# MANUAL PARA LA ESTIMACIÓN DE UN PRESUPUESTO DE CARBONO SUBNACIONAL

## PARA EL SECTOR ELÉCTRICO Y SU RUTA DE DESCARBONIZACIÓN

giz Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Por encargo de:

Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear

de la República Federal de Alemania

El presente documento muestra los resultados del proyecto Desarrollo e implementación de Presupuestos de Carbono y Rutas de Descarbonización para el sector energía eléctrica que contribuyan a la armonización entre la política de cambio climático y energía sustentable en Jalisco y Yucatán. El reporte es resultado de un proceso de colaboración entre la Iniciativa Climática de México (ICM) y la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ) a través del proyecto Convergencia de la Política Energética y de Cambio Climático en México (CONECC), el cual forma parte de la Iniciativa Internacional de Protección del Clima (IKI). El Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear (BMU) apoya esta iniciativa con base en la decisión adoptada por el parlamento alemán. Las opiniones expresadas en este documento son de exclusiva responsabilidad de las personas autoras y no necesariamente representan la opinión de la GIZ o de la Iniciativa Climática de México. Se autoriza la reproducción parcial o total, siempre y cuando sea sin fines de lucro y se cite la fuente de referencia.

**GIZ México / Iniciativa Climática de México**
*Manual para la estimación de un Presupuesto de Carbono subnacional para el sector eléctrico y su Ruta de Descarbonización*, 2021.

**Supervisión y coordinación**
Dahely Castelán, Quentin Bayart, Juan Carlos Mendoza y Felipe Borja

**Elaboración**
Melissa Chavana y Mariano Birlain

**Diseño y maquetación**
Laguna • www.lagunadentro.com

**Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH**
Dag-Hammerskjöld-Weg 1-5
65760 Eschborn/Alemania
www.giz.de

**Oficina de Representación de la GIZ en México**
Torre Hemicor, PH
Av. Insurgentes Sur 826
Col. del Valle, Benito Juárez
C.P. 03100, Ciudad de México
T +52 55 55 36 23 44
giz-mexiko@giz.de

**Iniciativa Climática de México**
Amores 1120, oficina 102
Col. del Valle, Benito Juárez
C.P. 03100, Ciudad de México
www.iniciativaclimatica.org

Las y los autores agradecen el apoyo en la elaboración de este informe a Quentin Bayart y Camila Ramírez Rea.

# TABLA DE CONTENIDO


1. Introducción 4

2. Pasos para la elaboración de un presupuesto de carbono subnacional y su ruta de descarbonización del sector de consumo eléctrico. 6

Paso 1: Revisión de marco jurídico e instrumentos de planeación de la entidad subnacional 7

Paso 2: Explicar la importancia del presupuesto de carbono y la elaboración de rutas de descarbonización 13

2.1: Concepto de Presupuesto de Carbono 13

2.2: Concepto de Ruta de Descarbonización para el Sector Eléctrico 14

Paso 3: Estimación de presupuesto de carbono y metas de mitigación 16

Paso 4: Elaboración de rutas de descarbonización para el sector eléctrico 24

4.1: Diagnóstico eléctrico del territorio subnacional. 24

4.2: Identificación de la capacidad instalada para la generación eléctrica. 25

4.3: Estimación del potencial de generación distribuida. 25

4.4: Elaboración del catálogo de medidas de mitigación. 27

4.5: Factibilidad financiera y política de las medidas de mitigación. 28

Paso 5: Elaborar de manera transversal la estrategia de comunicación 30

3. Comentarios finales 31

4. Referencias 32

# 1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático es uno de los grandes retos actuales de la humanidad, que requiere de acciones inmediatas que reduzcan las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Ante esto, hasta el 2021, 197 países han ratificado su participación en el Acuerdo de París, el cual busca limitar el aumento de la temperatura media global muy por debajo de 2°C respecto a los niveles preindustriales e incrementar los esfuerzos para limitar ese aumento a 1.5°C. Una herramienta que se ha desarrollado en los últimos años para el análisis del impacto de las actividades humanas en el clima es el presupuesto de carbono.

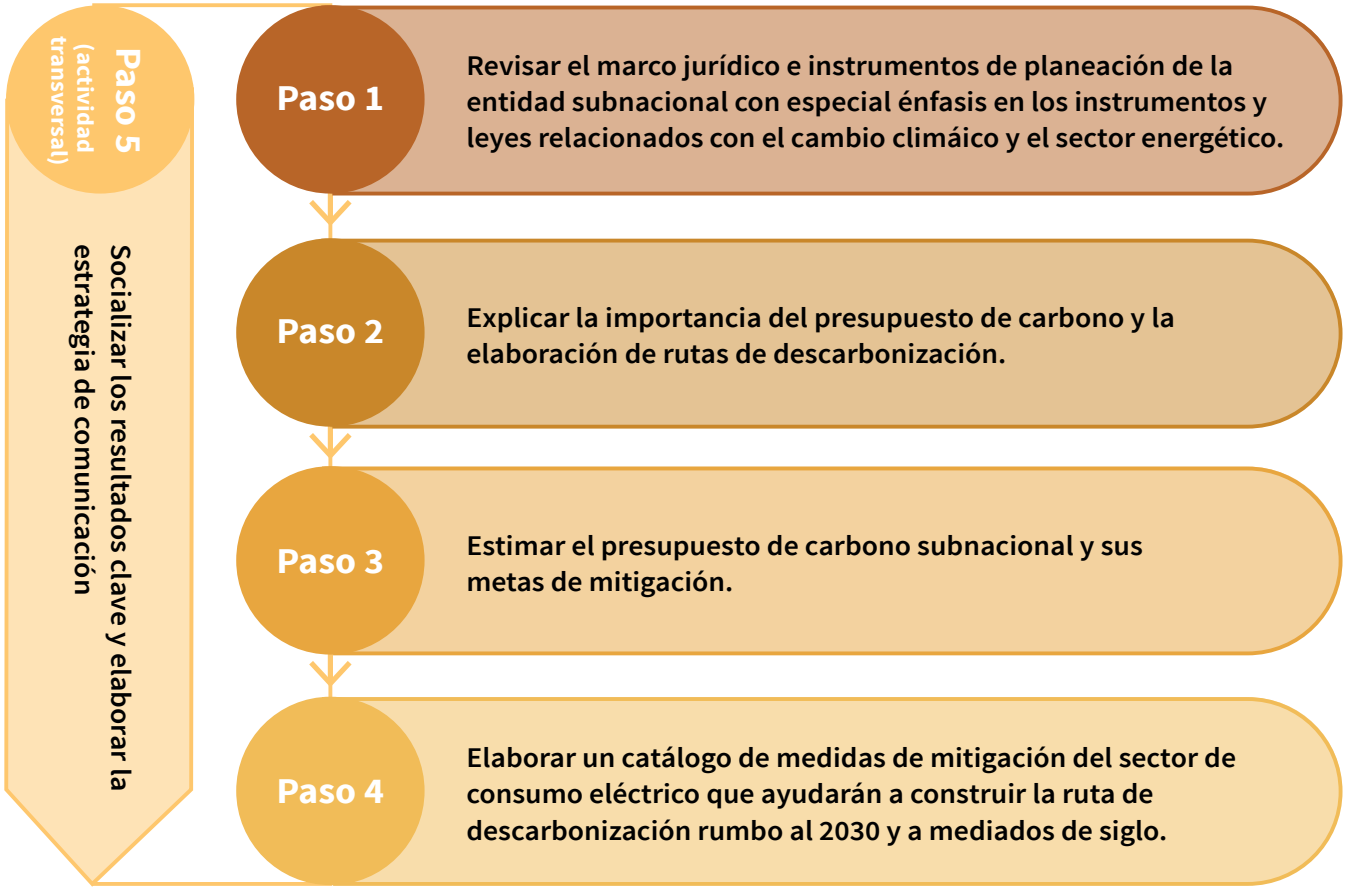
***El* presupuesto de carbono *representa la máxima cantidad de emisiones de dióxido de carbono equivalente, que se pueden emitir a la atmósfera para mantener la temperatura media global de la Tierra dentro de un cierto rango. Esta métrica permite desarrollar rutas de descarbonización alineadas a cantidades finitas de emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI). La* descarbonización *se entiende, de acuerdo con el IPCC, como el proceso en el cual los países, estados, individuos y otras entidades aspiran en alcanzar una existencia de cero emisiones de carbono fósil. Comúnmente, la necesidad primordial en materia de reducción de emisiones de carbono se encuentra asociada a los sectores de electricidad, industria y transporte.***

Este **Manual para la estimación de un presupuesto de carbono subnacional para el sector eléctrico y su ruta de descarbonización** recopila la experiencia del proyecto "Desarrollo e implementación de Presupuestos de Carbono y Rutas de Descarbonización para el sector energía eléctrica que contribuyan a la armonización entre la política climática y energética en Jalisco y Yucatán" y tiene como objetivo permitir la replicabilidad del ejercicio a través de una síntesis de lecciones aprendidas. Es importante aclarar que, con respecto a las rutas de descarbonización asociadas el trabajo está enfocado en el sector de consumo eléctrico de una entidad subnacional.

