrolló la plataforma de uso abierto con tal que permitiera emplear los modelos utilizados por el IWG de los Estados Unidos. El avance de la plataforma permitió utilizar exactamente los modelos usados el año 2016 e integrar poco a poco las recomendaciones del (National Academies of Sciences, 2017). No obstante, actualmente tiene una amplia variedad de versiones de los modelos, utilizando los parámetros y escenarios por defecto, además de los desarrollados por el IWG.

Para fines de este trabajo, el Costo Social del Carbono se calcula con los modelos más comúnmente utilizados, en sus versiones más actualizadas abiertamente disponibles en la plataforma Mimi Framework. Los modelos son el DICE versión 2016 R2 (Nordhaus, 2018) y PAGE 2020 (Kikstra et al., 2021). Si bien el modelo FUND también ha sido utilizado en el pasado por distintos centros, a la fecha este se encuentra significativamente desactualizado en comparación a sus contrapartes (Waldhoff et al., 2014), sus escenarios de emisión datan de más de 30 años de antigüedad, utilizando escenarios similares a los propuestos por el IPCC en 1992 y con escenarios socioeconómicos de 1995, por lo que se desestimó su uso. Mientras que los modelos DICE y PAGE han realizado las respectivas tareas de actualización de sus escenarios. Adicionalmente, el modelo FUND presenta ciertas debilidades al momento de estimar los impactos del cambio climático, donde se sobreestima el beneficio

¹⁵ Ver <https://www.mimiframework.org/>

en el corto plazo debido, por ejemplo, a beneficios en el sector agrícola de ciertas regiones del planeta gracias a un clima más cálido.

Debido a las características del modelo FUND, el cálculo del CSC para República Dominicana considera los modelos DICE y PAGE. A continuación se detallan los principales elementos de cada modelo, y el uso de la herramienta de cálculo se presenta en el Anexo.

Detalles de cálculo de los modelos

Cada modelo presenta estimaciones propias de CSC con valores por defecto y mecánicas de cálculo. Las mayores diferencias entre cada uno de ellos es la forma de incluir las interacciones climáticas y socioeconómicas, por ejemplo, el efecto de los cambios en las precipitaciones sobre la producción agrícola. Otros elementos diferenciadores son las funciones de daño, la sensibilidad climática, inclusión de la adaptación, y los parámetros de entrada. A continuación se detallan las principales características de cada escenario de emisiones y las tasas de descuento propias de cada modelo.

Dynamic Integrated model of Climate and the Economy (DICE)

La última versión de este modelo fue presentada el año 2018 (Nordhaus, 2018), integrando los avances detallados en el Quinto Reporte del IPCC del 2013. A diferencia del modelo anterior, actualiza los valores de forzamiento radiativo de los gases según dicho reporte y los estimados de crecimiento poblacional. Adicionalmente, incluye un elemento adicional llamado “descarbonización”, que busca integrar la razón a la que se reducen las emisiones de CO₂ en el tiempo.

En cuanto a la definición de los principales parámetros de entrada, éstos se determinan como:

- Tasa social de descuento:

$$TSD(t) = (1 + prtp)^{-t}$$

donde $R(t)$ es el factor de descuento, mientras que $prtp$ es la tasa de preferencia temporal, que entrega una ponderación de bienestar respecto a las utilidades de diferentes generaciones (Nordhaus, 2018; Nordhaus & Sztorc, 2013). El valor de $prtp$ utilizado para los cálculos es de 1,5% ($prtp=0,015$), resultando en una tasa de descuento anual a largo plazo de 4,25% (a 2100).

- Escenario de emisiones:

Proyecta las emisiones al 2305, calculando cada 5 años el valor del CSC. Asume un escenario base de constante crecimiento de las emisiones GEI, alcanzando un valor

de 70,9 GtCO₂e/año al 2100, y un acumulado de aprox. 1800 GtCO₂e. De acuerdo al modelo, esto implica un aumento de la temperatura del planeta de aprox. 4,2°C a finales del siglo, respecto a los valores preindustriales y una concentración de CO₂ en la atmósfera de 827 ppm. Este escenario es cercano al escenario RCP8.5 desarrollado en el Quinto Reporte del IPCC, sin embargo, proyecta menores valores de forzamiento radiativo que resultan en un menor calentamiento.

- Todos los valores de CSC se presentan en dólares estadounidenses del 2010 (USD₂₀₁₀/tCO₂).

Policy Analysis Greenhouse Effect (PAGE)

La última versión de este modelo es el PAGE 2020 construido en función de las versiones anteriores PAGE 2009 y PAGE ICE. Las mayores diferencias son la actualización de los escenarios de emisión, mejoras en la representación del sistema climático al incorporar las retroalimentaciones de la criosfera y el permafrost del Ártico (e.g. cambios en el albedo). Otro cambio relevante en el modelo es la persistencia de los daños, asumiendo que la economía no mantiene un crecimiento fijo en el tiempo, sino que se ve afectada por los cambios en el clima a futuro.

En cuanto a la definición de los principales parámetros de entrada, éstos se determinan como:

- Tasa social de descuento:

Utiliza la fórmula de Ramsey (ver más detalles en (SSG, 2022)), es decir, la suma entre la tasa de preferencia temporal (PTP), la elasticidad de la utilidad (EMU) (Hope, 2011) y la tasa de retorno del capital ($g(r,t)$). Según el modelo, esta última se interpreta como el crecimiento instantáneo per cápita del PIB ($g(r,t)$), por región (r) en el tiempo (t).

$$\text{TSD} = \text{PTP} + \text{EMU} * g(r,t)$$

Los valores por defecto están dados por el crecimiento esperado de la Unión Europea (1,9%). Los valores utilizados son $\text{prtp} = 1.0333$ y $\text{EMU} = 1.1666$, por lo tanto la tasa de descuento utilizada en el modelo al 2030 es de 3,25%.

- Escenario de emisiones:

Se realizan proyecciones hasta 2200 calculando valores a partir del 2015, saltando luego al 2020 y, posteriormente, cada 10 años (e.g. 2030, 2040, 2050). Este modelo ocupa los escenarios *Shared Socioeconomic Pathways* (SSP), planteando un escenario base "*middle of the road*" (mitad de camino, en español), que usa el *SSP2*

en conjunto con el escenario de emisiones representativo RCP4.5 (Kikstra et al., 2021; Yumashev, 2020). El escenario plantea un peak de emisiones al 2040 y una posterior reducción hasta el 2100, no obstante, el modelo extiende esta reducción al 2300. Se estima un cambio en la temperatura del planeta de 3,5°C respecto a los niveles preindustriales, que se traducen en una concentración de CO₂ en la atmósfera de alrededor de 580 ppm.

