

Desarrollo e implementación de **PRESUPUESTOS DE CARBONO Y RUTAS DE DESCARBONIZACIÓN** para la acción climática en el sector eléctrico de Jalisco



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), y en coordinación con la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial (SEMADET) del estado de Jalisco. 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

Desarrollo e implementación de Presupuestos de Carbono y Rutas de Descarbonización para la acción climática en el sector eléctrico de Jalisco, 2021.

Supervisión y coordinación

Dahely Castelán, Quentin Bayart, Juan Carlos Mendoza y Felipe Borja

Elaboración

Melissa Chavana, Fernando Ramones y Mariano Birlain

Diseño

Laguna

www.lagunadentro.com

Maquetación

Cosntanza Miranda Ruiz

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, Camila Ramírez Rea, Arturo Palero, Ana Ortega, Mónica Lazcano, Sofía Hernández, al equipo de trabajo de la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial, Carolina Zatarain de la Secretaría de Desarrollo Económico y Claudia Correa, Naomi Aguirre de la Agencia de Energía del Estado de Jalisco.

DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE

PRESUPUESTOS DE CARBONO Y RUTAS DE DESCARBONIZACIÓN

PARA LA ACCIÓN CLIMÁTICA EN EL SECTOR
ELÉCTRICO DE JALISCO

ÍNDICE

Resumen Ejecutivo	9
1. Introducción	11
2. Definición de los conceptos relevantes	13
3. Experiencias internacionales en presupuestos de carbono y rutas de descarbonización a nivel subnacional	15
3.1. Experiencias internacionales en presupuesto de carbono	15
3.2. Lecciones aprendidas: presupuestos de carbono	17
3.3. Experiencias internacionales en rutas de descarbonización	18
3.4. Lecciones aprendidas: rutas de descarbonización nacionales y subnacionales	21
4. Marco legal y estratégico en materia energía-clima	23
4.1. Ley para la Acción ante el Cambio Climático del Estado de Jalisco (LACCEJ)	23
4.2. Ley Orgánica de la Agencia de Energía del Estado de Jalisco (LOAEEJ)	24
4.3. Ley para el Desarrollo Económico del Estado de Jalisco (LDEEJ)	24
4.4. Reglamento de la Ley para la Acción ante el Cambio Climático del Estado de Jalisco (RLACC)	24
4.5. Plan Estatal de Gobernanza y Desarrollo de Jalisco 2018-2024 (PEGD)	25
4.6. Estrategia Estatal de Cambio Climático de Jalisco visión 2024—2030—2050	26
4.7. Comisión Interinstitucional para la Acción ante el Cambio Climático en el Estado de Jalisco (CICC)	26
4.8. Guía para la Elaboración o Actualización de los Programas Municipales de Cambio Climático del Estado de Jalisco (GPMCC)	27
4.9. Actualización del Inventario Estatal de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero de Jalisco (IEEGYCEIJ)	27
4.10. Plan de Acción Climática del Área Metropolitana de Guadalajara (PACmetro)	28
5. Metodología	29
6. Resultados	33
6.1. Presupuesto de carbono y metas de mitigación del sector eléctrico	33
6.2. Ruta de descarbonización para el sector eléctrico	34
7. Recomendaciones	51
7.1. Realizar programas de difusión y sensibilización continuos	51
7.2. Implementar un sistema de monitoreo, reporte y verificación	51
7.3. Fortalecer el marco jurídico para una Política de Presupuesto de Carbono	52
7.4. Recuperar el desarrollo de la economía posterior a la pandemia de COVID19	52
8. Conclusiones	55
9. Referencias	57

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Presupuesto de carbono del Reino Unido	19
Tabla 3: Capacidad instalada de energía eléctrica por Tecnología.	34
Tabla 4: Potencial de mitigación de medidas de eficiencia energética en el sector público.	36
Tabla 5: Potencial de mitigación de medidas de eficiencia energética en el sector público.	37
Tabla 6: Potencial de mitigación de medidas de usuario calificado en el estado de Jalisco.	38
Tabla 7: Potencial de mitigación de medidas de generación distribuida en el sector público.	38
Tabla 8: Potencial de mitigación de medidas de eficiencia energética en el sector industrial por sustitución de motores eficientes.	39
Tabla 9: Potencial de mitigación de medidas de eficiencia energética en el sector industrial por implementación de ASD.	40
Tabla 10: Potencial de mitigación de medidas de eficiencia energética en el sector industrial por sustitución de refrigeradores eficientes.	40
Tabla 11: Potencial de mitigación de medidas de eficiencia energética en el sector industrial por eliminación de fugas en aire comprimido.	41
Tabla 12: Potencial de mitigación de medidas de eficiencia energética en el sector industrial por sustitución de focos LED.	41
Tabla 13: Potencial de mitigación de medidas de eficiencia energética en el sector industrial por implementación de aparatos para control de demanda.	42
Tabla 14: Potencial de mitigación de medidas de eficiencia energética en el sector industrial por implementación de ASD.	42
Tabla 15: Potencial de mitigación de medidas de eficiencia energética en el sector comercial por sustitución de aires acondicionados.	43
Tabla 16: Potencial de mitigación de medidas de eficiencia energética en el sector comercial por sustitución de focos ahorradores LED.	44
Tabla 17: Potencial de mitigación de medidas de eficiencia energética en el sector comercial por la instalación de aparatos para control de demanda.	44
Tabla 18: Potencial de mitigación de generación distribuida en sector comercial.	45
Tabla 19: Potencial de mitigación por medio de la sustitución de calentadores solares en el sector residencial.	46
Tabla 20: Potencial de mitigación por medio de la sustitución de refrigeradores de más de 10 años en el sector residencial.	47
Tabla 21: Potencial de mitigación por medio de la sustitución de aires acondicionados de más de 10 años en sector residencial.	47
Tabla 22: Potencial de mitigación por medio de la generación distribuida en el sector residencial.	48
Tabla 23: Resumen del catálogo de medidas de mitigación para el estado de Jalisco	50

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Trayectoria del estado de Jalisco para alcanzar una tmg de 1.5°C	30
Figura 2: Propuesta de metas de mitigación del estado para el periodo 2020-2050 para mantener la TMG en 1.5°C	31
Figura 3: Resumen de metodología de cálculo del presupuesto de carbono para el sector eléctrico desarrollado por ICM.	32
Figura 4: Propuesta de metas de mitigación del sector eléctrico estatal para el periodo 2020-2050 para mantener la TMG en 1.5°C.	33
Figura 5: Consumo de energía eléctrica en 2019 en el estado de Jalisco.	34
Figura 6: Potencial de mitigación para el estado de Jalisco.	49

RESUMEN EJECUTIVO

Desde 2019, el 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* trabaja con el objetivo principal de brindar elementos metodológicos y de asesoría jurídica para la maduración e implementación de estos dos conceptos. Este reporte engloba un análisis de las estimaciones subnacionales de presupuesto de carbono y las rutas de descarbonización del sector eléctrico de Jalisco, además de sintetizar casos de estudio internacionales que podrían inspirar medidas y políticas públicas de mitigación de cambio climático. Simultáneamente, presenta la revisión de los instrumentos de planeación, normativas e inventarios de gases de efecto invernadero que posee el estado de Jalisco, así como la relación que éstos tienen con instrumentos nacionales y acuerdos internacionales.

De acuerdo con la estimación de presupuesto de carbono, se proponen también metas de mitigación para el sector eléctrico de Jalisco para los años 2030, 2040, 2050 y 2060 hasta lograr alcanzar su descarbonización total. Se identificó que al sector eléctrico del estado de Jalisco le corresponde un presupuesto de carbono de 112.61 MtCO₂e para el período 2019-2100, alineado a un incremento de la temperatura media global en 1.5°C. De igual manera, se encontró que el límite de emisiones que el estado debe de procurar para los años 2024, 2030 y 2050 corresponde a 6.38, 5.42 y 1.86 MtCO₂e, respectivamente. De no mitigar sus emisiones, la tendencia actual llevaría a que el sector eléctrico en Jalisco agote su presupuesto asignado en el año 2031, generando un total acumulado de 470.51 MtCO₂e para el año 2060.

Previo a la elaboración de la ruta de descarbonización eléctrica de Jalisco se realizó un diagnóstico de infraestructura de generación, consumo eléctrico, potencial de energías renovables, así como un análisis del balance de energía estatal para la identificación de pérdidas generadas por la transformación y distribución. El diagnóstico del sector eléctrico realizado para el año 2019 indicó que el sector industrial fue responsable del 61% de la energía eléctrica consumida por Jalisco, seguido por el sector residencial con 23%, el sector comercial con 9% y el sector público con 2%.

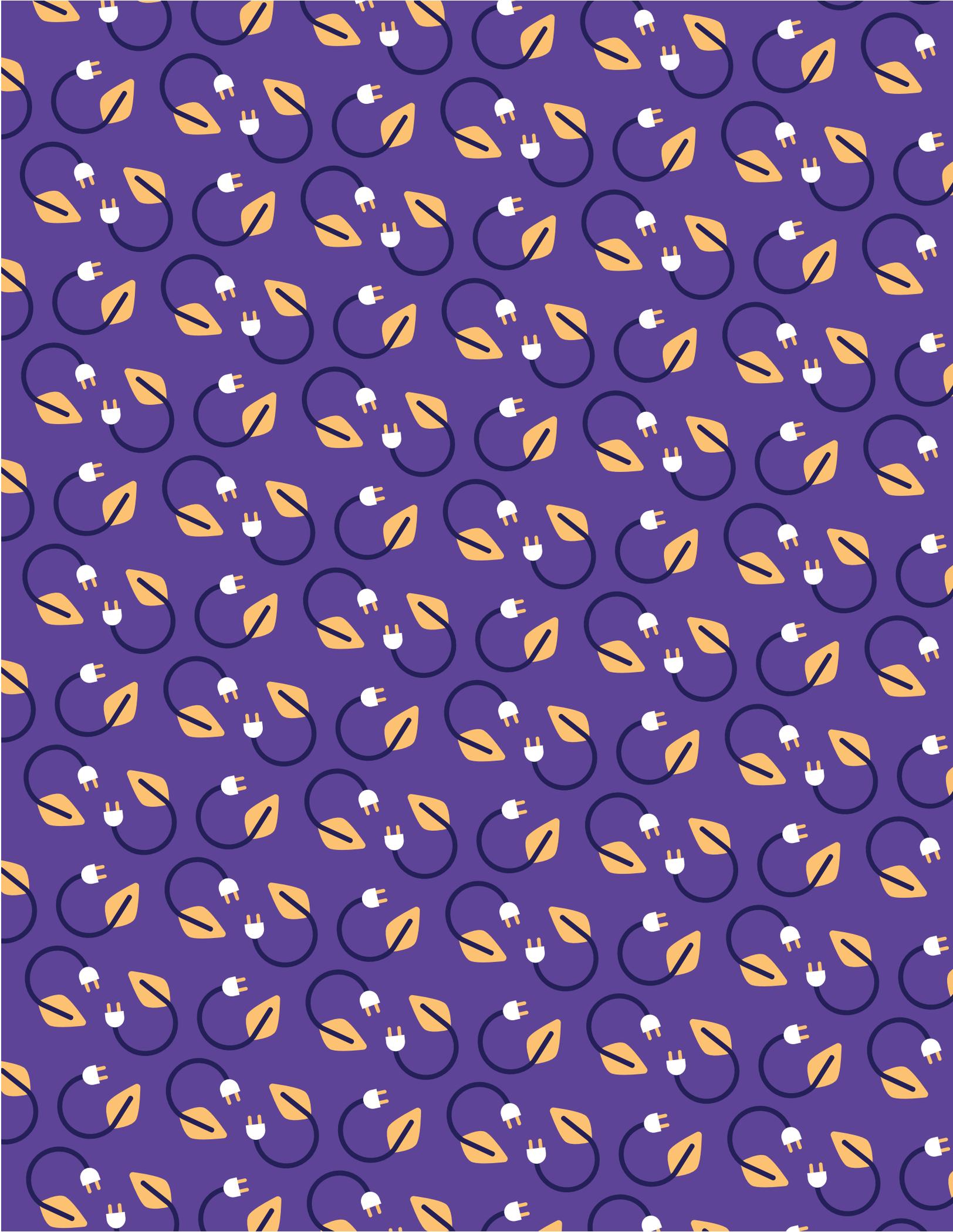
A partir de la detección de los sectores con mayor consumo eléctrico, se propuso una ruta de descarbonización,

compuesta de un catálogo de 21 medidas de mitigación, que incluyen 19 medidas de eficiencia energética y la implementación de la generación distribuida con tecnología fotovoltaica en los sectores residencial, comercial e industrial; así como la capacidad del sector público de adquirir suministro eléctrico directamente del Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) mediante el registro de sus edificios ante la Comisión Reguladora de Energía (CRE), a través de un suministrador de servicios calificados (SSC) que ofrezca *tarifas verdes*, mediante las cuales se certifica un mayor suministro de energías limpias al consumidor.

Dichas medidas fueron contextualizadas para el estado de Jalisco, según las necesidades de cada uno de los sectores mencionados. Este proceso implicó estudios de factibilidad técnica y financiera para evaluar diferentes aspectos como lo son: el potencial de mitigación a mediano y largo plazo; el costo de inversión; el beneficio total de mitigación; así como la cuantificación de co-beneficios, traducidos en generación de empleos. Alineado a lo anterior, se realizaron talleres de sensibilización con diferentes actores clave de Jalisco para evaluar la factibilidad de la implementación del catálogo de medidas y fomentar el proceso participativo en el desarrollo de nuevos instrumentos públicos en materia de cambio climático.

La implementación de la ruta de descarbonización propuesta para el sector eléctrico de Jalisco permitiría alcanzar la descarbonización total del sector en el año 2040. Mientras que hacia el año 2060, el nivel de mitigación podría continuar a un ritmo de 20.54 MtCO₂e evitadas anualmente.

Finalmente, se presentan una serie de recomendaciones para la implementación de la Ruta de Descarbonización del sector eléctrico en Jalisco. Dentro de estas recomendaciones se encuentran el llevar a cabo programas de difusión y sensibilización continuos, con el objetivo de darle mayor exposición al tópico del cambio climático y lograr una participación integral en la sociedad en Jalisco; aplicar sistemas de monitoreo, reporte y verificación que garanticen la correcta implementación de las medidas de mitigación del sector eléctrico en el estado; fortalecer el marco jurídico estatal para que pueda adoptar una política de presupuesto de carbono y desarrollar programas que consideren la mitigación de emisiones como una propuesta de valor ante la recuperación económica post-COVID-19.



1. INTRODUCCIÓN

El Acuerdo de París para el cambio climático establece la necesidad de “(...) mantener el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de 2°C con respecto a los niveles preindustriales, y continuar con los esfuerzos para limitar ese aumento de la temperatura a 1.5°C” (UNFCCC, 2015). En consecuencia, el Estado Mexicano se comprometió a reducir de manera no condicionada el 22% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) para el 2030 con respecto a las emisiones de un escenario de línea base a través de sus Contribuciones Nacionalmente Determinadas (NDC, por sus siglas en inglés), considerando una serie de medidas con potenciales de mitigación específicos.

Sin embargo, el agregado mundial de las NDC vigentes es insuficiente para cumplir el objetivo menos ambicioso de 2°C del Acuerdo de París (Roelfsema *et al.* 2020, UNFCCC 2021). Al mismo tiempo, México necesitaría fortalecer de manera importante sus objetivos para que éstos se alineen a las metas de 2°C y 1.5°C (WRI, 2021). Lo anterior abre la puerta al diseño e instrumentación de acciones más ambiciosas por parte de las administraciones mexicanas en los distintos niveles de gobierno.

En 2019, el proyecto *Convergencia de la Política Energética y de Cambio Climático en México* (CONECC), de la Cooperación Alemana al Desarrollo Sustentable en México (GIZ), brindó acompañamiento técnico a la Iniciativa Climática de México (ICM) en el análisis y validación de una metodología para la estimación de presupuestos de carbono del sector eléctrico. El resultado de dicha cooperación fue el documento *Presupuestos de Carbono: Una Oportunidad para Ampliar la Ambición Climática del Sector Eléctrico*, que tuvo el objetivo de contribuir a los esfuerzos de planeación transversal que permitan alinear la política energética y climática del país con las metas internacionales. El documento presentó una primera estimación de presupuestos de carbono para México y para el sector eléctrico, alineado a una trayectoria que mantuviera la temperatura media global (TMG) por debajo de los 2°C y con algunos elementos para un escenario de 1.5°C (Ramones *et al.*, 2019).

Durante el 2019, en el marco de la Alianza de Gobernadores Mexicanos por el Clima, los Gobiernos Estatales se comprometieron a establecer compromisos realizables y estratégicos, para las siguientes acciones: 1) Conformar rutas estatales para la descarbonización congruentes con escenarios para limitar el aumento de la TMG a 1.5°C; 2)

Desarrollar e implementar Presupuestos de Carbono a nivel Estatal, alineados a dichas rutas; 3) Crear y consolidar alianzas estratégicas con los organismos de cooperación internacional y el sector privado; y 4) Fortalecer las capacidades de sus municipios y ciudades.

En línea con lo anterior, y considerando los avances de la política internacional, nacional y estatal, surge la necesidad de desarrollar un estudio contextualizado del estado de Jalisco en materia de presupuesto de carbono, descarbonización del sector eléctrico y de desarrollo de medidas factibles para favorecer la reducción de emisiones y avanzar hacia la transición energética de una manera costo eficiente, en línea con los esfuerzos sectoriales, y en concordancia con las últimas recomendaciones de la ciencia climática.

En este sentido, este documento presenta el concepto y metodología para el cálculo del presupuesto de carbono, los argumentos a favor del diseño de rutas de descarbonización como medida de mitigación sectorial, el cálculo del presupuesto de carbono para el estado de Jalisco, así como la ruta de descarbonización teórica para su sector eléctrico hasta el año 2050.

1.1. Estructura

En primera instancia se realiza una breve introducción hacia el concepto de presupuesto de carbono y la relación que existe entre el aumento de la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera y el incremento de la temperatura. En segunda, se analizan cuatro casos de estudio subnacionales a nivel internacional a partir de los cuales se ha estimado un presupuesto de carbono, a saber: Victoria, Australia; Järfälla, Suecia; Gran Manchester, Reino Unido; y Copenhague, Dinamarca. Esto con el fin de extrapolar las lecciones aprendidas por estas representaciones subnacionales, para el desarrollo de un presupuesto de carbono del estado de Jalisco.

En tercera instancia, se define el concepto de rutas de descarbonización del sector eléctrico y los elementos fundamentales que debe de tener una trayectoria de reducción de emisiones de carbono para este sector en el futuro. Asimismo, se exponen tres casos de estudio donde ya se han comenzado a desarrollar líneas de acción de descarbonización para el sector eléctrico (Reino Unido,

Londres y Alemania). Seguido por el análisis del contexto jurídico del estado de Jalisco para describir su estructura orgánica y las atribuciones de las entidades que conforman al Poder Ejecutivo para el desarrollo de su presupuesto de carbono.

Posteriormente, a partir de la metodología desarrollada por la Iniciativa Climática de México (ICM), se llevó a cabo el cálculo del presupuesto de carbono para el estado de Jalisco, así como la estimación de las metas de reducción de emisiones que deberán alcanzarse hacia los años 2030, 2040 y 2050 con el objetivo de alcanzar la neutralidad de

carbono a mitad de siglo. Dichas metas incluyen una propuesta detallada de rutas de descarbonización eléctrica para los sectores industrial, comercial, público y residencial de Jalisco. Cada una de estas medidas de mitigación presentan las características técnicas, los costos de implementación, los costos de mitigación y algunos co-beneficios relacionados. Finalmente, se presenta un análisis de las oportunidades estatales para concentrar la implementación de las diferentes medidas sectoriales y alcanzar la descarbonización del estado según las metas del presupuesto de carbono de Jalisco.

2. DEFINICIÓN DE LOS CONCEPTOS RELEVANTES

La ciencia climática de la última década ha demostrado en forma concluyente que el aumento de la temperatura media global (TMG) es prácticamente proporcional a la cantidad total de emisiones de carbono acumuladas en la atmósfera (MacDougall, Zickfeld, Knutti, y Matthews, 2015; Knutti y Rogelj, 2015). A partir de esta relación, es posible determinar la cantidad finita de emisiones de carbono que podrían ser liberadas a la atmósfera con el propósito de mantener el incremento de la TMG por debajo de los límites establecidos en el Acuerdo de París (Rogelj *et al.*, 2019). En este sentido, se puede definir a un presupuesto de carbono como “la cantidad total finita de CO₂ que puede ser emitida a la atmósfera, como consecuencia de las actividades humanas, para mantener el calentamiento global en un límite de temperatura deseado” (Rogelj *et al.*, 2019).

La metodología para definir un presupuesto de carbono está alineada con el quinto informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), en el que se esbozan las condiciones necesarias para mantener el aumento de la TMG por debajo de 1.5°C o 2°C (Ramonés *et al.*, 2019). Particularmente, los presupuestos de carbono para un límite de temperatura específico se calculan en función de cinco parámetros distintos: calentamiento antropogénico hasta la actualidad, emisiones históricas de CO₂, fracción antropogénica de emisiones diferentes a CO₂, el calentamiento no efectuado de las emisiones pasadas de CO₂ y la fracción de emisiones antropogénicas diferentes de CO₂ al momento de las emisiones netas (Matthews *et al.*, 2021). Sin embargo, el presupuesto de carbono se presenta convencionalmente en términos de emisiones de CO₂, ya que las propiedades físicas o químicas de otros GEI varían en función de su duración, además de provocar efectos de calentamiento diferentes y presentar grandes incertidumbres en su contabilidad (Davies *et al.*, 2017).

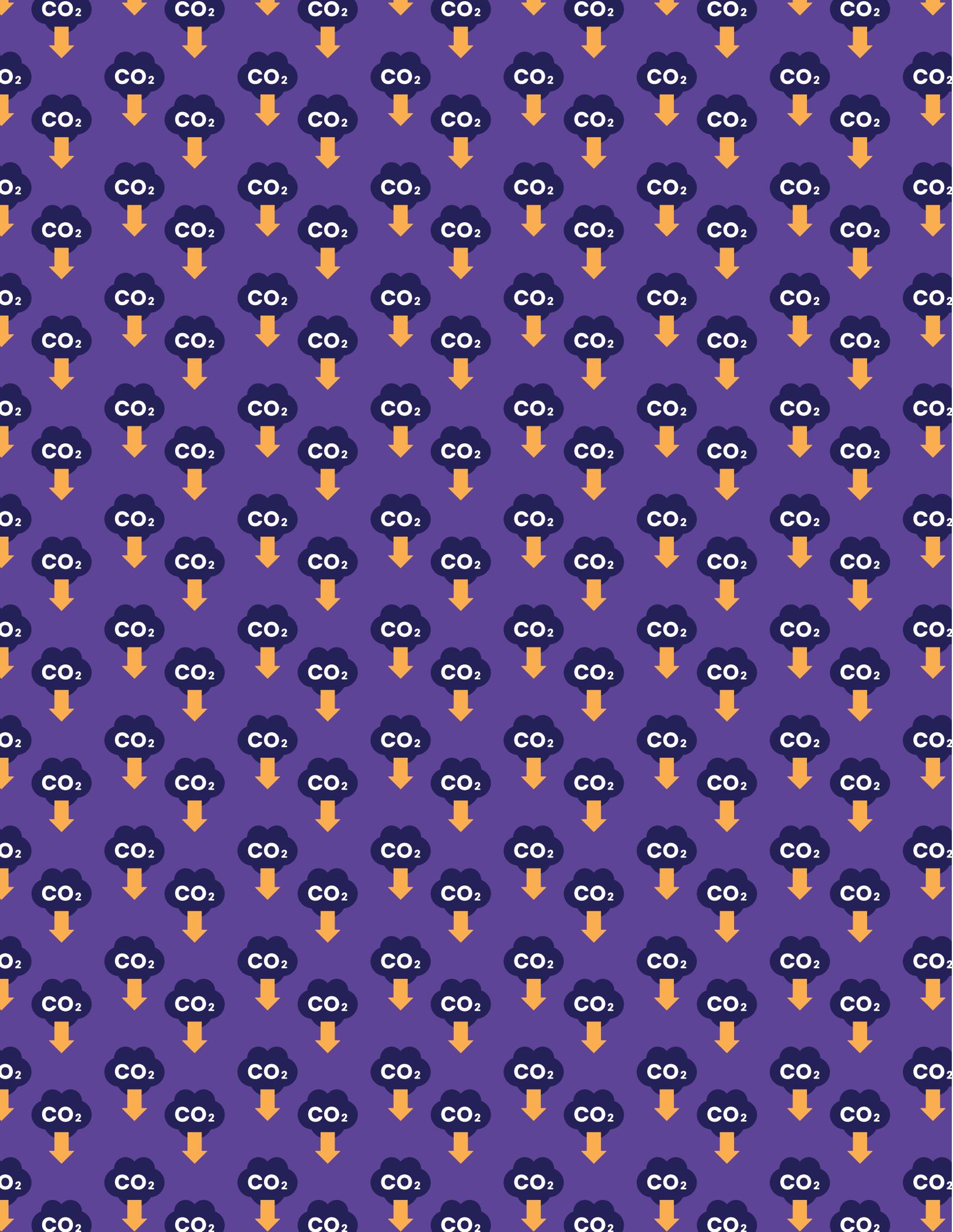
Esto también implica que, para limitar el aumento de la temperatura a cualquier nivel, las emisiones globales de CO₂ producidas por las actividades humanas deben ser reducidas a niveles netos igual a cero en algún momen-

to y, en promedio, permanecer dentro de estos niveles de ahí en adelante (Rogelj *et al.*, 2019). Desde el punto de vista del forzamiento radiativo¹, el calentamiento global adicional podría evitarse si las emisiones se detuvieran en la actualidad y podría invertirse si el CO₂ se retirara activamente de la atmósfera (Knutti y Rogelj, 2015). Por lo tanto, las rutas de descarbonización juegan un papel fundamental en el cumplimiento de los objetivos climáticos establecidos en el presupuesto de carbono de las naciones y las entidades subnacionales.

