

## I-1. Producción de electricidad renovable *in situ*

### Diseño y al análisis de la acción

#### Contenido

1.	Resumen	2
2.	Descripción de la Acción	4
3.	Nivel de esfuerzo y tiempo de Implementación	4
4.	Impacto de descarbonización estimado (Impacto estimados en las emisiones de GEI)	5
	<i>Resultados</i>	5
	<i>Métodos y Fuentes</i>	6
	Paso 1 - Cambio en los datos de actividad	6
	Paso 2 - Estimación en la reducción de GEI	7
5.	Magnitud potencial de los costos o ahorros directos	7
	<i>Introducción</i>	7
	<i>Resultados</i>	9
	<i>Métodos y Fuentes</i>	9
	Paso 1 - Determinación de un valor de referencia de CE	9
	Paso 2 - Estimación aproximativa de los costos o ahorros directos totales	12
	Paso 3 - Determinación de la contribución de los costos o ahorros a los niveles de gasto del sector	12
	Paso 4 - Determinación de la magnitud (alto, mediano o bajo) de los costos o ahorros directos	12
6.	Evaluación macroeconómica	13
	<i>Introducción</i>	13
	<i>Resultados</i>	14
	<i>Metodología</i>	15
7.	Co-beneficios de la acción	20
8.	Otra información potencialmente importante	20

## 1. Resumen

*Descripción:* Esta acción está diseñada para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) (principalmente CO<sub>2</sub>) del suministro eléctrico en Querétaro mediante la construcción de nuevos proyectos de energía solar distribuida (expansión de la producción de energía renovable *in situ*) en el sector industrial del Estado.

### ***Nivel de esfuerzo y el tiempo de la implementación:***

- Para 2030, implementar proyectos de energía solar fotovoltaica in situ en instalaciones industriales a una escala suficiente para satisfacer 25% del consumo de electricidad en el sector industrial.
- Para 2050, implementar proyectos de energía solar fotovoltaica in situ en instalaciones industriales a una escala suficiente para satisfacer 75% del consumo de electricidad en el sector industrial.

### ***Potencial Mitigación de GEI:***

- Reducciones acumuladas (2022 - 2050) de GEI: 41 TgCO<sub>2</sub>e.
- 16% reducción de GEI a nivel del sector industrial (es decir, potencial moderado de mitigación según los criterios en la Tabla 1).

*Tabla 1. Criterios para evaluar el potencial de mitigación.*

Potencial de mitigación	% de reducción en comparación con las emisiones totales en el sector
Muy bajo	<1%
Bajo	1% - 10%
Moderado	10% - 25%
Alto	25% - 40%
Muy alto	>40%

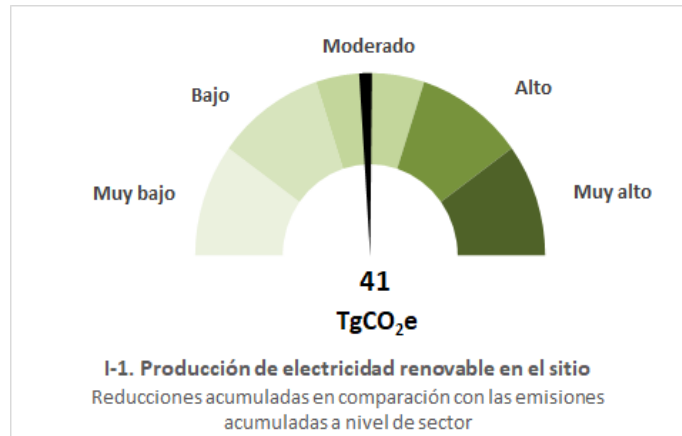


Figura 1. Magnitud del potencial de mitigación de la acción a nivel del sector.

**Magnitud potencial de los costos o ahorros directos:** Ahorro directo moderado por menores costos de suministro eléctrico al sector industrial del Estado respecto al escenario BAU.

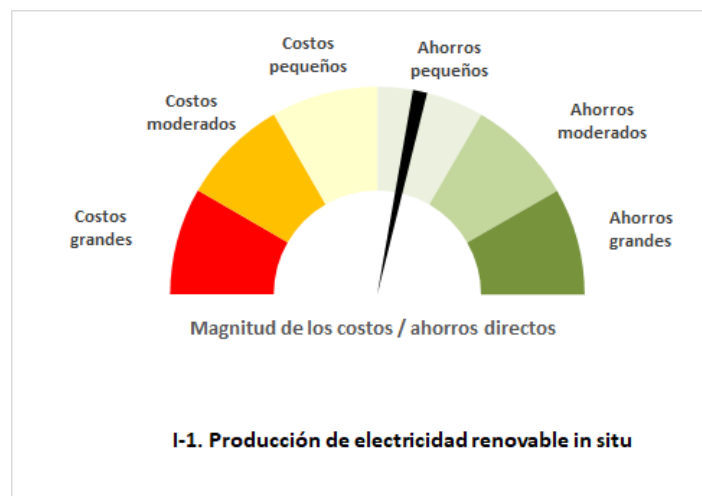


Figura 2. Magnitud potencial de los costos o ahorros directos de la acción

**Evaluación macroeconómica:** impacto macroeconómico positivo asumiendo que la acción genera

- Cambio a favor de costos del sistema más bajos (nueva generación de energía solar distribuida es menos costosa que la generación de fuentes de electricidad de la red en el escenario BAU) para incentivar las inversiones en la economía local.
- Ningún cambio en el consumo de energía y entonces ningún impacto en los niveles de gasto local.
- Cambio a favor de fuentes de energía locales (menos importaciones) para redistribuir los fondos en la economía local.
- Cambio a favor en las cadenas de suministro locales (operaciones de O&M de nuevos equipos) para retener los fondos de inversión en la economía local.

- Cambio a favor del tipo de generación de energía con mayor intensidad laboral (mayor número de trabajos para unidad de energía generada) para aumentar el empleo de mano de obra local.
- Fuentes externas de financiamiento (nacional o internacional) que inyectan más capital en la economía local.