Todos los valores de CSC se presentan en dólares estadounidenses del 2015 (USD₂₀₁₅/tCO₂).

Tasa de descuento

Como ya se ha mencionado en secciones anteriores, las tasas de descuento buscan representar la disponibilidad de las personas a invertir en el presente para limitar los impactos en el futuro. Las principales razones son dos, por un lado, al asumir que las sociedades tendrán mejor situación económica en el futuro, entonces el valor de un dólar en el futuro es menor que el valor de un dólar en el presente. Además, se asume que existe una preferencia temporal en la que las personas prefieren tener ese mismo dólar en el presente que en el futuro. Esto último implica ponderar las generaciones presentes con mayor relevancia que las futuras. Por otro lado, es relevante valorar los impactos del cambio climático en el futuro debido a emisiones en el presente, ya que los gases de efecto invernadero se mantienen por décadas en la atmósfera.

En términos generales, una tasa de descuento alta implica una menor valoración del futuro y, por tanto, se asume que se necesita menor inversión en el presente para proteger a las personas de los impactos futuros. Por el contrario, una tasa de descuento baja otorga una mayor relevancia a las generaciones futuras y busca que las acciones se lleven a cabo en el presente.

Las tasas de descuento decrecientes en el tiempo se han hecho cada vez más aceptadas y han sido ya utilizadas por algunas jurisdicciones, tales como Reino Unido, Francia, Noruega, Dinamarca, Perú, entre otros. Cada uno las ha utilizado de forma distinta, por ejemplo, el Perú la utiliza para los análisis costo-beneficio de proyectos de inversión pública dependiendo del horizonte temporal del proyecto. Reino Unido, utilizó este tipo de tasas en su análisis económico del proyecto de redes de trenes High Speed 2. Determinar el grado de decrecimiento de la tasa de descuento puede ser un proceso complejo. Por ejemplo, puede ser una tasa de reducción exponencial como lo hace el Perú, así logra una tasa de 1% desde

un 8% en un periodo de alrededor de 200 años (Gobierno del Perú, 2018)¹⁶(ver Tabla 13). Otra forma de cálculo puede ser aplicar un decrecimiento lineal, como lo ha hecho Reino Unido (Newell & Pizer, 2003) (ver Figura 14). En la mayoría de los casos, la disminución de las tasas de descuento responden a preferencias políticas y se enmarcan en los contextos nacionales. Por ende, no existe un método estandarizado de cálculo, ni correcto o incorrecto, más bien depende de cada caso.

Tabla 13. Tasas de descuento decreciente del Perú a largo plazo.

Años	Tasas
21 a 49	5,5%
50 a 74	4,0%
75 a 99	3,0%
100 a 149	2,0%
150 a 199	2,0%
200 a más	1,0%

Fuente: (Gobierno del Perú, 2018)

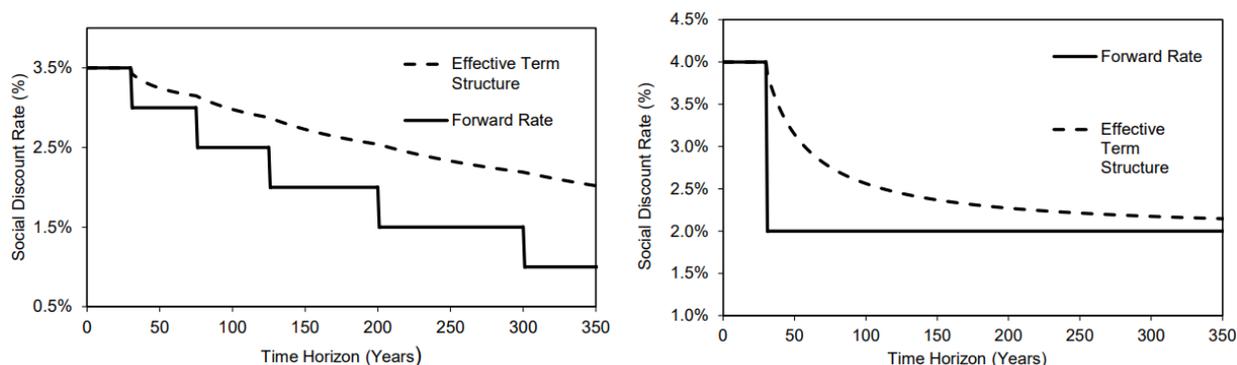


Figura 14 Estructura de decrecimiento de la tasa social de descuento del Reino Unido (izquierda) y Francia (derecha).

Fuente: Adaptado de (Cropper et al., 2014)

Existen diferentes razones por las que se justifica aplicar una tasa de descuento decreciente. En literatura es posible encontrar partidarios de esta aproximación por temas éticos, mientras que otros justifican la preferencia debido a la incertidumbre del crecimiento económico futuro. Es decir, a cortos plazos es posible hacer proyecciones que se ajusten al nivel de tecnología disponible y determinar el retorno del capital. Por el contrario, en el largo plazo no es prudente utilizar altas tasas de descuento, debido a que no se tiene certeza de

¹⁶ Para más información sobre el método de determinación de la tasa de descuento, revisar: Kamiche, J & Diderot, J. (2018). Actualización de la tasa social de descuento a largo plazo. Ministerio de Economía y Finanzas. Perú.

los escenarios futuros y sus efectos sobre las inversiones (Freeman & Groom, 2016; Groom et al., 2006), por lo que tampoco se tiene certeza del *verdadero* valor presente de dichas inversiones. Sumado a esto, cuando se trata desde la perspectiva del Costo Social del Carbono, se debe tener en cuenta que a largo plazo los impactos del cambio climático no disminuyen, sino que aumentan, casi de forma exponencial. En este contexto, descontar a tasas altas y constantes implica considerar irrelevantes los costos futuros, es decir, subvalorar los daños por los cambios en el clima en el futuro.