En relación con lo anterior, existen cuatro frentes en los cuales es imprescindible realizar acciones: descarbonización del sector eléctrico; electrificación masiva con energías limpias donde es posible realizar el cambio a combustibles fósiles bajos en carbono; lograr una mayor eficiencia y reducción de residuos en todos los sectores; así como mejoramiento de sumideros de carbono, tales como bosques, vegetación y suelo (Fay *et al.*, 2015).

Como se puede observar, de dichas acciones, tres recaen directamente sobre el sector eléctrico, por lo que una ruta de descarbonización del sector eléctrico es indispensable para evitar el incremento de la TMG. En este aspecto, una ruta de descarbonización para este sector se define como el conjunto de medidas de mitigación que permiten al sector eléctrico atenerse a un presupuesto de carbono en línea con las metas establecidas en el Acuerdo de París con una probabilidad por encima del 66% (AIER, 2017). Por este motivo, el presente documento se dirige exclusivamente al análisis del sector eléctrico. Algunos ejemplos de estas medidas pueden ser el uso de energías renovables para la generación de electricidad, mayor penetración de la generación distribuida, la implementación de medidas de eficiencia energética en los sectores comercial e industrial, entre otras. No obstante, dependiendo de la infraestructura del sistema eléctrico y el marco regulatorio, la penetración de tecnologías bajas en carbono puede ser acelerada o frenada significativamente, repercutiendo en el cumplimiento de los compromisos climáticos.

¹ Este concepto se refiere al cambio en el flujo total de energía radiativa hacia la superficie de la Tierra, medido en el borde superior de la troposfera (a unos 12,000 m sobre el nivel del mar) como resultado de cambios internos en la composición de la atmósfera, o cambios en el aporte externo de energía solar y se expresa en W/m². Un forzamiento radiativo positivo contribuye a calentar la superficie de la Tierra, mientras que uno negativo favorece su enfriamiento.



3. EXPERIENCIAS INTERNACIONALES EN PRESUPUESTOS DE CARBONO Y RUTAS DE DESCARBONIZACIÓN A NIVEL SUBNACIONAL

Considerando que el andamiaje del Acuerdo de París introduce los conceptos de contribuciones justas y equitativas, pero carece de indicaciones más concretas para la formulación de objetivos nacionales alineados a dichos principios, así como la falta de un consenso internacional referente al cálculo de presupuesto de carbono, resulta complejo evaluar si las determinaciones individuales de los países y regiones están alineadas a las metas de dicho Acuerdo. Lo anterior deja a los gobiernos nacionales y subnacionales frente a un amplio panorama de posibles decisiones metodológicas. A continuación, se presentan de manera puntual cuatro casos de estudio a nivel subnacional que han avanzado de manera importante en la determinación de presupuestos de carbono a partir de tres enfoques metodológicos diferentes.

Por un lado, se presenta la metodología y las estimaciones realizadas por el estado de Victoria, en Australia, las cuales parten de información determinada por la Autoridad Australiana de Cambio Climático, así como metodología desarrollada por Meinshausen *et al.* (2018). Además, se presentan las estimaciones realizadas por la ciudad de Manchester, Inglaterra y la ciudad de Järfälla, Suecia, a partir de la información proporcionada por el IPCC (AR5) y algunos de los principios de asignación identificados en dicho reporte. Finalmente, se presenta el caso de Copenhague y la estimación de su presupuesto de carbono a partir del consumo energético de la ciudad alineado a una meta de neutralidad de carbono para el año 2050.

3.1. Experiencias internacionales en presupuesto de carbono

a) Estado de Victoria, Australia

En el año 2014, la Autoridad de Cambio Climático (CCA por sus siglas en inglés) de Australia determinó un presupe-

sto global de carbono de 1700 GtCO₂e con una probabilidad de 67% para limitar el calentamiento global por debajo de los 2°C (Meinshausen, Du Pont y Talberg, 2018). Con base en dicho presupuesto global, la ACC determinó inicialmente que la *contribución justa* de Australia al presupuesto mundial era del 0.97%, es decir, 10.1 GtCO₂e para el período 2013–2050, incluyendo las emisiones del sector del uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura.

A partir del presupuesto nacional se realizó la colocación de emisiones para los diferentes estados territoriales de Australia (Meinshausen, Du Pont y Talberg, 2018). Para medir la sensibilidad de las propuestas de trayectorias de emisiones para el estado de Victoria, se llevaron a cabo cuatro diferentes enfoques. Por un lado, se consideró la distribución a partir del enfoque de contracción y convergencia. Dicha distribución pone como meta la igualdad de emisiones *per cápita* antes de la fecha de convergencia y a la vez considera que los derechos de emisión por persona se contraerán a lo largo del tiempo de forma lineal en todos los estados y territorios para alcanzar emisiones netas cero en el mismo punto temporal y dos fechas de convergencia: 2030 y 2050. Estas fechas fueron elegidas para explorar el horizonte de cero emisiones a largo plazo proyectado para 2050, de acuerdo con la narrativa internacional, así como un horizonte a corto plazo para reflejar el principio de equidad de manera más pronunciada hasta 2030.

Como segundo enfoque se consideró una acumulación de emisiones equitativa *per cápita*, donde cada uno de los individuos tienen el mismo derecho para generar emisiones a lo largo del periodo del presupuesto (Meinshausen, Du Pont y Talberg, 2018). En el tercer enfoque se consideró el Producto Estatal Bruto per cápita, es decir, la capacidad estatal para cubrir la reducción de emisiones proyectada. Finalmente, se consideró el enfoque de sostenimiento del *status quo* relativo donde los presupuestos de emisión entre los estados se mantienen desde el comienzo del período de asignación.

Dependiendo del tipo de enfoque utilizado para la distribución de emisiones, el presupuesto de carbono para el estado de Victoria osciló entre 1,758 y 1,918 MtCO₂eq, con

un promedio de 1,851 MtCO₂eq (Meinshausen, Du Pont y Talberg, 2018). La participación de Victoria en las emisiones australianas se estimó entre el 21.7% y el 23.7%, con un promedio del 22.9% de las emisiones nacionales.

Esta participación del 22.9% se utilizó como base para el análisis posterior de trayectorias que se podrían seguir dependiendo de diferentes porcentajes de reducción de emisiones, tomando como base los valores de 2005 (Meinshausen, Du Pont y Talberg, 2018). Una de las observaciones del estudio señaló que, si se seguía una trayectoria lineal, para el año 2030 podrían reducirse las emisiones generadas durante 2005 un 48.8%.

Si bien, la Ley de Cambio Climático de Victoria de 2017 establece un objetivo a largo plazo de cero emisiones netas de GEI para 2050, hasta el momento no se han establecido metas basadas en el cálculo estatal de presupuesto de carbono.

b) Gran Manchester, Inglaterra

La Ley de Cambio Climático del Reino Unido de 2008 estableció el compromiso de reducir al menos en un 80% las emisiones de GEI para el año 2050 con respecto a los niveles de 1990, estableciendo cinco presupuestos anuales de carbono a modo de medidas de transición (HM Government, 2008 citado por Kuriakose *et al.*, 2018).

Por su parte, la Autoridad Conjunta de Gran Manchester (GMCA, por sus siglas en inglés) adoptó un objetivo de reducción del 48% de las emisiones para 2020 en comparación con 1990. Esto con el propósito de reducir sus niveles de emisión entre un 80% y 95% para el año 2050 (GMLCH, 2016 citado por Kuriakose *et al.*, 2018).

Como punto de partida, el presupuesto de carbono de GM considera los presupuestos de carbono globales publicados por el IPCC en su reporte AR5, así como la metodología propuesta por Anderson y Bows (2011). Como primer supuesto para el cálculo global se considera la generación de emisiones originadas por la producción mundial de cemento, debido a su importancia para el desarrollo (Kuriakose *et al.*, 2018). Esto conlleva que 100 GtCO₂ tengan que deducirse del presupuesto global. De igual forma, el cálculo considera que no existe deforestación neta a nivel global.

Posteriormente, Kuriakose *et al.* (2018) realizó una asignación de emisiones a las naciones no pertenecientes a la OCDE, es decir, en vías de industrialización, dejando un remanente para los miembros más industrializados de dicha organización. 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 emi-

siones recientes (2010 a 2015). Particularmente para las emisiones por aviación, envíos y transporte militar, las cuales son consideradas como inevitables debido a la importancia de dichos sectores, se realizó el cálculo para la generación futura de éstas y se sustrajo del presupuesto nacional. Como resultado se obtuvo un presupuesto final real de emisiones generadas por consumo energía contextualizado a las necesidades de Reino Unido.

En la asignación del presupuesto de carbono para Gran Manchester, se repartió el presupuesto de carbono del Reino Unido a partir de tres enfoques con el fin de ofrecer un pequeño rango de presupuestos: población, asignación soberana y valor añadido bruto (Kuriakose *et al.* 2018). El promedio de dichos rangos se utilizó para realizar la propuesta de presupuesto de carbono recomendado, así como vías de emisión ilustrativas. A partir de dicho análisis se identificó que el rango de presupuesto para Gran Manchester estaba entre 45 y 104 MtCO₂ para el período de 2018 en adelante y así limitar la TMG en menos de 2°C.

c) Municipio de Järfälla, Suecia

Anderson *et al.* (2014) realizaron el presupuesto de carbono del municipio de Järfälla utilizando los presupuestos de carbono propuestos por el IPCC en su reporte AR5. A partir del presupuesto mundial realizaron un desglose de las emisiones para proporcionar a Suecia un rango de presupuesto nacional de carbono basado en las emisiones históricas (principio de soberanía) y la contribución poblacional (principio de igualdad).

Tales enfoques de reparto atribuyeron a Suecia el 0.361% del presupuesto global de carbono debido a emisiones pasadas y el 0.767% basado en la población para el período posterior a 2017. Esto significa que entre 140 y 20 GtCO₂ fueron asignadas como presupuesto nacional de carbono, fijando una tasa de mitigación inmediata de un mínimo del 10% anual e idealmente del 15% anual.

Este rango presupuestario de carbono para Suecia se desglosó a nivel municipal, considerando el principio de soberanía para la distribución de emisiones territoriales (Anderson *et al.*, 2014). A partir de información proporcionada por Estadística Suecia (SCB) y las estadísticas regionales del Sistema de Objetivos Medioambientales, Desarrollo y Colaboración (RUS) se generaron los presupuestos subnacionales. Particularmente, el municipio de Järfälla recibió una asignación del 0.172% (RUS) y del 0.214% (SCB) del presupuesto sueco de carbono para el sector energía a partir de julio de 2017, con una tasa de reducción de emisiones mínima de por lo menos un 10% por año, con efecto inmediato.

El presupuesto regional de carbono resultante se tradujo en dos escenarios de reducción de emisiones necesarios para que Järfälla contribuya de manera justa y con base científica al cumplimiento del Acuerdo de París (Anderson *et al.*, 2014). Dichos escenarios estaban basados en una tasa de reducción de emisiones anuales de 10% y 15% partiendo de julio 2017 hasta el año 2100.

El análisis de emisiones territoriales realizado por Anderson *et al.* (2014) permitió identificar que el sector transporte fue el responsable del 71% de las emisiones generadas por Järfälla durante el año 2014, mientras que el sector de generación de energía representó solo el 8%. Sin embargo, solo una lista general de posibles estrategias de mitigación de emisiones fue presentada. De tal forma que el análisis anterior representó solo el resultado de una propuesta de investigación solicitada por el propio municipio de Järfälla para la toma de decisiones.

d) Copenhague, Dinamarca

Desde el año 2009, el ayuntamiento de Copenhague (CPH) adoptó de forma unánime un Plan Climático para el año 2015 (TCC, 2012). Las iniciativas contenidas en dicho plan ayudaron a reducir de forma significativa las emisiones de la ciudad, reduciendo en 21% las emisiones generadas entre el periodo de 2005 y 2011 y cumpliendo el objetivo de la ciudad de reducir un 20% las emisiones antes del 2015.

Particularmente, el Plan Climático CPH 2025 tiene el objetivo de convertir a la ciudad en la primera capital del mundo con emisiones neutras de carbono para el año 2025 (TCC, 2012). El objetivo de neutralidad de carbono establecido por Copenhague incluye las emisiones del sistema energético de la ciudad y las actividades de las empresas de servicios públicos propiedad de la ciudad en otros lugares.

La ciudad de Copenhague desarrolló en 2008 una calculadora de medición de carbono en conjunto con el Ministerio de Clima y Energía y el gobierno local, para calcular las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por la ciudad (TCC, 2012). Dicha herramienta está basada en la metodología utilizada por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) para la realización de inventarios de GEI. En general, todas las emisiones de gases de efecto invernadero dentro de los límites de la ciudad son incluidos, así como las emisiones generadas por las empresas de propiedad municipal fuera de dichos límites. Del mismo modo, la energía generada a partir de fuentes renovables en la ciudad, así como la energía renovable producida por las empresas de

servicios públicos de la ciudad de Copenhague fuera de los límites también se deducen para realizar el cálculo (TEA, 2016b).

La calculadora de carbono², disponible solamente para las diferentes municipalidades, puede deducir la generación de energía proveniente de energías renovables (Dahal y Niemelä, 2017). Esto implica que el consumo de energía en la ciudad alcanzará la neutralidad de carbono cuando la producción de energía renovable iguale la cantidad consumida por la ciudad. Para el momento en que la generación de energía renovable de la ciudad de Copenhague resulte en exceso y ésta sea consumida en otros territorios, la calculadora ofrece la posibilidad de compensar las emisiones generadas por otros sectores de la ciudad gracias al exceso de energía limpia (TEA, 2016b)

No obstante, a medida que otras partes de Dinamarca se vayan descarbonizando, la intensidad de carbono del consumo de energía desplazada disminuirá, reduciendo a su vez el grado en que la ciudad podría compensar sus emisiones de carbono de esta manera (TCC, 2012). Esto se debe a que Dinamarca ha establecido el objetivo de reducir su dependencia del uso de combustibles fósiles para la generación de energía y electricidad para el 2035.

Para el año 2017, la ciudad de Copenhague logró reducir 38% de las emisiones registradas en el año 2005 (TEA, 2016a). Mientras que la fase de implementación del periodo 2017-2020 se enfocó en la aplicación y evaluación de iniciativas a pequeña escala sobre optimización energética de edificios, plantas de ciclo combinado para biomasa, implementación de turbinas eólicas, acuerdos voluntarios con dueños de mobiliario, flujo mejorado en ciclovías, uso de vehículos eléctricos y de hidrógeno para el municipio, así como autobuses carbono neutral. Se espera que para el periodo 2020-2025 las mejores iniciativas puedan implementarse a gran escala para alcanzar la neutralidad de la ciudad.

3.2. Lecciones aprendidas: presupuestos de carbono

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. La primera diferencia

2 Calculadora basada en la web diseñada específicamente para los municipios de Dinamarca por el Instituto Nacional de Investigación Medioambiental (NERI) y COWI, una empresa consultora internacional (Dahal y Niemelä, 2017).

que se observa es cómo definen el horizonte temporal del presupuesto de carbono.

Por ejemplo, el estado de Victoria, Australia y la ciudad de Manchester, Inglaterra han establecido como límite temporal el año 2050 para reducir sus emisiones y limitar la TMG por debajo de 2°C. Por otro lado, el municipio de Järfälla, Suecia plantea la posibilidad de alcanzar la generación de cero emisiones hasta el año 2100. No obstante, establecer presupuestos de carbono con horizonte 2050, además de acelerar el proceso de descarbonización, permite identificar los picos de emisiones previas a la disminución progresiva de las mismas. Esto se debe a que existe el riesgo de que el largo horizonte temporal sea un pretexto para la inacción y retrase los esfuerzos hasta que sea demasiado tarde.

Mientras que los presupuestos de Victoria, Manchester y Järfälla fueron desarrollados a partir de su presupuesto nacional, es decir, enfoque descendente, la ciudad de Copenhague estimó su presupuesto de manera ascendente con base en la generación de emisiones actuales territoriales y la meta de neutralidad de carbono para el año 2025.

Ahora bien, el presupuesto subnacional del estado de Victoria está calculado a partir del promedio de cuatro asignaciones diferentes, incluyendo el método de contracción y convergencia modificada utilizado para calcular el presupuesto nacional. Por otro lado, el cálculo subnacional de Manchester aplica la metodología de asignación de Reino Unido y el enfoque de valor añadido bruto. Finalmente, el presupuesto de Järfälla se limita a utilizar la asignación soberana para realizar el cálculo del presupuesto de carbono subnacional.

Durante la asignación de presupuestos de carbono tanto nacionales como subnacionales se identifica la práctica de exclusión de sectores económicos. Si bien, el cálculo de presupuesto de carbono de Victoria descartó las emisiones históricas estatales, el de Manchester excluyó las emisiones de los sectores aviación y transporte, mientras que el de Järfälla se enfocó solamente en las emisiones del sector energético.

Las experiencias anteriormente descritas resaltan, en primer lugar, la falta de una metodología internacional estandarizada para la estimación de un presupuesto de carbono subnacional debido a la diversidad en los conceptos de asignación. Asimismo, es posible identificar el estado emergente del concepto de presupuesto de carbono dada la ausencia de casos de éxito documentados en Latinoamérica. Finalmente, estas experiencias presentan la posibilidad de establecer un presupuesto de carbono subnacional con cierto grado de flexibilidad dependiendo de las características socioeconómicas del territorio.

De las conclusiones anteriores, podemos destacar que el presente documento muestra una metodología para la obtención de un presupuesto de carbono a nivel local. Gracias a la flexibilidad de esta metodología, es posible ajustarla a distintos contextos estatales y estandarizarla a cualquier nivel subnacional, lo cual es de suma importancia para la obtención del presupuesto de carbono del estado de Jalisco.

3.3. Experiencias internacionales en rutas de descarbonización

Una gran cantidad de países han asumido el compromiso de descarbonizar su sector de generación eléctrica para alcanzar sus metas de reducción de emisiones de GEI, establecidas en sus NDC, y cumplir con el Acuerdo de París. Desde el año 1996 se definió la descarbonización del sector energético como el decrecimiento en una cantidad específica de dióxido de carbono emitido por cada unidad de energía primaria consumida (Grübler y Nakicenovic, 1996). Sin embargo, la falta de compromisos pasados, así como los retos actuales suponen una transformación del sistema energético mundial sin precedentes, con el objetivo de limitar la TMG a finales de siglo.

Por ejemplo, McKinsey (2020) analiza tres trayectorias de descarbonización del sector eléctrico hacia el 2040 por medio de la penetración del 50-60% de energías renovables, 80-90% de energías renovables y 100% de energías renovables. Para el caso de una descarbonización del 50-60% se destaca que no es necesario una inversión más allá de decisiones tomadas por los actores de mercado. Esto se debe a que los costos de tecnologías como solar fotovoltaica, eólica y de almacenamiento se han reducido considerablemente, llegando al punto en que estas opciones pueden representar la opción de mejor costo y eficiencia. Para una descarbonización del 80-90% en el año 2040 es necesario llevar a cabo acciones más costosas y específicas como el uso de tecnologías de almacenamiento de carbono. Por último, una descarbonización total del sector eléctrico resultaría en un costo adicional del 25% sobre la primera trayectoria, así como también requeriría de la introducción de tecnologías limpias adicionales como biocombustibles, captura, uso y almacenamiento de carbono (CCUS, por sus siglas en inglés), bioenergía con captura y almacenamiento de carbono, hidrógeno y tecnologías de captura directa de aire (DAC, por sus siglas en inglés).

Por otro lado, la Agencia Internacional de Energía (IEA) considera que un escenario de cero emisiones netas para

el sector eléctrico implica, tanto un incremento en la demanda eléctrica como resultado de una mayor actividad económica, una rápida electrificación de servicios finales y la producción de hidrógeno por electrólisis, así como también una transformación radical en la generación de electricidad (IEA, 2021). De hecho, los mercados emergentes y las economías en desarrollo representan el 75% del aumento mundial previsto de la demanda de electricidad hasta 2050. Particularmente para dichas economías se espera que en 2030 la demanda eléctrica se duplique y para 2050 se triplique debido al crecimiento poblacional, al aumento en los ingresos y nivel de vida, así como a 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.

a) Reino Unido

La descarbonización del sector eléctrico en el Reino Unido ha sido posible debido a que la reducción de emisiones de GEI del sector se encuentra delimitada por metas establecidas en la Ley de Cambio Climático del 2008. Estas metas son definidas a través de estimaciones de presupuesto de carbono de carácter vinculante. Dicho presupuesto ha sido establecido para periodos de 5 años, con el objetivo de reducir a emisiones netas cero para el año 2050. Si bien su Comisión de Cambio Climático ha informado sobre el cumplimiento de los primeros tres presupuestos de carbono, se han identificado dificultades para cumplir tanto el cuarto como el quinto presupuesto de carbono (Fankhauser, 2020).

En un diagnóstico general, el sector eléctrico del Reino Unido ha tenido reducciones de emisiones importantes del 2012 al 2017 debido a tres razones: primero, a una reducción considerable de la generación de las plantas de carbón; segundo, a la existencia de un incremento en la proporción de energías renovables en la matriz energética del país; y tercero, a un incremento significativo en la eficiencia energética de los productos, lo cual ha causado una reducción en el consumo de electricidad (LSE, 2020).

Tabla 1: Presupuesto de carbono del Reino Unido

Periodo	Nivel de presupuesto de carbono (MtCO ₂ e)
Primer presupuesto (2008-2012)	3,018
Segundo presupuesto (2013-2017)	2,782
Tercer presupuesto (2018-2022)	2,544
Cuarto presupuesto (2023-2027)	1,950
Quinto presupuesto (2028-2032)	1,725

Fuente: Committee on Climate Change. Reducing UK emissions: 2018 Progress Report to Parliament.

La proporción de generación eléctrica, utilizando carbón en el periodo 2021-2017 ha sido reducida considerablemente al pasar de 40% al 7% sobre el total de generación del país. Asimismo, el Gobierno Británico ha anunciado que para el 2025 eliminará de su matriz energética todas las plantas de carbón que no puedan ser convertidas con tecnologías de captura, uso y almacenamiento de carbono (LSE, 2020).

Alineado a esta reducción, una política importante que ha funcionado para la descarbonización del sector es la introducción de un precio al carbono³. Por ejemplo, los generadores de electricidad del Reino Unido tienen que pagar tanto por el precio del carbono, como por una cuota establecida por el Régimen de Comercio de Derechos de Emisión de la Unión Europea (RCDE UE), cantidad que equivale a 1,004.59 MXN por cada tonelada de CO₂ emitida.

Finalmente, el Reino Unido ya elaboró su sexto presupuesto de carbono (2033-2037) en diciembre del 2020, donde se proyecta una reducción de un 78% de las emisiones de GEI para el 2035 relativo a las emisiones de 1990. Dentro de las acciones en su ruta de descarbonización eléctrica neta cero al 2050 se encuentran la reducción de la intensidad del carbono de generación eléctrica de 220 gCO₂/KWh en el 2019 a 50 gCO₂/KWh en 2030, la eliminación de la generación de electricidad a partir de carbóelétricas, y el incremento de la generación de energías renovables a un 80% respecto del total de la matriz energética de ese país para el 2050 (CCC, 2020).

³ El precio del carbono es un instrumento que permite captar los costos externos de los GEI, los costos de las emisiones que paga la ciudadanía como daños a las cosechas, los costos de la atención sanitaria por las olas de calor y las sequías, así como la pérdida de propiedades por las inundaciones y el incremento del nivel del mar. El precio de carbono vincula dichos costos a sus fuentes mediante un precio, generalmente en forma de precio del dióxido de carbono emitido (The World Bank, 2021).

b) Londres, Reino Unido

En el 2018, la Alcaldía de Londres (2018) publicó su plan de carbono neto cero alineado a una TMG de 1.5°C Su metodología para alcanzar emisiones netas cero para el 2050 está determinada, de manera general, en cinco pasos: **1)** identificar medidas de política pública que apoyen a una transición de una red de transporte público de cero emisiones y activar un cambio en el uso del transporte público a través del uso de la bicicleta y movilidad peatonal; **2)** identificar medidas de políticas públicas necesarias para mejorar la eficiencia energética en los edificios de Londres; **3)** usar los modelos de transporte y medidas de eficiencia energética de los edificios para desarrollar cuatro escenarios que proyecten emisiones netas cero en el sistema energético y en el sistema de transporte del 2050; **4)** identificar medidas adicionales requeridas para alcanzar el objetivo de descarbonización del 2050; y **5)** establecer presupuestos de carbono para los siguientes 15 años con la finalidad de direccionar los esfuerzos de mitigación en el camino adecuado (Greater London Authority, 2018).