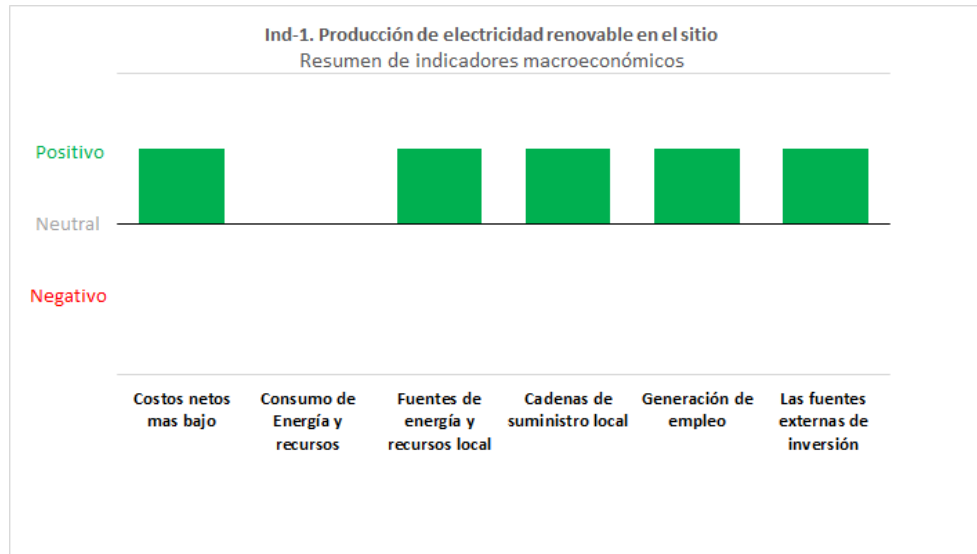


Figura 3. Resumen de indicadores macroeconómicos.

## 2. Descripción de la Acción

Esta acción está diseñada para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) (principalmente CO<sub>2</sub>) del uso de energía industrial mediante la expansión *in situ* de la producción de energía renovable baja en carbono (para servir el punto local de consumo en contrario a la acción de suministro de energía que se refiere a planta solar centralizada). Esta acción incluirá el uso de mecanismos de implementación y acciones necesarias para el despliegue de sistemas solares fotovoltaicos (PV) en todas las instalaciones industriales en el estado. Estos sistemas fotovoltaicos pueden ser sistemas montados en el techo, estacionamientos o en el piso sin almacenamiento de energía. Estos sistemas estarán conectados a la red y estarán diseñados para reducir de manera rentable los costos de energía de la instalación en comparación con los usos actuales de energía.

No se conocen acciones existentes en Querétaro (incluidos programas y políticas estatales y federales) que se espera que afecten la implementación de esta acción.

## 3. Nivel de esfuerzo y tiempo de Implementación

A continuación, se muestra un nivel de esfuerzo y el tiempo de la implementación de esta acción:

- Para 2030, implementar proyectos de energía solar fotovoltaica in situ en instalaciones industriales a una escala suficiente para satisfacer 25% del consumo de electricidad en el sector industrial.
- Para 2050, implementar proyectos de energía solar fotovoltaica in situ en instalaciones industriales a una escala suficiente para satisfacer 75% del consumo de electricidad en el sector industrial.

A continuación, hay información adicional de la línea de base para complementar la revisión del nivel de esfuerzo:

- El consumo eléctrico del sector industrial en Querétaro en 2015 es de 2,878 GWh. Suponiendo un factor de capacidad del 25% para la energía solar fotovoltaica, la capacidad total necesaria para compensar el 30% del uso de electricidad en 2015 es de aproximadamente 0.39 GW (390 MW).
- Los proyectos fotovoltaicos a escala industrial varían en tamaño desde menos de 1 MW a 10 MW. Por lo tanto, se requerirían docenas de proyectos para cumplir con los objetivos de esta acción en la escala indicada anteriormente.
- Con referencia al nivel de esfuerzo para 2050 indicado en el ejemplo anterior, cuando se tiene en cuenta el crecimiento de la demanda de electricidad y el objetivo de satisfacer el 80% de esta demanda, la capacidad total necesaria para 2050 es de alrededor de 4.2 GW. Este nivel de capacidad requeriría al menos varios cientos de proyectos solares muy grandes. Sin embargo, tenga en cuenta que estas estimaciones aún no tienen en cuenta las ganancias de eficiencia energética de ninguna otra acción del sector industrial.

#### **4. Impacto de descarbonización estimado (Impacto estimados en las emisiones de GEI)**

Esta sección resume los resultados del análisis de impacto en las emisiones de GEI de esta acción en comparación con la línea de base (impactos directos) y los métodos y las fuentes de datos utilizados para desarrollar estos resultados.

##### *Resultados*

La siguiente tabla proporciona un resumen de los impactos directos estimados para esta acción. Los impactos directos incluyen: impactos energéticos, incluyendo los niveles de generación o ahorro de energía, y reducciones de emisiones de GEI en toneladas equivalentes de dióxido de carbono (tCO<sub>2</sub>e). La siguiente sección de este documento proporciona un resumen de los métodos y fuentes de datos aplicados para derivar estos resultados.

*Tabla 2. Impactos Directos.*

<b>Parámetro</b>	<b>2025</b>	<b>2030</b>	<b>2035</b>	<b>2040</b>	<b>2045</b>	<b>2050</b>
Generación solar necesaria (GWh)	605	1,360	3,171	4,982	6,793	8,604
Capacidad solar necesaria (MW)	338	761	1,774	2,788	3,801	4,814

Ahorro de electricidad adicional a través de las pérdidas evitadas del sistema de T&D (GWh)	91	204	1,360,476	747	1,019	1,291
Intensidad de carbono de la red (tCO <sub>2</sub> e/MWh)	0.63	0.64	0.65	0.65	0.66	0.67
<b>Reducciones estimada de GEI (tCO<sub>2</sub>e)</b>	<b>378,181</b>	<b>866,976</b>	<b>2,046,321</b>	<b>3,248,149</b>	<b>4,466,941</b>	<b>5,698,328</b>

### *Métodos y Fuentes*

#### Paso 1 - Cambio en los datos de actividad

El primer paso en el análisis fue determinar el cambio en los datos de la actividad resultante de la implementación de esta acción. Para esta acción, esto se refiere a la cantidad de electricidad consumida en el sector industrial que será compensada por nuevos proyectos de energía solar fotovoltaica. Actualmente, esta electricidad se genera mediante una combinación de generación basada en gas natural y diesel en el estado y niveles crecientes de electricidad importada de la red mexicana (que se basa en gran medida en combustibles fósiles).