A lo largo de este manual se explicará de manera detallada el proceso general de la recolección de bases de datos, análisis de instrumentos de planeación, estimación de presupuestos de carbono y metas, selección de análisis y priorización de medidas y otros aspectos metodológicos importantes. Este documento tiene como audiencia objetivo a personas tomadoras de decisiones de políticas públicas de las entidades subnacionales en México y otras organizaciones clave, ya que presenta una recolección de decisiones y consideraciones que deben de tomarse en cuenta al involucrarse con el proceso de diseño de presupuesto de carbono, así como también la correspondiente ruta de descarbonización del sector eléctrico contextualizado a las características del territorio subnacional. Es pertinente considerar que este proceso general es dinámico y adaptativo según los requerimientos de las personas tomadoras de decisión y los avances constantes en la ciencia climática.

El Manual se divide en dos secciones, con la finalidad de presentar un análisis de los pasos a seguir para la estimación de presupuesto de carbono subnacional y la elaboración de una ruta de descarbonización del sector eléctrico, así como lecciones aprendidas durante el desarrollo del proyecto. En la primera sección, se enlistan de manera descriptiva los pasos más importantes para crear un presupuesto de carbono subnacional y su catálogo de medidas de mitigación para el sector de consumo eléctrico, como se muestra en la Figura 1. Posteriormente, en la segunda sección se resumen las consideraciones adicionales a tomar en cuenta para la elaboración de metas de mitigación y planes de descarbonización.

**Figura 1:** Pasos esenciales para la estimación de un presupuesto de carbono subnacional y su ruta de descarbonización del sector de consumo eléctrico.




Al considerar los continuos avances en materia de la política climática internacional, nacional y estatal, es necesario desarrollar estudios contextualizados a nivel subnacional sobre presupuesto de carbono y la respectiva descarbonización del sector eléctrico. Lo anterior permite y potencializa el desarrollo de un catálogo de medidas factibles para la reducción de emisiones de manera ambiciosa y eficiente en los ámbitos económicos, sociales y ambientales.

A su vez, para consolidar esfuerzos sectoriales alineados a la ciencia climática es clave la participación integral de diferentes personas tomadoras de decisiones pertenecientes a instituciones gubernamentales de los diferentes niveles de los territorios subnacionales, como secretarías de medio ambiente o agencias de energía; agencias técnicas; integrantes de la academia y especialistas en el sector; así como también miembros de organizaciones privadas y la sociedad civil.

# 2. PASOS PARA LA ELABORACIÓN DE UN PRESUPUESTO DE CARBONO SUBNACIONAL Y SU RUTA DE DESCARBONIZACIÓN DEL SECTOR DE CONSUMO ELÉCTRICO.

En las siguientes subsecciones, se presentarán los pasos fundamentales del proyecto explicando el proceso de búsqueda de información, análisis de documentos, recopilación de datos y elementos clave para la estimación de presupuestos de carbono subnacional, metas de mitigación y rutas de descarbonización.

PASO 1

# Revisión de marco jurídico e instrumentos de planeación de la entidad subnacional

**Tabla 1:** Resumen de revisión de marco jurídico e instrumentos de planeación subnacional

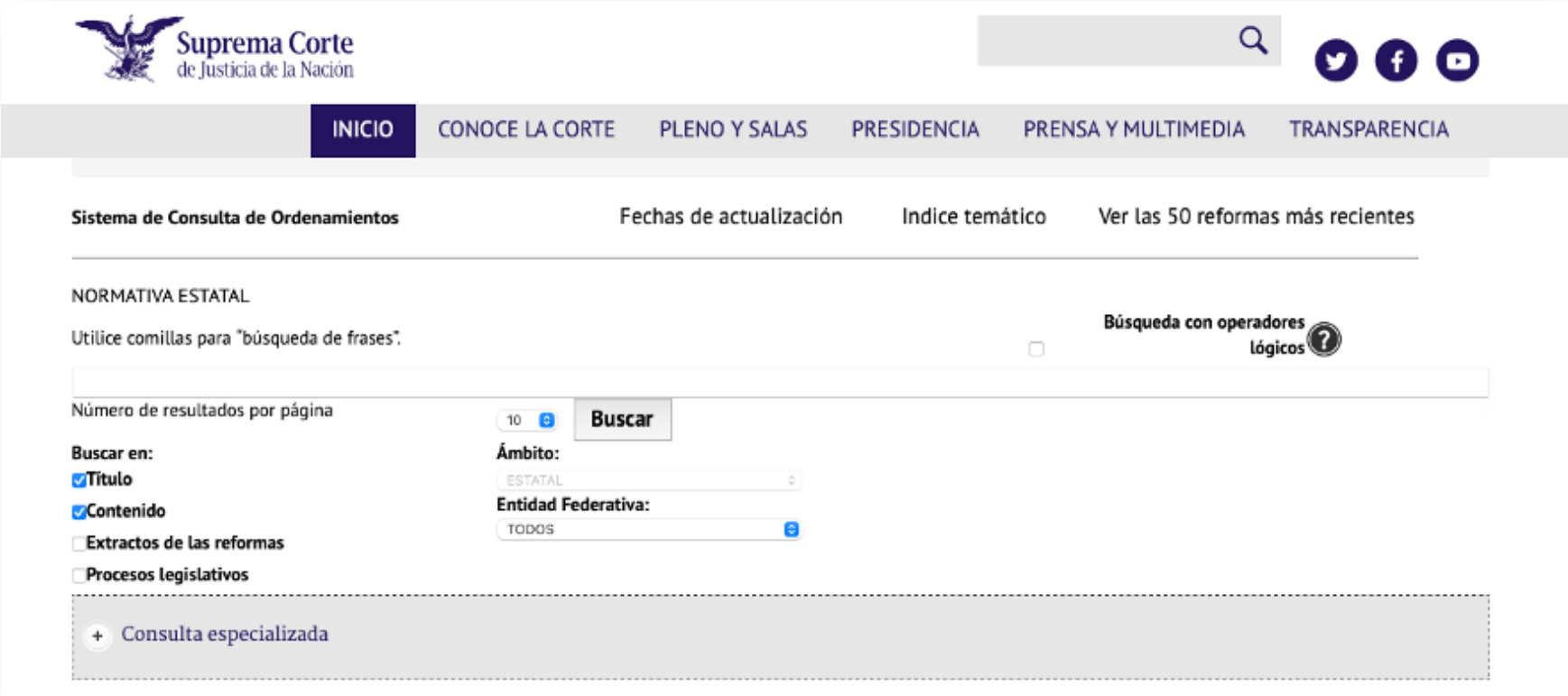
| Insumos necesarios | Elementos más importantes | Actores involucrados | Resultados parciales |
|---|---|---|---|
| Investigación de escritorio sobre el marco jurídico y entrevistas con personas tomadoras de decisión del sector público. | Enumeración de elementos clave entre los instrumentos analizados (nacional y subnacional). | Personas tomadoras de decisión del sector público. | Validación de la vinculación de instrumentos nacionales con el marco jurídico del estado. |

Previo a las estimaciones de presupuesto de carbono y la elaboración de una ruta de descarbonización del sector eléctrico, es necesario realizar una revisión del marco jurídico e instrumentos de planeación de la entidad subnacional. Esto con la finalidad de identificar si el gobierno subnacional tiene en sus metas sexenales objetivos alineados a la mitigación de cambio climático y a la descarbonización del sector eléctrico. Por un lado, las líneas de acción y objetivos actuales permiten dar el punto de partida a la identificación de medidas a considerar para el desarrollo de la mitigación, ya que permiten de primera mano alinear los instrumentos públicos con las medidas técnicas a proponer. De existir objetivos y/o líneas de acción, estas ayudarían a fortalecer la implementación del catálogo de medidas de mitigación de la entidad subnacional en cuestión, dado que estarían sustentadas por instrumentos públicos.

El proceso de revisión se puede llevar a cabo utilizando principalmente cuatro herramientas: 1) el Portal de la Suprema Corte de Justicia; 2) la plataforma *Información sobre la implementación de la política climática subnacional* del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático; 3) la página web de la entidad subnacional; y 4) a través de retroalimentación con las diferentes personas tomadoras de decisión subnacionales como autoridades del sector público, secretarías y agencias de energía. A continuación, se explicará cómo se utiliza cada una de las herramientas para llevar a cabo el proceso de revisión de marco jurídico e instrumentos de planeación.

