

SE-1. Energía solar centralizada

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	5
4.	Impactos de descarbonización estimados (Impactos 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
	Paso 3 - Estimación en la cantidad de nueva generación solar requerida y la capacidad total requerida	7
5.	Magnitud potencial de los costos o ahorros directos	8
	<i>Introducción</i>	8
	<i>Resultados</i>	9
	<i>Métodos y Fuentes</i>	10
	Paso 1 - Determinación de un valor de referencia de CE	10
	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	13
6.	Evaluación macroeconómica	14
	<i>Introducción</i>	14
	<i>Resultados</i>	15
	<i>Metodología</i>	16
7.	Co-beneficios de la acción	21
8.	Otra información potencialmente importante	21

1. Resumen

Descripción: Esta acción está diseñada para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) (principalmente CO₂) del suministro eléctrico en Querétaro mediante la construcción de nuevas plantas de energía solar centralizadas conectadas a la red nacional.

Nivel de esfuerzo y el tiempo de la implementación:

- Para 2030, reducir la intensidad de carbono de la energía proveniente de la red en 25% desde los niveles de BAU a través de nueva capacidad solar.
- Para 2050, reducir la intensidad de carbono de la energía basada proveniente de la red en 50% desde los niveles de BAU a través de nueva capacidad solar.

Potencial Mitigación de GEI:

- Reducciones acumuladas (2022 - 2050) de GEI: 68 TgCO₂e.
- 35% reducción de GEI a nivel del sector del suministro de energía (es decir, potencial alto 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%

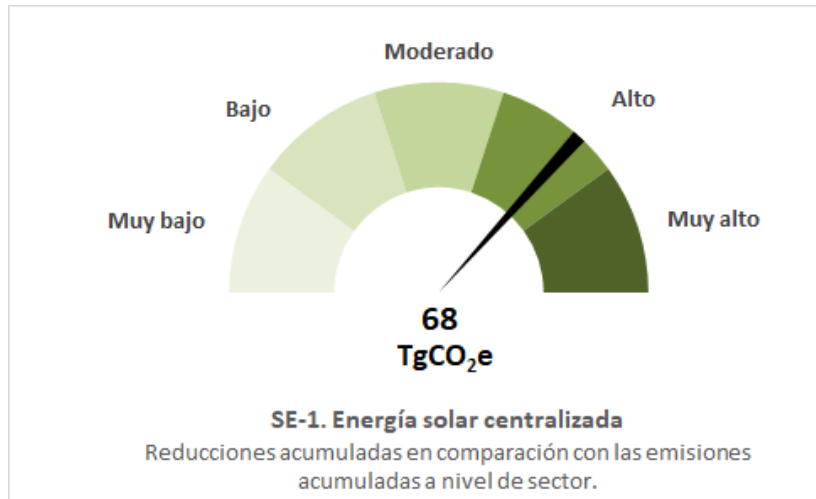


Figura 1. Magnitud del potencial de mitigación de la acción a nivel del sector.

Magnitud potencial de los costos o ahorros directos: ahorros directos grandes debido a los menores costos de suministro eléctrico a los residentes y negocios del Estado en comparación con el escenario BAU.

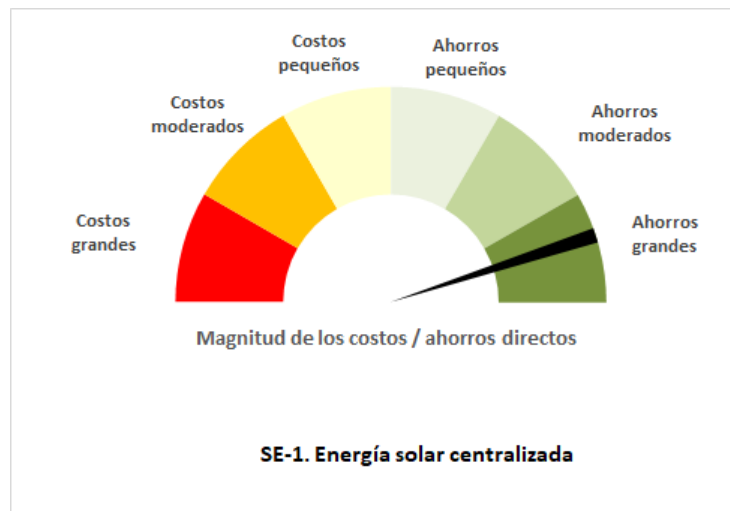


Figura 2. Magnitud potencial de los costos o ahorros directos de la acción.

Evaluación macroeconómica: impacto macroeconómico positivo asumiendo que la acción genera

- Cambio a favor de costos más bajos para incentivar las inversiones en la economía local.
- Ningún cambio en el consumo de energía y entonces ningún impacto en los niveles de gasto asociado local
- Cambio a favor de fuentes de energía locales (menos importaciones) para redistribuir los fondos en la economía local.

- Cambio a favor de 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.