Se realizaron los siguientes cálculos y supuestos:

- A. Cálculo de la cantidad de generación solar necesaria para la acción. Esto se derivó directamente de los parámetros de diseño de la acción y del consumo eléctrico previsto del sector industrial en la línea de base de Industria. Por ejemplo, en 2030 el consumo de electricidad previsto es de 5.441 GWh. El diseño de la acción exige que el 25% de ese consumo eléctrico se satisface con los nuevos sistemas solares instalados en instalaciones industriales para 2030:

$$5,441 \text{ GWh} \times 0.25 = 1,360 \text{ GWh}$$

Se asumió que:

1. Las nuevas adiciones de capacidad comenzarán en 2022.
  2. Habría una rampa lineal<sup>1</sup> hacia la meta de 2030 durante cada año.
  3. Las adiciones continuas de capacidad ocurrirían después de 2030 de manera lineal para lograr la meta de 2050.
- B. Cálculo de la capacidad solar estimada requerida en cada año para apoyar la acción (GW). Esta capacidad se estimó a partir de las estimaciones de generación requeridas. La capacidad para

<sup>1</sup> Una rampa lineal hacia los objetivos en cada año es el supuesto predeterminado en los casos en que no se ofrecen otros detalles en el diseño de la acción (es decir, no se supone que toda la capacidad necesaria para cumplir un objetivo se construya en un solo año).

cada año se estimó aplicando un factor de capacidad de 0.204.<sup>2</sup> Por ejemplo, en 2030 se necesitan 1,360 GWh de generación solar. La capacidad solar requerida es:

$$(1,360 \text{ GWh} \times 1,000 \text{ MWh} / \text{GWh}) / (8,760 \text{ horas} / \text{año} \times 0.204) = 761 \text{ MW}$$

- C. Cálculo de los ahorros adicionales por las pérdidas evitadas de T&D. La generación de energía solar y el consumo in situ en cada lugar donde se instalen los proyectos solares darán como resultado una menor cantidad de energía necesaria de la red eléctrica. Por lo tanto, la cantidad de energía generada a través de la energía solar fotovoltaica ya no necesitará ser transportada por el sistema de transmisión y distribución (T&D) donde ocurren las pérdidas. Esas pérdidas evitadas de T&D representan reducciones adicionales en los requisitos de generación de centrales eléctricas de combustibles fósiles y las emisiones de GEI asociadas. La línea de base de suministro de energía incluye una tasa de pérdida de T&D del 15% para cada año del pronóstico. Esta tasa de pérdida se aplicó a la generación de electricidad mediante sistemas fotovoltaicos en cada año para estimar los ahorros adicionales de las pérdidas evitadas de T&D. Por ejemplo en el 2030 con una generación de electricidad estimada es 1,360 GWh:

$$1,360 \text{ GWh} \times 0.15 = 204 \text{ GWh}$$

## Paso 2 - Estimación en la reducción de GEI

Después de estimar el cambio en los datos de actividad, se estimaron las reducciones de GEI para cada año. Para esta estimación se aplicó el siguiente cálculo para cada año:

Generación de electricidad lograda a través de la energía solar fotovoltaica *más*

valores de pérdida de T&D evitada,

y luego ese total *multiplicado* por la intensidad de carbono de la red eléctrica (toneladas de CO<sub>2</sub> emisiones equivalentes por MWh - tCO<sub>2</sub>e / MWh).

El valor de la intensidad de carbono de la red eléctrica también proviene de la línea de base de Suministro de Energía (para 2030, este valor es 0.64 tCO<sub>2</sub>e / MWh).

## **5. Magnitud potencial de los costos o ahorros directos**

### *Introducción*

Los costos directos totales de implementación de una acción incluyen los costos de equipo, energía, materiales, tierra, mano de obra y otros elementos para implementar la acción. En un análisis formal de costos directos, cada uno de estos costos se analiza típicamente como un flujo anual de costos (por ejemplo, de 2020 a 2050), y luego los costos totales se comparan con los costos que se producirían en

---

<sup>2</sup> Quetzalcoatl Hernandez-Escobedo & Alida Ramirez-Jimenez & Jesús Manuel Dorador-Gonzalez & Miguel-Angel Perea-Moreno & Alberto-Jesus Perea-Moreno, 2020. "Sustainable Solar Energy in Mexican Universities. Case Study: The National School of Higher Studies Juriquilla (UNAM)," Sustainability, MDPI, Open Access Journal, vol. 12(8), pages 1-22, April. <https://ideas.repec.org/a/gam/isusta/v12y2020i8p3123-d345088.html>.

condiciones normales de negocio (*business as usual* - BAU). Si los costos de implementación de la acción son menores que los incurridos por la sociedad en condiciones BAU, entonces la acción produce un ahorro social neto (a menudo representado como un costo neto negativo). Si ocurre lo contrario, entonces la sociedad incurre en un costo para implementar la acción (representado como costo neto positivo).

El nivel de detalle en el diseño de acciones para este Proyecto de Descarbonización es suficiente para determinar los impactos de GEI (ver la sección anterior sobre el impacto de descarbonización); sin embargo, no se proporcionan detalles suficientes para realizar un análisis de costos directos (es decir, un análisis y cuantificación de cada flujo anual de costos como se explica en el párrafo anterior). Como resultado, cuando el estado decida implementar esta acción, será necesario desarrollar detalles adicionales para respaldar un análisis completo de costos directos (como tipos de tecnología, costos de operación y mantenimiento, costos de mano de obra de instalación, etc.). Además, se necesitarán detalles adicionales sobre cómo se implementará la acción para respaldar la implementación final.

Con base en el supuesto anterior, el enfoque de este proyecto fue comprender si es probable que esta acción produzca costos netos o ahorros netos para la sociedad de Querétaro (sin cuantificarlos) y la magnitud potencial de estos costos o ahorros netos (alto, mediano, bajo). Para esta evaluación se utilizó el siguiente método.

Es importante resaltar que este análisis de costos y ahorros no toma en cuenta el costo social de carbono, es decir el daño evitado que cada tonelada métrica de GEI causa a la sociedad debido a los impactos negativos del cambio climático.

Primero, se realizó una revisión de los análisis y estudios que identificaron las estimaciones de costo-efectividad (CE) para acciones similares en otras jurisdicciones similares.

CE indica el costo de cada tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente reducida (CE). El valor de CE se indica en dólares estadounidenses para cada tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente reducida (US\$/tCO<sub>2</sub>e). Un CE positivo representa un costo neto para la sociedad, mientras que un CE negativo representa un ahorro neto. CE es la medida de los costos o ahorros directos totales durante un período fijo de tiempo (generalmente la vida útil del equipo o proyecto) dividido por la reducción de las emisiones de GEI para ese mismo período de tiempo:

$$CE = \text{costos o ahorros directos totales} / \text{reducción de emisiones de GEI estimadas}$$

Si se ha estimado la reducción de emisiones y se ha identificado un valor razonable de CE, entonces se puede estimar aproximadamente los costos o los ahorros directos totales (depende si el valor de CE es positivo o negativo):

$$\text{Costos o ahorros directos totales (estimación)} = \text{reducción de emisiones de GEI estimadas} \times CE$$

Luego, la estimación de los costos directos se normaliza en función del nivel de gasto del sector asociado con la acción para determinar la magnitud relativa en comparación con otras acciones.

$$\text{Magnitud de los costos o ahorros directos} =$$



## *estimación de los costos o ahorros directos totales/nivel de gasto del sector*

### *Resultados*

En términos de magnitud, se espera que esta acción resulte en un ahorro social pequeño para Querétaro en comparación con los niveles de gasto típicos en el sector industrial (es decir, el gasto en materiales y mano de obra de las empresas industriales).