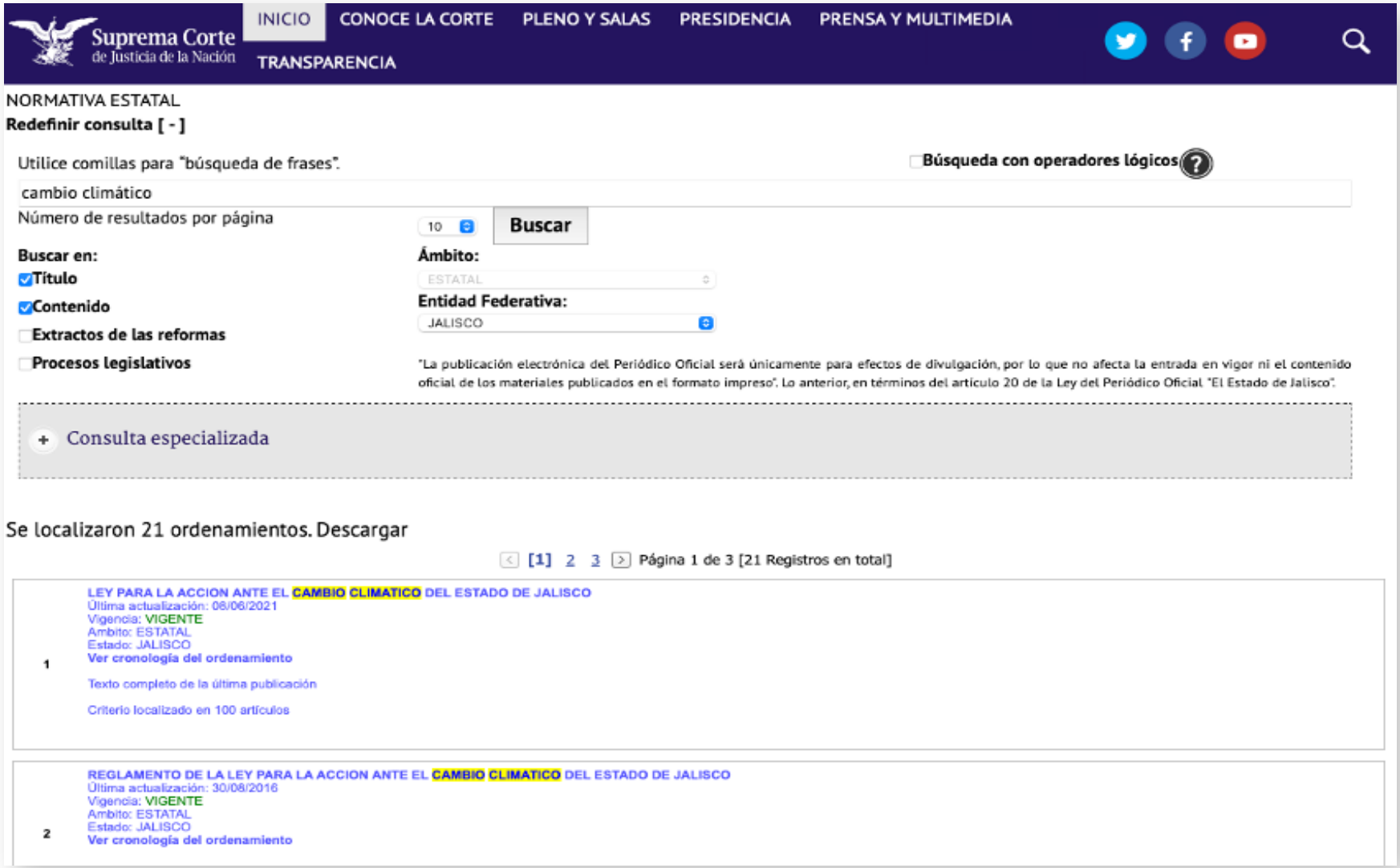
**1. Portal Suprema Corte de Justicia de la Nación.** En este portal se encuentra toda la normativa del país, incluyendo la normativa estatal. Para consultar la normativa estatal, primero se ingresa a la liga: https://www.scjn.gob.mx, y en la parte inferior del portal se accede a la ventana *Normativa*, al acceder a esta ventana se enlistarán todos los recursos normativos disponibles, para el presente ejercicio, nos dirigimos al *Sistema de Consulta de Ordenamientos Jurídicos* y seleccionamos *Normativa Estatal*. Al ingresar a la ventana de Normativa Estatal, se presenta las siguientes opciones de búsqueda en la plataforma:

**Figura 2:** Interfaz del Portal de la Suprema Corte de Justicia de la Nación




Como se puede observar en la Figura 2, en el sistema de búsqueda existe una sección para ingresar frases clave de acuerdo con diferentes opciones, para el ejercicio de revisión se sugiere seleccionar la opción de **Contenido** y en la parte inferior derecha se selecciona la entidad federativa que se pretende analizar. Para ejemplificar el uso de la plataforma, se muestran los resultados que arroja la plataforma si se utiliza la frase clave "cambio climático" y se selecciona como entidad federativa el estado de Jalisco.

**Figura 3:** Resultados de la Interfaz del Portal de la Suprema Corte de Justicia de la Nación




De acuerdo con la Figura 3, al utilizar la frase clave "cambio climático" y seleccionar como entidad federativa el estado de Jalisco, el sistema de búsqueda encontró 21 ordenamientos, entre ellos el primer resultado es la *Ley para la Acción Ante el Cambio Climático del Estado de Jalisco* donde se informa la última actualización de la Ley, si está vigente, el ámbito y el estado. Al dar clic al resultado, la plataforma arroja en otra ventana toda la cronología de cambios que ha recibido la ley, así como la versión final del documento.

**2. Plataforma Información sobre la implementación de la política climática subnacional del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.** Este portal muestra información sobre la implementación de la política climática en el territorio nacional a través de cinco ejes temáticos[1] que permiten conocer el estado actual sobre las necesidades de mitigación y adaptación al cambio climático con la finalidad de proporcionar insumos para el análisis y la toma de decisiones. Para consultar este portal, primero se ingresa a la liga: https://cambioclimatico.gob.mx/estadosymunicipios/Intro.html, y se podrá observar un mapa al centro de la página, en dicho mapa se selecciona el estado que se pretende analizar, como ejemplo ilustrativo seleccionaremos el estado de Yucatán para conocer las opciones que ofrece la plataforma y seleccionaremos la ventana de instrumentos para ver el menú de documentos del estado (Figura 4).

**Figura 4:** Interfaz de la plataforma Información sobre la implementación de la política climática subnacional

1 Los cinco ejes temáticos son: Instrumentos de política climática, Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero, Calidad del aire, Vulnerabilidad, riesgos y peligros y finalmente Fomento de capacidades.

| | | |
|---|---|---|
| • Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero, Yucatán 2005 | ✓ | 2013 Año base: 2005 |

| Manejo de Residuos Sólidos | Tiene | Año de publicación |
|---|---|---|
| • Ley para la Gestión Integral de los Residuos en el Estado de Yucatán | ✓ | 2011 |
| • Reglamento de la Ley para la Gestión Integral de los Residuos en el Estado de Yucatán | ✓ | 2012 |
| • Programa Estatal para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos | ✗ | |

| Gestión territorial | Tiene | Año de publicación |
|---|---|---|
| • Programa Estatal de Ordenamiento Ecológico Territorial | ✗ | |
| • Atlas de Peligros por Fenómenos Naturales del Estado de Yucatán | ✓ | |
| • Programa Estatal de Desarrollo Urbano de Yucatán | ✓ | 2016 |
| • Reglamento de Construcción | ✗ | |
| • Plan Maestro de Movilidad Urbana Sustentable | ✓ | 2016 |

YUCATAN

Oficinas que atienden el cambio climático:
Secretaría de Desarrollo Sustentable de Yucatán (SDS)

En la Figura 4, se muestra con qué instrumentos en relación con el cambio climático cuenta el estado de Yucatán, en la primera sección **Cambio Climático** se puede observar que el estado de Yucatán hace mención del tema en su Plan Estatal de Desarrollo, sin embargo, el estado todavía no cuenta con una Ley de Cambio Climático. En la segunda sección, se observa que Yucatán si tiene Inventario de GEI, pero este tiene un año base del 2005. Para el ejercicio de estimación de presupuesto de carbono y el desarrollo del catálogo de medidas, es necesario seleccionar toda la información actualizada del estado posible.

3. **Plataformas digitales de los estados.** Para asegurar que en la revisión del marco jurídico se cuenta con la información más actualizada sobre la entidad subnacional, es importante consultar el portal de la entidad subnacional en cuestión. En dicha plataforma, particularmente en las ventanas de las secretarías de medio ambiente y desarrollo sustentable, se podrá encontrar instrumentos de planeación adicionales que abonan de manera más precisa a las líneas de acción de los planes estatales de desarrollo.

4. **Consulta a personas tomadoras de decisión estatales.** Adicional a la revisión realizada en los puntos anteriores, un recurso que es transversal en el proceso de consulta es la realización de continuas consultas a las personas tomadoras de decisión estatales para identificar y validar si la información con la que se cuenta es suficiente y la más actualizada. Generalmente el proceso de elaboración de instrumentos de planeación no es inmediato en las entidades subnacionales. Por lo tanto, es crucial la comunicación continua y transparente hacia las personas tomadoras de decisión del sector público con el objetivo de sensibilizar los objetivos de la administración estatal en temas de cambio climático y descarbonización de los sectores.

Para terminar adecuadamente la revisión, después de analizar cada instrumento y/o ley seleccionada utilizando las herramientas explicadas anteriormente, el siguiente paso es explicar cómo el marco jurídico de la entidad subnacional se encuentra vinculado con los instrumentos y/o leyes nacionales e internacionales vigentes. Para llevar a cabo el análisis se sugiere elaborar una tabla con los siguientes elementos:

**Tabla 2.** Elementos clave para el análisis del marco jurídico de la entidad subnacional

| Elementos | Ejemplos |
|---|---|
| Instrumentos Nacionales | Ley General de Cambio Climático, Estrategia Nacional de Cambio Climático, la Contribución Determinada a nivel Nacional y el Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional. |
| Descripción del instrumento nacional | Explicar de manera breve el objetivo del instrumento. |
| Vinculación con el marco jurídico del estado | Marco jurídico del estado que se encuentra alineado con el instrumento nacional seleccionado. |
| Hallazgos principales | Enumeración de elementos clave que existe entre los instrumentos analizados (nacional y subnacional). |

PASO 2

# Explicar la importancia del presupuesto de carbono y la elaboración de rutas de descarbonización

**Tabla 3:** Resumen de sensibilización sobre presupuesto de carbono y ruta de descarbonización

| Insumos necesarios | Elementos más importantes | Actores involucrados | Resultados parciales |
|---|---|---|---|
| Lista de literatura para conocer con mayor profundidad el concepto, estimación e implementación del presupuesto de carbono. | Definición y entendimiento de los conceptos que se estarán utilizando en el desarrollo del trabajo con las entidades subnacionales. | Desarrolladores de presupuesto de carbono y personas tomadoras de decisión del sector público. | Sensibilización de conceptos clave, así como metodología para la modelación y cálculo de presupuesto de carbono. |

## 2.1: Concepto de Presupuesto de Carbono

Un elemento fundamental desde el inicio del proyecto es definir los conceptos que se estarán utilizando, empezando con la definición de presupuesto de carbono: *la cantidad máxima permitida de emisiones de dióxido de carbono equivalente ($CO_2e$), para limitar el incremento de la temperatura promedio de la Tierra dentro de un cierto rango*.