Debido a los alcances de este trabajo, se propone una tasa de descuento decreciente acorde al contexto de cálculo del Costo Social del Carbono, y bajo el criterio estipulado en la Guía de Evaluación de proyectos de República Dominicana, donde se especifica utilizar *tasas de descuentos pertinentes* según el tipo de proyecto.

En primera instancia, se determinan los horizontes temporales relevantes para el cálculo. De acuerdo a la revisión bibliográfica, un periodo inicial de corto a mediano plazo abarca periodos entre 10 a 50 años. Mientras que a largo plazo se refiere a periodos mayores a 50 años, usualmente hasta 200, como es el caso del Perú.

En segunda instancia, es necesario definir las tasas de descuentos para cada periodo. Los valores de las tasas cambian a mayor velocidad en periodos más cercanos al presente (i.e. corto plazo), mientras que a periodos lejanos (i.e. largo plazo) se mantienen relativamente constantes por periodos más largos.

Por lo tanto, se propone un decrecimiento exponencial de la tasa, comenzando con una tasa del 8% para el corto plazo, alcanzando el 1% a largo plazo. Esto busca representar tanto una bajada a nivel nacional a partir del contexto regional, como las tendencias de largo plazo que muestran una convergencia hacia tasas bajas.

Cálculo y aplicación de la TSD

La Tasa Social de Descuento decreciente utilizada parte en un 8% para la década del 2020 y cae a una tasa de un 10% por década, llegando a un valor de un 1% luego de 200 años de manera equivalente a la utilizada en el Perú (Gobierno del Perú, 2018), tras lo cual se mantuvo constante hasta la década del 2300. La Figura 15 presenta la evolución de la tasa marginal de descuento utilizada para cada década.

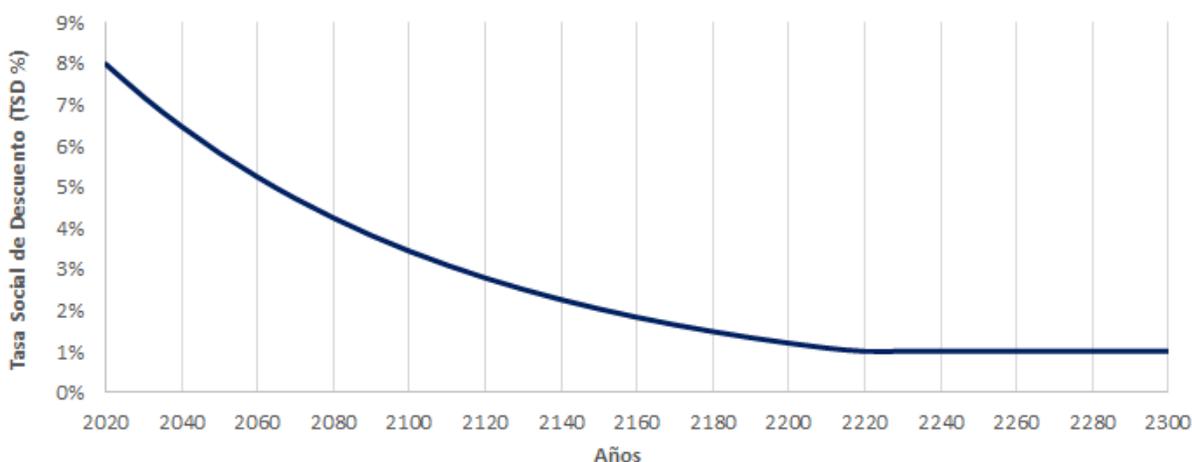


Figura 15 Decrecimiento de la TSD para el cálculo del Costo Social del Carbono al 2300.

Fuente: Elaboración propia.

El valor presente del daño (VAN) se obtiene a partir de los daños marginales para cada periodo de tiempo en cada modelo, y al aplicar la tasa de descuento que decrece por periodo.

$$VAN = \sum_t \frac{DM_t}{\prod_{2021}^t (1 + TSD_t)}$$

Donde:

VAN = Valor neto actual de los daños (USD/tCO₂e);

DM_t = Daño marginal en el periodo t (USD/tCO₂e);

TSD_t = Tasa social de descuento marginal para el periodo t (%);

t= Año de modelación desde el 2020 al 2300.

Resultados

La Tabla 14 muestra el resultado al correr los modelos DICE y PAGE con sus valores por defecto, y al aplicar una tasa de descuento decreciente.

Tabla 14: Valores de Costo Social del Carbono para República Dominicana (USD 2021/tCO₂) para el año 2020.

Modelo	CSC (USD 2021/tCO ₂) - TSD por defecto	CSC (USD 2021/tCO ₂) - TSD decreciente
DICE 2016R2	44	28
PAGE 2020	279	24
Promedio	162	26

Fuente: Elaboración propia.

Existe una evidente diferencia en los valores por defecto debido a las diferencias en las mecánicas de cálculo de cada modelo. Por un lado, cada modelo utiliza sus propias tasas de descuento por defecto, que varían entre 3-5%, lo que implica una valoración del daño distinta. Sumado a esto, las evaluaciones de los impactos para cada modelo son diferentes, resultando en una estimación de los daños anuales incrementales que difieren. Por ejemplo, el modelo DICE utiliza funciones cuadráticas para estimar los daños por el aumento en el nivel del mar, mientras que el modelo PAGE utiliza funciones exponenciales para la misma estimación. Otros elementos diferenciadores son la inclusión de “adaptación al cambio climático”, ya que implica un ajuste a los cambios en el clima, por ejemplo, resultando en una reducción de la vulnerabilidad de la población a medida que existe crecimiento económico. En este caso, solo PAGE hace alusión a este elemento, basándose en estudios econométricos que indican las respuestas de la población al calentamiento, especialmente en el sector agricultura. Estos parámetros en el modelo se tratan como parámetros exógenos que tienen que ver con la implementación de políticas de adaptación.

Con el fin de presentar un punto de referencia de valores, se comparan los CSC obtenidos con el análisis econométrico o *benchmark* descrito en secciones anteriores. Recapitulando, el rango de valores para República Dominicana es entre 17-43 USD 2021/tCO₂ según su PIB (PPA) per cápita, con un estimado esperable de 31 USD 2021/tCO₂. Según este marco de trabajo, ambos modelos presentan valores dentro del rango esperado.