Los cuatro escenarios de eficiencia energética se fundamentan en energía descentralizada enfocado en redes de calor; alta electrificación con bombas de calor; descarbonización de gas, sustitución por hidrógeno y tecnologías de captura y almacenamiento de carbono; así como una combinación de bombas de calor, redes de calor y red parcial de hidrógeno. Conociendo las rutas establecidas por los cuatro escenarios, la Alcaldía de Londres establece tres presupuestos de carbono (2018-2022, 2023-2027 y 2028-2032), alineados de manera proporcional al presupuesto de carbono total del Reino Unido. De esta forma, la planeación evita dejar la toma de decisiones relacionadas con política pública para el último minuto, y así minimizar también los costos de implementación.

Como lecciones aprendidas se identifica que la descarbonización del sector eléctrico de Londres depende de la transición energética de la red y acciones más ambiciosas por parte del Gobierno del Reino Unido. Para el caso del incremento de la demanda eléctrica, se requiere una compensación adicional con medidas de eficiencia energética, así como tecnologías inteligentes para suavizar los picos de demanda. Si bien, se identifica que los costos asociados a las actualizaciones de la red eléctrica deben de ser asequibles, se reconoce que la ausencia de una transición energética significa indudablemente un mayor gasto futuro.

c) Alemania

Durante el 2019, Alemania emitió su Ley Nacional Climática (*Bundes-Klimaschutzgesetz*) con el propósito de al-

canzar la neutralidad de carbono en el año 2050. Esta Ley señala que, a partir del 2025, se deberán establecer presupuestos de emisiones cada cinco años para los sectores de energía, industria, transporte, edificios, agricultura y residuos. Hasta el momento, el presupuesto de emisiones del sector energía para los años 2020 y 2022 corresponde a 280 y 257 MtCO₂e, respectivamente (FCCA, 2019).

Aunado a lo anterior, la política de transición energética de Alemania tiene el objetivo de alcanzar un 80% de la generación eléctrica del país con energías renovables para el 2050, a la vez que se retiran plantas nucleares e incrementan esfuerzos de eficiencia energética (Brick y Thernstrom, 2016). Desde el 2013, esta política ha causado un incremento de gran relevancia en las tecnologías de energías renovables como la solar fotovoltaica y eólica. Mientras que en el 2013 la penetración de energías renovables correspondía al 25%, la proporción de generación de energía renovable en el año 2020 fue del 45% (AGEE-Stat, 2021). De hecho, según el Instituto Fraunhofer de Sistemas Solares de Energía (2020) se establece que durante la primera mitad del 2020 se generaron 136.1 TWh a partir de fuentes de energía renovables en el país.

Si bien es cierto que, en los últimos años, los precios de la electricidad han incrementado en Alemania (Brick y Thernstrom, 2016), se han encontrado también trayectorias costo-efectivas para lograr la descarbonización a partir de simulaciones para los años 2025, 2035 y 2050. Estas trayectorias dependen principalmente de cuatro factores: **1)** mayor integración de otras energías renovables para la generación de electricidad; **2)** la transformación de la generación convencional de energía hacia tecnologías más flexibles con menos emisiones de carbono; **3)** la electrificación de sectores que todavía son intensivos en su consumo de combustibles fósiles; y **4)** un mayor incremento de la eficiencia energética (Müller *et al.*, 2019). Dichas trayectorias arrojaron un resultado para el 2050 de un incremento de la generación de energías renovables de 241 TWh, donde destacan las energías eólica y fotovoltaica, con una participación aproximada de 66% y 33%, respectivamente. Comparado con los niveles de generación del 2016, dichas energías renovables, prácticamente duplican su generación hacia mediados de siglo.

Por último, un análisis reciente realizado por *Agora Energiewende* (2020) establece que las metas principales que debe de alcanzar la transición energética para cumplir con lo establecido en el Acuerdo de París son las siguientes: eliminar la generación de carbóelctricas para el 2030 en lugar del 2038, incentivar el uso del hidrógeno para las plantas generadoras de energía, incrementar la electrificación de todos los sectores e incrementar la capacidad instalada de las energías renovables (25 GW de energía eólica *offshore*, 80 GW de energía eólica y 150 GW de energía solar fotovoltaica). Estas metas podrán ser lo-

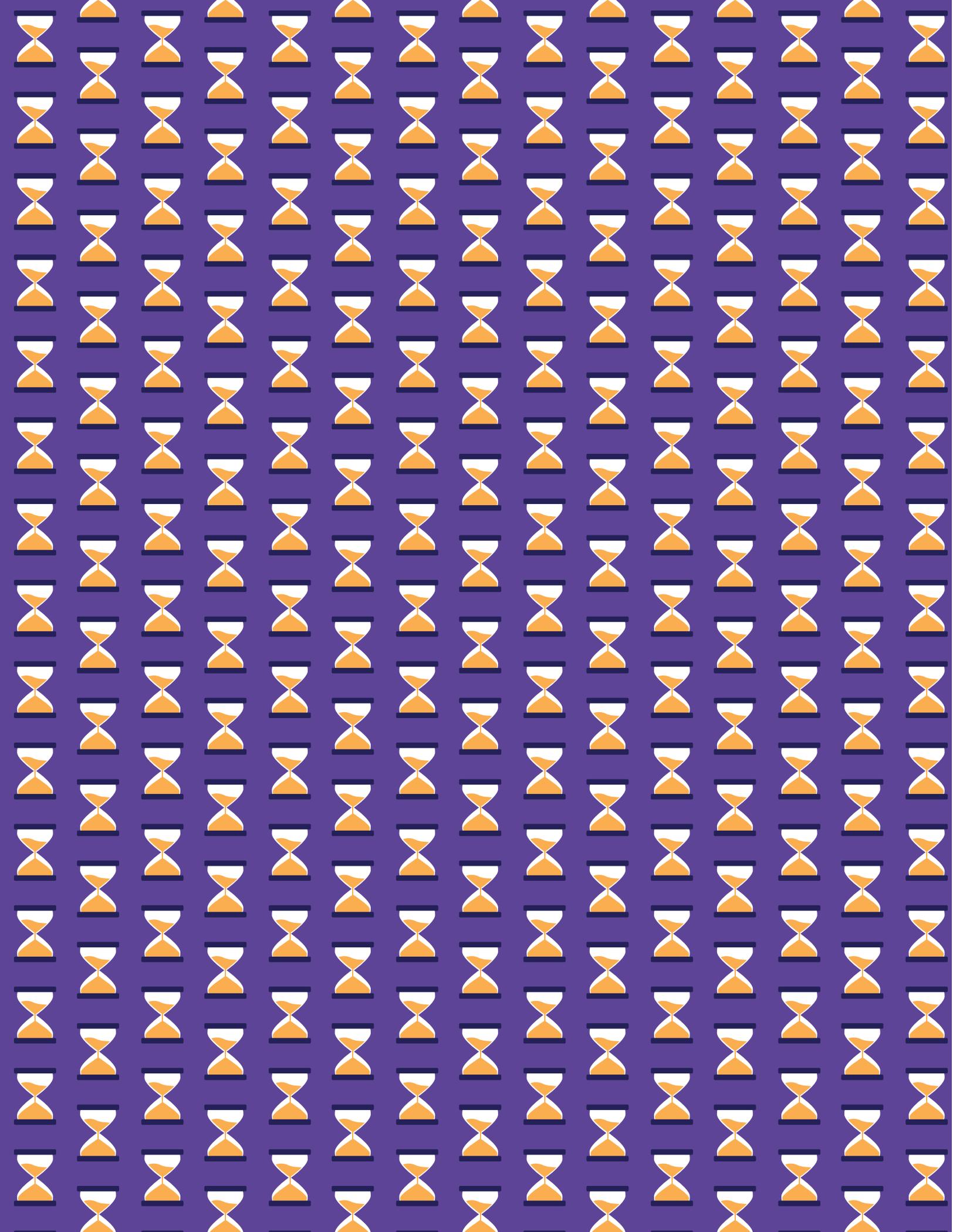
gradas si el sistema eléctrico de Alemania se convierte en un sistema significativamente más flexible, a través de mayor almacenamiento, despliegue de bombas de calor y mayor comercialización de electricidad entre los países.

3.4. Lecciones aprendidas: rutas de descarbonización nacionales y subnacionales

Los casos internacionales referentes a las rutas de descarbonización, tanto a nivel nacional como subnacional, demuestran la importancia de elaborar leyes que apoyen la correcta implementación y cumplimiento de metas vinculantes. De hecho, el caso particular de Reino Unido y Lon-

dres, Inglaterra ejemplifican cómo la descarbonización del sector eléctrico ha sido posible de forma progresiva gracias a las metas establecidas en la Ley de Cambio Climático del 2008, así como al carácter vinculante del presupuesto de carbono a nivel nacional. Ambas situaciones señalan la necesidad de prescindir de combustibles fósiles, al mismo tiempo que se impulsa la implementación de tecnologías para la generación de energías renovables, y secuestro y aprovechamiento de emisiones. El caso anterior también pone sobre la mesa el horizonte temporal requerido para el desarrollo e implementación de instrumentos en materia de cambio climático a nivel subnacional.

Por otro lado, la ruta de descarbonización del sector energía en Alemania ejemplifica el compromiso por acelerar el cumplimiento de metas de cero emisiones por medio de la disminución de generación carboeléctrica y del potenciamiento de infraestructura para la generación de energía renovable. Además, el carácter vinculante del presupuesto de carbono en su ley nacional climática promueve el trabajo conjunto a largo plazo, tanto para disminuir la generación de emisiones, así como para ajustar objetivos y líneas de acción.



4. MARCO LEGAL Y ESTRATÉGICO EN MATERIA ENERGÍA-CLIMA

Para determinar un punto de partida en el cual se encuentra el estado de Jalisco con respecto a metas y objetivos de mitigación de cambio climático y promoción de energías renovables, se analizaron once documentos de instrumentos de planeación, normativas, declaratorias y el más reciente inventario de emisiones de GEI del estado. Dichos documentos fueron obtenidos a través del portal de la Suprema Corte de Justicia de la Nación (SCJN), la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial del estado de Jalisco (SEMADET) y la plataforma de Información sobre la implementación de la política climática subnacional del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). Los documentos antes mencionados fueron validados por las autoridades estatales como los instrumentos a analizar para este ejercicio, e incluyen los siguientes:

- Ley para la Acción ante el Cambio Climático del Estado de Jalisco (LACCEJ)
- Ley Orgánica de la Agencia de Energía del Estado de Jalisco (LOAEEJ)
- Ley para el Desarrollo Económico del Estado de Jalisco (LDEEJ)
- Reglamento de la Ley para la Acción ante el Cambio Climático del Estado de Jalisco (RLACC)—2016
- Plan Estatal de Gobernanza y Desarrollo de Jalisco 2018-2024 (PEGD)
- Estrategia Estatal de Cambio Climático (EECC)—2021
- Comisión Interinstitucional de Acción ante el Cambio Climático en el Estado de Jalisco (CICC)—2015
- Guía para la Elaboración o Actualización de los Programas Municipales de Cambio Climático del Estado de Jalisco (GPMCC)—2018
- Actualización del Inventario Estatal de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero de Jalisco 2017 (IEEGYCEIJ)
- Plan de Acción Climática del Área Metropolitana de Guadalajara

En la siguiente subsección se sintetizan de manera puntual los instrumentos, estableciendo su objetivo principal y si dicho instrumento tiene alguna meta y/o acción asociada al tema de cambio climático, el despliegue de energías renovables o ambos.

4.1. Ley para la Acción ante el Cambio Climático del Estado de Jalisco (LACCEJ)

La LACC, publicada en 2015 y con siete reformas al 2021, tiene como objetivo garantizar el derecho a un medio ambiente sano para el desarrollo y bienestar de su población. Esta ley es la base para la aplicación de políticas estatales en materia de cambio climático, ya que define los principios, criterios, instrumentos y órganos pertinentes para llevar a cabo su correcta aplicación.

Además de establecer las competencias, atribuciones y facultades del estado de Jalisco y sus municipios, también establece las bases para el desarrollo de políticas públicas transversales en materia de prevención, adaptación y mitigación del cambio climático. La LACC también tiene como objetivo contribuir al cumplimiento de acuerdos internacionales y metas federales, tanto a mediano como a largo plazo. De manera puntual, incluye el objetivo de mitigación de “lograr que el Estado cuente con una tasa cero de pérdida de carbono, es decir, que sea neutro en carbono o que las emisiones anuales de compuestos y gases de efecto invernadero sean menores o iguales a las absorciones en los sumideros y reservorios de carbono y gases de efecto invernadero”. Además, señala que la autoridad en materia de cambio climático recae en el Gobernador del Estado, el titular de la SEMADET, la Procuraduría Estatal de Protección al Ambiente, los ayuntamientos de los gobiernos municipales, así como las demás dependencias y entidades en coordinación.

La LACC juega un rol fundamental para la elaboración de la ruta de descarbonización y el cumplimiento del

presupuesto de carbono del sector eléctrico del estado de Jalisco. Lo anterior se debe a su facultad para fomentar el desarrollo de políticas públicas en materia de cambio climático a nivel estatal alineadas con los objetivos federales de la NDC y acuerdos internacionales como el Acuerdo de París. Además, gracias a la LACC es posible identificar los actores responsables de materializar la coordinación de las políticas públicas, tanto a nivel estatal como municipal, y, por ende, cede también la responsabilidad a los municipios de coordinar acciones que en agregado contribuyen al objetivo estatal.

4.2. Ley Orgánica de la Agencia de Energía del Estado de Jalisco (LOAEEJ)

Aunado a lo anterior, en 2016 fue expedida la Ley Orgánica de la Agencia de Energía del Estado de Jalisco (LOAEEJ) para crear la Agencia de Energía del Estado de Jalisco (AEEJ) como un organismo público descentralizado. Ésta tiene como objetivo impulsar, fomentar, coordinar, cooperar y coadyuvar en el desarrollo de acciones públicas y privadas relacionadas con la generación y el uso eficiente de energía, así como también desarrollar la política y estrategia energética de Jalisco. Particularmente, la Agencia tiene entre sus funciones promover el desarrollo de una infraestructura energética local y regional baja en carbono en el corto, mediano y largo plazo; fomentar la adquisición y uso de tecnologías limpias; impulsar acciones encaminadas a suficiencia, eficiencia y transición energética; así como promover una cultura de generación y consumo de energías limpias.

De acuerdo con la LOAEEJ, el Plan Estatal de Energía “debe ser elaborado y ejecutado por la AEEJ en colaboración con su consejo consultivo y los sectores industrial, social y académico...”. Este Plan debe tener “objetivos de corto, mediano y largo plazo, con metas anuales y con indicadores de medición sobre avances y resultados, bajo los principios rectores de suficiencia, eficiencia y transición energética y con el fin de la planificación de un Estado más sustentable, limpio, seguro y eficiente en materia energética”.

Tanto la LOAEEJ como la AEEJ juegan un papel crítico en la elaboración de la ruta de descarbonización y el cumplimiento del presupuesto de carbono del sector eléctrico del estado de Jalisco. Su participación es indispensable durante la planeación, elaboración, la evaluación, desarrollo e implementación de alternativas en cuestión

de infraestructura energética para promover la adopción de energías renovables y fortalecer la soberanía del estado de Jalisco en línea con el PEGD con visión 2030.

4.3. Ley para el Desarrollo Económico del Estado de Jalisco (LDEEJ)

La LDEEJ tiene como objetivo promover el desarrollo económico del estado a través de la generación de condiciones favorables para el desarrollo sustentable y equitativo de todas las regiones y sectores económicos en la entidad. En su artículo 26 se define que la Secretaría de Desarrollo Económico del Gobierno del Estado de Jalisco tiene la función impulsar el desarrollo de energías alternativas y el uso de tecnologías limpias para el medio ambiente. Es importante destacar que a través de diferentes ejes, como son la innovación y la economía, se busca también promover el despliegue de energía limpia en la región. De tal forma que, el desarrollo de un presupuesto de carbono y sus correspondientes rutas de descarbonización del sector eléctrico fortalecen el cumplimiento del objetivo de la LDEEJ en cuestión de desarrollo económico sustentable. Lo anterior, independientemente del contexto actual, contribuye al fortalecimiento y articulación del catálogo de medidas que se determinará para generar la ruta de descarbonización del sector eléctrico del estado de Jalisco.

4.4. Reglamento de la Ley para la Acción ante el Cambio Climático del Estado de Jalisco (RLACC)

Por otro lado, el RLACC tiene por objetivo reglamentar las disposiciones de la LACC, es decir, dotar elementos que faciliten y promuevan la correcta aplicación de la misma por medio de la regulación e implementación de acciones concretas en materia de cambio climático. Particularmente hace hincapié en la importancia de la gobernanza ambiental para atender la problemática del cambio climático, asegurar la equidad de género y la representación de todos los diferentes actores del estado, así como darle seguimiento e implementación a la Política Estatal en materia de cambio climático. Aunado a esto, el RLACC define al Atlas de Riesgo ante el Cambio Climático del

Estado de Jalisco (ARCCEJ) como el instrumento de diagnóstico para la Política Estatal en materia de adaptación al cambio climático. El RLACCEJ también señala que el Programa Estatal deberá realizarse en congruencia con el Plan Nacional de Desarrollo, la Estrategia Nacional de Cambio Climático, el Programa Especial de Cambio Climático, Plan Estatal de Desarrollo y cualquier otro documento, tanto federal como estatal, que se relacione con la materia. Además, indica que la SEMADET, en coordinación con la Comisión Interinstitucional de Acción ante el Cambio Climático (CICC-JAL), es la responsable de publicar el Programa Estatal y de elaborar y actualizar el inventario de emisiones del estado.

La atribución de la SEMADET de cuantificar y actuar el inventario de emisiones del estado es pertinente para la elaboración de una línea base de generación de emisiones en el estado de Jalisco y a la vez da paso a la elaboración de un presupuesto de carbono alineado a una temperatura media global de 1.5°C. Lo anterior también promueve por añadidura el desarrollo de rutas de descarbonización, así como el monitoreo constante de las emisiones del estado de Jalisco para evaluar los avances en materia de mitigación de cambio climático. Particularmente, se recomienda hacer énfasis en la periodicidad de la actualización del inventario de emisiones del estado con el propósito de promover un mayor control de las estrategias para la descarbonización del estado.

4.5. Plan Estatal de Gobernanza y Desarrollo de Jalisco 2018-2024 (PEGD)

El PEGD con visión 2030 está conformado por cinco planes sectoriales, de los cuales el desarrollo sostenible del territorio es uno de éstos, mientras que el cambio climático es uno de los seis programas transversales. De igual forma, el PEGD menciona que el Sistema Estatal de Planeación incluye más de sesenta planes institucionales alineados al Plan Estatal y la Agenda Global 2030 para el Desarrollo Sostenible. El PEGD fue el resultado de dos grandes ejercicios de participación y consulta ciudadana donde se incluían las problemáticas identificadas, la importancia de los valores para llevar a cabo un buen gobierno, los Objetivos de Desarrollo Sostenible y la visión futura de la ciudadanía para el estado de Jalisco.

Particularmente, para el eje de desarrollo sostenible del territorio se identificaron variaciones entre las acciones consideradas como importantes y las señaladas como ur-

gentes. Mientras que la acción prioritaria respecto al uso de energías que no dañen al medio ambiente en forma de electricidad y combustibles obtuvo un orden de importancia medio durante la consulta ciudadana, dicha acción también fue señalada como una de las más urgentes dentro del eje de desarrollo sostenible del territorio.

Particularmente, el PEGD presenta en la temática de desarrollo económico (DE3) el enfoque de energía. En el diagnóstico se establece que solo el 4% de la energía consumida en el estado proviene de la propia producción. A pesar del potencial reconocido para la generación de energías alternas, aún resulta una tarea pendiente. Por lo tanto, el objetivo temático DE3 del PEGD tiene como meta alcanzar la suficiencia energética del estado de Jalisco. Esto se tiene planeado a partir del diseño e implementación de políticas públicas capaces de incentivar la inversión en infraestructura en torno a fuentes de energía tradicionales (combustibles fósiles) y alternas (energías renovables), así como eficiencia energética, entre otros temas, tal como lo indica el marco de la COP21 de París sobre cambio climático. Además, dicha temática tiene dos indicadores: incremento de la generación eléctrica en función a la demanda del estado, así como también la mitigación de emisiones por generación de energía limpia y medidas de eficiencia energética.

Aunado a lo anterior, el PEGD señala como eje el desarrollo sostenible del territorio en concordancia con convenios internacionales sobre desarrollo urbano sostenible tales como la Nueva Agenda Urbana publicada por Hábitat 3, el Acuerdo de París y la Agenda 2030. Este eje tiene como objetivo garantizar el derecho humano a un medio ambiente sano, preservando la biodiversidad y ecosistemas sin comprometer a las futuras generaciones y bajo principios como equidad, justicia, igualdad de oportunidades, entre otros. Además, el eje de desarrollo sostenible del territorio tiene como indicadores mejorar la posición en el Subíndice Manejo Sustentable del Medio Ambiente del Índice de Competitividad, incrementar conformidad con el Índice Metropolitano de la Calidad del Aire, así como mejorar el índice de movilidad urbana.

El PEGD también incluye en sus temáticas transversales el proyecto estratégico de cambio climático. Dicho proyecto tiene como uno de sus objetivos integrar la aplicación transversal de políticas climáticas y gobernanza para transitar al desarrollo bajo en carbono y reducir la vulnerabilidad de los ecosistemas, la infraestructura, los sistemas productivos y las sociedades. De igual forma se hace hincapié en el interés por contribuir al cumplimiento de compromisos internacionales como los Objetivos de Desarrollo Sostenible, el Acuerdo de París, las NDC, entre otros.

Como resultado general, se espera que para el año 2024 se pueda alcanzar una adaptación del territorio y la sociedad de Jalisco ante los efectos adversos del Cambio

Climático y mitigar las emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (GYCEI). Para ello, el proyecto estratégico de cambio climático señala nueve resultados específicos, tales como el resultado de la temática transversal TTE1 que implica revertir las trayectorias inerciales de las emisiones de GYCEI consistentes con escenarios para un máximo de calentamiento de 1.5°C a nivel global; el resultado de la temática transversal TTE3 que señala ser un referente nacional e internacional en materia de acción climática aportando a las NDC y acuerdos internacionales; así como el resultado de la temática transversal TTE6 que denota incrementar la producción de energías renovables, movilidad y vivienda sustentable.

Para la elaboración de la ruta de descarbonización y el cumplimiento del presupuesto de carbono del sector eléctrico del estado de Jalisco, el Plan Estatal de Gobernanza y Desarrollo tomaría un papel fundamental. Tanto la temática de desarrollo económico (DE3) con enfoque de energía, como la temática transversal de cambio climático establecen líneas de acción pertinentes a analizar como medidas de mitigación de emisiones. Es importante señalar que la temática DE3 presenta como indicador la mitigación de emisiones por generación de energía limpia y medidas de eficiencia energética, mientras que el resultado específico TTE6 señala la importancia de incrementar la producción de energías renovables. Esto nos indica la relevancia de medir la contribución de generación de energía limpia sobre el total del presupuesto de carbono alineado al cumplimiento de una temperatura media global de 1.5°C.

4.6. Estrategia Estatal de Cambio Climático de Jalisco visión 2024—2030—2050

La Estrategia Estatal de Cambio Climático (EECC) es un instrumento rector desarrollado por la SEMADET en 2020 que tiene el propósito de avanzar con el cumplimiento de objetivos de acción climática a largo plazo establecidos por el estado de Jalisco. La EECC establece 21 ejes y 189 líneas de acción para alcanzar la neutralidad en carbono para el año 2050 a través de cuatro componentes: transversalidad de acción climática, mitigación, adaptación al cambio climático y el mecanismo de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación Forestal (REDD+). Dichas acciones están alineadas con un escenario que limite el aumento de la temperatura media global por debajo de 1.5°C al año 2050 en materia de mitigación.

La EECC presenta tres horizontes temporales distintos para alcanzar los objetivos de acción climática estatal en 2024, 2030 y 2050. Por un lado, la Visión 2024 define a la acción climática como agenda prioritaria, consolidada y en vías de implementación en el estado de Jalisco a través de políticas transversales de mitigación y adaptación, así como mecanismos de gobernanza para incremento de resiliencia y mitigación de GYCEI consistentes con la EECC. Por otro lado, la Visión 2030 promueve la reducción de emisiones de GYCEI en 45% respecto a las emisiones del año 2010, mientras que la Visión 2050 incita a lograr la neutralidad en carbono y adaptación del territorio a un escenario de aumento de temperatura media global de 4°C. La EECC establece también un límite de emisiones estatales para el año 2024 de 28.52 MtCO₂e, mientras que para el año 2030 se esperaría un presupuesto de 6.97 MtCO₂e procedentes de emisiones directas de todos los sectores del estado de Jalisco.