El cálculo y entendimiento del presupuesto de carbono es relevante debido a cuatro factores importantes:

I) El presupuesto de carbono es una referencia para la política de cambio climático ya que permite evaluar y monitorear su cumplimiento bajo criterios de mayor ambición.

II) Permite definir metas cuantitativas de reducción de emisiones a nivel nacional, subnacional y sectorial en línea con el presupuesto de carbono global.

III) Puede detonar el desarrollo de instrumentos de planeación de descarbonización sectorial y la identificación de actores y medidas específicas para asegurar su implementación.

IV) Apoya en la elaboración de metas de cero emisiones netas a mediados de siglo para cumplir con el compromiso de mantener el aumento de la Temperatura Media Global en 1.5ºC.

Para conocer con más detalle el concepto de presupuesto de carbono, en la Tabla 4 se sugiere una lista de literatura que abona en el conocimiento detallado del concepto:

**Tabla 4:** Lista de literatura para conocer con mayor profundidad el concepto, estimación e implementación del presupuesto de carbono

| Autores | Título | Año |
|---|---|---|
| H. Damon Matthews et al. | The proportionality of global warming to cumulative carbon emissions | 2009 |
| IPCC | Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change | 2014 |
| Gignac et al. | Allocating a 2°C cumulative carbon budget to countries | 2015 |
| Richard J. Millar et al. | Emission budgets and pathways consistent with limiting warming to 1.5°C | 2017 |
| Joeri Rogelj et al. | Scenarios towards limiting global mean temperature increase below 1.5°C | 2018 |
| Joeri Rogelj et al. (IPCC Special Report) | Mitigation Pathways Compatible with 1.5°C in the Context of Sustainable Development. | 2018 |
| Joeri Rogelj et al. | Estimating and tracking the remaining carbon budget for stringent climate targets | 2019 |
| Ramones et al. | Presupuestos de carbono: Una oportunidad para ampliar la ambición climática del sector eléctrico | 2019 |
| Luisa Sierra et al. | National Carbon Budget for Mexico and 2030 Decarbonisation Pathways | 2020 |

Si bien el concepto de presupuesto de carbono puede ocultar mucha complejidad por el uso de modelos climáticos, la realidad es que la cifra obtenida es una forma simplificada de medir las emisiones adicionales. Por lo tanto, es clave que las diferentes personas tomadoras de decisión puedan aterrizar el concepto a su contexto por medio de talleres técnicos para acelerar la comprensión de este. Para la explicación del concepto de presupuesto de carbono, así como la implementación de este, puede resultar útil utilizar analogías monetarias, aunque no se debe confundir el concepto de presupuesto de carbono con un presupuesto financiero.

## 2.2: Concepto de Ruta de Descarbonización para el Sector Eléctrico

Otro concepto importante es comprender el significado e implicaciones de una ruta de descarbonización.

***Una ruta de descarbonización para el sector eléctrico se define como la trayectoria del conjunto de medidas bajas en carbono que, al ser implementadas, permiten la reducción de emisiones alineadas al Acuerdo de París con el objetivo de mantener la TMG en 1.5°C o por debajo de los 2ºC con una probabilidad por encima del 66% (AIER, 2017).***

Algunos ejemplos de dichas medidas bajas en carbono incluyen la implementación de energías renovables para el sector eléctrico, energías renovables para la producción de químicos y polímeros, medidas de eficiencia energética, electrificación, o tecnologías de eficiencia en materiales y captura y almacenamiento de carbono en la industria. No obstante, es importante realizar un diagnóstico y estudio de factibilidad del contexto subnacional para desarrollar medidas adecuadas. De igual forma se debe considerar la infraestructura del sistema eléctrico y el ecosistema regulatorio, la penetración de tecnologías bajas en carbono puede ser acelerada o frenada significativamente, repercutiendo en el cumplimiento de los compromisos climáticos. Por lo tanto, los siguientes pasos ejemplifican la manera en que los gobiernos subnacionales pueden desarrollar su propio catálogo de medidas de mitigación según sus prioridades y necesidades.

En economías en desarrollo se espera que en 2030 la demanda eléctrica se duplique e incluso llegue a triplicarse para 2050 debido al crecimiento poblacional, aumento en los ingresos y nivel de vida, así como las nuevas fuentes de demanda eléctrica vinculadas a la descarbonización (IEA, 2021). **Por lo tanto, resulta relevante analizar la planeación, diseño e implementación de rutas de descarbonización para el sector eléctrico a nivel internacional con el objetivo de identificar estrategias exitosas para el estado mexicano, tanto a nivel nacional como subnacional.**

# Estimación de presupuesto de carbono y metas de mitigación

**Tabla 5:** Resumen de estimación de presupuesto de carbono

| Insumos necesarios | Elementos más importantes | Actores involucrados | Resultados parciales |
|---|---|---|---|
| Modelos que evalúan los diferentes escenarios con un forzamiento radiativo de 1.9 W/m$^2$ (SSPx_1.9). | Cálculo de la mediana para establecer la trayectoria de emisiones globales de referencia y asignación soberana para obtener la trayectoria de la entidad subnacional. | Desarrolladores de presupuesto de carbono, personas tomadoras de decisión del sector público, personas de la academia, ONGs y sector privado. | Cálculo del presupuesto de carbono de la entidad subnacional y del sector eléctrico. |

Con la finalidad de reducir los efectos catastróficos del cambio climático, desde 2015, 197 países han firmado el Acuerdo de París, que tiene por objetivo limitar la temperatura media global muy por debajo de 2°C, preferiblemente a 1.5°C, en comparación con los niveles preindustriales[2]. De acuerdo con la última actualización del Climate Action Tracker, los actuales esfuerzos de mitigación de México no son suficientes para alcanzar una trayectoria de 1.5°C (CAT, 2021), en parte porque la actualización de las Contribuciones Determinadas a nivel Nacional (NDC en inglés) permitiría niveles de emisiones más altos en comparación con sus objetivos anteriores (WRI, 2021). No obstante, las entidades federativas, a través del artículo 34 de la Ley General de Cambio Climático, tienen la facultad de desarrollar planes de mitigación que impulsen la descarbonización del país y nos acerquen al cumplimiento de las metas del Acuerdo de París.

La Iniciativa Climática de México (ICM), con el apoyo del proyecto "Convergencia de la Política Energética y de Cambio Climático en México" (CONECC) de la Cooperación Alemana al Desarrollo Sustentable en México (GIZ), desarrolló una metodología para estimar los presupuestos de carbono del país[3], las entidades federativas y sus respectivos sectores alineados a una trayectoria de 1.5°C.

De acuerdo con el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), una tra-

2 Por años preindustriales se refiere a 1850-1900.

3 Ramones et al. (2019). Presupuestos de carbono: Una oportunidad para ampliar la ambición climática del sector eléctrico.

yectoria es la evolución temporal de un sistema natural y/o humano hacia una condición futura. Ahora bien, una trayectoria de emisiones alineada a una temperatura de 1.5ºC es un camino de emisiones de gases de efecto invernadero y otros forzantes climáticos el cual mantiene el calentamiento global por debajo de 1.5ºC o regresa a 1.5ºC a finales del 2100 (IPCC, 2021).

La narrativas o escenarios que logran medir el objetivo climático establecido por el Acuerdo de París son las Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (SSP, por sus siglas en inglés), las cuales fueron utilizadas para el Reporte Especial del IPCC, *Calentamiento Global de 1.5ºC,* particularmente en el Capítulo 2, *Trayectorias de Mitigación Compatibles con 1.5ºC en el Contexto de un Desarrollo Sustentable*.

Las SSPs han sido desarrolladas para proveer cinco diferentes trayectorias que reflejan distintos desarrollos socioeconómicos futuros y permiten particularmente cuantificar la evolución de la energía, el uso del suelo y las incertidumbres asociadas a la generación de emisiones y contaminantes atmosféricos (ver Tabla 3). Estas narrativas socioeconómicas se utilizan para medir diferentes forzamientos radiativos[4], es decir, los cambios en el flujo de energía en la atmósfera a final de siglo. Mientras que un forzamiento radiativo de 2.6 W/m$^2$ permite limitar el aumento de la TMG en 2°C a final del siglo, solamente un forzamiento de 1.9W/m$^2$ permite mantenerlo en 1.5ºC.