En base a estos resultados, la implementación de proyectos de energía solar fotovoltaica debería parecer atractiva para las empresas industriales; sin embargo, es posible que el rendimiento de la inversión aún no sea lo suficientemente alto para atraer a una fracción significativa de propietarios/operadores. En algunos casos, las entidades industriales pueden alquilar su espacio operativo en lugar de poseerlo. Dependiendo del contrato de arrendamiento, puede que no haya incentivos para que los propietarios de edificios instalen dichos sistemas (porque los costos de energía se transfieren directamente a sus inquilinos). Por estos motivos, en la próxima etapa de implementación de esta acción, puede ser necesario identificar e implementar los mecanismos adecuados para promover la adopción de estos sistemas solares fotovoltaicos en el sector industrial.

### *Métodos y Fuentes*

#### Paso 1 - Determinación de un valor de referencia de CE

El primer paso en la evaluación de la magnitud de los costos y ahorros sociales de esta acción fue determinar un valor de referencia para su CE.

Las estimaciones de rentabilidad (CE) disponibles para las acciones tomadas para aumentar la generación de energía solar fotovoltaica han tendido a abordar las instalaciones a escala (plantas centralizadas, por ejemplo > 5 MW) que están conectadas a la red. Los costos de implementación por unidad de energía generada son más bajos para tales instalaciones en comparación con los proyectos distribuidos o instalaciones *in situ* más pequeños debido a sus economías de escala. Es también importante tener en cuenta que los costos de la generación solar fotovoltaica se han reducido sustancialmente en los últimos 10 a 15 años. Por lo tanto, se debe considerar la antigüedad de dichos estudios al evaluar la dirección (costo neto o ahorros) y la magnitud de los costos para la implementación de energía solar fotovoltaica (y la mayoría de las otras tecnologías de energía renovable).

La siguiente tabla resume las estimaciones de CE disponibles que se encuentran en una serie de estudios realizados en todo el mundo sobre la implementación de energía solar fotovoltaica. Como se indicó, la mayoría de las estimaciones disponibles son para proyectos a escala de servicios públicos (centralizados), en lugar de proyectos solares distribuidos. Los estudios más antiguos (los realizados antes de 2012) encontraron costos netos asociados con la implementación de energía solar fotovoltaica (incluso para evaluaciones a gran escala). Los estudios más recientes han indicado costos mucho más bajos. En muchas áreas, los costos totales de implementación y operación son más bajos que los costos de electricidad de la red. Esto conduce a un ahorro general para la implementación de proyectos de energía solar fotovoltaica (valores de CE negativos).

Tabla 3. Estimaciones de CE disponibles.

Sector - Segmento de mercado	CE (2020 USD/tCO <sub>2</sub> e)	Región	Citación y Notas
<i>Sistema Distribuido/En el Sitio de Energía Solar Fotovoltaica</i>			
Residencial/Comercial/ Institucional - Solar Distribuido	\$109	Poland	World Bank/Loch Alpine, 2010 <sup>a</sup>
Residencial - Solar Distribuido	\$92	América del Norte	Bloomberg NEF, 2010 <sup>b</sup>
Comercial - Solar Distribuido	\$3	México, Baja California	CCS, 2014 <sup>i</sup> . Política ES-3: Energía solar comercial distribuida (edificios)
Comercial/ Industrial - Solar Distribuido	-\$38	México, Coahuila	CCS, 2016 <sup>h</sup> . Política ES-4: Solar distribuida comercial / industrial
Industria - Solar Distribuido	-\$24	Guatemala	CCS, 2019 <sup>e</sup> . Policy I-3; policy addressed increased adoption of renewables with a 50:50 split between new solar PV and wind projects.
<i>Sistema Centralizado de Energía Solar Fotovoltaica</i>			
Sistema Centralizado	\$34	Globale	McKinsey, 2009 <sup>c</sup>
Sistema Centralizado	\$55	América del Norte	Bloomberg NEF, 2010 <sup>b</sup>
Sistema Centralizado	\$8	Romania	World Bank, 2016b <sup>d</sup>
Sistema Centralizado	-\$6	EE.UU - Minnesota	CCS, 2016 <sup>e</sup> . Acción ES-1, renovables expandidas, combinación de energía solar y eólica; no es posible separarlos. Los costos son un punto medio de \$ 3 a \$ 8 / tCO <sub>2</sub> e (2014) después de ajustar por superposiciones de políticas de demanda.
Sistema Centralizado	-\$50	México	INECC, 2018 <sup>f</sup> . El valor es para "fuentes de generación limpia"; se supone que esto corresponde en gran medida a la energía solar

			fotovoltaica.
Sistema Centralizado	-\$10	Guatemala	CCS, 2019 <sup>g</sup> . La acción se enfoca en grandes proyectos solares fotovoltaicos (> 5MW) conectados a la red.

Note: all values are in 2020 US dollars.

<sup>a</sup> Boeringer, C. (2010). Economic Impact of CO<sub>2</sub> Mitigation Strategies for Poland: CGE Modeling and Capacity Building. Ann Arbor: Loch Alpine Economics. The World Bank.

<http://documents.worldbank.org/curated/en/623431468333884038/pdf/610960WPOP11451sions0Economy1Poland.pdf>.

<sup>b</sup> Bloomberg New Energy Finance: A Fresh Look at the Costs of Reducing US Carbon Emissions. January 2010.

<https://about.bnef.com/blog/us-mac-curve-a-fresh-look-at-the-costs-of-reducing-us-carbon-emissions/>.

<sup>c</sup> Pathways to a Low-Carbon Economy: Version 2 of the Global Greenhouse Gas Abatement Curve & Impact of the Financial Crisis on Carbon Economics: Version 2.1 of the Global Greenhouse Gas Abatement Cost Curve - McKinsey and Company, 2009.

[https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/dotcom/client\\_service/sustainability/cost%20curve%20pdfs/pathways\\_low\\_carbon\\_economy\\_version2.ashx](https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/dotcom/client_service/sustainability/cost%20curve%20pdfs/pathways_low_carbon_economy_version2.ashx).

<sup>d</sup> Romania Green Growth Country Assessment: Addressing a Changing Climate and Moving to Low Carbon. June 2016.