La publicación e implementación de la EECC es un hito en materia de cambio climático para México, ya que establece la referencia nacional para fortalecer y consolidar alianzas y vínculos en los diferentes niveles de gobierno. Además de contribuir a los acuerdos internacionales, la EECC promueve la capacidad adaptativa a largo plazo de sistemas, instituciones, habitantes y otros actores del estado de Jalisco en materia de cambio climático. Además, el compromiso de la EECC con el Acuerdo de París promueve la revisión periódica del instrumento para incorporar información y enfoques actualizados.

4.7. Comisión Interinstitucional para la Acción ante el Cambio Climático en el Estado de Jalisco (CICC)

En 2008 se creó *La Comisión Intersecretarial para el uso eficiente de la energía en el Estado de Jalisco*, la cual fue reformada en 2011 como *La Comisión Intersecretarial para el Cambio Climático y el uso eficiente y sustentable de la energía en el Estado de Jalisco* y finalmente en 2015 se actualizó como *La Comisión Interinstitucional para la Acción ante el Cambio Climático en el Estado de Jalisco*.

Según el segundo acuerdo de la última actualización del instrumento, la CICC se define como el órgano de consulta auxiliar en materia de cambio climático. Además, la CICC tiene como objetivo principal establecer, atender, coordinar y dar seguimiento a programas con el propó-

sito de impulsar acciones de mitigación y adaptación al cambio climático a través de instrumentos de política previstos y la Ley General de Cambio Climático a nivel federal. Particularmente, la Comisión tiene como atribución XI promover el uso de fuentes renovables de energía, proyectos integrales de ahorro de energía eléctrica y acciones correspondientes al reemplazo y rehabilitación de componentes de infraestructura; mientras que en su atribución XIII tiene el formular las políticas de administración de recursos energéticos que promuevan un uso eficiente y ahorro de éstos.

La CICC es presidida por el Gobernador de Estado y la integran 19 dependencias estatales, entre las cuales se encuentra la SEMADET, que funge como secretariado técnico y la SEDECO, en donde se encuentra sectorizada la Agencia Estatal de Energía. También tienen presencia tres coordinaciones generales estratégicas de gestión del territorio, desarrollo social y la de crecimiento económico y seis representaciones federales (SEMARNAT, CONANP, CONAFOR, SEDATU, SADER y CONAGUA). La Comisión opera desde 2015 y tiene tres grupos de trabajo definidos por la LACC, Mitigación, Adaptación y REDD+.

La participación de la CICC es fundamental en el desarrollo e implementación de rutas de descarbonización, ya que es el principal actor encargado de coordinar y concretar políticas públicas en materia de cambio climático en el estado de Jalisco. Además, particularmente para la descarbonización del sector eléctrico, la Comisión tiene como una de sus atribuciones el fomentar el uso de energías renovables y eficiencia energética a partir de su alineación con políticas climáticas verticales, horizontales e internacionales. Dicho soporte podría permitir el desarrollo de propuestas significativas para potencializar la descarbonización del sector eléctrico en conjunto con la CICC-JAL, las cuales tendrán que ser analizadas posteriormente para evaluar su efectividad en cuestión de mitigación de emisiones.

4.8. Guía para la Elaboración o Actualización de los Programas Municipales de Cambio Climático del Estado de Jalisco (GPMCC)

La GPMCC tiene como objetivo apoyar a los municipios a desarrollar o actualizar sus Programas Municipales de

Cambio Climático (PMCC), los cuales son instrumentos de planeación rectores en materia de cambio climático a nivel municipal, tal cual lo establece la LACC del estado de Jalisco. La GPMCC ofrece herramientas pertinentes para facilitar y estandarizar los procesos de conformación de los PMCC; ya que éstos son relevantes para identificar acciones y reducir GYCEI, disminuir la vulnerabilidad a nivel municipal, aumentar la resiliencia ante los efectos del cambio climático y contribuir a las metas climáticas estatales y nacionales bajo un marco de política transversal. La guía propone 10 etapas para el desarrollo de Programas Municipales de Cambio Climático, sin embargo, cada municipio puede realizar las modificaciones y adecuaciones particulares dependiendo de su contexto. Particularmente, el apartado 9.1.2.b. de propuestas de mitigación se consideran acciones en materia de energía para la reducción de emisiones a nivel municipal.

En específico, para el desarrollo de rutas de descarbonización del sector eléctrico, la GPMCC funge como soporte para potenciar el cumplimiento del presupuesto de carbono a partir de la implementación de estrategias de mitigación de cambio climático a nivel municipal. Gracias al apoyo y flexibilidad que ofrece la GPMCC es posible contextualizar diferentes alternativas en materia de energías renovables en los municipios. Sin embargo, será pertinente evaluar la efectividad de dichas alternativas para alcanzar los objetivos de reducción de emisiones en el estado de Jalisco.

4.9. Actualización del Inventario Estatal de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero de Jalisco (IEEGYCEIJ)

El IEEGYCEIJ tiene el objetivo de estimar las emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero para el estado de Jalisco. Dicho instrumento se actualizó en apego a las directrices del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) de 2006, con el ajuste a 2019 y el acompañamiento de Centro Mario Molina y el Instituto de Ecología y Cambio Climático. En este documento se establece el 2017 como año base para la medición de emisiones de cuatro sectores: energía; procesos industriales y uso de productos; agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra; y residuos. Esta

metodología considera sólo las emisiones que se realizan en el territorio estatal.

Como resultado, se obtuvo que el estado de Jalisco generó alrededor de 30.9 millones de tCO₂e durante el 2017. Sin embargo, 2.21 millones de tCO₂e fueron capturadas debido a la presencia de sumideros de carbono. De tal forma que 28.7 millones de tCO₂e netas fueron atribuidas al estado de Jalisco. Con respecto a la generación por sectores, se identificó que el sector energía aportó el 54%; el sector procesos industriales y uso de productos contribuyó el 6%; el sector de agricultura, silvicultura y uso de tierras representó el 29%; mientras que el sector residuos generó el 11% de las emisiones netas. Sin embargo, cabe destacar que la subcategoría [1A1] Industrias de la energía representa 0% debido a que en el territorio del estado de Jalisco no existe suficiente infraestructura para la producción de energía eléctrica para autoconsumo. Esto quiere decir que, a pesar de que no se emiten emisiones directas por generación eléctrica, sí se generan de manera indirecta debido a la importación de energía eléctrica generada a partir de combustibles fósiles en otros estados del país.

Se observa que la estimación de emisiones indirectas debido al consumo de energía eléctrica en el estado de Jalisco ascendió a 7.17 millones de tCO₂e anuales en el 2017, si se suman estas emisiones indirectas con las del IEEGYCEIJ el total es de 37.97 millones de tCO₂e en el 2017. Aunado a lo anterior, señala que la termoeléctrica Tierra Mojada, localizada en Zapotlanejo, Jalisco, entraría en funcionamiento durante el 2020 y sería responsable de 1.02 millones de tCO₂e adicionales por la generación de electricidad. No obstante, a la fecha el proyecto aún no se encuentra operando (INEEC, 2018).

4.10. Plan de Acción Climática del Área Metropolitana de Guadalajara (PACmetro)

El PACmetro es un instrumento de planeación y gestión climática a escala metropolitana que demuestra el compromiso del Gobierno de Jalisco. El PACmetro integra las acciones actuales y futuras para mitigación, adaptación e inclusión climática en los sectores clave: energía, movilidad y residuos. Dichas acciones están basadas en evidencia derivada de diagnósticos y análisis desde el Grupo de Liderazgo Climático C40 para medir el impacto de riesgo climático para los nueve municipios del Área Metropolitana de Guadalajara (AMG).

Además, el PACmetro señala dos puntos para la ruta de acción climática. Por un lado, se promueve la reducción progresiva y ambiciosa de emisiones en sectores clave y se contempla una trayectoria hacia 2050 con emisiones cero provenientes del sector energía, transporte y residuos. Por otro lado, se identifica el fortalecimiento de la capacidad adaptativa metropolitana con enfoque preventivo ante impactos climáticos. Cabe mencionar que el PACmetro permitirá llevar a cabo la implementación de acciones en materia climática a nivel municipal en el estado de Jalisco. Por lo tanto, dicho instrumento de política pública demuestra el compromiso y alineación vertical de acuerdos internacionales en materia de cambio climático hasta gobiernos locales para su puesta en acción y alcanzar la neutralidad de carbono en 2050.

5. METODOLOGÍA

La asignación de presupuestos de carbono tiene como objetivos una distribución justa de los esfuerzos de mitigación entre países o regiones y limitar la TMG por debajo de los 2°C (Rogelj *et al.*, 2018; Steiner *et al.*, 2020). El establecimiento de estándares y expectativas para los presupuestos de carbono nacionales se ha visto frenado por el estado de las negociaciones climáticas internacionales y la difícil redefinición del principio de responsabilidades comunes pero diferenciadas. No obstante, distintas entidades nacionales y subnacionales han realizado estimaciones de un presupuesto de carbono con el objetivo de establecer metas de reducción de emisiones en línea con las metas climáticas globales.

Existen varios métodos propuestos para dividir el presupuesto de carbono global entre países y regiones (Rau-pach *et al.*, 2014). De acuerdo con Gignac y Matthews (2015), la asignación de los presupuestos de carbono sigue dos principales tendencias. Por un lado, las asignaciones pueden basarse en la proporción de emisiones nacionales de GEI (asignación soberana), mientras que, por otro lado, dichas asignaciones pueden estar basadas en emisiones *per cápita* (asignación de igualdad) (Gignac y Matthews, 2015).

El establecimiento de un presupuesto de carbono que se base en las cuotas de emisión de GEI (asignación soberana), es decir, emisiones acumuladas históricas por país, divididas por las emisiones mundiales acumuladas históricas, es sencillo y para ello se pueden utilizar los datos históricos estimados por el Instituto de Potsdam para la Investigación del Impacto Climático (PIK) (Ramonés *et al.*, 2019).

Por su parte, la consideración de las emisiones *per cápita* se ha dado tradicionalmente a través del método de contracción y convergencia (asignación de igualdad) desarrollado por el *Global Commons Institute* (Meyer, 2000). Este método consiste en un proceso de dos etapas que establece un objetivo de emisiones *per cápita* para un año determinado que deben alcanzar todos los países o regiones (Ramonés *et al.*, 2019). El fundamento de este método se basa en un aumento o disminución inicial de las emisiones (en función de las emisiones *per cápita* del país) y su convergencia con el objetivo *per cápita* establecido.

Si bien, el enfoque de convergencia de la contracción toma en consideración las desigualdades que se ajustan gradualmente, no considera la responsabilidad histórica

de los diferentes países. Por lo tanto, la cuestión de la inequidad y la asignación justa de un presupuesto de carbono es compleja y todavía requiere un mayor grado de análisis.

Además de los métodos de asignación nacional ya mencionados, Rogelj *et al.* (2016) señalan que existen dos enfoques que se pueden utilizar para clasificar presupuestos de carbono en términos de sus picos máximos de temperatura alcanzada. El primer enfoque considera sólo aquellos escenarios que se mantienen en todo momento por debajo del umbral de temperatura establecido, es decir, 1.5°C o 2°C de calentamiento y producen lo que se conoce como Presupuestos de Evitación de Temperatura (TAB, por sus siglas en inglés). El segundo enfoque considera escenarios de emisión que superan momentáneamente estos umbrales de temperatura pero que luego se estabilizan en el objetivo establecido de 1.5°C o 2°C, generando lo que se conoce como Presupuestos de Excedencia de la Temperatura (TEB, por sus siglas en inglés).

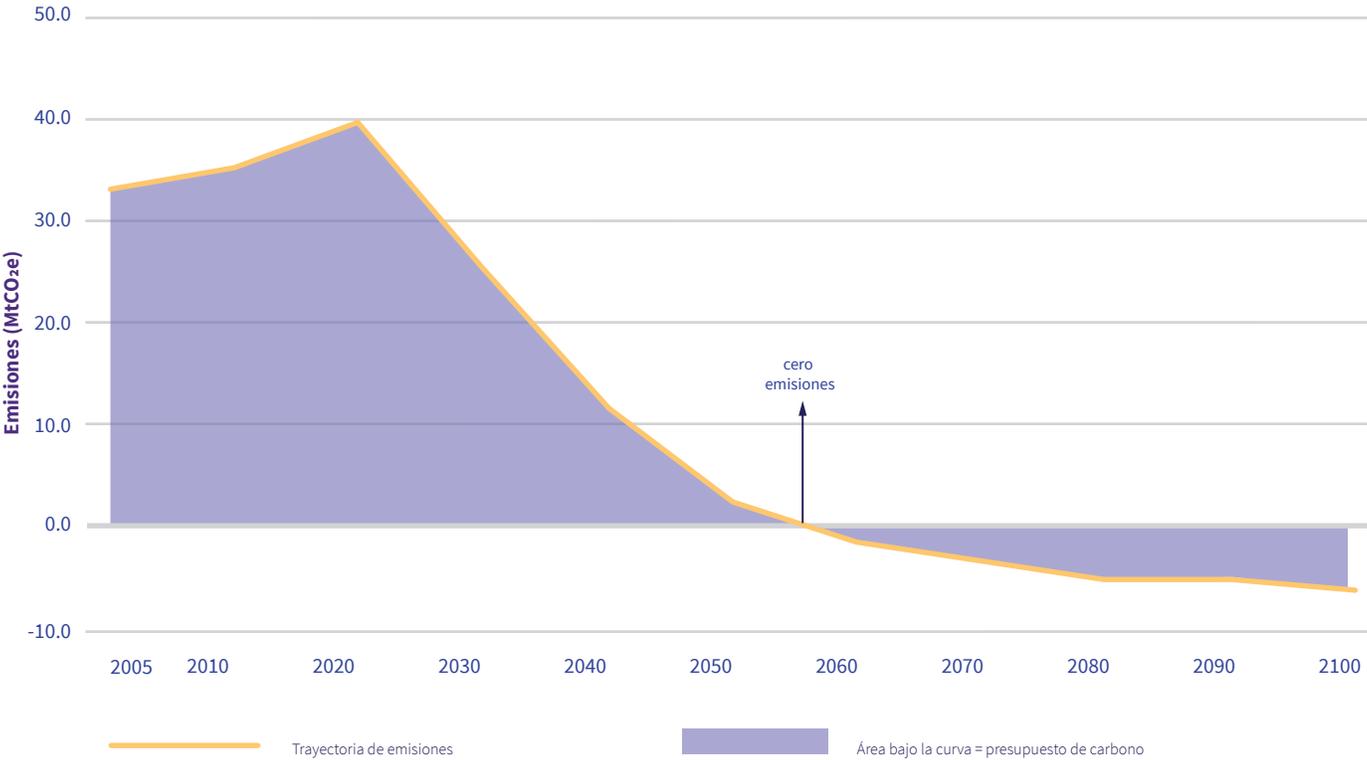
Dentro del marco conceptual para el diseño de una política climática acorde con los objetivos del Acuerdo de París, el método más adecuado es el seguido por los TAB (Meinshausen, Du Pont y Talberg, 2018). Desafortunadamente, los TEB son más frecuentes en la literatura. Las razones a favor de una acción temprana están relacionadas con el aprovechamiento de opciones de bajo costo y la creación de inercia para la transformación económica. En cuanto a los argumentos a favor de retrasar la acción, éstos corresponden a posturas optimistas con respecto al desarrollo tecnológico en el futuro, en especial el de tecnologías de emisiones negativas o de captura y almacenamiento de carbono.

Con base en la contribución histórica de México en las emisiones globales de GEI (1.39%), de la base de datos del Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK), se determinó el porcentaje de emisiones que representa el estado de Jalisco a las emisiones globales. Después, como referencia para obtener la proporción del estado con respecto al país, se tomó en consideración la Actualización del Inventario Estatal de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero de Jalisco, 2017 y sus respectivos sectores (energía, procesos industriales y uso de productos, AFOLU y residuos), así como las emisiones indirectas representadas por el consumo eléctrico.

Este último rubro es importante en el desarrollo de la metodología, ya que más adelante se presentará el presupuesto de carbono del estado de Jalisco correspondiente al sector eléctrico. La decisión de agregar el consumo eléctrico para el estado se debe a que el estado pertenece al Sistema Eléctrico Nacional. En este sistema existe un equilibrio entre la generación y la demanda eléctrica nacional, esto significa que para determinar la responsabilidad del estado sobre sus emisiones del sector eléctrico es más adecuado considerar el consumo eléctrico del territorio⁴. Para encontrar las emisiones del consumo eléctrico de Jalisco, primero se obtuvo el consumo estatal para el año 2017 (67,586,206.9 MWh) y el factor emisión de la red (0.58 tCO₂/MWh⁵), resultando en 39.2 MtCO₂e. Sin embargo, si se consideran las pérdidas de la Red Nacional de Transmisión y la Red de Distribución reportadas por el Centro Nacional de Control de Energía (CENACE) para el 2017, las emisiones del estado ascienden a 46.8 MtCO₂e.

Considerando lo anterior, el siguiente paso fue encontrar las emisiones totales del país para el año 2017. Dicha cifra se calculó a través de un ejercicio de proyección para actualizar el Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero del INECC, estimándose en 733.82 MtCO₂e para 2017. Obteniendo las emisiones totales nacionales y la cifra de emisiones del estado, la asignación del estado con respecto al país resultó en 5.34 %. Para conseguir la trayectoria del estado, esta cantidad se multiplica por el 1.39 % de las emisiones históricas del país resultando en 0.074%, lo cual representa la proporción del estado de Jalisco dentro de las emisiones globales. Con base en esta proporción, y de acuerdo con la trayectoria de emisiones estimada por el Instituto de Estudios Avanzados de Sostenibilidad (IAS, por sus siglas en inglés), a continuación, se presenta la trayectoria de emisiones que el estado de Jalisco tendría que seguir para cumplir con el objetivo de 1.5°C del Acuerdo de París (Figura 1).

Figura 1: Trayectoria del estado de Jalisco para alcanzar una TMG de 1.5°C



4 De acuerdo con la metodología del IPCC, se deben cuantificar las emisiones por la producción de electricidad que operan dentro del territorio inventariado. Sin embargo, para homologar la metodología se consideran como referencia las emisiones asociadas al consumo eléctrico y se elimina las emisiones de la industria eléctrica.

5 Factor de emisión del Sistema Eléctrico Nacional, 2017 CRE.

Como se puede observar, esta trayectoria muestra que, con base en la trayectoria del modelo para el cálculo del presupuesto de carbono, el estado de Jalisco alcanzaría la neutralidad de carbono en el año 2060. Sin embargo, es importante mencionar que aún no incluye las medidas de mitigación consideradas en la Ruta de Descarbonización del estado, con lo cual esta neutralidad de carbono podría alcanzarse en 2040, este tema se abordará en la siguiente sección del documento.

Una vez establecida la trayectoria de emisiones para el estado de Jalisco, el siguiente paso es obtener la ecuación que la represente:

Ecuación 1:

$$T_{\text{Jalisco}} = 0.000162t^3 - 0.994224t^2 + 2029.329t - 1380105.3227$$

Donde, la variable dependiente corresponde a las emisiones anuales de dióxido de carbono equivalente (T_{Jalisco}) en Megatoneladas de dióxido de carbono equivalente (MtCO₂e) y la variable independiente es el tiempo (t) en años. Como se puede observar, la regresión anterior es una fun-

ción polinomial de tercer grado con un grado de correlación (R^2) de 0.9459, lo cual representa un alto nivel de asociación directa entre el tiempo y las emisiones anuales⁶.

Como siguiente paso, se debe obtener la integral () que representan el área bajo la curva de la trayectoria del estado de Jalisco para el período 2019 al 2100. De esta forma, se determinan la función integral de la Ecuación 1 y se evalúa para el intervalo 2019-2100, de la siguiente manera:

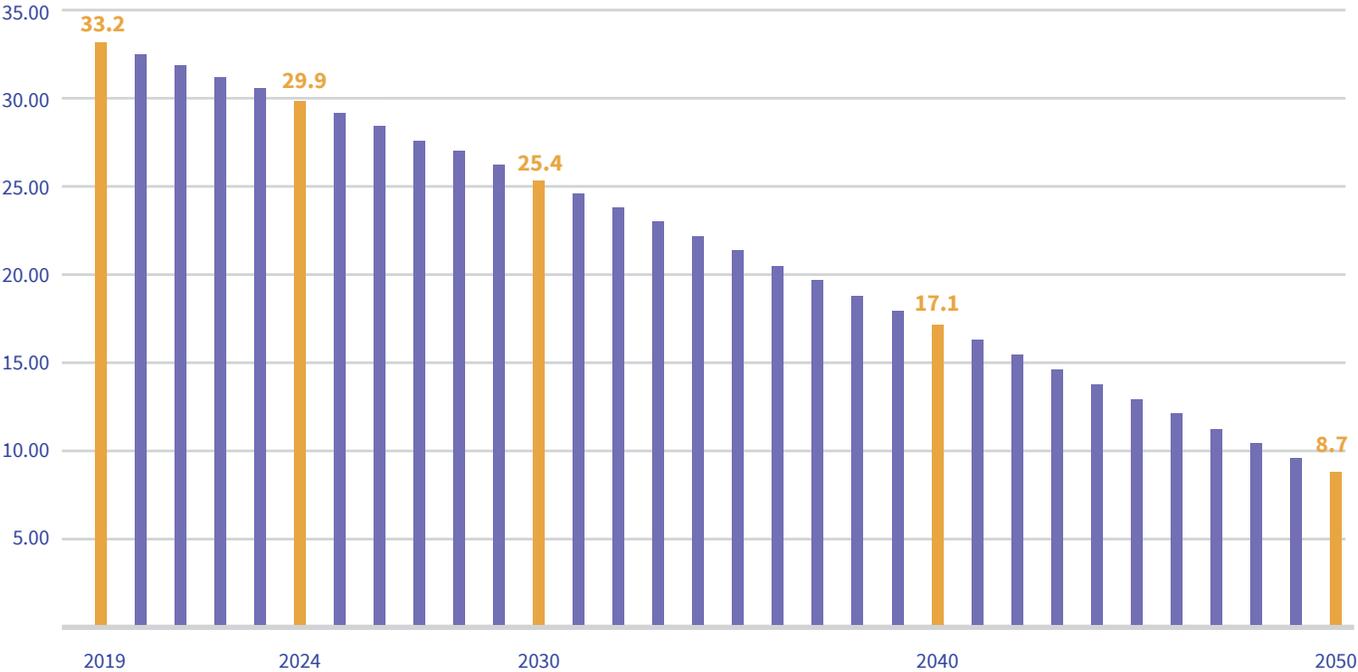
Ecuación 2:

$$B_{\text{Jalisco}} = \int_{2019}^{2100} (0.000162t^3 - 0.994224t^2 + 2029.329t - 1380105.3227)dt$$

Resolviendo y evaluando la Ecuación 2, se estimó el presupuesto de carbono para el estado de Jalisco en 527.29 MtCO₂e.

Utilizando como punto de partida la metodología empleada de estimación de presupuesto de carbono para el estado de Jalisco, donde se evalúa la función (2) de manera anual, a continuación se presentan nuevas metas de mitigación anualizadas (ver Figura 2) que ofrecen una perspectiva clara del límite de emisiones que tendría que cumplir el estado para mantenerse en una trayectoria alineada a una TMG de 1.5°C.