**Tabla 6:** Trayectorias Socioeconómicas Compartidas

| Escenario | Descripción |
|---|---|
| SSP1 | Conocido como el escenario de crecimiento sustentable e igualitario. |
| SSP2 | Llamado “mitad del camino”, el cual toma en consideración las tendencias de crecimiento de acuerdo a los patrones históricos y refleja algo de progreso sobre los Objetivos de Desarrollo Sostenible, sin embargo, es todavía una sociedad desigual. |
| SSP3[5] | Conocido como la narrativa fragmentada, donde el mundo se encuentra caracterizado en regiones de extrema pobreza y algunos países con riqueza moderada, en dicho escenario no existe la cooperación entre países |
| SSP4 | Es un escenario de desigualdad, donde una pequeña proporción del mundo es responsable de las emisiones de GEI y la proporción de la sociedad más pobre es vulnerable a los efectos del cambio climático. |
| SSP5 | Conocido como el escenario de desarrollo convencional, en esta narrativa continua el crecimiento económico y no disminuye la intensidad y la demanda energética de combustibles fósiles. |

4 El forzamiento radiativo o forzamiento climático es la diferencia entre la insolación (luz solar) absorbida por la Tierra y la energía irradiada de vuelta al espacio. Este cambio de flujo de energía en la atmósfera se mide en W/m$^2$.

5 Es importante señalar que, en los trabajos de evaluación de modelos con los escenarios respectivos, el SSP3 no ha sido posible medir debido a las dificultades de analizar un mundo dividido.

Para generar las trayectorias de las entidades federativas, primero se obtienen las trayectorias de emisiones de gases de efecto invernadero globales que logran mantener la temperatura media global en 1.5ºC.

Teniendo en consideración lo anterior, se debe explorar la base de datos del sitio SSP Public Database Version 2.0 (IIASA, 2018) y obtener los resultados de los modelos que evalúan los diferentes escenarios con un forzamiento radiativo de 1.9 W/m$^2$ (SSPx_1.9). Particularmente, se sugiere la selección de Los modelos AIM/CGE_SSP2-1.9, REMIND-MAgPIE_SSP1-1.9 y REMIND-MAgPIE_SSP2-1.9 debido a las siguientes cuatro condiciones:

I) Las trayectorias de emisiones tienen un pico de emisiones en el 2020.

II) Las trayectorias cumplen con la neutralidad de carbono alrededor de 2060.

III) Las trayectorias cumplen con mantener una temperatura media global de 1.5ºC a finales del siglo.

IV) Al utilizar la metodología de presupuesto de carbono de ICM se obtiene el valor de presupuesto de carbono global utilizado en el Reporte Especial del IPCC.

Con los resultados de los modelos anteriores se calcula la mediana para establecer la trayectoria de emisiones globales de referencia. En este punto, el siguiente paso para establecer la trayectoria de los estados es estimar el porcentaje de asignación. Sin embargo, es importante aclarar que existen varios métodos propuestos y utilizados para determinar la asignación de una región.

Para calcular los objetivos de reducción de emisiones requeridos a lo largo del tiempo se utilizan enfoques de distribución tales como “responsabilidad”, “capacidad”, “igualdad” y “soberanía”. Por responsabilidad, se refiere a que la asignación de los países con PIB per cápita y emisiones históricas altas tiene una menor asignación de emisiones, con la característica que dicho método mantiene un “derecho de desarrollo”. Con respecto a capacidad, la asignación se determina con respecto al PIB per cápita, de ser alto estos tienen una asignación baja. La asignación por igualdad se refiere a que todos los países deben de converger en un año específico en su esfuerzo de mitigar emisiones. Por último, la asignación soberana, se calcula a través de la proporción de emisiones históricas que tiene una nación sobre el total mundial (Robiou du Pont, Y. et al, 2017).

**Tabla 7:** Comparación de enfoques de distribución de emisiones para el cálculo de presupuesto de carbono (Adaptación de van den Berg et al., 2019)

| Enfoque | Justificación | Metodología para distribución de emisiones |
|---|---|---|
| Asignación soberana | Se incluyen en la categoría de "derechos adquiridos", es decir justificados por uso y costumbre. | Ruta de emisión: las asignaciones de derechos de emisión se mantienen en proporción a las cuotas de emisión actuales.<br>Presupuesto de carbono: asignaciones de presupuestos de carbono basadas en las proporciones actuales de emisiones. |
| Igualdad | Basado en la humanidad compartida y en el mismo valor de todos los seres humanos, que tienen el mismo derecho a los bienes colectivos globales (por ejemplo, los mismos derechos individuales al espacio atmosférico). | Ruta de emisiones: las asignaciones de derechos de emisión son directamente proporcional a los porcentajes de población.<br>Presupuesto de carbono: asignación de presupuestos nacionales de carbono basados enteramente en la media (proyectada) de la población en el periodo 2010-2100. |
| Responsabilidad | La cantidad de emisiones acumuladas per cápita de los países industrializados ha consumido de forma desproporcionada el presupuesto mundial de emisiones. | Presupuesto de carbono: asignación de los presupuestos nacionales de carbono en función de las emisiones acumuladas per cápita en un periodo determinado que es igual en todos los países. Incorpora las emisiones acumuladas históricas (responsabilidad) y se basa en la proporción de la población (igualdad).<br>Ruta de emisión: no se expone, ya que suele calcularse a partir de un presupuesto de carbono. |
| Capacidad | Basado en la capacidad de asumir las consecuencias. | Ruta de emisiones y presupuesto de carbono: Los objetivos de reducción de las emisiones o del presupuesto de carbono con respecto a la base de referencia se asignan en función del PIB anual per cápita (ruta de emisiones) o del PIB promedio per cápita a lo largo del período<br>2010-2100 (enfoque presupuestario), teniendo en cuenta los costes marginales crecientes con reducciones más pronunciadas. |

Los casos internacionales referentes al presupuesto de carbono a nivel subnacional demuestran que existen variaciones con respecto a su aplicación al tratarse de un concepto relativamente nuevo. Lo anterior deja a los gobiernos nacionales y subnacionales frente a un panorama amplio de posibles decisiones metodológicas. Por ejemplo, para medir la sensibilidad de las propuestas de trayectorias de emisiones para el estado de Victoria, se llevaron a cabo cuatro diferentes enfoques.

Para el caso del Reino Unido, la asignación de la proporción correspondiente de emisiones se hizo con base en los dos criterios de distribución de emisiones: población y asignación soberana de emisiones recientes (2010 a 2015). En el caso de Järfälla, Suecia, el cálculo del presupuesto subnacional se calculó a partir del presupuesto nacional de carbono basado en las emisiones históricas (principio de soberanía) y la contribución poblacional (principio de igualdad).

Las experiencias anteriormente descritas resaltan, en primer lugar, la amplia gama de metodologías para la estimación de un presupuesto de carbono subnacional, derivada de la diversidad en conceptos de asignación. Asimismo, es posible identificar el estado emergente del concepto de presupuesto de carbono dada la brecha geográfica en casos de éxito documentados (ninguno todavía en Latinoamérica). Finalmente, estas experiencias contextualizan la posibilidad de establecer un presupuesto de carbono subnacional con cierto grado de flexibilidad, adaptándolo a las características socioeconómicas y de gobernanza locales.

Por lo tanto, en seguimiento a la metodología desarrollada por ICM, las instrucciones de este manual toman como punto de partida el método de asignación soberana. Esta asignación, también conocida como *grandfathering*, mantiene la proporción de emisiones de acuerdo con las emisiones históricas de cada región y facilita el cálculo de asignaciones entre los estados.

Para definir la asignación de emisiones de la entidad subnacional sobre las emisiones globales y así obtener la trayectoria de la entidad federativa, primero se calcula la proporción de emisiones subnacionales sobre el total de emisiones del país, dicho valor se obtiene con la siguiente fórmula:

$$\textit{Proporción de asignación subnacional} = \frac{\textit{Total de emisiones GEI de la entidad subnacional}}{\textit{Total de emisiones GEI de México}}$$

Donde el total de emisiones de GEI de la entidad subnacional se obtiene de su Inventario Estatal, mientras que el total de emisiones de GEI del país se obtiene del Inventario Nacional del país, desarrollado por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, en el caso de México. Es importante destacar que durante el desarrollo de este manual el dato más actualizado de emisiones del país es del año 2017, lo cual representa un reto si la entidad subnacional no tiene actualizado su inventario para ese año. De ser así, la recomendación es utilizar la tasa media de crecimiento del PIB estatal[6], y de esta manera obtener el valor proyectado del 2017, utilizando como año base el último dato actualizado del Inventario de la entidad.

Una vez calculada la proporción de la entidad subnacional sobre el total de emisiones del país, el siguiente paso es multiplicar esta cantidad por la **proporción**

6 Para el presente proyecto se utilizaron los valores del 2005 al 2018.

**emisiones históricas de México sobre las emisiones globales**; de acuerdo con el repositorio de información *Potsdam Institute for Climate Impact Research* (PIK), dicho valor es de **1.39%**. De esta forma, la proporción de emisiones subnacional sobre las emisiones globales se obtiene de la siguiente forma:

***Proporción de emisiones subnacionales sobre las emisiones globales = (Proporción de asignación subnacional) * (0.0139)***

El valor obtenido de la ecuación (2) se multiplica por la trayectoria de emisiones globales de referencia comentada anteriormente, para así estimar la trayectoria de emisiones de GEI de la entidad subnacional alineada a una temperatura media global de 1.5ºC. A partir de este punto ya es posible calcular el presupuesto de carbono del estado.

Con la intención de ejemplificar los pasos anteriores, en la figura 5 se presenta el resumen de metodología para el cálculo de presupuesto de carbono para el sector eléctrico desarrollado por ICM.