<http://documents.worldbank.org/curated/en/512891470687952934/pdf/107578-WP-PUBLIC-Romania-green-growth.pdf>.

<sup>e</sup> Minnesota Climate Strategies and Economic Opportunities, Final Report, CCS, March 29, 2016.

<http://www.climatestrategies.us/library/library/view/1186>.

<sup>f</sup> Costos de las Contribuciones Nacionalmente Determinadas de México. Medidas Sectoriales No Condicionadas. Informe final. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), México.

[http://cambioclimatico.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/publicaciones/40/723\\_2018\\_Costos\\_Contribuciones\\_Nacionalmente\\_Determinadas\\_Mexico\\_.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://cambioclimatico.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/publicaciones/40/723_2018_Costos_Contribuciones_Nacionalmente_Determinadas_Mexico_.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

<sup>g</sup> Guatemala Low Emissions Development Strategy, Final Report, CCS, March 2019.

<http://www.climatestrategies.us/library/library/view/1226>.

<sup>h</sup> Final Report of the Coahuila Phase 2 State Climate Action Plan, 2016. <http://www.climatestrategies.us/coahuila>.

<sup>i</sup> Final Report of the Baja California Phase 2 Climate Action Plan, 2014. <http://www.climatestrategies.us/bajacalifornia>.

Los precios recientes de la electricidad para las empresas en México son de \$ 0.14/kWh.<sup>3</sup> Se estimó que el costo nivelado no subsidiado de la producción de electricidad para proyectos industriales de energía solar fotovoltaica oscilaba entre \$ 0.09 / kWh y \$ 0.012 / kWh en los EE. UU.<sup>4</sup> Durante 2018, y esas tarifas continúan disminuyendo. Esto sugiere que generalmente los proyectos comerciales de energía solar fotovoltaica generan ahorros a las empresas durante su vida operativa, si los sistemas están configurados para reducir la demanda de la red (no necesariamente vender al operador de la red).

Se asume que los ahorros para esta acción no son tan grandes como los indicados en el estudio del INECC (- \$ 50 / tCO<sub>2</sub>e), ya que esta estimación es para proyectos de gran escala (plantas centralizadas). Es probable que la rentabilidad de esta acción en Querétaro esté más en línea con los últimos valores indicados para proyectos distribuidos y los análisis realizados para Guatemala y Coahuila, México (citados en la tabla anterior). El rango medio de estos valores es aproximadamente - \$30 tCO<sub>2</sub>e (+/- \$ 10 / tCO<sub>2</sub>e) lo que indica un ahorro para el estado (es decir, un valor negativo de CE).

<sup>3</sup> [https://www.globalpetrolprices.com/Mexico/electricity\\_prices/](https://www.globalpetrolprices.com/Mexico/electricity_prices/). Residential rates are subsidized by the federal government at \$0.072/kWh.

<sup>4</sup> <https://www.nrel.gov/docs/fy19osti/72399.pdf>.

## Paso 2 - Estimación aproximativa de los costos o ahorros directos totales

Si se considera la estimación aproximada de CE indicada anteriormente (- \$30 tCO<sub>2</sub>e) y la reducción de emisiones de GEI estimada anteriormente (866,976 tCO<sub>2</sub>e en 2030 y 5,698,328 tCO<sub>2</sub>e en 2050), el ahorro anual neto estimado para la sociedad en Querétaro debido a la implementación de esta acción y en consideración de la reducción de GEI estimada anteriormente sería:

- 2030: - \$ 30 / tCO<sub>2</sub>e x 866,976 tCO<sub>2</sub>e = - \$26 millones de dólares
- 2050: - \$ 30 / tCO<sub>2</sub>e x 5,698,328 tCO<sub>2</sub>e = - \$171 millones de dólares

## Paso 3 - Determinación de la contribución de los costos o ahorros a los niveles de gasto del sector

El tercer paso en esta evaluación fue escalar los valores de ahorro directo anteriores en función de los niveles de gasto proyectados para el sector industrial (es decir, el sector afectado por esta acción) para comprender su magnitud.

Desde la Línea Base Socioeconómica, el valor agregado<sup>5</sup> a la economía para el sector industrial en 2017 fue de \$151 mil millones de pesos (año base 2019). Suponiendo un crecimiento de estos sectores al mismo ritmo que el resto de la economía (es decir, 3.8% como se indica en la línea base socioeconómica), el valor agregado por estos sectores en 2030 será de \$ 245 mil millones de pesos 2019 (es decir, \$ 11.1 mil millones de dólares) y en 2050 el valor agregado será de \$ 514 mil millones de pesos de 2019 (es decir, 23.5 mil millones de dólares).

Los valores de ahorros estimados de esta acción que se indicaron anteriormente (es decir, \$ 26 millones de dólares en 2030 y \$ 171 millones de dólares en 2050) representan el siguiente porcentaje del valor agregado del sector industrial:

- 2030: - \$ 26 millones de dólares / \$11.1 mil millones de dólares = 0.2% del valor agregado del sector industrial a la economía.
- 2050: - \$ 171 millones de dólares / \$23.5 mil millones de dólares = 0.7% del valor agregado del sector industrial a la economía.







## Paso 4 - Determinación de la magnitud (alto, mediano o bajo) de los costos o ahorros directos


El último paso fue convertir el porcentaje anterior de valores de ahorro directo (es decir, % de los niveles de gasto proyectados para el sector) en término de magnitud (alto, mediano o bajo). Por esto se usó la siguiente escala de calificaciones:

*Tabla 4. Escala de calificaciones.*

<b>Costos o ahorros sociales directos</b>	<b>Tamaño del costo o ahorro directo en 2050 (es decir, % de los niveles de</b>	<b>Indicador de la magnitud de costos o ahorros directos</b>
---	---	--

<sup>5</sup> El valor agregado es un término económico para expresar la diferencia entre el valor de los bienes y servicios y el costo de los materiales, suministros y mano de obra que se utilizan para producirlos. El valor agregado incluye sueldos, salarios, intereses, depreciación, alquiler, impuestos y ganancias.

	<b>gasto proyectados para el sector en 2050)</b>	
Ahorros	> 10%	
Ahorros	1.0% - 10%	
Ahorros	< 1.0%	
Costo	< 1.0%	
Costo	1.0% - 10%	
Costo	> 10%	

La contribución estimada del ahorro generado por la implementación de esta acción a los niveles de gasto del sector de referencia en 2050 (es decir, 0.7%) indica que la magnitud estimada del ahorro directo de la implementación de la acción será pequeña () en comparación con los niveles de gasto típicos del sector (es decir, el gasto en materiales y mano de obra de las empresas industriales).