Proyección de PSC futuros

Es una buena práctica en los ejercicios de actualización de los PSC tener una proyección de los valores futuros, dado que permite tener un lineamiento de los futuros PSC, sin necesidad

de realizar un ejercicio de actualización, esta buena práctica la podemos ver en las experiencias de Estados Unidos (Tabla 2) y Reino Unido (Tabla 3).

Para el caso de República Dominicana podemos realizar una estimación preliminar de los valores proyectados para el año 2025 y 2030, en base a los modelos DICE y PAGE, usando la tasa de descuento social decreciente. Los resultados se presentan a continuación.

Tabla 15 Estimación preliminar de PSC futuros para República Dominicana (USD 2021/tCO₂).

Modelo	PSC para el 2025 - TSD decreciente (USD 2021/tCO ₂)	PSC para el 2030 - TSD decreciente (USD 2021/tCO ₂)
DICE 2016R2	32	37
PAGE 2020	34	38
Promedio	32	38

Fuente: Elaboración propia.

Cabe destacar, que es probable que para los años 2025 y 2030, existan modelos nuevos o versiones actualizadas de los modelos DICE y PAGE, ya sea en terminos de la estructura del modelo como en los escenarios de emisiones, por lo que siempre es preferible realizar un nuevo ejercicio de remodelación, sin embargo estos valores proyectados pueden ser de utilidad en caso de que no se haya podido realizar este ejercicio.

Recomendaciones

Independientemente de la manera de cálculo, siempre es positivo tener un PSC a nivel nacional por 3 razones. En primer lugar, permite levantar información y generar capacidades nacionales acerca de las consecuencias de las decisiones de inversión pública que se están realizando en el país, entendiendo mejor sus impactos en el ciclo de vida del proyecto. En segundo lugar, permite hacer más eficientes, económicamente, las inversiones públicas, al incentivar el análisis de alternativas menos contaminantes, de las que eventualmente se puede descubrir que eran más rentables socialmente, incluso en ausencia de un PSC. En tercer lugar, siempre es costo eficiente si se aplica el mismo PSC para todos los sectores (independiente del valor seleccionado), dado que se cumple con el principio de equimarginalidad, lo que permite mitigar al menor costo posible. Adicionalmente, la implementación de un PSC, permitirá identificar las iniciativas públicas susceptibles de recibir financiamiento climático, ya sean donaciones o financiamiento a tasas preferenciales (ej: Bonos verdes, Fondo Verde del Clima, etc.). Esto último requiere de la concatenación con otras políticas públicas, pero puede habilitar el acceso a recursos que permitan la implementación temprana de las medidas de mitigación.

Es importante reconocer que todos los países tienen responsabilidad asociada a la crisis climática, sin embargo, la carga económica de esta debe ser diferenciadas, teniendo en cuenta los ingresos del país, su contribución histórica a las emisiones globales de GEI, entre otros elementos. Al observar la realidad de los países de América Latina y el Caribe, es recomendable partir con una señal de PSC, aunque sea baja, pero con una planificación para aumentar paulatinamente este valor en el futuro.

El modelo econométrico desarrollado, nos provee un benchmark en función del PIB (PPA) per cápita que puede orientar esta toma de decisiones, reconociendo las diferencias de ingresos entre países. Para República Dominicana, un PSC comparable con la de otras naciones que han avanzado en la materia, ajustado por PIB (PPA) per cápita, debiera estar entre 17-43 USD 2021/tCO₂, con un estimado esperable de 31 USD 2021/tCO₂.

Este trabajo buscó apoyar a República Dominicana en el cálculo del PSC, y este informe, por consiguiente, entregó un análisis de las alternativas metodológicas actualmente disponibles, de sus necesidades de información y cómo esta puede cumplirse a partir de los antecedentes nacionales para finalmente realizar el cálculo correspondiente del PSC para República Dominicana.

Para el caso del método de “Costo de Mitigación en base a un Objetivo de Política Pública”, este no es posible aplicarlo usando los antecedentes nacionales actualmente disponibles. Si se desea utilizar este método en el futuro, es recomendable actualizar la NDC, actualizar las proyecciones de emisiones y desarrollar un nuevo análisis de alternativas de mitigación.

Si bien el método de “Definición política basada en evidencia” no tiene restricciones de información que impidan implementarlo de forma directa en el país, se optó para este proceso de cálculo del PSC de República Dominicana por la aproximación técnicamente correcta que valora la externalidad producida por el cambio climático, es decir, se empleó el método del “Costo Social del Carbono”. El ejercicio implicó utilizar los modelos más comúnmente utilizados, en sus versiones actualizadas abiertamente disponibles en la plataforma Mimi Framework. Los modelos son el DICE versión 2016 R2 (Nordhaus, 2018) y PAGE 2020 (Kikstra et al., 2021). Si bien el modelo FUND también ha sido utilizado en el pasado, a la fecha este se encuentra significativamente desactualizado (Waldhoff et al., 2014)¹⁷ en comparación a sus contrapartes, utilizando escenarios obsoletos de más de 30 años de antigüedad, por lo que se desestimó su uso.

Los valores de CSC obtenidos con los modelos DICE y PAGE según sus parámetros por defecto para el año 2020 son 44 y 279 USD 2021/tCO₂, respectivamente. Sin embargo, para el cálculo del PSC de República Dominicana se utilizó una tasa social de descuento compatible con la realidad nacional y de estructura decreciente¹⁸, por lo que el CSC es de 28 y 24 USD 2021/tCO₂, respectivamente.

Se recomienda utilizar un **PSC de 26 USD2021/tCO₂** para República Dominicana, el cual se obtiene del promedio de ambos modelos, pudiendo hacerse sensibilidades en el análisis con los valores de 24 y 28 USD 2021/tCO₂.

La actualización de los precios sociales es un elemento clave dentro del proceso de los Sistemas Nacionales de Inversiones, lo que también aplica para el PSC. En este respecto, recomendamos actualizar el cálculo del PSC al menos cada 5 años, por las siguientes razones:

- Los instrumentos relacionados a políticas climáticas debieran estar siempre coordinados con los avances en la ambición climática nacional. En este contexto, una

¹⁷ Los escenarios de emisiones utilizados datan de la década del 90.