Para determinar los presupuestos de carbono sectoriales de las entidades subnacionales, se utiliza como referencia el Inventario de GEI estatal más actualizado, esto con la finalidad de conocer la proporción de cada sector (energía, industria, AFOLU y residuos) sobre el total de emisiones. Es importante destacar que, para determinar un presupuesto de carbono del sector eléctrico, se estiman las emisiones indirectas asociadas al consumo eléctrico y se sustituye este valor por la subcategoría de industria de generación eléctrica dentro del sector energía. Esta sustitución se fundamenta de la siguiente manera: a raíz de que se quiere generar medidas de mitigación que se encuentren dentro de las capacidades y competencias de las entidades federativas, una medida donde las entidades federativas no tienen influencia es en la generación eléctrica en gran escala, sin embargo, considerando que la generación y la demanda del Sistema Interconectado Nacional (SIN) son iguales, las emisiones del SIN se distribuyen por consumo en lugar de generación y así se determinan medidas específicas para la descarbonización del sector eléctrico en una entidad subnacional.

La estimación del presupuesto de carbono permite adaptar las metas de mitigación a los periodos de interés de las entidades subnacionales. No obstante, es necesario contar con una trayectoria de emisiones de GEI tendenciales del estado para poder medir la diferencia en emisiones y porcentajes que se necesitan reducir para que la entidad subnacional se encuentre alineada a una trayectoria de emisiones alineada a 1.5ºC.

Por último, es importante señalar diferentes elementos metodológicos asociados a la estimación de presupuesto de carbono subnacional. Primeramente, se tienen las cero emisiones netas, es decir, el compromiso de lograr un balance entre la generación y la captura emisiones de dióxido de carbono en el 2050. Y si bien es cierto que la predicción de los modelos utilizados a partir de la trayectoria de México señala que el límite máximo para alcanzar la neutralidad de carbono se encuentra en el año 2060, la realidad es que por medio de la implementación de medidas de descarbonización es posible acelerar dicho proceso y alcanzar la neutralidad de carbono antes del año 2050.

**Figura 5:** Resumen de metodología para el cálculo de presupuesto de carbono para el sector eléctrico del estado de Yucatàn desarrollado por ICM

1. En seguimiento a la metodología desarrollada por ICM, aun y cuando exusten diferentes tipos de asinaciones, se utiliza una **asignación sobreana para considerar el histótico de emisiones**
2. Primero se obtuvo el porcentaje de emisiones que representa México sobre el total mundial, **1.39%**. La cifra anterior se consiguió a través de la base de datos del PIK
3. Seguido se tomó como referencia el Inventario 2005 y sus fierentes sectores incluyendo las emisiones indirectas (consumo eléctrico)
4. Para encontrar las emisiones del consumo eléctrico primero se obtuvo el consumo para el año 2017, este siendo 3,717,774.91 MWh y el facor emisión de la red en 0.58 $tCO_2$/MWh, resultando en **2.16 $MtCO_2e$** .
5. Se considera el escenrio de emisiones de las subcategorías ganadería y fuentes agregadas y fuentes de emisión no $CO_2$ de la tierrra
6. Se encontró las emisiones totales del país pata el año 2017 (INECC) **733.82 $MtCO_2e$** .
7. La asignación del estado con respecto al país, fue dedesarrollada a través de un ejercicio de proyección para obtener un valor total de emisiones para el año 2017
8. Teniendo las emisiones totales nacionales y la cifra del estado (**10.95**) , la asignaciín del estado con respecto al país, se encuentran en **1.5** .
9. Para conseguir las trayectorias del estado, esta cantidad (paso 8) se multiplica por el 1.39% de las emisiones históricas del país resultando en **0.000207**
10. Para el presupuesto de carbono del sector eléctrico se multiplica la trayectoria del estado de Yucatán por 22.7%, cantidad que representa el consumo eléctrico más las pérdidas por distribución

Otro aspecto metodológico, son las subcategorías de tierras y absorciones, puesto que estos sectores son de gran relevancia para muchas entidades federativas y se reconoce el potencial de mitigación de las absorciones y el efecto que puede tener en la estimación de presupuesto de carbono. No obstante, de acuerdo con las últimas estimaciones del Inventario Nacional no es posible crear una proporción consistente en estas subcategorías, ya que todavía no se han estimado dichos valores para el país. Esto significa que las estimaciones de las proporciones de asignación de los estados están en función de las emisiones totales brutas y no de las netas, es decir, solo se considera la parte de generación de emisiones y no se incluyen los sumideros de carbono.

Al asegurar que se han llevado todas las estimaciones de presupuesto de carbono adecuadamente, un elemento fundamental es socializar la metodología y los resultados preliminares con las correspondientes personas tomadoras de decisiones subnacionales y otros actores relevantes como integrantes de la academia, ONGs y sector privado. Dicho ejercicio permite una constante retroalimentación con respecto a la apropiación de la metodología por parte de las personas tomadoras de decisión, lo cual tiene como beneficio alcanzar mayor precisión en los resultados y metas de mitigación. Asimismo, la socialización con actores estatales diferentes a los puntos de enlace técnicos y de gestión promueve un mejor entendimiento de la emergencia climática y el papel del estado para poder apoyar en la mitigación del cambio climático.

# Elaboración de rutas de descarbonización para el sector eléctrico

PASO 4

**Tabla 8:** Resumen de elaboración de ruta de descarbonización del sector eléctrico.

| Insumos necesarios | Elementos más importantes | Actores involucrados | Resultados parciales |
|---|---|---|---|
| Diagnóstico eléctrico del territorio subnacional, capacidad instalada para generación eléctrica, potencial de generación distribuida y catálogo de medidas. | Elaboración del catálogo de medidas según el contexto subnacional, así como factibilidad financiera y política de las medidas de mitigación. | Desarrolladores de presupuesto de carbono, personas tomadoras de decisión del sector público, miembros de la academia, ONGs y sector privado. | Ruta de descarbonización del sector eléctrico subnacional. |

## 4.1: Diagnóstico eléctrico del territorio subnacional.

Previo a elaborar el catálogo de medidas de mitigación del sector consumo eléctrico, es importante elaborar un diagnóstico eléctrico de la entidad federativa. Es muy importante conocer la caracterización de la demanda eléctrica en los últimos diez años, así como la infraestructura actual disponible en el territorio para la generación de energía eléctrica y su potencial de generación distribuida.

La caracterización de la demanda eléctrica hace referencia al desglose de consumo eléctrico en un periodo de tiempo específico. El análisis histórico del consumo eléctrico permite identificar actividades intensivas energéticamente, así como también los actores responsables de tales consumos.

La metodología sugerida para llevar a cabo la caracterización de la demanda consiste en los siguientes pasos:

I) Recopilar información relacionada con la entidad federativa en cuestión relacionada con el consumo eléctrico a través del portal de Datos Abiertos de la Comisión Federal de Electricidad.

II) Seleccionar los siguientes dos documentos: Usuarios y consumo de electricidad por municipio (2010-2017) y Usuarios y consumo de electricidad por municipio (a partir de 2018). En ambos documentos se presenta la información referente al consumo de electricidad por tipo de tarifa y depende de las actualizaciones conforme pase el tiempo.

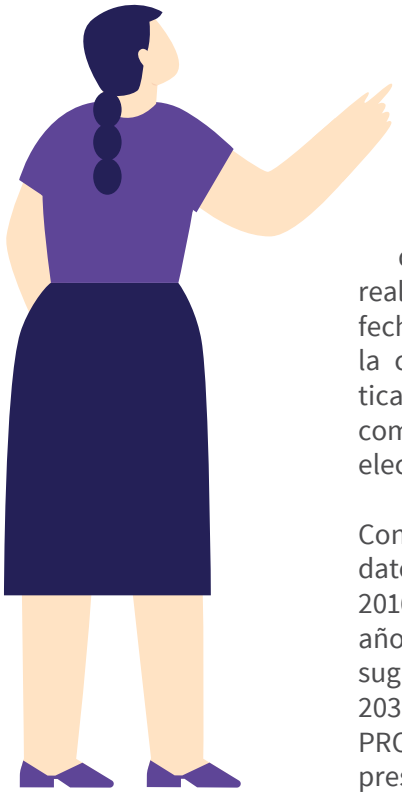
III) Identificar las tarifas por municipio del estado de acuerdo con los documentos mencionados en el paso 2.

IV) Después de identificar las tarifas, se realiza un tratamiento de datos para obtener el consumo total eléctrico para cada año a nivel estatal.

V) Al obtener la información a nivel estatal, se agrupan las tarifas correspondientes a cada uno de los sectores: residencial, comercial y servicios, industrial, público y agrícola.

VI) Finalmente, después de la agrupación por tarifas, se calcula el consumo de electricidad por sector en kWh para el periodo 2010 hasta el año en curso.

## 4.2: Identificación de la capacidad instalada para la generación eléctrica.



Para realizar la identificación de capacidad instalada de generación eléctrica para una entidad federativa, primero se realiza una recopilación de información de las centrales eléctricas del estado disponible en la plataforma Datos Abiertos de la Comisión Reguladora de Energía (CRE), donde se busca los permisos de generación emitidos por la CRE para cada una de ellas. A partir de dichos documentos es posible realizar un compendio con los datos referentes a la fecha de entrada en operación de la central eléctrica, la capacidad instalada (MW), la generación energética anual permitida (MWh), la tecnología utilizada, así como el combustible empleado para la generación de electricidad.