Figura 2: Propuesta de metas de mitigación del estado para el periodo 2020-2050 para mantener la TMG en 1.5°C



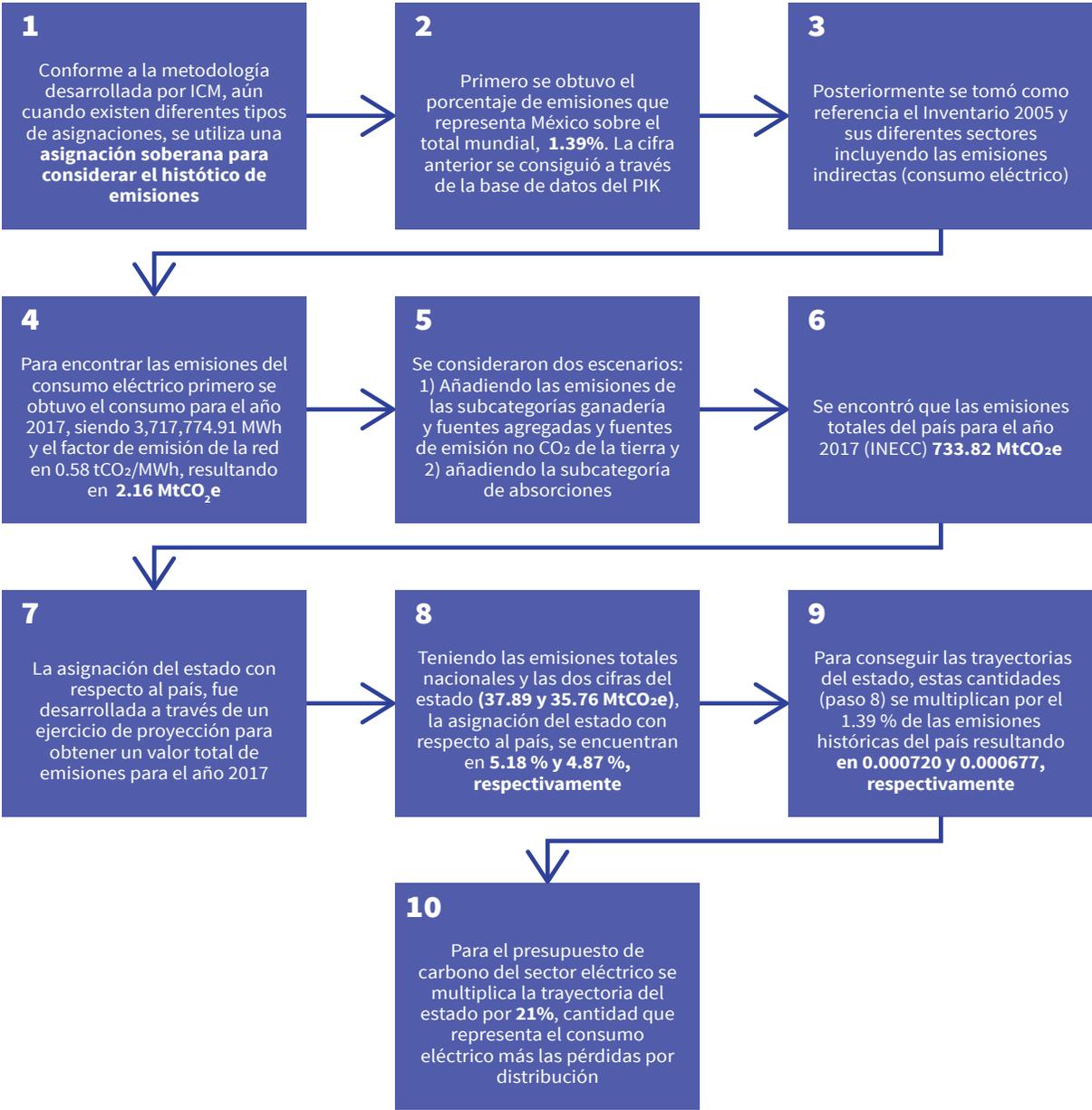
⁶ El coeficiente de correlación indica el grado o nivel de vinculación directa que existe entre las variables de la ecuación, en este caso, las emisiones y el tiempo. Mientras más cercano a 1 sea el valor del coeficiente de correlación, más certera es la validez de los datos.

Por último, es importante señalar que existen diferentes elementos metodológicos que fueron considerados y asociados a la estimación de presupuesto de carbono subnacional. El primero son las cero emisiones netas que, como se puede observar en la sección 3 del presente documento, los diferentes compromisos internacionales establecidos en los últimos años tienen como meta lograr las cero emisiones netas de dióxido de carbono en el año 2050. Sin embargo, debido a que la metodología desarrollada por la ICM considera las estimaciones de dióxido de carbono equivalente del Reporte Especial del IPCC, los resultados arrojan que las cero emisiones netas se lograrían hasta el año 2060. No obstante, como se mencionó anteriormente,

este escenario puede cambiar una vez considerada la Ruta de Descarbonización en la metodología.

Otro aspecto metodológico, son las subcategorías de tierras y absorciones, dichos 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, 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.

Figura 3: Resumen de metodología de cálculo del presupuesto de carbono para el sector eléctrico desarrollado por ICM.



6. RESULTADOS

6.1. Presupuesto de carbono y metas de mitigación del sector eléctrico

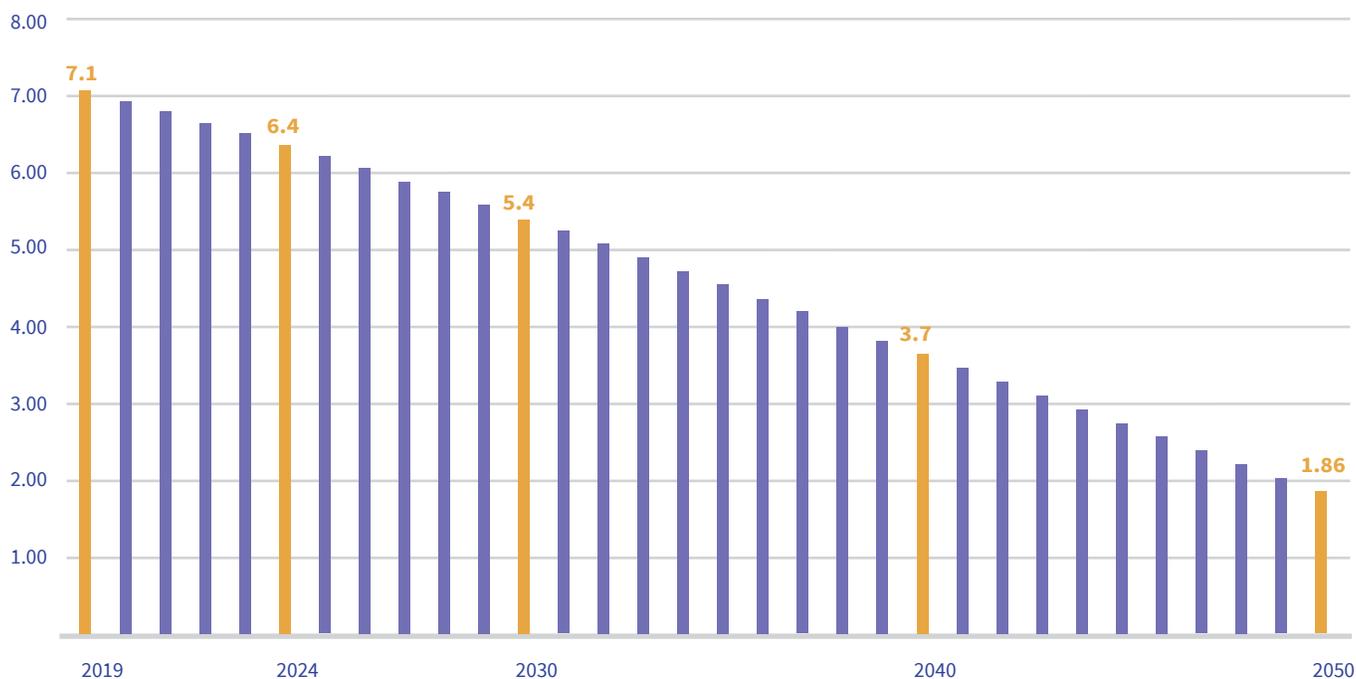
Para el cálculo del presupuesto de carbono del sector eléctrico del estado de Jalisco, se consideró que las emisiones del consumo eléctrico representan el 21% de las emisiones totales. Esta proporción fue calculada a partir del consumo eléctrico del estado durante el año 2017, así como también la energía perdida debido a transforma-

ción y distribución reportada por CENACE y utilizando como factor de conversión el factor de emisión establecido para el Sistema Eléctrico Nacional.

Como resultado, se obtuvo un presupuesto de carbono del sector eléctrico de 112.61 MtCO₂e para el período 2019-2100. Poniendo en perspectiva dicho valor, si se continuara el ritmo de generación de emisiones actuales por parte del sector eléctrico, el presupuesto de carbono se agotaría en el año 2031.

Al igual que el presupuesto de carbono del estado, para el sector eléctrico de Jalisco se calcularon las metas de mitigación anuales para el período 2020-2050, las cuales se presentan en la Figura 4.

Figura 4: Propuesta de metas de mitigación del sector eléctrico estatal para el periodo 2020-2050 para mantener la TMG en 1.5°C.



En la Figura 4, es posible observar que para los años 2024, 2030 y 2050 el límite de emisiones que el estado debe de procurar es de 6.4, 5.4 y 1.86 MtCO₂e, respectivamente. Dichas

cifras serán el punto de referencia para la elaboración de metas de mitigación para el sector eléctrico que ayuden a construir la ruta de descarbonización para el sector.

6.2. Ruta de descarbonización para el sector eléctrico

Antes de elaborar la ruta de descarbonización del sector eléctrico estatal, es importante contar con un diagnóstico del sector eléctrico que ayude a identificar el potencial del estado para el despliegue de energías renovables y medidas de eficiencia energética. La caracterización de la demanda del sector eléctrico encontró que el estado de Jalisco tuvo un consumo total de 13,736.11 GWh durante el 2017, así como un déficit energético, ya que el estado importó alrededor de 11,016.4 GWh para satisfacer la demanda de los diferentes sectores. Particularmente, el estado de Jalisco fue responsable de la generación de 3,034.6 GWh durante el 2019, de los cuales el 85% provino de centrales eléctricas con tecnologías renovables como solar, eólica e hidráulica.

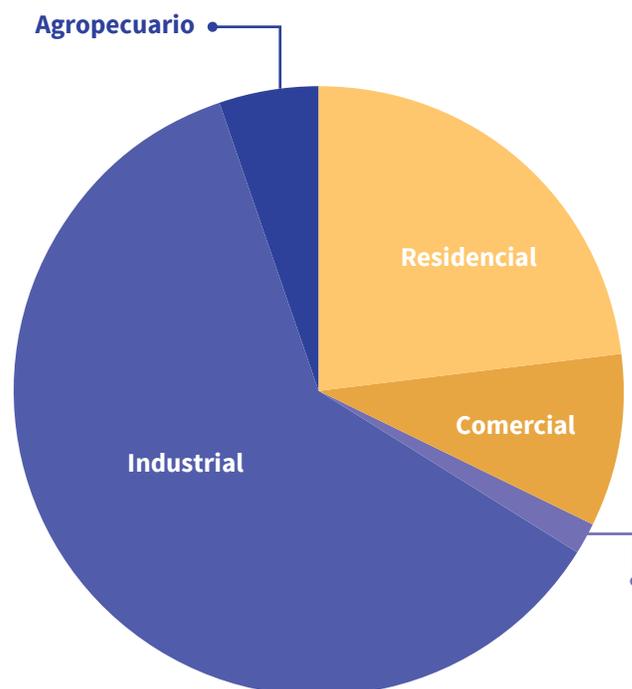
Tabla 3: Capacidad instalada de energía eléctrica por Tecnología.

Tecnología	Capacidad (MW)
Turbina de Vapor	112.80
Turbina de Gas	14.00
Combustión Interna	80.14
Hidráulica	1178.60
Eólica	200.00
Fotovoltaica	109.60
TOTAL	1695.14

Fuente: Elaboración propia con datos de PRODESEN 2017-2031, PRODESEN 2018-2032 e información proporcionada por el Gobierno de Jalisco.

Dentro del consumo de energía eléctrica en el estado en 2019, es posible identificar que el sector industrial fue responsable del consumo del 60.87% de la energía eléctrica del estado de Jalisco, seguido por el sector residencial con 23.28% y el sector comercial con 9.03%.

Figura 5: Consumo de energía eléctrica en 2019 en el estado de Jalisco.



Fuente: Elaboración propia con datos de usuarios y consumo de electricidad por municipio (2010-2017) y usuarios y consumo de electricidad por municipio (a partir de 2018).

Para poder identificar el potencial de generación de energías renovables de Jalisco, se realizó un análisis detallado de los principales proyectos de generación renovable propuestos por el Inventario Nacional de Energías Limpias (INEL), una evaluación a nivel municipal de los mapas de distribución y caracterización de cada recurso, así como la información sobre los Costos Nivelados de Energía reportados por organismos líderes en la materia. Adicionalmente, se identificó en el Inventario Nacional de Energías Limpias (INEL) cinco proyectos con potencial eólico probado para el estado de Jalisco, sumando una capacidad total de 417.40 MW, así como hasta cuatro proyectos de generación solar fotovoltaica con potencial probado en el estado de Jalisco, los cuales suman una capacidad total de 850 MW (SENER, 2018).

De igual forma, se calculó que 403,046 usuarios podrían hacer uso de sistemas fotovoltaicos para generación distribuida. De tal forma que el estado de Jalisco podría tener un

potencial total de 14,507 MW a partir del establecimiento de la tecnología, particularmente en el sector comercial.

Por otro lado, el Balance Energético del Estado permitió señalar que la pérdida energética por transmisión y distribución de electricidad en Jalisco es similar a la demanda eléctrica del sector comercial y agropecuario juntos. Por lo tanto, la optimización en el proceso de transmisión de energía podría mejorar el aprovechamiento de los recursos energéticos disponibles, así como disminuir su importación.

El diagnóstico eléctrico del estado de Jalisco permite identificar los consumos sectoriales, así como la infraestructura de la red eléctrica del estado, lo que permite realizar la planeación e implementación de medidas de descarbonización contextualizadas.

El catálogo de medidas que será presentado a continuación tiene como propósito acelerar en el corto plazo, la transición energética en el territorio estatal, mediante el desarrollo de proyectos de alto impacto para descarbonizar la electricidad de Jalisco. Esta acción será una contribución significativa a la mitigación de GEI por este rubro ante las NDC de México, y servirá de ejemplo palpable para que el resto de los factores económicos del estado se vean también involucrados.

Parte del análisis de las medidas considera la implementación de tecnologías para la eficiencia energética y generación de energía limpia en dos horizontes de tiempo: periodo de transición de 10 años para establecer objetivos a corto plazo, así como también evaluación del efecto desencadenado en los diferentes sectores estatales hasta el año 2050.

6.2.1. Catálogo de medidas identificadas

La ruta de descarbonización del sector eléctrico de Jalisco considera la implementación de tres medidas generales: eficiencia energética, usuario calificado y generación distribuida. Por un lado, la categoría general de eficiencia energética considera la sustitución o adquisición de tecnología eficiente para la disminución de la intensidad energética en los sectores público, industrial, comercial y residencial.

Por el lado de la medida de Usuario Calificado, se considera la identificación y registro de edificios públicos ante la CRE y adquirir el suministro eléctrico como participante del mercado o mediante suministrador de servicios calificados que, de acuerdo con la Ley de la Industria Eléctri-

ca (LIE), son los usuarios con un nivel de demanda mayor o igual a 1 MW. Finalmente, la medida de generación distribuida engloba la introducción de tecnología solar fotovoltaica eléctrica a pequeña escala interconectada a un circuito de distribución que posibilita la interacción con la red eléctrica en las áreas disponibles de sector público, industrial, comercial y residencial.

En total, el catálogo de medidas de descarbonización del sector eléctrico considera la implementación de 15 diferentes acciones para los sectores público, industrial, comercial y residencial en la forma de eficiencia energética, usuario calificado y generación distribuida. Cada una de las medidas presenta su descripción técnica y supuestos para el cálculo del potencial de mitigación para un horizonte de 10 años. De igual manera, cada una de las medidas de mitigación presenta los co-beneficios⁷ asociados en forma de creación de empleos directos e indirectos, la inversión total, así como el beneficio de mitigación por tonelada de CO₂e evitada al llevar a cabo la implementación de la medida.

6.2.1.1. Sector Público

En las siguientes secciones se presentan las medidas de mitigación para el sector público del estado de Jalisco. El sector público es uno de los que menos demanda eléctrica requiere, ya que sólo representa el 1.8% del consumo estatal, sin embargo, su participación en la implementación de las medidas de mitigación, tanto en eficiencia energética, generación distribuida y registro de edificios en el esquema de usuario calificado es relevante para sentar el precedente y el ejemplo en el cumplimiento de las metas climáticas estatales por parte de los otros sectores.

6.2.1.1.1. Sustitución de focos LED en edificios de la administración pública de Jalisco

Esta medida de eficiencia energética contempla la sustitución total de las lámparas de las oficinas administrativas, y escuelas públicas del Estado de Jalisco en un escenario de transición a 10 años. La tecnología propuesta contempla lámparas LED de 15W, con un potencial de ahorro entre 30% (Islas-Samperio *et al.*, 2020) y 90% con respecto a luminarias convencionales (SECOVISA-SENER, 2015).

Para llevar a cabo la medición del potencial estatal con respecto a focos ahorradores LED, se utilizó como referencia la lista de edificios públicos con sus respectivas facturas de consumo eléctrico del año 2019. Además, se hizo una segmentación de los edificios públicos dependiendo

⁷ El término co-beneficios hace referencia a los efectos positivos que se derivan de la implementación de una o varias políticas, estrategias o planes de acción de mitigación y adaptación para hacer frente al cambio climático (TWB, 2010; IAS, 2013; IPCC, 2014).

de sus funciones, es decir, oficinas administrativas y escuelas públicas. Posteriormente se realizó el agregado de consumo eléctrico anual por tipo de edificio y se calculó el gasto energético correspondiente a la iluminación para cada tipología de inmuebles. De acuerdo con Acosta *et al.* (2019), CONUEE (2019) y Comisión Europea (2011) se identificó que la iluminación corresponde al 50% del consumo eléctrico en oficinas y el 15% en escuelas. Por lo tanto, utilizando dichos valores, se calculó el consumo eléctrico actual por el uso de luminarias en cada uno de los edificios públicos de Jalisco, según su tipología.

Con base a lo anterior, se estimó que 394,913 lámparas deberán ser sustituidas por lámparas eficientes de tecnología LED de 15W. De igual forma, la medida considera el recambio de 115,351 lámparas a los 7 años. Utilizando de manera

convencional un ahorro del 60% en consumo eléctrico por iluminación con focos ahorradores LED, se calculó también el nuevo gasto energético al llevar a cabo la sustitución.

Para el cálculo de los co-beneficios, es decir, creación neta de empleos a partir de la sustitución de focos LED en edificios de la administración pública de Jalisco, se utilizó como referencia el análisis realizado por el Consejo Americano para la Economía de Eficiencia Energética (ACEEE, por sus siglas en inglés). Como supuesto se consideró una creación de 21 empleos netos por cada millón de dólares de inversión en la medida de eficiencia energética (ACEEE, 2011) y se consideró una tasa de cambio de 19.26 MXN por cada dólar.

Tabla 4: Potencial de mitigación de medidas de eficiencia energética en el sector público.

Edificio Público	Número de Edificios	Potencial de mitigación en 10 años (tCO ₂ e)	Co-beneficio (creación de empleos)	Inversión (Millones MXN)	Beneficio de Mitigación (MXN/tCO ₂ e)
Oficinas administrativas	384,504	33,320	2,130	58.9	2,713
Escuelas públicas	10,409	882	56	1.5	2,982
Total	394,913	34,202	2,186	60.4	5,695

En la tabla 4 se destaca el hecho de que en solo 10 años, la aplicación de esta medida reduce un total de 34,202 tCO₂e, representando un beneficio económico para el estado de 5,695 MXN por cada tonelada de CO₂ equivalente que se mitiga, aunado a la creación de más de 2 mil empleos.

6.2.1.1.2. Sustitución de luminarias públicas de vapor de sodio por eficientes

Esta medida de eficiencia energética contempla la sustitución total de las luminarias públicas de vapor de sodio del estado de Jalisco por luminarias eficientes. La tecnología propuesta contempla lámparas LED T8 de 15W, con

un potencial de ahorro entre 30% (Islas-Samperio *et al.*, 2020) y 90% con respecto a las luminarias convencionales (SECOVISA-SENER, 2015).

Con base en el consumo de iluminación de servicios públicos, se estimó que 350 mil lámparas deberán ser sustituidas por lámparas eficientes de tecnología LED de 15W. De igual forma, la medida considera la sustitución de 35 mil lámparas por año durante un periodo de transición de 10 años. Utilizando de manera convencional un ahorro del 60% en consumo eléctrico por iluminación con luminarias ahorradoras LED, se calculó también el nuevo gasto energético al llevar a cabo la sustitución.

Tabla 5: Potencial de mitigación de medidas de eficiencia energética en el sector público.

Concepto	Luminarias	Potencial de mitigación en 10 años (tCO ₂ e)	Co-beneficio (creación de empleos)	Inversión (Millones MXN)	Beneficio de Mitigación (MXN/tCO ₂ e)
Luminarias en Jalisco	350,000	427,928	10,108	280	32,124

En comparación con la medida implementación de focos LED, la sustitución de luminarias públicas por iluminación eficiente, a pesar de requerir una inversión casi 5 veces mayor, esta medida tiene el potencial de mitigar 12 veces la cantidad de emisiones.

6.2.1.1.3. Registro de edificios de la administración pública como Usuario Calificado

Esta medida contempla la capacidad del sector público de adquirir suministro eléctrico directamente del Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) mediante el registro de sus edificios ante la Comisión Reguladora de Energía (CRE) a través de un suministrador de servicios calificados (SSC) que ofrezca *tarifas verdes* con las cuales se certifica un mayor suministro de energías limpias al consumidor.

Los edificios considerados para la implementación de esta medida son aquellos que cuenten con un nivel de demanda mayor o igual a 1 MW, así como también por medio de la unión de puntos de carga.

Para el caso de Jalisco, se utilizó como referencia la lista de edificios de la administración pública del estado con sus respectivas facturas de consumo eléctrico. Posteriormente, se realizó una diferenciación entre los edificios que tenían una demanda contratada mayor a 1 MW, así como también los edificios con un consumo anual superior a 700 MWh. Lo anterior se realizó con la intención de darle oportunidad a los edificios con alto consumo de catalogarse bajo el esquema de Usuario Calificado a partir de la unión de puntos de carga para las diferentes dependencias. De un total de 850 edificios públicos, solamente se seleccionaron 13 inmuebles para la medición del potencial de mitigación por medio del registro de usuario calificado ante la CRE.

La medida también considera que no se requiere de una inversión económica inicial por la implementación de la acción, ya que se asume que la nueva tarifa como usuario calificado cubrirá tales costos.

Con respecto al proveedor de energía limpia, para el cálculo de esta medida se consideró una tarifa ponderada, la cual se compone en parte por la energía adquirida por dicho proveedor, de distintas fuentes de energía limpia, y en parte por la energía adquirida a un *ejido solar*, que representa el 33% del valor total de la tarifa en términos de la cantidad de energía que este ejido puede otorgar al proveedor de energía.

El ejido solar es un mecanismo que ofrece la oportunidad de incluir a la tecnología solar fotovoltaica en un segmento de la población, que habitualmente ha sido relegado del desarrollo económico y social, a partir de una granja solar con capacidad instalada de 499 kW, de acuerdo con el límite establecido por la legislación para ser considerado como generador exento, para descarbonizar respectivamente el consumo eléctrico. Particularmente, el beneficio del ejido solar sería bilateral, puesto que los ejidatarios se verían beneficiados económicamente gracias a la venta total de la energía eléctrica generada por la granja solar, mientras que a la red eléctrica se le suministraría con fuentes renovables.

Además, para la realización del cálculo de ahorro se considera que la tarifa de Gran Demanda en Media Tensión horaria (GDMTH)⁸ presenta el precio de 2.51 MXN/kWh, mientras que la tarifa ponderada de usuario calificado radica en 2.4 MXN/kWh. Aunado a lo anterior, se considera también que ambas tarifas eléctricas presentarán un incremento anual del 4% debido a la inflación.

Para el cálculo de los co-beneficios, es decir, la creación neta de empleos a partir del registro de edificios de la administración pública de Jalisco como Usuarios Calificados y el desarrollo del proyecto de ejido solar, se utilizó como referencia el Modelo internacional de empleo y desarrollo económico (IJEDI) con un año base 2020.

Tabla 6: Potencial de mitigación de medidas de usuario calificado en el estado de Jalisco.

Medida	Edificios	Potencial de mitigación en 10 años (tCO ₂ e)	Co-beneficio (creación de empleos)	Ahorro (Millones MXN)	Beneficio de Mitigación (MXN/tCO ₂ e)
Usuario Calificado	13	95,382	1248	46	8,231

⁸ La Tarifa GDMTH aplica para los servicios cuya demanda es mayor o igual a los 100 kW y tiene la particularidad de que el costo de energía (kWh) depende de la hora en la que ésta sea consumida.

De todas las medidas propuestas para el sector público, esta medida es la única que no precisa de una inversión inicial para poder ser llevada a cabo. A pesar de que los co-beneficios de generación de empleos y ahorros para el sector pudieran no ser representativos en comparación con otras medidas propuestas, es importante destacar que esta medida evita una cantidad considerable de emisiones y puede ser aplicada en el corto plazo y reflejando sus beneficios en un periodo menor de tiempo.

6.2.1.1.4. Generación distribuida en edificios públicos de la administración pública de Jalisco

Para ser considerado como generador exento, de acuerdo con el límite establecido por la legislación, la medida de generación distribuida considera la instalación de paneles solares de hasta 499 kW en las áreas potenciales disponibles. Para realizar el cálculo del potencial de mitigación de emisiones estatales en los edificios del sector público, se calcularon las emisiones mitigadas por año para un total de 100 edificios de la administración pública del estado de Jalisco. En particular, para esta medición se consideraron ciertos supuestos para la estimación del área disponible por edificio.

La capacidad de los módulos fotovoltaicos es considerada en 345 W. Dependiendo del tipo de edificio de administración de la lista proporcionada, se consideró que, para un clima templado, se tiene un consumo de 109.6 kWh/m²año en oficinas, 40.5 kWh/m²año en escuelas y 218.5 kWh/m²año en hospitales (CONUEE, 2019). A partir del consumo anual de cada uno de los edificios, así como las relaciones de consumo por área dependiendo del edificio

se estimó el área aproximada disponible para la instalación de paneles solares.