## 6. Evaluación macroeconómica

### Introducción

La experiencia ha demostrado que las acciones de bajas emisiones de carbono tienen el potencial de proporcionar importantes beneficios macroeconómicos si se cuenta con un diseño de implementación y un apoyo financiero adecuados. La evaluación macroeconómica tiene como objetivo identificar y evaluar los efectos indirectos de los cambios inducidos por acciones en la economía en su conjunto, así como los impactos en diferentes sectores económicos, grupos de personas y tipos y tamaños de empresas. Los resultados típicos de la evaluación incluyen cambios estimados en el empleo a nivel de toda la economía y del sector, el PIB (o crecimiento económico), los ingresos personales, el consumo y los gastos personales, los cambios en el precio y la productividad, y los cambios en la población a medida que las personas responden a los cambios en ingresos, costos de vida y disponibilidad de trabajo. Las evaluaciones de los impactos económicos secundarios, o macroeconómicos, de las acciones se pueden realizar de manera cuantitativa y/o cualitativa y con diversos grados de detalle y sofisticación según la necesidad, el nivel de detalle en el diseño de la acción, y los datos disponibles. Los resultados de tales evaluaciones pueden orientar la planificación, implementación y mayor desarrollo de acciones para asegurar que cumplan con las metas y objetivos socioeconómicos.

El desarrollo y aplicación de un modelo analítico macroeconómico totalmente empírico para la economía de Querétaro, basado en el análisis de datos primarios, está fuera del alcance de este proyecto debido a el nivel de detalles de diseño de las acciones y a los datos disponibles. En este sentido, se llevó a cabo una evaluación basada en indicadores y modelos empíricos previos para determinar la dirección potencial y la magnitud de los impactos en el empleo, los ingresos y el crecimiento económico impulsados por las acciones de la Trayectoria. Esta metodología con indicadores

macroeconómicos se basa en un análisis de regresión de estudios macroeconómicos previos de mitigación del cambio climático<sup>6</sup> que muestran que seis indicadores (o factores) son importantes para comprender cómo las acciones pueden cambiar el crecimiento económico y el empleo en una jurisdicción determinada. Cada uno de estos indicadores (descritos a continuación) está influenciado por el diseño de implementación, los impactos financieros (gastos e ingresos) de una acción, y los efectos multiplicadores económicos resultantes. Estos incluyen efectos tanto positivos como negativos asociados con cada indicador para producir un resultado neto. Los seis indicadores son:

1. **Cambios a favor de tecnologías y prácticas con costos de implementación netos más bajos que en el escenario BAU:** la suma de los costos de implementación y ahorros de la acción es menor que el costo neto esperado en el escenario BAU. En tal caso, la acción no utiliza fondos que se pueden gastar en otros sectores para estimular el crecimiento económico.
2. **Cambios en los gastos de energía y recursos naturales:** los cambios en la eficiencia neta, o a favor de un mayor ahorro de energía o recursos mediante tecnologías o prácticas recientemente adoptadas podrían crear fondos disponibles que pueden gastarse en otros sectores para estimular el crecimiento económico.
3. **Cambio a favor del suministro de energía local y otras recursos locales:** los cambios de fuentes de energía o recursos importados a locales podrían crear fondos disponibles que se pueden gastar en otros sectores para estimular el crecimiento económico.
4. **Cambio a favor de las cadenas de suministro locales:** los cambios en las actividades a favor de productos de otros sectores locales o cadenas de suministro locales podrían estimular el crecimiento económico.
5. **Cambio a favor de actividades intensivas en mano de obra:** los cambios a favor de actividades más intensivas en mano de obra local en comparación con el escenario BAU podrían estimular el crecimiento económico.
6. **Cambios a favor de fuentes externas de inversión e ingresos:** los cambios a favor de las fuentes de inversión nacionales o internacionales crean fondos disponibles que se podrían gastar en otros sectores locales para estimular el crecimiento económico.

La presencia de cualquiera de estos indicadores como consecuencia de la implementación de una acción se asocia positivamente con el crecimiento del PIB, con la excepción del quinto indicador, que está asociado estadísticamente con el crecimiento del empleo en toda la economía en lugar del PIB.

### *Resultados*

Se espera que esta acción genere un impacto macroeconómico positivo general en la economía de Querétaro con potencial para un crecimiento significativo, asumiendo que durante la siguiente fase de implementación, se definen parámetros de diseño y mecanismos de implementación de manera que:

---

<sup>6</sup> La evaluación macroeconómica basada en indicadores se basa en el estudio titulado “Resumen de factores clave que contribuyen a los impactos macroeconómicos de las opciones de mitigación de GEI”, de Dan Wei, Adam Rose y Noah Dormady de la Escuela de Políticas Públicas Sol Price de la USC. [www.climatestrategies.us/library/library/download/905](http://www.climatestrategies.us/library/library/download/905)

- Se estima que la nueva generación de energía solar distribuida es menos costosa que la generación de fuentes de electricidad de la red en el escenario BAU y este genera un efecto de estímulo económico.
- La nueva generación solar local compensará directamente las importaciones de electricidad, redistribuyendo los fondos a la economía local en lugar de a los productores externos.
- Se establecerán cadenas de suministro locales para retener los fondos de inversión en la economía local, y se empleará el mayor porcentaje posible de mano de obra local y materiales producidos localmente para la instalación y las operaciones y el mantenimiento (O&M) de nuevos equipos de generación solar con el fin de maximizar el beneficio macroeconómico de la inversión en nuevos proyectos.
- Se utilizarán inversiones extranjeras y/o subvenciones o préstamos federales para permitir la inyección directa de capital a la economía local.

La tabla siguiente resume los impactos de cada uno de los seis indicadores macroeconómicos en esta acción (es decir, la presencia o ausencia de cada indicador como consecuencia de la implementación de la acción) en base a los supuestos anteriores y a los parámetros de diseño de esta acción. Más detalles sobre esta evaluación se proporcionan en las secciones que siguen:

*Tabla 5. Resumen Evaluación Macroeconómica.*

<b>Indicador macroeconómico</b>	<b>Impacto de la acción en el indicador *</b>
1. Cambios a favor de tecnologías y prácticas con costos de implementación netos más bajos que en el escenario BAU	Positivo
2. Cambios en los gastos de energía y recursos	Este indicador no se aplica
3. Cambio a favor del suministro de energía y recursos locales	Positivo
4. Cambio a favor de las cadenas de suministro locales	Positivo
5. Cambio a favor de actividades intensivas en mano de obra	Positivo
6. Cambios a favor de fuentes externas de inversión e ingresos	Positivo

*\* Impacto positivo indica un estímulo macroeconómico para la jurisdicción (beneficio), mientras el negativo indica la ausencia de este estímulo.*

### *Metodología*

#### Factores de costo primarios para la evaluación de la acción

Los costos asociados con esta acción están relacionados principalmente con la adquisición de componentes solares, así como con la mano de obra de construcción e instalación necesaria para la instalación de nuevos proyectos de generación solar.