Con la intención de extraer información referente a los datos de generación anual real (MWh) para los años 2016 y 2017 para todas las centrales operativas en esos años dentro del territorio de la entidad federativa se sugiere consultar los documentos PRODESEN 2017 – 2031 y PRODESEN 2018 – 2032. Considerando que el PRODESEN 2019 – 2033 y PRODESEN 2020 – 2034 no presentan información de generación anual real, esta información deberá ser aproximada. Dicha aproximación puede realizarse a partir del promedio de la generación anual real de las centrales operativas en 2016 y 2017, siempre y cuando se considere como límite superior la generación anual permitida por el permiso de generación de la CRE.

Particularmente, para las centrales cuya fecha de entrada en operación estaba entre los años 2018 y 2019 se sugiere considerar el permiso de generación anual establecido por la CRE. Para el caso de las centrales operadas con recursos renovables, se puede realizar una ponderación en función de la fecha de entrada. Por ejemplo, si la central renovable entró en operación en julio de 2018, en ese año se debe considerar la mitad de la energía estimada, mientras que para el año 2019 se debe contemplar toda la generación anual estimada. Para aquellas centrales cuya fecha de entrada en operación es previa al año 2018 y que no fueron incluidas en los documentos PRODESEN 2017 – 2031 y PRODESEN 2018 – 2032, se deberá suponer una generación anual equivalente a la indicada por el permiso de generación de la CRE.

## 4.3: Estimación del potencial de generación distribuida.

Previo a las estimaciones de las medidas de mitigación de generación distribuida (GD), es importante también realizar una estimación del potencial de generación distribuida en la entidad federativa. Este análisis de potencial de GD en el estado se basa en el atractivo económico que tendría un sistema fotovoltaico de generación distribuida (SFVGD) para un usuario, es decir, si el sistema le representará ahorros en el gasto por su consumo de electricidad.

En primer lugar, se debe realizar una comparación del precio promedio de la electricidad en cada una de las tarifas (residencial, comercial, industrial, agrícola y ser-

vicios) contra el precio promedio de los sistemas fotovoltaicos en pesos por kWh. Aquellas tarifas anuales que resulten mayores o iguales al costo del sistema fotovoltaico clasificarán como atractivas para el análisis.

Posteriormente, se debe obtener el número de usuarios en cada una de las tarifas atractivas. Todos ellos fueron considerados como usuarios pre-potenciales, es decir, usuarios a los cuáles les podría resultar atractivo instalar SFVGD para reducir su gasto por consumo de energía eléctrica. Sin embargo, para obtener el número real de usuarios potenciales es necesario retirar el número de usuarios que cuenten actualmente con SFVGD.

Para ello es necesario obtener el número de contratos de SFVGD funcionando en el estado, así como también se requiere de una clasificación de contratos de acuerdo con la capacidad instalada. Los contratos de hasta 10 kW se consideran como residenciales, los que tengan una capacidad instalada de hasta 100 kW se clasifican como comerciales, mientras que los que tengan hasta 500 kW serán clasificados como contratos industriales. A partir de dicha clasificación es posible restar el número de contratos al número de usuarios pre-potenciales, lo cual resultará en el número de usuarios potenciales por sector.

Con el objetivo de calcular la capacidad promedio de un SFVGD por sector, se deberá sumar el total de la capacidad instalada (kW) de todos los contratos por sector y después se dividirá el valor resultante entre el número de contratos del sector. Como resultado se obtiene la capacidad promedio de un SFVGD en kW por sistema. Finalmente, se calcula el potencial de instalación de GD (kW) multiplicando el número de usuarios potenciales de cada sector por la capacidad promedio de un SFVGD en dicho sector.

Como consideraciones para la estimación del potencial de GD en el estado es importante reconocer que los usuarios potenciales podrían no tener capacidad para la instalación de los SFVGD al no ser propietarios del edificio, azotea o terreno identificado. Aunado a lo anterior, no existe una división clara que permita la clasificación de usuarios con tarifas en el sector residencial, comercial e industrial. De hecho, es posible que algunos usuarios comerciales cuenten con tarifas industriales o residenciales. Asimismo, no existe una división clara que permita clasificar los SFVGD ya existentes de acuerdo con su capacidad en los sectores residencial, comercial o industrial. Es posible que algunos sistemas residenciales sean más grandes que sistemas comerciales, así como algunos sistemas comerciales pueden ser incluso más grandes que los industriales.

**Nota importante**:

Es fundamental recordar que después de realizar el diagnóstico del sector eléctrico del estado, un siguiente paso es socializar y comunicar los resultados con las personas tomadoras de decisión a nivel estatal, para que exista una retroalimentación sobre las bases de datos utilizadas y así poder validar la información obtenida.

## 4.4: Elaboración del catálogo de medidas de mitigación.

Una vez realizado el diagnóstico del sector eléctrico y socializados los resultados con las personas tomadoras de decisión a nivel estatal, la siguiente actividad es generar el catálogo de medidas para elaborar la ruta de descarbonización del sector eléctrico del estado.

Para esto, en ICM se ha generado una serie de medidas con el propósito de acelerar en el corto plazo la transición energética en los territorios estatales. Considerando las características principales y homologadas de los sectores público, residencial, industrial y comercial, se han identificado medidas generales de alto impacto que facilitan la descarbonización del sector eléctrico, independiente del gobierno subnacional. La consideración del catálogo de medidas desarrollado por ICM contribuye de manera práctica y significativa a la mitigación de GEI estatal.

No obstante, este es solo un punto de partida a partir del cual deberá realizarse una evaluación contextualizada de las medidas por parte de las personas tomadoras de decisión para validar la relevancia de estas, considerar adaptaciones o incluso la implementación de medidas adicionales o distintas a las presentadas como parte del proceso de descarbonización, puesto cada caso deberá considerarse de manera particular.

A continuación, se presenta el compendio de medidas que podrían implementarse en primera instancia en los gobiernos locales.

**Tabla 9:** Categorías consideradas por la ruta corta, así como las respectivas medidas de mitigación para la descarbonización del sector eléctrico a nivel subnacional

| Categoría | Descripción | Sector | Medida |
|---|---|---|---|
| Eficiencia Energética | Disminución de la intensidad energética | Público | -Sustitución de focos LED en Edificios Públicos<br>-Sustitución de luminarias en Servicio Público |
| | | Industrial | -Sustitución de motores<br>-Uso de ASD<br>-Eliminación de fugas en aire comprimido<br>-Refrigeradores eficientes<br>-Sustitución de focos LED<br>-Control de demanda |
| | | Comercial | -Sustitución de focos LED<br>-Aire Acondicionado<br>-Control de demanda |
| | | Residencial | -Cambio de refrigeradores eficientes<br>-Cambio de aires acondicionados<br>-Calentadores solares para agua caliente |

| Categoría | Descripción | Sector | Medida |
|---|---|---|---|
| Generación Distribuida | Introducción de tecnología solar fotovoltaica a pequeña escala interconectada a un circuito de distribución que posibilita la interconexión con la red eléctrica | Público | -Generación Distribuida en Edificios Públicos |
| | | Industrial | -Generación Distribuida en Edificaciones Industriales |
| | | Comercial | -Generación Distribuida en Edificaciones Comerciales |
| | | Residencial | -Generación Distribuida en Viviendas Residenciales |
| Usuario Calificado | Registro de edificios ante la CRE a través del esquema de suministradores calificados con tarifas verdes, que certifican un mayor consumo de energías renovables en la matriz del consumidor. | Público | -Registro de Edificios Públicos y Puntos de Carga como Usuario Calificado |

En esta etapa del análisis, debe de existir una comunicación constante con las personas tomadoras de decisión a nivel estatal, ya que es necesario conocer las facturas del servicio eléctrico del estado para poder estimar con la mejor precisión posible los potenciales de mitigación y las reducciones que pudieran existir en el consumo eléctrico (particularmente en el sector público).

## 4.5: Factibilidad financiera y política de las medidas de mitigación.

Ahora bien, ya que se conoce el potencial de mitigación de las medidas, un paso fundamental es conocer si las medidas planteadas son política y financieramente factibles para ser implementadas en el estado. Para conocer si las medidas sugeridas son factibles, se sugiere realizar los siguientes análisis:

**Figura 6:** Factibilidad financiera y política de las medidas de mitigación

### GENERAR SUPUESTOS

Antes de llevar a cabo el análisis costo-beneficio, se deben generar todos los supuestos necesarios para lograr una estimación precisa del beneficio económico de cada medida. Algunos ejemplos de variables son: inflación, tarifas, inversión inicial de la medida, el horizonte de la inversión, entre otras.

### FACTIBILIDAD ENCONÓMICA

Aquí es importante llevar a cabo un análisis de costo-beneficio para conocer si son factibles financietamente las medidas propuestas. Un elemento importante a considerar es que cada medida tiene diferentes horizontes de tiempos en donde se recupera la inversión, y se empiezan a generar beneficios económicos. Esto principalmente con las medidas del sector público.

### FACTIBILIDAD POLÍTICA

En esta sección se retoma el análisis realizado sobre el marco jurídico de la entidad federativa analizada y se revisa si las medidas propuestas van alineadas con las líneas de acción de los instrumentos de planeación del estado.

**Nota importante**:

Después de realizar el análisis de cada medida sobre su potencial de mitigación, beneficios económicos y factibilidad política, se debe de comunicar con las contrapartes estatales los resultados para que estos puedan ser retroalimentados e informar si de alguna forma estos ya están siendo implementados en el estado o se encuentra en planes de ser implementado.