Posterior a un análisis de mapas digitales del muestreo representativo de 10 edificios públicos, se consideró como supuesto que, en promedio, los inmuebles cuentan con dos niveles de construcción, así como una disponibilidad del 80% de techos sin sombras. Por lo tanto, dichas características permitieron establecer el estimado de área disponible para los módulos fotovoltaicos.

Con las áreas obtenidas se realizó la división de dichos valores sobre la relación de 15m² por kW instalado. De tal manera que el resultado permitió estimar la capacidad instalada potencial por edificio. Para el cálculo de mitigación se excluyó a los edificios que requerirían una capacidad instalada mayor a 499 kW. Finalmente, se realizó la suma de las áreas potenciales para la instalación. El cálculo anterior permite la instalación de hasta 5.5 MW de paneles solares a nivel estatal y una generación de 10.1 GWh por año.

Para el primer año de operación de los paneles solares a nivel estatal se espera una mitigación de 4,784 tCO₂e. Dicho valor resulta de multiplicar la generación de 9,472 MWh anuales por un factor de emisión de 0.505 tCO₂e/MWh en el año 2019.

Para el cálculo de los co-beneficios, es decir, la creación neta de empleos a partir del desarrollo de proyectos solar fotovoltaicos, se utilizó como referencia el Modelo internacional de empleo y desarrollo económico (I-JEDI) con un año base 2020.

Tabla 7: Potencial de mitigación de medidas de generación distribuida en el sector público.

Medida	Edificios	Potencial de mitigación en 10 años (tCO ₂ e)	Co-beneficio (creación de empleos)	Inversión (Millones MXN)	Beneficio de Mitigación (MXN/tCO ₂ e)
Generación Distribuida	100	163,331	863	124 ⁹	1,255

A partir de los resultados mostrados en la Tabla 7, podemos destacar que hacia el 2030 la aplicación de esta medida sí genera un retorno de inversión, en comparación con la misma aplicada a otros sectores como el industrial o el comercial, como se analizará en las siguientes secciones. Además, reduce más de 163,331 tCO₂e y genera alrededor de 863 empleos.

6.2.1.2. Sector Industrial

En las siguientes secciones se presentan las medidas de mitigación para el sector industrial del estado de Jalisco. A pesar de que el sector industrial de Jalisco demanda y consume la mayor cantidad de energía del estado con un consumo de 8,361.2 GWh en 2019, la realidad es que el

⁹ Considera el costo por mantenimiento durante el año 13.

consumo eléctrico industrial es localizado en muy pocos usuarios y centros de carga. Por lo tanto, las siguientes medidas representan el promedio de las diferentes escalas que podrían presentarse e implementarse por los diferentes usuarios del sector industrial.

6.2.1.2.1. Eficiencia energética por medio de la sustitución de motores eléctricos

Alrededor del 70% de la electricidad que se consume en el sector industrial corresponde al uso de motores eléctricos (De Almeida y Fong, 2011). La medida considera que un motor convencional consume un promedio anual de 46 MWh, y su sustitución por uno más eficiente permitirá un ahorro del 20% del consumo eléctrico por unidad (Islas-Samperio *et al.*, 2020).

Dicha medida toma en cuenta el incremento de la demanda del consumo eléctrico del sector industrial y el consecuente incremento de motores que se encuentran en operación. Aunado a lo anterior, se asumió un costo promedio de motor industrial de 41,028 MXN, una tasa media de crecimiento anual de 2.07%, una tasa de interés de 4.25% y una inflación del 4% (BANXICO, 2021).

Al igual que para otras medidas de eficiencia energética, el cálculo de los co-beneficios, es decir, la creación neta de empleos a partir de la sustitución de motores eficientes, se utilizó como referencia el análisis realizado por el ACEEE. Como supuesto, se consideró una creación de 21 empleos netos por cada millón de dólares de inversión en la medida de eficiencia energética (ACEEE, 2011) y se consideró una tasa de cambio de 19.26 MXN por cada dólar.

Tabla 8: Potencial de mitigación de medidas de eficiencia energética en el sector industrial por sustitución de motores eficientes.

Medida	Motores	Potencial de mitigación en 10 años (tCO ₂ e)	Co-beneficio (creación de empleos)	Ahorro (Millones MXN)	Beneficio de Mitigación (MXN/tCO ₂ e)
Sustitución de motores	62,213	1,564,532	7,763	7,120	2,073

Como se verá en esta sección, las medidas de eficiencia energética son de las más costo-efectivas para los sectores industrial y comercial. Tal es el caso de la medida de sustitución de motores, la cual duplica, en términos de un beneficio económico, la inversión necesaria para su aplicación.

Para el cálculo de potencial de mitigación hasta la neutralidad, se considera un escenario de transición de 40 años para sustituir la totalidad de los motores por equipos más eficientes, es decir, hasta 282,037 motores eficientes en dicho escenario a largo plazo para el estado de Jalisco.

6.2.1.2.2. Eficiencia energética por medio de la implementación de variadores de velocidad ajustables (ASD)

Los ASD se utilizan como método para controlar el uso de la energía y la salida de potencia mecánica, ajustando

la velocidad de los motores eléctricos para que el motor pueda funcionar a la velocidad más eficiente según el tamaño del motor y su uso final (Kent, 2018). La medida considera la instalación de variadores de velocidad ajustables (ASD) en motores eléctricos para mejorar la eficiencia operativa. Dicha acción permite un incremento del 20% adicional en el ahorro por consumo eléctrico del motor (Islas-Samperio *et al.*, 2020).

Además, la medida considera el incremento de la demanda del consumo eléctrico del sector industrial y el consecuente incremento de motores operando, así como sus respectivos ASD. Aunado a lo anterior, se asumió un costo promedio ASD de 62,852 MXN, una tasa media de crecimiento anual de 2.07%, una tasa de interés de 4.25% y una inflación del 4% (BANXICO, 2021).

Tabla 9: Potencial de mitigación de medidas de eficiencia energética en el sector industrial por implementación de ASD.

Medida	ASD	Potencial de mitigación en 10 años (tCO ₂ e)	Co-beneficio (creación de empleos)	Inversión (Millones MXN)	Beneficio de Mitigación (MXN/tCO ₂ e)
Implementación de ASD	62,213	1,564,532	6,210	3,925	1,376

Para el cálculo de potencial de mitigación hasta la neutralidad, se considera un escenario de transición de 40 años para instalar, en la totalidad de los motores, su respectivo ASD. Es decir, hasta 282,037 ASD en el sector industrial del estado.

6.2.1.2.3. Eficiencia energética por medio de la sustitución e instalación de refrigeradores eficientes en el sector industrial de Jalisco

Los refrigeradores industriales son responsables del consumo del 5% de la electricidad en el sector industrial, con

un consumo promedio anual de 995 MWh por unidad (FSTC, 2004). No obstante, la sustitución del refrigerador por uno más eficiente permitirá un ahorro del 25% del consumo eléctrico por equipo de refrigeración (Islas-Samperio *et al.*, 2020).

La medida considera el incremento de la demanda del consumo eléctrico del sector industrial y el consecuente incremento de refrigeradores operando. Aunado a lo anterior, se asumió un costo promedio de refrigerador industrial de 16,798 MXN, una tasa media de crecimiento anual de 2.07%, una tasa de interés de 4.25% y una inflación del 4%.

Tabla 10: Potencial de mitigación de medidas de eficiencia energética en el sector industrial por sustitución de refrigeradores eficientes.

Medida	Refrigeradores	Potencial de mitigación en 10 años (tCO ₂ e)	Co-beneficio (creación de empleos)	Inversión (Millones MXN)	Beneficio de Mitigación (MXN/tCO ₂ e)
Sustitución de refrigerador eficiente	204	136,645	204	3.3	3,438

Para un escenario de transición de 40 años, donde se intenta sustituir la totalidad de los refrigeradores por equipos más eficientes, tendrían que considerarse hasta 926 refrigeradores eficientes en dicho escenario de transición.

6.2.1.2.4. Eficiencia energética por medio de la eliminación de fugas en aire comprimido

En promedio, cerca del 18% de la energía eléctrica consumida por un motor eléctrico se debe a la operación de sistemas de aire comprimido (DOE, 2002). Sin embargo, la eliminación de fugas en tales sistemas podría promover un ahorro energético del 20% (Islas-Samperio *et al.*, 2020).

Esta medida de mitigación considera el incremento de la demanda del consumo eléctrico del sector industrial

y el consecuente incremento de motores operando, así como la respectiva presencia de potenciales de fugas en sistemas de aire comprimido. Por lo tanto, para la modelación de la medida de mitigación se asumió un consumo eléctrico promedio anual por sistema de aire comprimido de 114 MWh y un costo promedio de 4,924 MXN para la eliminación de fugas en sistemas de aire comprimido (Islas-Samperio *et al.*, 2020). Además, se consideró como supuesto una tasa media de crecimiento anual de 2.07%, una tasa de interés de 4.25% y una inflación del 4%.

Además, la implementación de la medida considera un periodo de transición de 10 años, de tal forma que 4,289 sistemas de aire comprimido serán revisados y recibirán el mantenimiento necesario para la eliminación de fugas y mejorar la eficiencia energética de los sistemas.

Tabla 11: Potencial de mitigación de medidas de eficiencia energética en el sector industrial por eliminación de fugas en aire comprimido.

Medida	Sistemas de Aire Comprimido	Potencial de mitigación en 10 años (tCO ₂ e)	Co-beneficio (creación de empleos)	Inversión (Millones MXN)	Beneficio de Mitigación (MXN/tCO ₂ e)
Eliminación de fugas en aire comprimido	4,289	253,937	4,289	4.6	3,390

Para un escenario de transición de 40 años, donde se intente eliminar la totalidad de fugas de aire comprimido por equipos más eficientes, tendrían que considerarse hasta 20,037 sistemas de aire comprimido eficientes.

6.2.1.2.5. Eficiencia energética por medio de la sustitución por focos eficientes LED en el sector industrial

Se estima que los sistemas de iluminación representan el 9% del consumo eléctrico del sector industrial con un uso medio de 15 horas/día (CONUEE, 2010). Esta medida

de eficiencia energética contempla la sustitución total de las lámparas del sector industrial en un escenario de transición a 10 años. La tecnología propuesta contempla lámparas LED de 15W, con un potencial de ahorro entre 30% (Islas-Samperio *et al.*, 2020).

Con base en lo anterior, se estimó que 18,877,000 lámparas deberán ser sustituidas por lámparas eficientes de tecnología LED de 15W. Utilizando de manera convencional un ahorro del 60% en consumo eléctrico por iluminación con focos ahorradores LED, se calculó también el nuevo gasto energético al llevar a cabo la sustitución.

Tabla 12: Potencial de mitigación de medidas de eficiencia energética en el sector industrial por sustitución de focos LED.

Medida	FOCO LED	Potencial de mitigación en 10 años (tCO ₂ e)	Co-beneficio (creación de empleos)	Inversión (Millones MXN)	Beneficio de Mitigación (MXN/tCO ₂ e)
Sustitución de focos LED	18,877,000	23,079,963	23,522	15,101	32,123

6.2.1.2.6. Instalación de aparatos para control de demanda en edificaciones industriales

Esta medida considera la instalación de sensores para medir la ocupación de un lugar, así como el uso de enchufes inteligentes capaces de medir el consumo de corriente, lo que permite ahorrar entre 20% (NAMA PYME, 2021) y 34% de energía eléctrica al cortar la alimentación de los aparatos que funcionan innecesariamente (Jun y Seo, 2015).

Para el cálculo del potencial de mitigación, se consideró el consumo eléctrico por iluminación del sector industrial y se asumió que hasta un 20% del consumo eléctrico de la iluminación podría ser ahorrado a partir de la implementación de la medida. Por lo tanto, se asumió un costo promedio de 262 MXN por cada MWh ahorrado a partir de la implementación de aparatos de control de demanda, una tasa media de crecimiento anual de 2.07%, una tasa de interés de 4.25%, una inflación del 4% y un costo de tarifa de 1.81 MXN por cada kWh.

Tabla 13: Potencial de mitigación de medidas de eficiencia energética en el sector industrial por implementación de aparatos para control de demanda.

Medida	MWh Ahorrados	Potencial de mitigación en 10 años (tCO ₂ e)	Co-beneficio (creación de empleos)	Inversión (Millones MXN)	Beneficio de Mitigación (MXN/tCO ₂ e)
Aparatos para control de demanda en sector industrial	348,529	172,173	142	91.3	3,058

6.2.1.2.7. Generación distribuida en edificios del sector industrial de Jalisco

La medida de generación distribuida considera la instalación de paneles solares de hasta 499 kW en las áreas potenciales disponibles de los edificios del sector industrial en Jalisco. El potencial de GD para el estado de Jalisco se trata de una estimación basada únicamente en el atractivo económico de utilizar sistemas fotovoltaicos para la generación de energía eléctrica. No es un potencial técnico, ya que dentro del análisis no se considera la factibilidad técnica de instalación de los sistemas en los techos o terrenos de los usuarios potenciales ni la disponibilidad de interconexión eléctrica.

No obstante, según los datos de GD de la CRE corte junio 2020 se identificaron 6,442 usuarios del sector industrial para los cuales la tarifa de instalación de un sistema fotovoltaico resultaría atractiva. Con base en la capacidad promedio de la oferta comercial de módulos fotovoltaicos (345 W/módulo) (GIZ, 2020) se obtuvo el potencial total de capacidad instalada en generación distribuida para el sector industrial de Jalisco con un valor de 1,498 MW.

Debido a la falta de facturas de consumo eléctrico para el sector industrial, se estimó el potencial de generación distribuida por unidad identificada en dicho sector. Este ejercicio resultó en la instalación de 231 kW de tecnología solar fotovoltaica por cada uno de los 6,442 edificios detectados. Sin embargo, para esta acción de mitigación, se considera un escenario de transición de 10 años donde inicialmente se instalarán los paneles solares en 2,147 edificios.

Además, como supuesto de generación eléctrica se consideró un factor de planta del 25%, es decir, una generación de 5.5 horas por día. Se asumió un costo promedio de 23,055 MXN por la instalación de cada W de sistema fotovoltaico, una tasa de descuento de 8.40%, una inflación del 4% y un costo de tarifa de 0.767 MXN por cada kWh.

Para el cálculo de los co-beneficios, es decir, la creación neta de empleos a partir del desarrollo de proyectos solar fotovoltaicos se utilizó como referencia el Modelo internacional de empleo y desarrollo económico (I-JEDI) con el año base 2020.

Tabla 14: Potencial de mitigación de medidas de eficiencia energética en el sector industrial por implementación de ASD.

Medida	Edificios	Potencial de mitigación en 10 años (tCO ₂ e)	Co-beneficio (creación de empleos)	Inversión (Millones MXN)	Beneficio de Mitigación (MXN/tCO ₂ e)
Generación Distribuida en Sector Industrial	2,147	14,528,757	23,980	3,921	-5,788 ^a

^a El signo negativo indica que durante los primeros 10 años del escenario, la inversión no se ha recuperado, lo cual puede suceder hacia el final del periodo de estudio 2019–2050.

Contrario a lo que se presentó para el sector público, la aplicación de la generación solar distribuida en el sector industrial no propicia un retorno de inversión positivo durante el periodo de análisis (10 años). Sin embargo, es muy posible que este retorno de inversión se vuelva positivo, hacia el final del escenario.

Para un escenario de transición de 30 años, donde se intente implementar la tecnología de paneles solares fotovoltaicos en el sector industrial, tendrían que considerarse hasta 6,442 edificios para dicho escenario de transición.

6.2.1.3. Sector Comercial

En las siguientes secciones se presentan las medidas de mitigación para el sector comercial del estado de Jalisco. El análisis de la caracterización de la demanda eléctrica denota que dicho sector es responsable del 9% del consumo eléctrico en Jalisco. Por lo tanto, su participación en la implementación de las medidas de mitigación de eficiencia energética y generación distribuida es clave para la reducción de actividades intensivas energéticamente y contribuir a las metas climáticas estatales para la descarbonización del sector eléctrico de Jalisco.

6.2.1.3.1. Eficiencia energética por medio de la sustitución de aires acondicionados

Se estima que los sistemas de aire acondicionado representan el 17% del consumo eléctrico de los motores utilizados por el sector comercial (Islas-Samperio *et al.*, 2015).

Esta medida de eficiencia energética contempla la sustitución total de los aires acondicionados en un escenario de transición a 10 años.

Se considera que un aire acondicionado promedio consume 480 mil MWh por año y presenta un potencial de ahorro entre 40% (Islas-Samperio *et al.*, 2015). Se asumió un costo promedio de 13,143 MXN para la eliminación de fugas en sistemas de aire comprimido, una tasa media de crecimiento anual de 2.07%, una tasa de interés de 4.25% y una inflación del 4% de acuerdo con el Banco de México.

Para el cálculo de los co-beneficios, la creación neta de empleos a partir de la sustitución de aires acondicionados, se utilizó como referencia el análisis realizado por el ACEEE. Como supuesto se consideró una creación de 21 empleos netos por cada millón de dólares de inversión en la medida de eficiencia energética (ACEEE, 2011) y se consideró una tasa de cambio de 19.26 MXN por cada dólar.

Tabla 15: Potencial de mitigación de medidas de eficiencia energética en el sector comercial por sustitución de aires acondicionados.

Medida	Aires Acondicionados	Potencial de mitigación en 10 años (tCO ₂ e)	Co-beneficio (creación de empleos)	Inversión (Millones MXN)	Beneficio de Mitigación (MXN/tCO ₂ e)
Sustitución de aires acondicionados	85	45,092	85	1.1	3,362

Al igual que las medidas de eficiencia energética propuestas para el sector industrial, el beneficio económico de esta medida, propuesta para el sector comercial, supera ampliamente la inversión necesaria para su implementación, además de ser una fuente de empleo.

6.2.1.3.2. Eficiencia energética por medio de la sustitución por focos eficientes LED en el sector comercial

Se estima que la iluminación representa el 40% del consumo eléctrico del sector comercial, representado por un uso de 13.5 horas por día (Islas-Samperio *et al.*, 2015). Por lo tanto, la medida de eficiencia energética contempla la sustitución total de las lámparas del sector comercial en un escenario de transición a 10 años. La tecnología propuesta contempla lámparas LED de 15W, con un potencial de ahorro entre 30% (Islas-Samperio *et al.*, 2020).

Con base en lo anterior, se estimó que 12,446,146 lámparas deberán ser sustituidas por lámparas eficientes de tecnología LED de 15W. Utilizando de manera convencional un ahorro del 60% en consumo eléctrico por iluminación con focos ahorradores LED, se calculó también el nuevo gasto energético al llevar a cabo la sustitución.

Para el cálculo de los co-beneficios, la creación neta de empleos a partir de la sustitución de focos eficientes LED, se utilizó como referencia el análisis realizado por el ACEEE. Como supuesto se consideró una creación de 21 empleos netos por cada millón de dólares de inversión en la medida de eficiencia energética (ACEEE, 2011) y se consideró una tasa de cambio de 19.26 MXN por cada dólar.

Tabla 16: Potencial de mitigación de medidas de eficiencia energética en el sector comercial por sustitución de focos ahorradores LED.

Medida	Foco LED	Potencial de mitigación en 10 años (tCO ₂ e)	Co-beneficio (creación de empleos)	Inversión (Millones MXN)	Beneficio de Mitigación (MXN/tCO ₂ e)
Sustitución de focos LED	12,446,146	15,217,280	15,912	10,184	32,052

6.2.1.3.3. Eficiencia energética por medio de la instalación de aparatos para control de demanda

Al igual que para el sector industrial, esta medida considera la instalación de sensores para medir la ocupación de un lugar, así como el uso de enchufes inteligentes capaces de medir el consumo de corriente, lo que permite ahorrar entre 20% (NAMA PYME, 2021) y 34% de energía eléctrica al cortar la alimentación de los aparatos que funcionan innecesariamente (Jun y Seo, 2015).

Para el cálculo del potencial de mitigación, se consideró el consumo eléctrico por iluminación del sector comercial y se asumió que hasta un 20% del consumo eléctrico de la iluminación podría ser ahorrado a partir de la implementación de la medida. Por lo tanto, se asumió un costo promedio de 266 MXN por cada MWh ahorrado a partir de la implementación de aparatos de control de demanda, una tasa media de crecimiento anual de 2.07%, una tasa de interés de 4.25%, una inflación del 4% y un costo de tarifa de 1.81 MXN por cada kWh de acuerdo con el valor indicado por CFE para el sector comercial de gran demanda con consumo de media tensión.

Tabla 17: Potencial de mitigación de medidas de eficiencia energética en el sector comercial por la instalación de aparatos para control de demanda.

Medida	MWh Ahorrados	Potencial de mitigación en 10 años (tCO ₂ e)	Co-beneficio (creación de empleos)	Inversión (Millones MXN)	Beneficio de Mitigación (MXN/tCO ₂ e)
Aparatos para control de demanda en sector comercial	183,836	92,837	75	48.9	4,024

6.2.1.3.4. Generación distribuida en edificios del sector comercial de Jalisco

La medida de generación distribuida considera la instalación de paneles solares de hasta 499 kW en las áreas potenciales disponibles de los edificios del sector comercial en Jalisco. Así como se estableció para el sector industrial, el potencial de GD para el sector comercial del estado de Jalisco se trata de una estimación basada únicamente en el atractivo económico de utilizar sistemas fotovoltaicos para la generación de energía eléctrica. No es un potencial técnico, ya que dentro del análisis no se considera la factibilidad técnica de instalación de los sistemas en los techos o terrenos de los usuarios potenciales ni la disponibilidad de interconexión eléctrica.

No obstante, según los datos de GD de la CRE corte junio 2020 se identificaron 370,665 usuarios del sector comercial para los cuales la tarifa de instalación de un sistema fotovoltaico resultaría atractiva. Con base en la estimación de la capacidad promedio de un sistema fotovoltaico, es decir, 345 W por módulo, se obtuvo el potencial de generación distribuida (MW) para el sector comercial en Jalisco. Como resultado, se estimó dicho potencial total en 12,897 MW.

Debido a la falta de facturas de consumo eléctrico para el sector comercial, se estimó el potencial de generación distribuida por unidad identificada en dicho sector. Este ejercicio resultó en la instalación de 34.8 kW de tecnología solar fotovoltaica por cada uno de los 96,666 edificios detectados. Sin embargo, para esta acción de mitigación, se considera

un escenario de transición de 10 años donde inicialmente se instalarán los paneles solares en 30,889 edificios.

Además, como supuesto de generación eléctrica se consideró un factor de planta del 25%, es decir, una generación de 5.5 horas por día. Se asumió un costo promedio de 22,540 MXN por la instalación de cada W de sistema fo-

tovoltaico, una tasa de descuento de 8.40%, una inflación del 4% y un costo de tarifa de 0.767 MXN por cada kWh. Para el cálculo de los co-beneficios, es decir, la creación neta de empleos a partir del desarrollo de proyectos solar fotovoltaicos, se utilizó como referencia el modelo I-JEDI con un año base 2020.

Tabla 18: Potencial de mitigación de generación distribuida en sector comercial.

Medida	Edificios	Potencial de mitigación en 10 años (tCO ₂ e)	Co-beneficio (creación de empleos)	Inversión (Millones MXN)	Beneficio de mitigación de Mitigación (MXN/tCO ₂ e)
Generación distribuida en sector comercial	30,889	31,256,618	51,589	76,676	-755 ^a

^a El signo negativo indica que durante los primeros 10 años del escenario, la inversión no se ha recuperado, lo cual puede suceder hacia el final del periodo de estudio 2019-2050

Al igual que en el sector industrial, la aplicación de la generación solar distribuida en el sector comercial no propicia un retorno de inversión positivo durante el periodo de análisis (10 años). Sin embargo, es muy posible que este retorno de inversión se vuelva positivo hacia el final del escenario.

Para un escenario de transición de 30 años, donde se intenta implementar la tecnología de paneles solares fotovoltaicos en el sector comercial, tendrían que considerarse hasta 96,666 edificios.

6.2.1.4. Sector Residencial

En las siguientes secciones se presentan las medidas de mitigación para el sector residencial del estado de Jalisco. Tanto los cálculos como los supuestos fueron elaborados por el Centro Mario Molina como parte del proyecto *Desarrollo y socialización de rutas de descarbonización para dos Entidades Federativas alineadas a su respectivo Presupuesto de Carbono*. No obstante, la estimación de los potenciales de mitigación, así como los costos de abatimiento serán utilizados para la evaluación del potencial de reducción de emisiones para el sector eléctrico del estado de Jalisco.

Particularmente, la implementación de medidas de mitigación en el sector residencial es crítica para alcanzar las metas climáticas del presupuesto de carbono para Jalisco. Esto se debe a que el sector residencial destaca por ser el segundo más intensivo en cuestión energética del esta-

do, representado un consumo del 23.3% de las emisiones del sector eléctrico de Jalisco.