¹⁸ Una TSD decreciente representa la esperable disminución de la TSD en el futuro, lo que es esperable en la medida que República Dominicana aumente sus ingresos per cápita, además incorpora de mejor manera elementos de justicia intergeneracional muy pertinentes en relación a los impactos del cambio climático.

de las principales políticas climáticas de todo país es la Contribución Nacionalmente Determinada, la que debiese ser actualizada cada cinco años, de acuerdo a lo estipulado en el Acuerdo de París, siendo la próxima actualización de República Dominicana el 2025.

- Un ciclo de cinco años permite tener un balance entre los avances científicos que se van desarrollando y certidumbre sobre los nuevos descubrimientos. Esto también permite alinearse con los periodos de evaluación que realiza el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) y las respectivas actualizaciones de los escenarios de emisión. Esto debido a que, es probable que los modelos de evaluación integrada (*IAMS*) se reajusten a los nuevos escenarios, impactos, valoración del daño y actualizaciones de las modelaciones del sistema climático de acuerdo a los nuevos reportes del IPCC.
- Debido a las características de las externalidades asociadas al cambio climático, tanto el CSC como los Costos de Mitigación para alcanzar los objetivos del Acuerdo de París, tienen un comportamiento creciente en el tiempo, por lo que es esperable que el PSC se deba ajustar al alza en las próximas estimaciones (valores recomendados preliminarmente para el 2025 y el 2030 se muestran en la Tabla 15).
- Finalmente, si bien los modelos de cálculo del Costo Social del Carbono son desarrollados por centros de investigación que buscan evaluar los impactos globales, cada país tiene aterriza estas herramientas acorde a su propia realidad. En este caso, para República Dominicana, dicho ajuste se asoció a utilizar una tasa de descuento acorde. No obstante, en el futuro, la tasa puede ser actualizada para representar mejor el contexto nacional o se podría optar por usar otro método para el cálculo del PSC.

Sumado a esto, recomendamos que las futuras actualizaciones se realicen con los modelos más actualizados disponibles, ya que entregan una mejor representación del estado del arte en materia de cambio climático, lo que permitirá realizar una mejor estimación del PSC.

Recomendación para aplicar el PSC a nivel nacional

El uso del PSC es útil en la evaluación de toda inversión y política pública, sin embargo debe priorizarse para las tipologías de proyectos vinculadas a las medidas de mitigación ya identificadas a nivel nacional en estudios como (Mordán, 2020a), (Mordán, 2020b) y (Ovalles, 2020).

Para los proyectos de inversión pública es relevante al realizar la evaluación social del proyecto, contemplar la evaluación de la alternativa de bajas emisiones, por ejemplo al evaluar un proyecto de transporte público comparar la alternativa de buses eléctricos y no solo la alternativa tradicional.

En la evaluación de políticas públicas de alto impacto en emisiones de GEI, tales como políticas energéticas, transporte, infraestructura, agrícolas, forestales y de conservación de ecosistemas. El uso del PSC puede ser un elemento clave para identificar oportunidades de acción climática, además de poder clasificar con claridad las que podrían requerir de incentivos para su implementación.

Para políticas públicas vinculadas al sector energético, ya sean programas, estrategias o regulaciones, resulta de utilidad utilizar el PSC en los modelos de planificación eléctrica, dado que permitirá identificar la solución de menor costo social en el largo plazo, lo que permitirá identificar los nuevos proyectos energéticos a priorizar, las centrales que es recomendable desconectar, entre otros aspectos.

En general, una vez definido el PSC a nivel nacional, el mayor desafío en su adopción se encuentra en poder realizar la proyección de emisiones asociadas a las distintas alternativas de proyectos y/o políticas públicas por parte de los sectorialistas. Para abordar esta barrera es recomendable realizar estudios que identifiquen las tipologías de proyectos de inversión más relevantes a nivel nacional, para luego desarrollar metodologías y herramientas que faciliten la evaluación social por parte de los sectorialistas. CEPAL ha realizado una serie de trabajos en la materia para países de la región para proyectos de Transporte Urbano, Infraestructura de Transporte Interurbano, Energía, entre otros, los cuales pueden servir de punto de partida para los desafíos venideros en la implementación del PSC en República Dominicana.

Referencias

Ahrens, J., & Ruf, P. (2016). *What the global cap-and-trade community can learn from the EU ETS* (IETA Greenhouse Gas Market, pp. 28–31). IETA.

Alatorre, J. E., Caballero, K., Ferrer, J., & Galindo, L. M. (2019). *El costo social del carbono: Una visión agregada desde América Latina*. CEPAL.
<https://www.cepal.org/es/publicaciones/44423-costo-social-carbono-vision-agregada-america-latina>

Anthoff, D., & Tol, R. S. J. (2013a). The uncertainty about the social cost of carbon: A decomposition analysis using fund. *Climatic Change*, 117(3), 515–530.
<https://doi.org/10.1007/s10584-013-0706-7>

Anthoff, D., & Tol, R. S. J. (2013b). Erratum to: The uncertainty about the social cost of carbon: A decomposition analysis using fund. *Climatic Change*, 121(2), 413–413.
<https://doi.org/10.1007/s10584-013-0959-1>

Banco Mundial. (2017). *Shadow price of carbon in economic analysis—Guidance note*.

BEIS. (2021). *Valuation of greenhouse gas emissions: For policy appraisal and evaluation*. GOV.UK. <https://www.gov.uk/government/publications/valuing-greenhouse-gas-emissions-in-policy-appraisal/valuation-of-greenhouse-gas-emissions-for-policy-appraisal-and-evaluation>

Cartes Mena, F. (2021). *Metodología para la estimación del precio social del carbono en Chile y los países de América Latina y el Caribe*. CEPAL.

<https://www.cepal.org/es/publicaciones/46957-metodologia-la-estimacion-precio-social-carbono-chile-paises-america-latina>

CDP, & CPLC. (2018). *Carbon Pricing Corridors: The Market View 2018*. CPLC.

Cropper, M. L., Freeman, M. C., Groom, B., & Pizer, W. A. (2014). Declining Discount Rates. *American Economic Review*, 104(5), 538–543. <https://doi.org/10.1257/aer.104.5.538>

DECC. (2009). *Carbon Valuation in UK Policy Appraisal*. Gobierno de Reino Unido. <https://www.gov.uk/government/publications/carbon-valuation-in-uk-policy-appraisal-a-revised-approach>

Enkvist, P.-A., Dinkel, J., & Lin, C. (2010). *Impact of the financial crisis on carbon economics: Version 2.1 of the global greenhouse gas abatement cost curve*. McKinsey.