La cuantificación de estos costos directos está fuera del alcance de este Proyecto.

Sin embargo, una comprensión de su magnitud basada en una investigación bibliográfica proporcionada en la sección anterior sirve como insumo para el desarrollo de la evaluación macroeconómica aplicada a cada uno de los seis factores identificados anteriormente.

Parámetros financieros y parámetros de implementación en la evaluación macroeconómica

La aplicación de los seis indicadores requiere la evaluación de algunos parámetros financieros y de diseño. Sin embargo, no todos estos parámetros están disponibles para la evolución macroeconómica de esta acción y en su ausencia se utilizaron investigaciones bibliográficas o supuestos. A continuación se muestra un resumen de cada uno de los seis indicadores refinados para su aplicación a esta acción, junto con (i) los parámetros financieros que en teoría cada uno de ellos considera (es decir, costos o ingresos que están asociados con este indicador), y (ii) los parámetros de implementación que en teoría puedan impactar el desempeño de la acción contra ese indicador. Tenga en cuenta que algunos indicadores pueden ser más aplicables que otros para esta acción en particular. Por ejemplo, si no se espera ningún cambio en la demanda de energía, los ahorros de energía del indicador 2 pueden no ser relevantes.

*Tabla 6. Indicadores macroeconómicos con parámetros financieros y de implementación que podrían soportar la evaluación macroeconómica.*

Indicador macroeconómico	Parámetros financieros	Parámetros de implementación
<b>1. Cambios a favor de tecnologías y prácticas con costos de implementación netos más bajos que en el escenario BAU</b>	Cambios en el gasto para la infraestructura del sistema energético, el consumo de energía y los flujos de energía	Tiempo de implementación, nivel de esfuerzo, alcance de productores y consumidores, ubicación, tipo de sistema e integración de red para sitios industriales; diseño para el despliegue del sistema, incluidas fuentes de financiamiento e incentivos.
<b>2. Cambios en los gastos de energía y recursos naturales</b>	Cambios en el consumo (uso) de energía y niveles de gasto relacionados para consumidores y productores de electricidad. Cambios en la cantidad total y el costo de la energía producida y vendida.	Diseño de los flujos de energía, la infraestructura para la nueva generación y la propiedad de los sistemas de generación distribuida
<b>3. Cambio a favor del suministro de energía y recursos</b>	Cambios en las fuentes y características de los insumos de energía y	Cambios en la demanda de electricidad basada en la red a través de la generación <i>in situ</i> y uso de recursos solares



<b>locales</b>	recursos para la generación de electricidad, incluidos el aumento de la generación local para compensar las importaciones	distribuidos que afectan el nivel de energía consumida en comparación con lo que se puede devolver a la red.
<b>4. Cambio a favor de las cadenas de suministro locales</b>	Cambia en el gasto local para equipos, materiales para el desarrollo y operación de infraestructura y sistemas	Diseño para maximizar la mano de obra local y la cadena de suministro para la fabricación, instalación y operación de sistemas de energía solar.
<b>5. Cambio a favor de actividades intensivas en mano de obra</b>	Cambios en las tasas de gasto local en mano de obra para construcción y operaciones.	Nueva mano de obra para nuevas construcciones, instalación, permisos y O&M
<b>6. Cambios a favor de fuentes externas de inversión e ingresos</b>	Cambios en la fuente y monto de los fondos para financiamiento e ingresos operativos.	Fuentes de financiamiento públicas y privadas locales, públicas y privadas nacionales o fondos internacionales para nuevos proyectos.

#### Evaluación de la acción en base a los seis indicadores

##### **Indicador 1 - Cambios a favor de tecnologías y prácticas con costos netos de implementación más bajos que en el escenario BAU**

- La evaluación de costos netos directos proporcionada en la sección anterior mostró que esta acción probablemente generará ahorros para la sociedad de Querétaro, aunque de pequeña magnitud. Esto liberará fondos para la reinversión y conducirá a la expansión económica.
- Se ha demostrado consistentemente que los proyectos de energía solar distribuida reducen los costos del sistema de energía durante la vida útil de BAU al compensar la generación basada en combustibles fósiles más costosa, reducir los gastos de operación y mantenimiento para la generación de electricidad y aumentar la eficiencia del sistema de transmisión y distribución.
- Los costos de la infraestructura y el sistema de energía aumentarán en el corto plazo debido a los costos de los nuevos proyectos; sin embargo, se espera que este costo se compense mediante la reducción significativa de los costos de electricidad con el tiempo. El Retorno de la Inversión (ROI) estimado para los sistemas comerciales en México es de cuatro años con una Tasa Interna de Retorno (TIR) estimada del 25%. La vida operativa promedio de una instalación

solar es de 25 a 40 años, lo que genera un beneficio significativo para los propietarios de sistemas, particularmente para el sector industrial, que es un gran consumidor de electricidad.

- Se espera que esta acción tenga un ahorro neto a través de la reducción del costo de energía durante la vida útil y, como resultado, tenga un impacto positivo en este indicador

### **Indicador 2- Cambios en el gasto de energía y recursos naturales**

- La acción implica el cambio de la demanda de electricidad de generación importada / centralizada a nuevas fuentes de generación solar distribuida local. No se espera un cambio en el nivel de consumo total de energía y, por lo tanto, no hay impacto en este indicador, a menos que se establezcan cadenas de suministro de fabricación solar, lo que puede resultar en un aumento en la demanda total de electricidad.
- La medición neta (venta de generación distribuida a la red) puede estimular aún más la economía local al crear un flujo de ingresos para los propietarios de la generación solar, reduciendo los costos de energía al compensar parcialmente el costo de la electricidad importada. De lo contrario, estos ingresos serían captados por el operador de la red nacional, lo que tendría un efecto amortiguador a nivel local.

### **Indicador 3 - Cambios en favor del suministro de energía y recursos locales**

- Querétaro es un importador de energía, con electricidad suministrada principalmente por la red nacional generada a partir de fuentes fuera del estado. Se espera que la nueva generación solar local compensará directamente las importaciones de electricidad, redistribuyendo los fondos a la economía local en lugar de a los productores externos.
- Se espera que esta acción tenga un impacto positivo en este indicador. Como la corriente de Querétaro tiene niveles bajos de generación de energía local, el impacto potencial en el sector energético a través de esta acción probablemente será alto.