6.2.1.4.1. Implementación de calentadores de agua solares y calentadores de paso eficientes

Para esta medida se considera la implementación de calentadores de agua solares para la reducción de emisiones debido al suministro de agua caliente en el sector residencial. Particularmente se considera la disminución de consumo de gas LP bajo tres escenarios: adición de calentadores solares a calentadores con gas LP, sustitución de calentadores existentes por calentadores nuevos de tipo instantáneo de paso y sustitución de calentadores con sistemas de calentamiento solar, junto con calentadores de paso como respaldo.

A partir de información de los resultados de la Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares (ENCEVI) 2018 se estimó la cantidad de equipos utilizados para el calentamiento de agua en viviendas, así como los diferentes patrones de uso y el combustible utilizado. Para estimar el consumo de calentadores a gas, así como las posibles reducciones se utilizó el software RETScreen 4, desarrollado por el Ministerio de Recursos Naturales de Canadá (Natural Resources Canada, 2018).

Para la estimación del consumo de los calentadores de agua antiguos se consideró una demanda de 180 L de agua por día por vivienda con 4 ocupantes, una temperatura de salida de 45°C, así como una eficiencia mínima de

65%84% dependiendo de la antigüedad de los calentadores identificados. Para el caso de los colectores solares se consideraron unidades con área de captación de 2m² y capacidad de almacenamiento de 150 L de agua caliente, tal cual los propone la CONUEE en su Programa para la Promoción de Calentadores Solares en México (PROCALSOL).

Además, se consideró una inversión de 14,800 MXN por la adquisición e instalación de los calentadores, incluido el mantenimiento a los 5 años de uso. Para un calentador de paso eficiente se consideró un costo de 5,100 MXN por adquisición de equipo, instalación, accesorios y mantenimiento. Finalmente, para el sistema de calentador solar con respaldo a gas instantáneo se consideró una inversión de 19,900 MXN, considerando adquisición de equipo, instalación, accesorios y mantenimiento a los 5 años. De

igual manera, se consideró un horizonte de 10 años, con una tasa de interés del 10%. Con respecto a los costos de abatimiento se considera una introducción gradual de los calentadores solares en el sector residencial de Jalisco, empezando con un 10% anual a partir de 2021, hasta llegar a una introducción del 100% en 2030.

Para el cálculo de los co-beneficios, es decir, creación neta de empleos a partir de la sustitución de calentadores solares en el sector residencial, se utilizó como referencia el análisis realizado por el ACEEE. Como supuesto se consideró una creación de 21 empleos netos por cada millón de dólares de inversión en la medida de eficiencia energética (ACEEE, 2011) y se consideró una tasa de cambio de 19.26 MXN por cada dólar.

Tabla 19: Potencial de mitigación por medio de la sustitución de calentadores solares en el sector residencial.

Medida	Calentadores Solares	Potencial de mitigación en 10 años (tCO ₂ e)	Co-beneficio (creación de empleos)	Inversión (Millones MXN)	Beneficio de Mitigación (MXN/tCO ₂ e)
Sustitución de calentadores solares	865,548	373,248	20,550	13,157	116

Esta es la única medida que contempla la generación y ahorro de energía térmica en lugar de considerar a la energía eléctrica. Como se puede observar, supera los beneficios ambientales y de generación de empleos dentro de este sector, en comparación con las medidas de eficiencia energética mostradas más adelante. Aunque no necesariamente es la medida más costo-efectiva.

6.2.1.4.2. Sustitución de refrigeradores de más de 10 años

La medida considera el reemplazo de refrigeradores de más de 10 años de antigüedad en el estado de Jalisco. Con base en la información de la ENCEVI se identificó la cantidad de equipos en el estado, así como el consumo anual de electricidad para cada uno de los aparatos descritos por la encuesta. Además, se utilizó la información propuesta por Letscher *et al.* (2011) para realizar la clasificación de los refrigeradores según sus características principales, antigüedad y consumos eléctricos estimados. A partir del análisis, se consideró que los equipos susceptibles de ser reemplazados son aquellos con más de 10 años de antigüedad.

Dependiendo de la capacidad de los refrigeradores existentes, se consideraron cuatro diferentes costos de inversión en el equipo. Por ejemplo, para refrigeradores tipo bar con menos de 6 ft³, se consideró un precio de 5,056 MXN; para un refrigerador de 610 ft³, se identificó un precio de 8,824 MXN; para refrigeradores entre 1115 ft³ se estimó un precio de 8,549 MXN; para capacidades de 1620 ft³ se consideraron 9,835 MXN; mientras que para una capacidad mayor a 20 ft³ se consideró un precio de 19,413 MXN.

De igual manera, se consideró un horizonte de 10 años, con una tasa de interés del 10%. Con respecto a los costos de abatimiento se considera una introducción gradual de los refrigeradores en el sector residencial de Jalisco, empezando con un 10% anual a partir de 2021, hasta llegar a una introducción del 100% en 2030. Además, las emisiones abatidas corresponden a la electricidad que deja de utilizarse por los ahorros energéticos, así como gracias al efecto de la introducción de unidades con refrigerantes distintos, comparado con los refrigerantes supuestos para los aparatos actuales.

Tabla 20: Potencial de mitigación por medio de la sustitución de refrigeradores de más de 10 años en el sector residencial.

Medida	Refrigeradores	Potencial de mitigación en 10 años (tCO ₂ e)	Co-beneficio (creación de empleos)	Inversión (Millones MXN)	Beneficio de Mitigación (MXN/tCO ₂ e)
Sustitución de refrigeradores	731,984	61,691	6,945	6,383	41,036

6.2.1.4.3. Sustitución de aires acondicionados de más de 10 años

La medida considera el reemplazo de aires acondicionados de más de 10 años de antigüedad en el estado de Jalisco. A partir de información de la ENCEVI se obtuvo la potencia eléctrica y la capacidad de enfriamiento de los diferentes equipos disponibles, así como también el rendimiento energético. Además, como supuesto se consideró una disminución adicional de la generación de emisiones debido al cambio en el refrigerante en los aires acondicionados identificados.

Particularmente, se consideró un 10% de fugas anuales, y una carga inicial de 0.75 kg de refrigerantes para aires tipo ventana, y de 0.81, 1.05, 1.58 y 2.1 kg de refrigeran-

te para aires acondicionados tipo *split* de 9,000, 12,000, 18,000 y 24,000 BTU/h, respectivamente. Además, se parte del supuesto donde el 98% de los aires acondicionados entre 1020 años funcionan con refrigerante R22, mientras que el 2% restante lo hace con R104 (UNEP, 2011; GIZ, 2014).

La medida de sustitución de equipos considera 2 diferentes capacidades para los aires acondicionado tipo *invertir*. Para el caso de una capacidad de 12,000 BTU/h se consideró un costo de 8,107 MXN y una carga de 0.83 kg de R410a. Por otro lado, para la capacidad de 18,000 BTU/h se consideró un costo de 11,269 MXN y una carga de 1.1 kg del refrigerante R410a.

Tabla 21: Potencial de mitigación por medio de la sustitución de aires acondicionados de más de 10 años en sector residencial.

Medida	Equipos	Potencial de mitigación en 10 años (tCO ₂ e)	Co-beneficio (creación de empleos)	Inversión (Millones MXN)	Beneficio de Mitigación (MXN/tCO ₂ e)
Sustitución de aires acondicionados	14,283	783	196	141.4	32,667

6.2.1.4.4. Generación distribuida en edificios del sector residencial de Jalisco

Esta medida considera la implementación de paneles solares fotovoltaicos en las áreas disponibles del sector residencial en el estado de Jalisco. La energía generada a través de la implementación de la tecnología permitirá el abastecimiento de la demanda eléctrica de las viviendas, mientras que el excedente será inyectado en la red por medio de un contrato de Medición Neta (*Net Metering*, en inglés). Para la realización de dicho contrato se requerirá la instalación de un medidor bidireccional para la contabilización de los flujos eléctricos en ambos sentidos, es decir, de la vivienda a la red de CFE y viceversa.

Para la estimación de los beneficios de reducción sobre el consumo eléctrico residencial se utilizó la información proporcionada por la Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas

Particulares (ENCEVI) 2018, elaborada por el INEGI (INEGI, 2019). Dicha fuente presenta información sobre las características de los diferentes equipos eléctricos y parámetros de consumo a nivel residencial segmentada por características socioeconómicas.

Para el cálculo de la capacidad fotovoltaica se utilizó el software de simulación del comportamiento de sistemas de energía híbridos (HOMER, *Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources*). Con respecto al detalle técnico

de los módulos fotovoltaicos se consideró una potencia nominal de 305 W y una eficiencia de inversores de 95%. Con respecto a la inversión, se consideró un costo de 1,425 MXN para el medidor bidireccional. Dicho software permite la modelación de diferentes sistemas solares, con información de la demanda eléctrica, recurso solar, y las características y costos de los equipos considerados (GIZ, CNBiogás, ASOLMEX, AMIF y ANES, 2020). Para sistemas fotovoltaicos de hasta 2.5 kW se consideró un costo de sistema de paneles de 26.83 MXN por W y un costo de inversores de 9.82 MXN por W. Para sistemas fotovoltaicos entre 2.5 y 5 kW se consideró un costo de sistema de

paneles de 28.82 MXN por Watt y un costo de inversores de 8.42 MXN por Watt.

Con respecto a los costos de abatimiento se considera una introducción gradual de los sistemas fotovoltaicos en el sector residencial de Jalisco, empezando con un 10% anual a partir de 2021, hasta llegar a una introducción del 100% en 2030. Para el cálculo de los co-beneficios, es decir, la creación neta de empleos a partir del desarrollo de proyectos solar fotovoltaicos en sector residencial, se utilizó como referencia el modelo I-JEDI con un año base 2020.

Tabla 22: Potencial de mitigación por medio de la generación distribuida en el sector residencial.

Medida	Edificios	Potencial de mitigación en 10 años (tCO ₂ e)	Co-beneficio (creación de empleos)	Inversión (Millones MXN)	Beneficio de Mitigación (MXN/tCO ₂ e)
Generación distribuida en sector residencial	2,368,863	2,033,696	74,760	94.7	4,794

Como se puede observar, el sector residencial de Jalisco puede ser un gran detonante para evitar emisiones del sector eléctrico. A través de implementación de esta medida, se pueden llegar a mitigar más de dos millones de tCO₂e en tan solo 10 años. Esto señala el gran potencial de esta medida. Por otro lado, también puede ser implementada en el corto plazo, reflejando sus beneficios en menor tiempo.

6.2.1.4.5. Implicaciones y evaluación crítica de los resultados

De acuerdo con los modelos utilizados para el cálculo del presupuesto de carbono, es posible identificar dos aspectos clave: 1) que la generación de emisiones por parte del sector eléctrico del estado de Jalisco debería limitarse, teóricamente, a 112.6 MtCO₂e durante el período 2019-2100, con la intención de limitar la TMG en 1.5°C; y 2) que la neutralidad de carbono tanto nacional como subnacional debería alcanzarse en 2060. Sin embargo, con la ruta de descarbonización propuesta para los sectores público, industrial, comercial y residencial del estado de Jalisco es posible acelerar dicho proceso, alcanzando la total descarbonización del sector eléctrico de Jalisco en el año 2040, y comenzando a evitar más emisiones que las que genera cada uno de los sectores descritos a partir del año 2040, tal como se muestra en el área gris de la Figura 6.

La implementación diversificada de medidas de eficiencia energética, generación distribuida y registro bajo esquema de usuario calificado ofrece la posibilidad de realizar la transición energética de forma paulatina y planeada para cada uno de los sectores del estado. Además de promover la reducción evidente de emisiones debido al consumo eléctrico, el catálogo de medidas anteriormente presentado ofrece soluciones costo-efectivas que disminuyen la demanda energética; promueven la generación descentralizada de energía limpia para autoconsumo; fomentan el ahorro y facilitan la identificación de proyectos para la asignación de recursos en inversiones estratégicas. De igual manera, la ruta de descarbonización impulsa el desarrollo económico a partir de la creación de empleos directos e indirectos en la cadena de valor de cada una de las diferentes tecnologías necesarias para la puesta en marcha de las medidas de mitigación.

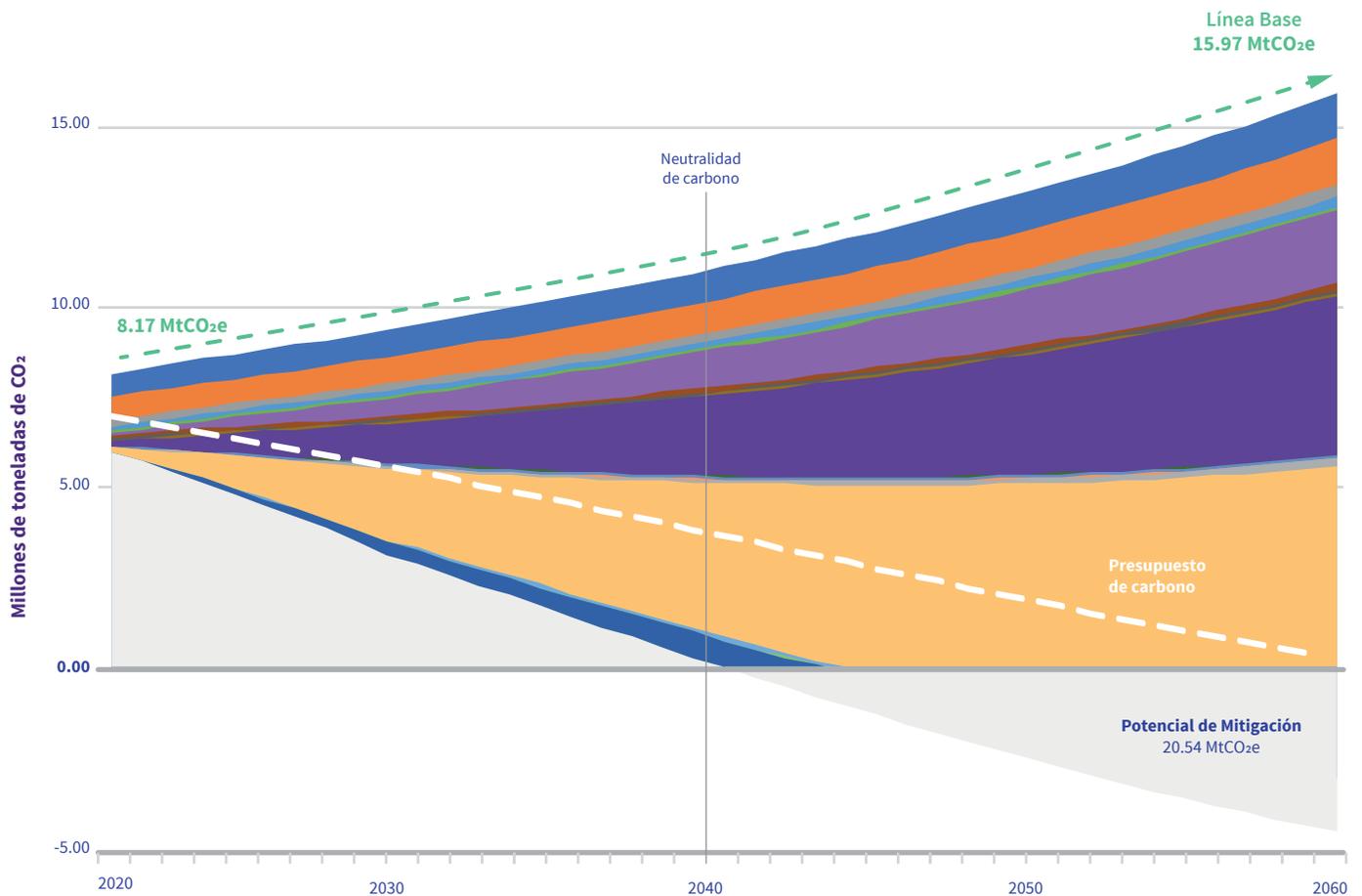
No obstante, existen ciertas condiciones actuales en los cálculos que generan cierto grado de incertidumbre al momento de señalar una fecha específica para concretar la descarbonización del sector eléctrico de Jalisco. En primer lugar, el inventario estatal de gases de efecto invernadero se encuentra en proceso de actualización, por lo que el historial de emisiones aún no consideradas podría disminuir el presupuesto disponible para el periodo hasta 2100, lo que implica que los objetivos de reducción anuales para alcanzar la mitigación en el sector eléctrico podrían resultar mayores. Dicha situación tendría como

efecto directo el retraso de la descarbonización del sector eléctrico a una fecha posterior al 2030.

Además, los continuos debates sobre los cálculos de presupuesto de carbono a nivel subnacional, así como la posibilidad de estandarizar una metodología internacional para homogenizar la asignación de emisiones entre las naciones podría traer como consecuencia un recálculo de las metas anuales de mitigación, así como la integración

de medidas de mitigación adicionales para compensar los requerimientos de descarbonización del sector eléctrico en el estado de Jalisco. Aunado a ello, se encuentra la expectativa de los resultados y propuestas del sexto reporte del IPCC por parte de los Grupos de Trabajo II y III, por lo que ciertas modificaciones en la metodología del presupuesto de carbono, así como la trayectoria de México y subnacional podrían verse modificados.

Figura 6: Potencial de Mitigación para el estado de Jalisco.



- | | | | |
|--|---|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ■ SI: Sustitución de motores ■ SI: Eliminación de fugas en aire comprimido ■ SI: Sustitución de focos por LED ■ SI: Generación Distribuida ■ SI: Uso de ADS ■ SI: Refrigeradores eficientes ■ SI: Control de demanda ■ SI: Sustitución de focos por LED | <ul style="list-style-type: none"> ■ SR: Generación Distribuida ■ SR: Cambio de aires acondicionados ■ SR: Emisiones restantes ■ SR: Cambio de refrigeradores por nuevas unidades eficientes ■ SR: Calentadores solares, agua caliente residencial | <ul style="list-style-type: none"> ■ SC: Aire acondicionado ■ SC: Generación Distribuida ■ SC: Control de demanda ■ SC: Sustitución de luminarias en Edificios Públicos | <ul style="list-style-type: none"> ■ SP: Sustitución de luminarias públicas ■ SP: Registro como Usuario Calificado ■ SP: Generación Distribuida |
|--|---|---|--|
- (SI) Sector Industrial; (SR) Sector Residencial; (SC) Sector Comercial; (SP) Sector Público

Tabla 23: Resumen del catálogo de medidas de mitigación para el estado de Jalisco

Medida	Mitigación acumulada en 10 años (MtCO ₂ e)	Co-beneficio (Creación de empleos)	Inversión (millones MXN)	Beneficio de mitigación (MXN/MtCO ₂ e)	Plan Estatal de Gobernanza y Desarrollo de Jalisco 2018-2024	
Sector Industrial					Objetivo 6.1 Eje transversal de Cambio Climático	
Sustitución de motores	7.673	3,991	7,120	2,073		
Uso de ASD	7.673	6,210	3,295	1,376		
Eliminación de fugas en aire comprimido	1.381	4,289	4.6	3,390		
Refrigeradores eficientes	0.685	204	3.3	3,438		
Sustitución de focos por LED	1.480	23,522	15,101	32,123		
Control de demanda	0.691	142	91.3	3,058		
Generación Distribuida en SI	3.444	23,980	3,921	-5,788		
Sector Comercial						Resultados específicos 1, 5 y 6
Sustitución de focos por LED	0.976	15,912	10,184	32,052		
Aire Acondicionado	0.553	85	1.1	3,362		
Control de demanda	0.455	75	48.9	4,024		
Generación Distribuida en Sector Comercial	7.404	51,589	76,676	-755	Objetivo 6.5 Desarrollo económico	
Sector Público					Industria. Resultado específico 7	
Sustitución de luminarias en Edificios Públicos	0.040	2,186	60.4	5,695	Energía. Resultados específicos 1, 2, 3 y 6	
Sustitución de luminarias en Servicio Público	0.513	10,108	280	32,124	Objetivo 6.6 Desarrollo sostenible del territorio	
Registro de Edificio Público como Usuario Calificado	0.029	1,248	46	8,231	Protección y gestión ambiental. Resultado específico 4	
Generación Distribuida en Edificios Públicos	0.304	863	124	1,255		
Sector Residencial						
Generación Distribuida en Sector Residencial	12.495	74,760	94.7	4,794		
Cambio de refrigeradores por nuevas unidades eficientes	0.315	1,620	6,383	41,036		
Cambio de aires acondicionados	0.004	196	141.4	32,667		
Calentadores solares, agua caliente residencial	1.932	20,550	13,157	116		
TOTAL	48.0	241,530	136,732.7	204,271.0		

Como se puede observar, con esta ruta de descarbonización propuesta, se atienden en gran medida, los objetivos, estrategias y líneas de acción planteadas en el Plan Estatal de Gobernanza y Desarrollo de Jalisco 2018-2024 (PEGD).

7. RECOMENDACIONES

Durante la realización de este proyecto se llevaron a cabo dos talleres de sensibilización con diferentes actores de Jalisco con el propósito de dar a conocer información relevante sobre la importancia del presupuesto de carbono, la metodología para su cálculo, así como también las diferentes posibilidades de medidas para el diseño e implementación de una ruta de descarbonización para el sector eléctrico en el estado.

7.1. Realizar programas de difusión y sensibilización continuos

Estas experiencias permitieron, en primer lugar, avanzar a un consenso con respecto a la viabilidad técnica y financiera del presupuesto de carbono y la ruta de descarbonización para los sectores público, comercial y residencial. Particularmente, se señaló la importancia de presentar los ahorros esperados por medio de la implementación de la ruta de descarbonización para impulsar la participación del sector industrial y comercial. De igual forma se sugirió la difusión de casos prácticos y exitosos sobre la implementación de medidas de mitigación, así como ahorros asociados, para sensibilizar al respecto de la ruta de descarbonización. Una forma de alcanzarlo sería, por ejemplo, a partir de programas piloto con algunos actores de dichos sectores para impulsar las medidas propuestas, así como potenciar la adopción de nuevas tecnologías por parte del mercado gracias a incentivos económicos. En especial, es relevante el aprovechamiento de los diferentes foros para difundir los conceptos y medidas de mitigación particulares para cada uno de los sectores.

Para darle mayor exposición al tema y lograr una participación integral en la sociedad de Jalisco, se recalcó la importancia de comunicar y difundir el concepto de presupuesto de carbono en diferentes canales, así como también en formatos y lenguajes atrayentes para los diferentes sectores de la población. Esto con el objetivo de disminuir resistencias, 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. De

igual forma se enfatizó sobre la adopción de los conceptos de presupuesto de carbono, mitigación de emisiones y adopción de tecnologías renovables en los planes de estudio de las universidades, así como de los co-beneficios.

7.2. Implementar un sistema de monitoreo, reporte y verificación

Con respecto a las tecnologías propuestas en las diferentes medidas de mitigación, es indispensable realizar un análisis más profundo sobre el ciclo de vida de los equipos, además de la factibilidad técnica y financiera. Esto permitirá tener una idea más completa de los impactos ambientales reales de cada una de las propuestas, particularmente de equipos importados, y permitirá también el desarrollo de alternativas nacionales, por ejemplo, a través del fomento a la innovación tecnológica, para disminuir las emisiones asociadas con la extracción de materiales, producción de los equipos, distribución y gestión final de los mismos.

Asimismo, debe considerarse un sistema de monitoreo, reporte y verificación que garantice la correcta implementación de las medidas de mitigación del sector eléctrico en el estado de Jalisco, fortalezca el intercambio de ideas de manera transparente, y asegure la contabilidad de la reducción de emisiones. Además, con base en lecciones aprendidas de administraciones pasadas, es necesario fortalecer las propuestas ejecutivas que tienden a desarrollarse para la puesta en marcha de iniciativas. Es pertinente llevar estudios de factibilidad técnica a la par de considerar las fases de implementación y mantenimiento de los diferentes proyectos con el propósito de avalar su robustez. No obstante, es importante mencionar que algunos de estos servicios públicos están concesionados y, por ende, no es posible tener tanta influencia sobre la adopción de medidas de eficiencia energética.

Para alcanzar la descarbonización del sector eléctrico se propone considerar la evaluación del desempeño de las medidas de manera anual y pública. Dicho monitoreo permitirá la actualización de información con respecto

al avance en indicadores como el porcentaje de penetración de energía renovable, así como también facilitará la identificación de estrategias para reconfigurar medidas de descarbonización actualizadas. Particularmente, el ejercicio de evaluación vinculante permitirá ajustar y actualizar los diferentes instrumentos de planeación climática para atender necesidades reales. De igual forma, se sugiere la necesidad de potencializar un sistema de impuesto al carbono para interiorizar costos por emisiones y acelerar el potencial de acción dentro del estado.

7.3. Fortalecer el marco jurídico para una Política de 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 tanto, el estado de Jalisco tiene la capacidad de instrumentar políticas públicas que se traduzcan en medidas para la descarbonización del sector eléctrico. En este sentido, la propuesta de Ley para la Acción ante el Cambio Climático del Estado de Jalisco (LACCEJ), próxima a aprobarse, permitirá fortalecer el marco regulatorio y la coordinación de acciones en dependencias y entidades de la Administración Pública Estatal relacionadas con la mitigación al cambio climático.