Enkvist, P.-A., Naucmér, T., & Rosander, J. (2007). *A Cost curve for greenhouse gas reduction* (Nº 1; Tha McKinsey Quarterly). McKinsey.

European Commission. (2012). *The state of the European carbon market in 2012* (Report from the Commission to the European Parliament and the council COM(2012) 652 Final). European Commission.

European Commission. (2015). Annex: Climate Action progress report, including the report on the functioning of the European carbon market and the report on the review of Directive 2009/31/EC on the geological storage of carbon dioxide. En *Report on the functioning of the European carbon market*.

Fischedick, M., Schaeffer, R., Adedoyin, A., Akai, M., Bruckner, T., Clarke, L., Krey, V., Savolainen, I., Teske, S., Ürge-Vorsatz, D., Wright, R., Luderer, G., Baker, E., & Riahi, K. (2011). Mitigation Potential and Costs. En O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona,

-
- K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlomer, & C. von Stechow (Eds.), *Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation* (pp. 791–864). Cambridge University Press.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781139151153.014>
- Foley, D., K. (2009). The Economic Fundamentals of Global Warming. En J. M. Harris & N. R. Goodwin (Eds.), *Twenty-First Century Macroeconomics: Responding to the Climate Challenge*. Edward Elgar Publishing.
- Freeman, M., & Groom, B. (2016). How certain are we about the certainty-equivalent long term social discount rate? *Journal of Environmental Economics and Management*, 79, 152–168.
- Gobierno del Perú. (2018). *Anexo N° 11: Parámetros de evaluación social*. Gobierno del Perú.
https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/anexos/anexo11_directiva001_2019EF6301.pdf
- Groom, B., Hepburn, C., & Koundouri, P. (2006). Implications of Declining Discount Rates for UK Climate Change Policy. En D. Pearce, *Environmental Valuation in Developed Countries* (p. 1837). Edward Elgar Publishing.
<https://doi.org/10.4337/9781847201768.00012>
- Hardin, G. (1968). The Tragedy of the Commons. *Science*, 162(3859), 1243–1248.
- High-Level Commission on Carbon Prices. (2017). *Report of the High-Level Commission on Carbon Prices*. Carbon Pricing Leadership Coalition.
https://static1.squarespace.com/static/54ff9c5ce4b0a53deccfb4c/t/59b7f2409f8dce5316811916/1505227332748/CarbonPricing_FullReport.pdf

-
- Hope, C. (2013). Critical issues for the calculation of the social cost of CO₂: Why the estimates from PAGE09 are higher than those from PAGE2002. *Climatic Change*, 117(3), 531–543.
- Ibarrarán, M. E. (2010). *Externalidades, Bienes Públicos y Medio Ambiente*. Departamento de Economía, Universidad de las Américas.
- Interagency Working Group. (2021). *Technical Support Document: Social Cost of Carbon, Methane, and Nitrous Oxide. Interim Estimates under Executive Order 13990*.
- International Energy Agency. (2020). *Sustainable Recovery: World Energy Outlook Special Report*. OECD. <https://doi.org/10.1787/3f36f587-en>
- Kikstra, J. S., Waidelich, P., Rising, J., Yumashev, D., Hope, C., & Brierley, C. M. (2021). The social cost of carbon dioxide under climate-economy feedbacks and temperature variability. *Environmental Research Letters*, 16(9), 094037. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac1d0b>
- Leach, N. J., Jenkins, S., Nicholls, Z., Smith, C. J., Lynch, J., Cain, M., Walsh, T., Wu, B., Tsutsui, J., & Allen, M. R. (2021). FaIRv2.0.0: A generalized impulse response model for climate uncertainty and future scenario exploration. *Geoscientific Model Development*, 14(5), 3007–3036. <https://doi.org/10.5194/gmd-14-3007-2021>
- Ministerio de Economía, Planificación y Desarrollo. (2012). *Ley 1-12: Estrategia Nacional de Desarrollo 2030*. República Dominicana.
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2018). *Tercera Comunicación Nacional de República Dominicana para la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Presidencia de la República Dominicana.

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Consejo Nacional para el Cambio Climático y Mecanismo de Desarrollo Limpio, & Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2020). *Primer Informe Bienal de Actualización de la República Dominicana ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*. Gobierno de República Dominicana.

<https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Dominican%20Republic-%20BUR1.pdf>

Mordán, I. (2020a). *Identificación de opciones de mitigación con enfoque sectorial de las actividades relacionadas con la Eficiencia Energética a partir del Plan de Acción de la CND de República Dominicana* (Vías de descarbonización para la República Dominicana: evaluación e implementación del sector eléctrico y de transporte actual para la Contribución Nacional Determinada (NDC)) [Informe Final]. Banco Mundial.

Mordán, I. (2020b). *Identificación de opciones de mitigación con enfoque sectorial de las actividades relacionadas con la Generación Eléctrica a partir del Plan de Acción de la CND de República Dominicana* (Informe Final; Vías de descarbonización para la República Dominicana: evaluación e implementación del sector eléctrico y de transporte actual para la Contribución Nacional Determinada (NDC)). Banco Mundial.

National Academies of Sciences, E. (2017). *Valuing Climate Damages: Updating Estimation of the Social Cost of Carbon Dioxide*. <https://doi.org/10.17226/24651>

Newell, R., & Pizer, W. (2003). Discounting the distant future: How much do uncertain rates increase valuations? *Journal of Environmental Economics and Management*, 46, 52–71.