### **Indicador 4 - Cambios a favor de cadenas de suministro locales**

- No se conoce un sitio de fabricación de energía solar en Querétaro y, por lo tanto, se espera que los materiales y servicios específicos provengan de fuentes externas (importadas) para las primeras instalaciones. Para maximizar los beneficios macroeconómicos, deben establecerse cadenas de suministro locales para retener los fondos de inversión en la economía local. Debería emplearse el mayor porcentaje posible de materiales de producción local para la instalación de nueva generación solar a fin de maximizar el beneficio macroeconómico de la inversión en nuevos proyectos. Si se pueden establecer nuevas cadenas de suministro, existe un potencial significativo para nuevas fuentes externas de inversión en la economía local que de otra manera no se aprovecharían y aumentarían significativamente los impactos macroeconómicos positivos.
- La reducción de los costos de energía para los operadores industriales mejorará la eficiencia de costos en la fabricación y las operaciones, con potencial para mejorar la competitividad de

costos de los productos. Esta acción tiene el potencial de mejorar indirectamente las operaciones de la cadena de suministro local.

- Se espera que esta acción influya positivamente en las cadenas de suministro locales ya establecidas, incluidos los materiales de construcción y eléctricos. Si solo se emplean las cadenas de suministro existentes, se espera que el impacto macroeconómico general sea bajo. Sin embargo, como se identificó anteriormente, existe una gran oportunidad para expandir las cadenas de suministro locales.
- En general, esta acción podría, en última instancia, tener un impacto positivo en este indicador, con un potencial de impacto positivo significativo que dependa del desarrollo de las cadenas de suministro locales, pero probablemente tendría un efecto negativo en las primeras etapas antes de desarrollar la capacidad de la cadena de suministro local.

#### **Indicador 5 - Cambios a favor de actividades intensivas en mano de obra**

- Querétaro tiene bajo empleo local en el sector energético. Las nuevas instalaciones solares locales aumentarán la energía producida localmente y pueden brindar oportunidades para nuevos empleos, capacitación y expansión potencial a nuevos sectores de fabricación y mano de obra para la provisión de bienes y servicios de la cadena de suministro.
- La energía solar tiene el factor de creación de empleo más alto de todos los recursos de generación de energía y, por lo tanto, tiene importantes beneficios macroeconómicos positivos en comparación con otros proyectos de generación de energía. Existe una gran oportunidad para la capacitación para el desarrollo de nuevas fuerzas laborales locales relacionadas con la implementación de proyectos solares, particularmente relacionados con la construcción e instalación.
- Los nuevos proyectos solares también requerirán un mantenimiento continuo de los sistemas, creando una oportunidad para la creación de nuevos grupos de mano de obra a través de la capacitación y el desarrollo de la fuerza laboral que actualmente no existen en el estado.
- Se espera que esta acción tenga un impacto positivo en este indicador. Si se pueden establecer nuevos grupos de mano de obra, aumentará el potencial macroeconómico positivo.

#### **Indicador 6 - Cambios en favor fuentes externas de inversión e ingresos**

- Los nuevos proyectos solares tienen potencial para atraer inversiones de inversionistas nacionales o extranjeros que de otro modo no estarían disponibles, lo que puede tener un efecto estimulante significativo en la economía local si se pueden establecer cadenas de suministro locales.
- Los incentivos fiscales, las subvenciones u otros programas proporcionados por el gobierno federal permitirán que la economía local capture ingresos adicionales a nivel local. En el caso de los incentivos fiscales, los fondos que de otro modo fluirían del estado al gobierno federal pueden ser retenidos por los operadores locales para invertir en nuevas operaciones o mano de obra, lo que da como resultado un crecimiento económico neto dentro del estado. Las subvenciones o préstamos federales permiten la inyección directa de capital en la economía

para la inversión en nuevos proyectos de desarrollo con bajas emisiones de carbono, lo que aumenta los impactos macroeconómicos positivos.

- Se espera que esta acción tenga un impacto positivo en este indicador.

## **7. Co-beneficios de la acción**

Además de los beneficios energéticos, de GEI y macroeconómicos mencionados anteriormente, esta acción también puede producir los siguientes beneficios colaterales:

- Reducción de las emisiones de contaminantes atmosféricos de las centrales eléctricas y los impactos locales asociados en la salud (debido al ozono, las partículas y los contaminantes atmosféricos tóxicos).
- Reducción de los impactos ambientales como resultado de una menor demanda de combustibles fósiles en las centrales eléctricas, incluida la contaminación del aire, el suelo y el agua por la extracción, el procesamiento y la transmisión de combustibles fósiles.
- Permitirá la reducción en sus gastos de servicios de luz, además de comprometerse al compromiso de ser un negocio con sustentabilidad y genera motivación de cultura ambiental en su ambiente de trabajo.
- La transformación del sector industrial en materia de renovables es sin duda, la principal forma para mitigar los GEI, por su tamaño y por su actividad intensiva de energía fósil que actualmente utiliza, además es la forma de reducir la dependencia energética nacional apalancada en hidrocarburos entre otros.

## **8. Otra información potencialmente importante**

Este diseño de esta acción representa una alta penetración de generación eléctrica renovable para el sector. Además, también existen acciones de generación de electricidad renovable incluidas en los sectores de suministro eléctrico y comercial / institucional. En conjunto, estas acciones podrían descarbonizar sustancialmente el consumo de electricidad en el estado. Es importante señalar que una penetración tan alta de los recursos de generación renovable en el suministro de electricidad requerirá una planificación cuidadosa para asegurar que se mantenga la confiabilidad de la red. En particular, para asegurar que las cargas eléctricas máximas se cumplan con un suministro adecuado, es probable que se necesite almacenamiento de energía, así como programas de gestión de la demanda.

Mecanismos de implementación: Los aportes adicionales pueden ser útiles para las próximas etapas de análisis e implementación de esta acción. Esto podría incluir una comprensión más detallada de quién está obligado a implementar acciones (por ejemplo, qué tipo de instalaciones) o cómo se hace (por ejemplo, regulaciones o subsidios), así como otras condiciones habilitantes que pueden apoyar la implementación de la acción (por ejemplo, programas de fijación de precios del carbono).

Un primer paso clave hacia la implementación de esta acción es realizar una evaluación de recursos para caracterizar la cantidad de techos u otros espacios abiertos disponibles en las instalaciones industriales del estado. Los resultados se pueden utilizar para confirmar que se pueden cumplir los objetivos de la

acción. Además, sobre la base de los perfiles únicos de demanda de electricidad de las instalaciones individuales, las evaluaciones financieras para la implementación de proyectos fotovoltaicos se pueden realizar y presentar como ejemplos a los operadores industriales, de modo que los beneficios financieros para sus operaciones sean claros.