Esta Ley delinea los principios, criterios, instrumentos y órganos para la aplicación de la política estatal en materia de cambio climático. Asimismo, establece que, en el PEGD, los programas sectoriales y regionales, los PEACC y los Programas Municipales para la Acción ante el Cambio Climático se establecerán metas y objetivos específicos. Si bien la normatividad federal no contempla los presupuestos de carbono vinculantes, no hay limitación alguna para que Jalisco establezca en sus leyes locales este tipo de medidas, pues no se contraviene lo establecido en las leyes generales del 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 LACCEJ. También se recomienda establecer un programa especial de mediano plazo de presupuesto de carbono en el que se señalen las metas y las medidas para acelerar en el corto

plazo la descarbonización de la electricidad, con el propósito de que la política sea vinculante para las entidades públicas del estado de Jalisco.

El Gobernador del Estado, la CICC y la SEMADET deben participar en la elaboración del PEACC; sin embargo, la Agencia de Energía de Estado de Jalisco, sectorizado de la SEDECO, juega un papel crítico para fomentar la política de presupuesto de carbono, ya que cuenta con facultades para impulsar, fomentar, coordinar, cooperar y coadyuvar en el desarrollo de acciones públicas y privadas relacionadas con la generación y el uso eficiente de energía, así como también desarrollar la política y estrategia energética de Jalisco. En adición, la AEEJ puede ser un vehículo para lograr compromisos y participación entre entidades del sector público (a nivel federal, local y municipal) y privado (ámbito académico e industrial).

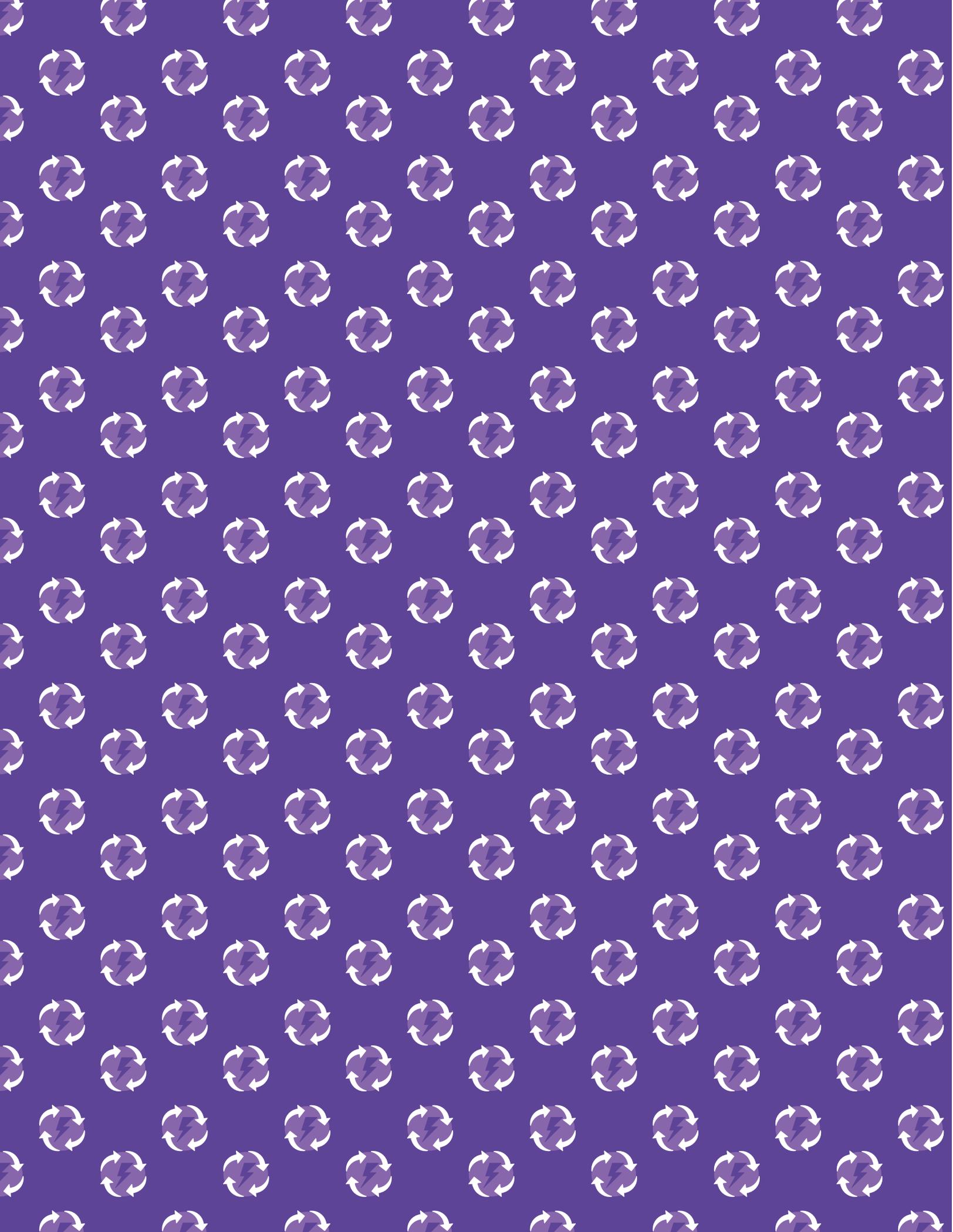
La Agencia de Energía de Estado de Jalisco es un organismo clave para el desarrollo e implementación del presupuesto de carbono, pues cuenta con facultades para fomentar el desarrollo de la competitividad del estado a través de la implementación de planes, procesos y actividades que permitan el uso eficiente de los recursos energéticos. Por su parte, la Comisión Interinstitucional para la Acción ante el Cambio Climático en el Estado de Jalisco debe ser un vehículo para lograr compromisos y participación entre entes del sector público y privado.

7.4. Recuperar el desarrollo de la economía posterior a la pandemia de COVID-19

Finalmente, como parte de la reactivación económica posterior a la pandemia ocasionada por SARS-CoV2, se sugiere el desarrollo de programas que consideren la mitigación de emisiones como parte de la propuesta de valor de los diferentes negocios y emprendimientos. El diseño, desarrollo e implementación de las diferentes medidas de mitigación de la ruta de descarbonización requiere de una fuerza laboral competente y capacitada en materia de eficiencia energética, así como energías renovables en las diferentes etapas de la cadena de valor. Actualmente, la mayoría de las actividades que se realizan en México recaen en operaciones de ensamblado, instalación y mantenimiento de la nueva tecnología, así como disposición de los equipos antiguos y obsoletos.

Por lo tanto, el desarrollo de capacidades en forma de cursos de actualización y fomento al desarrollo de profesionistas como parte de la nueva ola de empleos verdes en programas universitarios permitirá, en primer lugar, crear la fuerza laboral necesaria para abastecer la demanda pronosticada para la próxima década. De igual manera, el apoyo a las pequeñas y medianas empresas por medio de la contratación para la implementación de las diferentes medidas de eficiencia energética promoverá el apoyo financiero en tiempo de crisis, disminuyendo

el recorte de personal por falta de recursos económicos, así como también la creación de nuevas vacantes. La implementación de medidas de eficiencia energética en los sectores industrial y comercial, por ejemplo, permitirá ahorros significativos y directos en gastos operativos debido a la disminución de consumo eléctrico. Como consecuencia a lo anterior, y tras una auditoría energética, las PYMES podrán ser acreedoras a fondos verdes para el desarrollo económico estatal.



8. CONCLUSIONES

Considerando las modificaciones en el escenario *business as usual* a partir de las cuales se desarrolló la trayectoria del modelo para la estimación del presupuesto de carbono en el estado de Jalisco, la neutralidad de carbono debería alcanzarse a más tardar en el año 2060. No obstante, la implementación de la ruta de descarbonización propuesta, compuesta por un conjunto de 19 medidas de mitigación costoefectivas y contextualizadas a las necesidades de energía eléctrica de los sectores industrial, comercial, público y residencial de Jalisco, permitirá la descarbonización del sector eléctrico del estado en el año 2040.

Existen ciertas condiciones actuales que pueden mejorarse en pos del perfeccionamiento de la estimación del presupuesto de carbono del estado de Jalisco y arrojar resultados aún más ambiciosos para concretar la descarbonización del sector eléctrico de Jalisco, entre las cuales están: la actualización del inventario estatal de gases de efecto invernadero, los debates internacionales sobre la metodología de presupuesto de carbono para garantizar mayor transparencia, así como los próximos reportes especiales del IPCC. Finalmente, para poder beneficiar la adopción de un presupuesto de carbono, se sugieren

cambios a la LACCEJ liderados por titulares de la SEMADET y de la AEEJ con la intención de establecer una política de presupuesto de carbono vinculante con las ambiciones climáticas del estado.

Los presupuestos de carbono son sumamente importantes en el contexto actual de acciones en contra del cambio climático, ya que permiten establecer metas de mitigación y políticas públicas basadas en la ciencia y alineadas a un escenario donde la temperatura media global no incrementa en más de 1.5°C.

Ante el reto que representa la emergencia climática, Jalisco es uno de los estados que ha comenzado a liderar acciones en contra del cambio climático desde el ámbito local, como es el caso de la estimación del presupuesto de carbono del sector eléctrico, su ruta de descarbonización y la vinculación en su marco normativo. En los próximos años, será fundamental que el estado siga impulsando el proceso participativo en la actualización y desarrollo de nuevos instrumentos públicos en materia de cambio climático para beneficio de la sociedad.

9. REFERENCIAS

Anderson, K. y Bows, A. (2011). Beyond ‘dangerous’ climate change: emission scenarios for a new world. *Phil. Trans. R. Soc.* 369:20–44. <https://doi.org/10.1098/rsta.2010.0290>

Anderson, K., Stoddard, I., y Schrage, J. (2017). Carbon budget and pathways to a fossil-free future in Järfälla Municipality. CEMUS, 41 pp. http://www.web.cemus.se/wp-content/uploads/2018/05/Carbon-Budget-and-Pathways-to-a-Fossil-Free-J%C3%A4rf%C3%A4lla_CEMUS.pdf

BANXICO. (9 noviembre de 2021). Encuesta sobre las expectativas de los especialistas en economía del sector privado: agosto 2021. BANXICO. <https://www.banxico.org.mx/publicaciones-y-prensa/encuestas-sobre-las-expectativas-de-los-especialis/%7BEDEC419A-2AD4-D108-B7ED-47722C3313A7%7D.pdf>

Brick, S. y Thernstrom, S. (2016). Renewables and decarbonization: studies of California, Wisconsin and Germany. *The Electricity Journal*, 29(3), 6-12.

Centro Mario Molina CMM. (2019). Actualización del Inventario Estatal de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero de Jalisco 2017. CMM. 24 pp. https://centromariomolina.org/wp-content/uploads/2020/02/InformeAnual_fn-2.pdf

Climate Group. (9 noviembre de 2020). Under2 Coalition 2020 highlights report. Climate Group. https://www.theclimategroup.org/our-work/publications/Under2Coalition_highlights2020

Comisión Interinstitucional para la Acción ante el Cambio Climático en el Estado de Jalisco. (2015). Periódico Oficial del Estado de Jalisco. <https://semadet.jalisco.gob.mx/noticias-referencias/comision-interinstitucional-para-la-accion-ante-el-cambio-climatico-del-estado>

Committee on Climate Change. (2018). Reducing UK emissions: 2018 Progress Report to Parliament. Committee on Climate Change. 267 pp. <https://www.theccc.org.uk/wp-content/uploads/2018/06/CCC-2018-Progress-Report-to-Parliament.pdf>

Committee on Climate Change. (2020). The Sixth Carbon Budget: The UK’s path to Net Zero. Committee on Climate Change. <https://www.theccc.org.uk/publication/sixth-carbon-budget/>

Dahal, K. y Niemelä, J. (2017). Cities’ Greenhouse Gas Accounting Methods: A Study of Helsinki, Stockholm, and Copenhagen. *Climate*. 5(2). 31. <https://doi.org/10.3390/cli5020031>

Davis, S. J., Caldeira, K., y Matthews, H. D. (2010). Future CO2 emissions and climate change from existing energy infrastructure. *Science*. 329(5997), 1330–1333.

Estrategia Estatal de Cambio Climático (EECC). (2020). Gobierno del Estado de Jalisco. <https://periodicooficial.jalisco.gob.mx/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/04-29-2i-ii.pdf>

Fay, M., Hallegatte, S., Vogt-Schilb, A., Rosenberg, J., Narloch, U., Kerr, T. (2015). Decarbonizing Development: Three Steps to a Zero-Carbon Future. *Climate Change and Development*. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/21842>

Fankhauser, S. (2020). What are Britain’s carbon budgets?. *The London School of Economics and Political Science*. <https://www.lse.ac.uk/granthaminstitute/explainers/what-are-carbon-budgets-and-why-do-we-have-them/>

Federal Climate Change Act. (2018). Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety.

Finkelstein, J., Frankel, D., Noffsinger, J. (2020). How to decarbonize global power systems. McKinsey. <https://www.mckinsey.com/industries/electric-power-and-natural-gas/our-insights/how-to-decarbonize-global-power-systems>

Gignac, R. y Matthews, H. D. (2015). Allocating a 2 C cumulative carbon budget to countries. *Environmental Research Letters*. 10(7). <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/10/7/075004/pdf>

GIZ y SEMADET. (2018). Guía para la Elaboración o Actualización de los Programas Municipales de Cambio Climático del Estado de Jalisco. https://semadet.jalisco.gob.mx/sites/semadet.jalisco.gob.mx/files/guia_para_la_elaboracion_o_actualizacion.pdf

GIZ e ICM. (2019). Presupuestos de Carbono: Una oportunidad para ampliar la ambición climática del sector eléctrico. <https://iki-alliance.mx/presupuestos-de-carbono-una-oportunidad-para-ampliar-la-ambicion-climatica-del-sector-electrico/>

GIZ. (2020). Monitor de información comercial e índice de precios de Generación Solar Distribuida en México. https://anes.org.mx/wp-content/uploads/2020/04/Estudio_primer-monitor-de-informacion-CC-81n-comercial-e-i-CC-81n-Indice-de-precios-de-Generacion-CC-81n-Solar-Distribuida-GSDANES_AMIF_ASOLMEX_GIZ.pdf

Greater London Authority (2018). *Zero carbon London: 1.5°C compatible plan.* Greater London Authority. https://www.london.gov.uk/sites/default/files/1.5c_compatible_plan.pdf

Groves, D. et al. (2020). The Benefits and Costs of Decarbonizing Costa Rica's Economy: Informing the Implementation of Costa Rica's National Decarbonization Plan Under Uncertainty. *Rand Corporation.* <https://doi.org/10.7249/RRA633-1>

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

Huber, M., y Knutti, R. (2012). Anthropogenic and natural warming inferred from changes in Earth's energy balance. *Nature Geoscience.* 5(1), 31-36.

INECC. (2018b). Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 199-2015. Ciudad de México: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Obtenido de https://unfccc.int/sites/default/files/resource/MEXNIR_Revisada_0.pdf

INECC. (2015). Compromisos de Mitigación y Adaptación ante el Cambio Climático para el Periodo 2020-2030.

Knutti, R., & Rogelj, J. (2015). The legacy of our CO₂ emissions: a clash of scientific facts, politics and ethics. *Climatic Change,* 133(3), 361-373.

Kuriakose, J., Anderson, K., Broderick, J., & McLachlan, C. (2018). *Quantifying the implications of the Paris Agreement for Greater Manchester.* University of Manchester.

Ley General de Cambio Climático. (2012). Diario Oficial de la Federación. http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCC_061120.pdf

Ley para la Acción ante el Cambio Climático del Estado de Jalisco. (2015). Gobierno del Estado de Jalisco. <https://periodicooficial.jalisco.gob.mx/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/08-30-16-v.pdf>

Ley para el Desarrollo Económico del Estado de Jalisco. (2019). Gobierno del Estado de Jalisco. <https://transparencia.info.jalisco.gob.mx/sites/default/files/Ley%20para%20el%20Desarrollo%20Econ%20C3%B3mico%20del%20Estado%20de%20Jalisco.pdf>

Ley de Obra Pública para el Estado de Jalisco y sus Municipios. (2020). Gobierno del Estado de Jalisco. <https://congresoweb.congresoal.gob.mx/Bibliotecavirtual/legislacion/Leyes/Ley%20de%20Obra%20P%C3%BCblica%20del%20Estado%20de%20Jalisco%20y%20sus%20Municipios%20.doc>

Ley Orgánica de la Agencia de Energía del Estado de Jalisco. (2016). Gobierno del Estado de Jalisco. <https://transparencia.info.jalisco.gob.mx/sites/default/files/Ley%20Org%C3%A1nica%20de%20la%20Agencia%20de%20Energ%C3%ADa%20del%20Estado%20de%20Jalisco.pdf>

Ley Orgánica de la Agencia de Energía del Estado de Jalisco. (2020). Periódico Oficial del Estado de Jalisco. <https://transparencia.info.jalisco.gob.mx/sites/default/files/Ley%20Org%C3%A1nica%20de%20la%20Agencia%20de%20Energ%C3%ADa%20del%20Estado%20de%20Jalisco.pdf>

LSE. (2020). *What is “decarbonisation” of the power sector? Why do we need to decarbonise the power sector in the UK?* The London School of Economics and Political Science. [https://www.lse.ac.uk/granthaminstitute/explainers/what-is-decarbonisation-of-the-power-sector-why-do-we-need-to-decarbonise-the-power-sector-in-the-uk/#:~:text=Why%20do%20we%20need%20to%20decarbonise%20the%20power%20sector%20in%20the%20UK%3F,-29%20January%2C%202020&text=Decarbonising%20the%20power%20sector%20means,dioxide%20per%20kilowatt%2Dhour\).](https://www.lse.ac.uk/granthaminstitute/explainers/what-is-decarbonisation-of-the-power-sector-why-do-we-need-to-decarbonise-the-power-sector-in-the-uk/#:~:text=Why%20do%20we%20need%20to%20decarbonise%20the%20power%20sector%20in%20the%20UK%3F,-29%20January%2C%202020&text=Decarbonising%20the%20power%20sector%20means,dioxide%20per%20kilowatt%2Dhour).)

Llavorador, H., Roemer, J. E. (2019). *Global Unanimity Equilibrium on the Carbon Budget.* Discussion Paper No. 2172. Cowles Foundation for Research in Economics. Yale University. <https://cowles.yale.edu/sites/default/files/files/pub/d21/d2172.pdf>

MacDougall, A. H., Zickfeld, K., Knutti, R., y Matthews, H. D. (2015). Sensitivity of carbon budgets to permafrost carbon feedbacks and non-CO₂ forcings. *Environmental Research Letters.* 10(12), 125003.

Marchi, M., Pulselli, R. Maria, Marchettini, N., Pulselli, F. Maria, & Bastianoni, S. (2015). Carbon dioxide sequestration model of a vertical greenery system. *Ecological modelling*. 306, 46-56. 10.1016/j.ecolmodel.2014.08.013

Matthews, H. D., y Solomon, S. (2013). Irreversible does not mean unavoidable. *Science*. 340(6131), 438–439.

Meinshausen, M., Robiou Du Pont, Y. y Talberg, A. (2018). *Greenhouse Gas Emissions Budgets for Victoria*. University of Melbourne. https://www.climatechange.vic.gov.au/_data/assets/pdf_file/0016/421702/Greenhouse-Gas-Emissions-Budgets-for-Victoria.pdf

Meyer, A. (2000). Contraction & convergence: the global solution to climate change. *Green Books*.

Ministry for Urban Development and Environment BSU. (2011). *The Hamburg Climate Action Plan*. [https://www.hamburg.de/contentblob/4028914/6bdf8a2548ec96c97aa-0b0976b05c5d9/data/booklet-englisch\).pdf](https://www.hamburg.de/contentblob/4028914/6bdf8a2548ec96c97aa-0b0976b05c5d9/data/booklet-englisch).pdf)

Müller, C., Falke, T., Hoffrichter, A., Wyrwoll, L., Schmitt, C., Trageser, M., ... y Most, D. (2019). Integrated planning and evaluation of multi-modal energy Systems for Decarbonization of Germany. *Energy Procedia*, 158, 3482-3487.

Naciones Unidas. (2015). *Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. UN.ORG. un.org/sustainabledevelopment/es/development-agenda/

Plan de Acción Climática del Área Metropolitana de Guadalajara. (2020). Gobierno del Estado de Jalisco. <https://transparencia.info.jalisco.gob.mx/sites/default/files/Plan%20de%20acci%C3%B3n%20clim%C3%A1tica.pdf>.

Plan Estatal de Gobernanza y Desarrollo de Jalisco 2018-2024: Visión 2030. (2019). Gobierno del Estado de Jalisco. <https://transparenciافiscal.jalisco.gob.mx/subcategoria-de-programatico-presupuestal/plan-estatal-de-gobernanza-y-desarrollo-de-jalisco-2018>

Plan de Gestión de Carbono. (2016). Periódico Oficial del Estado de Jalisco. <https://semadet.jalisco.gob.mx/gobernanza-ambiental/cambio-climatico/plan-de-gestion-de-carbono-pgc>

Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024. (2019). Diario Oficial de la Federación. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5565599&fecha=12/07/2019

Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático (2014-2018) (PEACC). (2018). Gobierno del Estado de Jalisco. <https://semadet.jalisco.gob.mx/gobernanza-ambiental/cambio-climatico/programa-estatal-de-accion-ante-el-cambio-climatico-peacc>

Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut (2020): *Towards a Climate-Neutral Germany. Executive Summary conducted for Agora Energiewende, Agora Verkehrswende and Stiftung Klimaneutralität.* Raupach, M. R., Davis, S. J., Peters, G. P., Andrew, R. M., Canadell, J. G., Ciais, P., & Le Quere, C. (2014). Sharing a quota on cumulative carbon emissions. *Nature Climate Chang.* 4(10), 873–879.

Reglamento Interno de la Comisión Interinstitucional para la Acción ante el Cambio Climático en el Estado de Jalisco. (2016). Periódico Oficial del Estado de Jalisco. <https://periodicooficial.jalisco.gob.mx/content/sabado-30-de-abril-de-2016-4>

Reglamento de la Ley para la Acción ante el Cambio Climático del Estado de Jalisco. (2016). Gobierno del Estado de Jalisco. <https://congresoweb.congreso.jalisco.gob.mx/bibliotecavirtual/legislacion/Reglamentos/Reglamento%20de%20la%20Ley%20para%20la%20Acci%C3%B3n%20ante%20el%20Cambio%20Clim%C3%A1tico%20del%20Estado%20de%20Jalisco%20.doc>

RENEW.BIZ (2020). *German renewables deliver record high in 1H 2020.* reNEWS.BIZ. <https://renews.biz/61419/german-renewables-deliver-record-high-in-1h-2020/>

Riahi, K., Dentener, F., Gielen, D., Grubler, A., Jewell, J., Klimont, Z., ... y Van Ruijven, B. (2012). *Energy pathways for sustainable development*. Cambridge University Press.

Rogelj, J., Den Elzen, M., Höhne, N., Fransen, T., Fekete, H., Winkler, H., & Meinshausen, M. (2016). Paris Agreement climate proposals need a boost to keep warming well below 2 C. *Nature*. 534(7609), 631-639.

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

SEMARNAT. (2015). *Estrategia Nacional de Cambio Climático: Visión 10-20-40.* <https://www.gob.mx/inecc/documentos/estrategia-nacional-de-cambio-climatico-vision-10-20-40>

SEMARNAT. (2014). *Compromisos de Mitigación y Adaptación ante el Cambio Climático para el periodo 2020–2030.* https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/162974/2015_inDC_esp.pdf

SEMARNAT. (2020). *Aprueba Comisión Intersecretarial el PECC 2020-2024 y refrenda los compromisos de México ante el Acuerdo de París.* SEMARNAT. <https://www.gob.mx/semarnat/prensa/aprueba-comision-intersecretarial-el-pecc-2020-2024-y-refrenda-los-compromisos-de-mexico-ante-el-acuerdo-de-paris>

SENER. (2018). *Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2018—2033.* <https://www.gob.mx/sener/articulos/prodesen-2019-2033-221654>

SENER. (2019). *Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2019—2034.* <https://www.gob.mx/sener/articulos/prodesen-2020-2034>

Steininger, K. W., Meyer, L., Nabernegg, S., & Kirchengast, G. (2020). Sectoral carbon budgets as an evaluation framework for the built environment. *Buildings and Cities.* 1(1), 337–360. <http://doi.org/10.5334/bc.32>

Technical and Environmental Administration (TEA). (2016a). *Copenhagen Climate Project: Annual Report 2016.* https://kk.sites.itera.dk/apps/kk_pub2/index.asp?mode=detalje&id=2068.

Technical and Environmental Administration (TEA). (2016b). *Copenhagen Climate Project: Roadmap 2017—2020.* https://www.c40knowledgehub.org/s/article/Copenhagen-2025-Climate-Plan-Roadmap-2017-2020?language=en_US.

The City of Copenhagen TCC. (2012). *CPH 2025 Climate Plan: A green, smart and carbon neutral city.* <https://urban-developmentcph.kk.dk/node/5>.

The World Bank. (2021). *What is Carbon pricing.* World Bank. <https://carbonpricingdashboard.worldbank.org/what-carbon-pricing>