Nicholls, Z. R. J., Meinshausen, M., Lewis, J., Gieseke, R., Dommenges, D., Dorheim, K., Fan, C.-

- S., Fuglestedt, J. S., Gasser, T., Golüke, U., Goodwin, P., Hartin, C., Hope, A. P., Kriegler, E., Leach, N. J., Marchegiani, D., McBride, L. A., Quilcaille, Y., Rogelj, J., ... Xie, Z. (2020). Reduced Complexity Model Intercomparison Project Phase 1: Introduction and evaluation of global-mean temperature response. *Geoscientific Model Development*, 13(11), 5175–5190. <https://doi.org/10.5194/gmd-13-5175-2020>
- Nordhaus, W. (2010). *Economic aspects of global warming in a post-Copenhagen environment*. 107(26), 11721–11726.
- Nordhaus, W. (2017). *Evolution of Assessments of the Economics of Global Warming: Changes in the DICE model, 1992 – 2017*(Nº w23319; p. w23319). National Bureau of Economic Research. <https://doi.org/10.3386/w23319>
- Nordhaus, W. (2018). Projections and Uncertainties about Climate Change in an Era of Minimal Climate Policies. *American Economic Journal: Economic Policy*, 10(3), 333–360. <https://doi.org/10.1257/pol.20170046>
- OCDE/IEA, & IRENA. (2017). Chapter 2: Energy Sector Investment to Meet Climate Goals. En *Perspectives for the Energy Transition: Investment Needs for a Low-Carbon Energy System*.
- Ovalles, P. (2020). *Desarrollo de la Estrategia a Largo Plazo del sector AFOLU para la descarbonización economía Total* (Informe Final; Vías para la descarbonización de la República Dominicana: Evaluación e implementación del Plan de Alianza NDC Actual). Banco Mundial.
- Paavola, J. (2012). Climate Change: The Ultimate Tragedy of the Commons? En D. H. Cole & E. Ostrom (Eds.), *Property in Land and Other Resources* (pp. 417–433). Lincoln

Institute of Land Policy.

https://www.lincolinst.edu/sites/default/files/pubfiles/climate-change_0.pdf

Parry, I., Black, S., & Roaf, J. (2021). *Proposal for an International Carbon Price Floor Among Large Emitters* (IMF Staff Climate Notes N° 2021/001). International Monetary Fund.

<https://www.imf.org/en/Publications/staff-climate->

[notes/Issues/2021/06/15/Proposal-for-an-International-Carbon-Price-Floor-Among-Large-Emitters-460468](https://www.imf.org/en/Publications/staff-climate-notes/Issues/2021/06/15/Proposal-for-an-International-Carbon-Price-Floor-Among-Large-Emitters-460468)

Pindyck, R. S. (2013). *Climate Change Policy: What Do the Models Tell Us?* 51(3), 860–872.

Presidencia de la República Dominicana. (2011). *Hacia un crecimiento sostenible—El Plan de República Dominicana para el Desarrollo Económico Compatible con el Cambio Climático*. Gobierno Dominicano.

Presidencia de la República Dominicana. (2020). *Contribución Nacionalmente Determinada 2020 NDC-RD 2020*. Gobierno de República Dominicana.

Price, R., Thornton, S., & Nelson, S. (2007). *THE SOCIAL COST OF CARBON*. 24.

Rogelj, J., Shindell, D., Jiang, K., Fifita, S., Forster, P., Ginzburg, V., Handa, C., Kobayashi, S., Kriegler, E., Mundaca, L., Séférian, R., Vilariño, M. V., Calvin, K., Emmerling, J., Fuss, S., Gillett, N., He, C., Hertwich, E., Höglund-Isaksson, L., ... Schaeffer, R. (2018). Mitigation Pathways Compatible with 1.5°C in the Context of Sustainable Development. En *IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development and efforts to eradicate poverty* (p. 82). In Press.

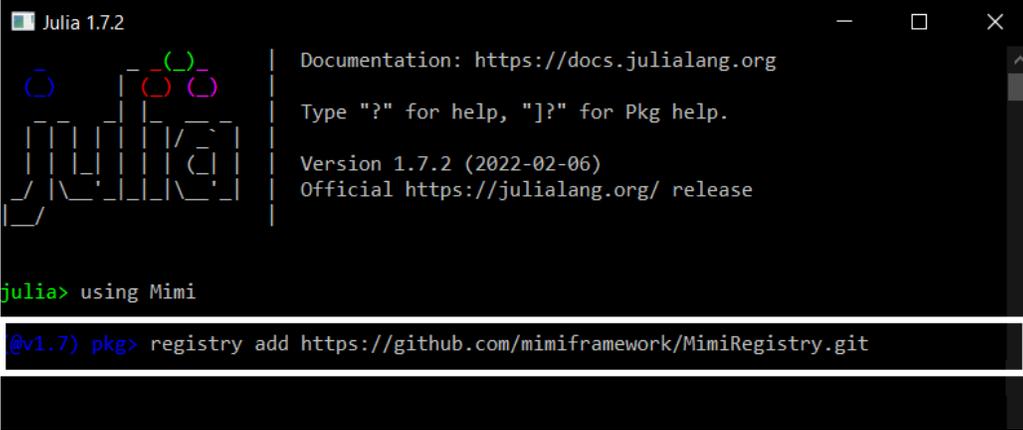
-
- Stern, N., Stiglitz, J. E., & Taylor, C. (2022). *The Economics of immense risk, urgent action and radical change: Towards new approaches to the economics of climate change* (N° w28472). National Bureau of Economic Research.
- Tol, R. S. J. (2011). The Social Cost of Carbon. *Annual Review of Resource Economics*, 3(1), 419–443. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-083110-120028>
- Tol, R. S. J. (2019). A social cost of carbon for (almost) every country. *Energy Economics*, 83, 555–566. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.07.006>
- Waldhoff, S., Anthoff, D., Rose, S., & Tol, R. S. J. (2014). The Marginal Damage Costs of Different Greenhouse Gasses: An Application of FUND. *Economics*, 8(1), 20140031. <https://doi.org/10.5018/economics-ejournal.ja.2014-31>
- Yumashev, D. (2020). PAGE-ICE Integrated Assessment Model. *Oeconomia Editions*. [https://www.research.lancs.ac.uk/portal/en/publications/pageice-integrated-assessment-model\(2997e88d-f379-4891-8db7-de0dddbec239\).html](https://www.research.lancs.ac.uk/portal/en/publications/pageice-integrated-assessment-model(2997e88d-f379-4891-8db7-de0dddbec239).html)
- Yumashev, D., Hope, C., Schaefer, K., Riemann-Campe, K., Iglesias-Suarez, F., Jafarov, E., Burke, E. J., Young, P. J., Elshorbany, Y., & Whiteman, G. (2019). Climate policy implications of nonlinear decline of Arctic land permafrost and other cryosphere elements. *Nature Communications*, 10(1), 1900. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-09863-x>

Anexos

Mimi Framework

Mimi se basa en el lenguaje de programación "Julia", que es un código abierto bajo la licencia de software MIT¹⁹. El código se encuentra en línea en Github, y los paquetes de IAMs pueden ser instalados y trabajados localmente en un computador estándar, mediante la conexión a los servidores correspondientes.