# Elaborar de manera transversal la estrategia de comunicación

**Tabla 10:** Resumen de elaboración de estrategia de comunicación

| Insumos necesarios | Elementos más importantes | Actores involucrados | Resultados parciales |
|---|---|---|---|
| Contenido para hoja técnica de divulgación, infografías y mensaje para redes sociales. | Definición de objetivo de estrategia de comunicación, público meta y mensajes claves para difusión. | Desarrolladores de presupuesto de carbono y personas tomadoras de decisión del sector público. | Estrategia de comunicación transversal. |

Dentro del trabajo realizado en los pasos 3 y 4, un paso transversal en todo el proyecto es construir la estrategia de comunicación en conjunto con las entidades federativas. Antes de avanzar con los diferentes productos de la estrategia de comunicación es importante determinar los siguientes elementos para tener una difusión exitosa:

I) Definir el objetivo de cada instrumento de comunicación, ya sea esta una hoja técnica de divulgación, una infografía o un mensaje para una red social.

II) Definir el público objetivo. Por ejemplo, para una hoja técnica de divulgación, generalmente la audiencia es para los equipos técnicos con los que se trabaja en conjunto en las entidades federativas. Para una infografía, el mensaje tiene que estar dirigido a la población en general al igual que los mensajes de redes sociales.

III) Definir los mensajes clave que se pretenden difundir. En este apartado es importante llegar a un acuerdo con las personas tomadoras de decisión subnacionales, ya que mucha de la información generada en este tipo de ejercicios es de carácter técnico. Sin embargo, no se debe de perder de vista que la audiencia debe de entender la urgencia y la ambición que debe de existir en las acciones de mitigación de cambio climático para cumplir con el presupuesto de carbono.

PASO 5

# 3. COMENTARIOS FINALES

El presupuesto de carbono del sector eléctrico se utiliza para definir las metas de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en línea con los objetivos internacionales, la política energética y climática a nivel nacional y subnacional. Asimismo, el presupuesto de carbono funciona como un indicador para evaluar el cumplimiento de dichas metas.

Como se mencionó anteriormente, la estimación del presupuesto de carbono a nivel global y en Latinoamérica es un ejercicio sumamente innovador, por lo que este Manual busca objetivo permitir la replicabilidad de la metodología a través de una síntesis de lecciones aprendidas. El alcance de este manual está enfocado en la estabilización de la temperatura en 1.5°C con un pico de emisiones en 2020, así como una modelación de neutralidad de carbono durante el 2060-2061 en línea con los modelos AIM/CGE_SSP2-1.9, REMIND-MAgPIE_SSP1-1.9 y REMIND-MAgPIE_SSP2-1.9 del IPCC. No obstante, la aceleración de la descarbonización del sector eléctrico dependerá del diseño de la ruta de descarbonización contextualizada a las características subnacionales. Por otra parte, es importante recalcar que en este trabajo las rutas de descarbonización asociadas al presupuesto de carbono se enfocaron en el sector eléctrico de una entidad subnacional.

Otro aspecto importante que considerar en un ejercicio a futuro es la viabilidad jurídica de la implementación y vinculación del presupuesto de carbono. En el marco jurídico se establece que la Federación, las entidades federativas y los municipios tienen facultades concurrentes en materia de protección al medio ambiente y de preservación y restauración del equilibrio ecológico; por lo que esto se traduce a que las entidades federativas pueden instrumentar políticas públicas que se traduzcan en medidas para la descarbonización del sector eléctrico.

Por lo tanto, si bien la normatividad federal no contempla de manera expresa los presupuestos de carbono vinculantes, no hay limitación alguna para que las entidades federativas establezcan en sus leyes locales este tipo de medidas, pues no se contraviene lo establecido en las leyes generales expedidas por el Congreso de la Unión.

Para asegurar la creación, desarrollo y obligatoriedad de un presupuesto de carbono con un alcance transexenal, se recomienda establecer sus bases en la Ley de Cambio Climático de la entidad subnacional en donde se esté realizando la estimación. Los inventarios estatales deberán ser realizados de manera anual y se sugiere utilizar la metodología propuesta por el Banco Mundial y el Instituto de Recursos Mundiales (WRI) para el diseño de programas obligatorios de notificación de gases de efecto invernadero. Finalmente, resulta clave promover una economía con emisiones netas negativas a partir de la continuación de las medidas de mitigación a largo plazo.

Es importante que las entidades subnacionales y las personas involucradas en la elaboración de las estimaciones de presupuesto de carbono, metas de mitigación y rutas de descarbonización tomen en cuenta cada uno de los aspectos expuestos en este manual. De esta manera, las entidades federativas podrán elaborar planes climáticos alineados a los objetivos del Acuerdo de París y a los avances científicos actuales. Solo a partir de la implementación de marcos jurídicos que consideren los desarrollos metodológicos climáticos será posible crear líneas de acción que puedan alcanzar una trayectoria de emisiones que logre mantener la temperatura en 1.5°C y así los estados puedan conseguir las cero emisiones netas a mitad de este siglo.

Finalmente, para darle mayor exposición al tema y lograr una participación integral en la sociedad, resulta clave el poder difundir el concepto de presupuesto de carbono en diferentes canales de comunicación, así como también en formatos y lenguajes atractivos para los diferentes sectores de la población. Esto con el objetivo de aumentar la recepción por parte de la comunidad y de enfatizar la necesidad de contar con metas climáticas ambiciosas que vayan de la mano con la adopción costo-efectiva de medidas de mitigación.

# 4. REFERENCIAS


**Diario Oficial de la Federación. (2012).** Ley General de Cambio Climático.

**Du Pont, Y. R., Jeffery, M. L., Gütschow, J., Rogelj, J., Christoff, P., & Meinshausen, M. (2017).** Equitable mitigation to achieve the Paris Agreement goals. *Nature Climate Change*, *7*(1), 38-43.

**Gidden, M. J., Riahi, K., Smith, S. J., Fujimori, S., Luderer, G., Kriegler, E., ... & Takahashi, K. (2019).** Global emissions pathways under different socioeconomic scenarios for use in CMIP6: a dataset of harmonized emissions trajectories through the end of the century. *Geoscientific model development*, *12*(4), 1443-1475.

**Gignac, R., & Matthews, H. D. (2015).** Allocating a 2 C cumulative carbon budget to countries. *Environmental Research Letters*, *10*(7), 075004.

**Grubler, A., & Nakicenovic, N. (1996).** Decarbonizing the global energy system. *Technological Forecasting and Social Change*, *53*(1), 97-110.

**IIASA. (2018).** "SSP Public Database: Version 2.0", International Institute for Applied System Analysis, viewed 23 September 2019, [Online] Available from: <https://tntcat.iiasa.ac.at/SspDb/ dsd?Action=htmlpage&page=10>

**IPCC (2014).** Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

**MacDougall, A. H. (2016).** "The transient response to cumulative CO2 emissions: a review". Current Climate Change Reports, 2(1), 39–47.

**Matthews, H. D., Gillett, N. P., Stott, P. A., & Zickfeld, K. (2009).** The proportionality of global warming to cumulative carbon emissions. *Nature*, *459*(7248), 829-832.

**Millar, R. J., Fuglestvedt, J. S., Friedlingstein, P., Rogelj, J., Grubb, M. J., Matthews, H. D., ... & Allen, M. R. (2017).** Emission budgets and pathways consistent with limiting warming to 1.5 C. *Nature Geoscience*, *10*(10), 741-747.

**Ramones F., Sierra L., Chacón D., Palacios R.. (2019).** Presupuestos de Carbono: Una oportunidad para ampliar la ambición climática del sector eléctrico. Ciudad de México

**Riahi, K., Dentener, F., Gielen, D., Grubler, A., Jewell, J., Klimont, Z., ... & van Ruijven, B. (2012).** Energy pathways for sustainable development.

**Rogelj, J., Geden, O., Cowie, A., & Reisinger, A. (2021).** Net-zero emissions targets are vague: three ways to fix.

**Rogelj, J., D. Shindell, K. Jiang, S. Fifita, P. Forster, V. Ginzburg, C. Handa, H. Kheshgi, S. Kobayashi, E. Kriegler, L. Mundaca, R. Séférian, & M.V.Vilariño. (2018).** "Mitigation Pathways Compatible with 1.5°C in the Context of Sustainable Development. In: Global Warming of 1.5°C. An 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". [Masson–Delmotte, V., P. Zhai, H.- O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. In Press.

**Rogelj, J., Forster, P. M., Kriegler, E., Smith, C. J., & Séférian, R. (2019).** "Estimating and tracking the remaining carbon budget for stringent climate targets". Nature, 571(7765), 335–342.

**Rogelj, J., Popp, A., Calvin, K. V., Luderer, G., Emmerling, J., Gernaat, D., ... & Tavoni, M. (2018).** Scenarios towards limiting global mean temperature increase below 1.5 C. *Nature Climate Change*, *8*(4), 325-332.

**Rogelj, J., Geden, O., Cowie, A., & Reisinger, A. (2021).** Net-zero emissions targets are vague: three ways to fix.

**Sierra Brozon, L., Jano Ito, M., Olea Tinoco, F., Ruiz Vilar, A., Islas Cortés, I. (2020).** "National Carbon Budget for Mexico and 2030 Decarbonisation Pathways" Mexico City

**Solomon, S., Plattner, G. K., Knutti, R., & Friedlingstein, P. (2009).** "Irreversible climate change due to carbon dioxide emissions". Proceedings of the national academy of sciences, 106(6), 1704–1709.