Ya instalados Julia y Mimi, es posible acceder al registro de modelos que posee Mimi (ver Figura 10), que incluye los modelos trabajados en este documento. Además de estos, existen otros modelos que utilizan Mimi para el cálculo, y cada uno debe ser descargado de forma individual.



```

Julia 1.7.2
Documentation: https://docs.julialang.org
Type "?" for help, "]" for Pkg help.
Version 1.7.2 (2022-02-06)
Official https://julialang.org/ release

julia> using Mimi

@v1.7 pkg> registry add https://github.com/mimiframework/MimiRegistry.git
  
```

Figura 10: Ejemplo de descarga del registro de modelos de Mimi en el software Julia.

Fuente: Elaboración propia.

El cálculo del CSC con los valores por defecto de cada modelo es sencillo, los pasos en la plataforma son:

1. Para comenzar, se especifica a Julia que se está utilizando Mimi:

```
Julia> using Mimi
```

2. Luego, se precisa el modelo que se pretende utilizar, por ejemplo DICE y su versión disponible en la plataforma, para luego ser descargado como paquete /IAM en el Julia:

Ejemplo 1: Julia> using MimiDICE2016

¹⁹ Ver licencia de uso del software en: <https://github.com/JuliaLang/julia/blob/master/LICENSE.md>

Ejemplo 2: `Julia> using MimiDICE2013`

Los modelos se llaman según el nombre del paquete disponible en la plataforma Mimi (Figura 11).

- MimiFUND.jl
- MimiDICE2010.jl
- MimiDICE2013.jl
- MimiDICE2016.jl (version R not R2)
- MimiDICE2016R2.jl
- MimiRICE2010.jl
- MimiSNEASY.jl
- MimiFAIR.jl
- MimiFAIR13.jl
- MimiPAGE2009.jl
- MimiPAGE2020.jl
- MimiMAGICC.jl
- MimiHECTOR.jl
- MimiCIAM.jl (currently in closed BETA)
- Mimi-BRICK.jl (currently in closed BETA)
- mimi_NICE

Figura 11: Listado de modelos que utilizan Mimi y sus respectivos nombres de paquetes.

Fuente: <https://www.mimiframework.org/>

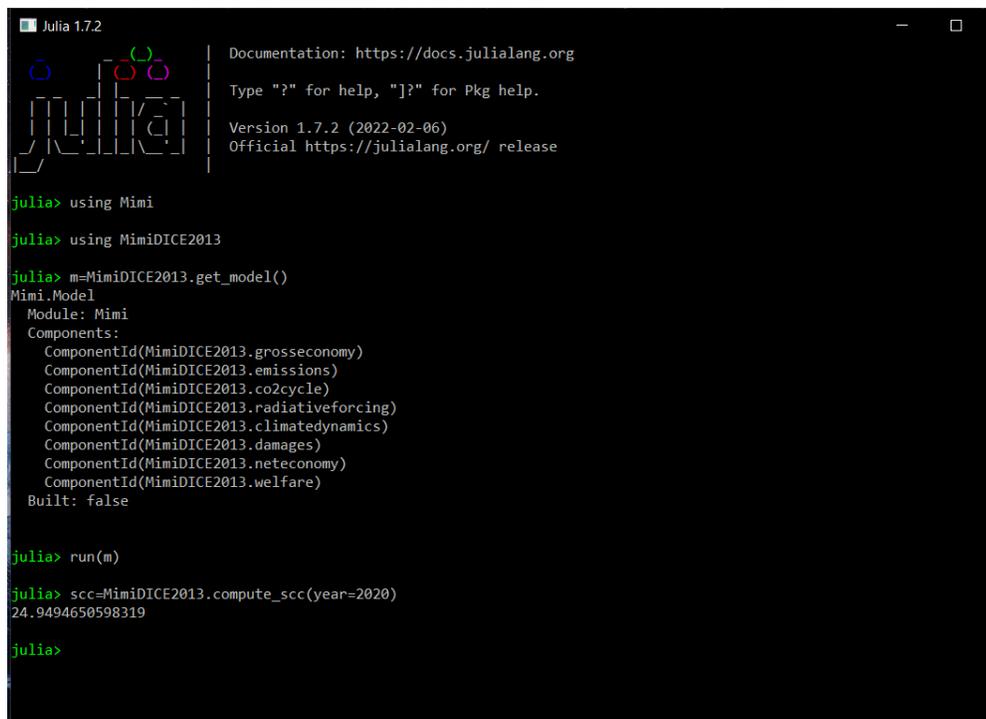
3. Posteriormente, ya teniendo acceso al modelo en línea, se ocupa la función “obtener modelo”, que entrega una copia de este con sus valores por defecto, y se corre:

```
Julia> m = MimiDICE2013.get_model()
```

```
Julia> run(m)
```

4. Desde este punto se puede realizar el cálculo del CSC para distintos años y con distintas tasas de descuento. Al especificar solo el año, todos los demás valores se entregan por defecto (Figura 12).

```
julia> scc=MimiDICE2013.compute_scc(year=2020)
```



```
Julia 1.7.2 | Documentation: https://docs.julialang.org
Type "?" for help, "?>" for Pkg help.
Version 1.7.2 (2022-02-06)
Official https://julialang.org/ release

julia> using Mimi
julia> using MimiDICE2013
julia> m=MimiDICE2013.get_model()
Mimi.Model
Module: Mimi
Components:
ComponentId(MimiDICE2013.grosseconomy)
ComponentId(MimiDICE2013.emissions)
ComponentId(MimiDICE2013.co2cycle)
ComponentId(MimiDICE2013.radiativeforcing)
ComponentId(MimiDICE2013.climatedynamics)
ComponentId(MimiDICE2013.damages)
ComponentId(MimiDICE2013.neteconomy)
ComponentId(MimiDICE2013.welfare)
Built: false

julia> run(m)
julia> scc=MimiDICE2013.compute_scc(year=2020)
24.9494650598319
julia>
```

Figura 12: Etapas de cálculo del CSC en Julia usando Mimi.

Fuente: Elaboración propia.