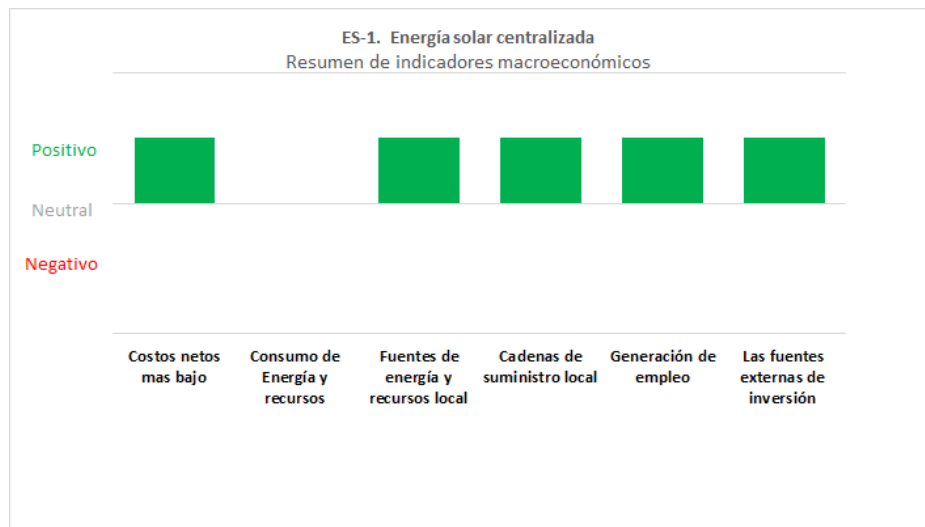


Figura 3. Resumen de indicadores macroeconómicos.

2. Descripción de la Acción

Esta acción está diseñada para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) (principalmente CO₂) del suministro eléctrico en Querétaro mediante la construcción de nuevas plantas de energía solar centralizadas conectadas a la red nacional. Las emisiones de GEI del suministro de electricidad contribuyen significativamente a la huella de carbono general de la economía estatal, aunque parte de este suministro proviene de fuentes de generación en otros estados.

Entre las consideraciones para implementar esta acción está el tema de la autoridad del gobierno federal en el manejo de la red eléctrica y las fuentes que abastecen de energía. El gobierno de Querétaro pretende trabajar con el gobierno federal para apoyar la implementación de esta acción.

Esta acción tiene fuertes interacciones con las dos acciones de generación solar distribuida en los sectores Industria y RCI, así como la acción de electrificación de vehículos en el sector Transporte. Las dos acciones para la generación solar distribuida se refieren a sistemas solares in situ que alimentan el punto de consumo local y también pueden alimentar el sistema de distribución local. La cantidad máxima de generación de energía solar requerida de esta acción de energía solar en el sector de suministro de energía dependerá de la medida en que las acciones relacionadas en otros sectores se implementen.

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, reducir la intensidad de carbono de la energía proveniente de la red en 25% desde los niveles de BAU a través de nueva capacidad solar.
- Para 2050, reducir la intensidad de carbono de la energía basada proveniente de la red en 50% desde los niveles de BAU a través de nueva capacidad solar.

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

- Como se señaló anteriormente, hay otras dos acciones en la Trayectoria de Descarbonización de Querétaro que proporcionarán generación solar distribuida en los sectores de Industria y RCI. Si bien la implementación de esas acciones también servirá para reducir la demanda de la red, también existe una acción de electrificación de vehículos que aumentará la demanda de electricidad al mismo tiempo.
- Para tener una idea de la cantidad de generación solar necesaria de esta acción, se supone que los aumentos y disminuciones en la demanda de la red se equilibrarán. Desde la línea de base, la demanda de la red de 2030 (incluidas las pérdidas de transmisión y distribución) se estima en unos 8,100 GWh; y en 2050, ese valor será de unos 16,400 GWh. Suponiendo una planta de energía solar de 100 MW de tamaño y un factor de capacidad del 20%, 11 de estas plantas serían necesarias para 2030 y otras 39 plantas para 2050. Los requisitos de uso del suelo para esta cantidad de energía solar fotovoltaica rondarían las 22,400 hectáreas.¹

4. Impactos de descarbonización estimados (Impactos estimados en las emisiones de GEI)

Esta sección resume los resultados del análisis de impactos en los 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, incluidos los niveles de generación o ahorro de energía; y reducciones de emisiones de GEI en toneladas equivalentes de dióxido de carbono (tCO₂e). La siguiente sección de este documento proporciona un resumen de los métodos y fuentes de datos aplicados para derivar estos resultados.

¹ Basado en los requisitos de uso de la tierra documentados por el Laboratorio Nacional de Energía Renovable para proyectos de energía solar fotovoltaica a escala de servicios públicos; 3.2 Ha/ MW. <https://www.nrel.gov/docs/fy13osti/56290.pdf>.

Parámetro	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Intensidad de carbono de la red en el escenario de BAU (tCO ₂ e / MWh)	0.63	0.64	0.65	0.65	0.66	0.66
Intensidad de carbono de la red en el escenario con esta acción (tCO ₂ e / MWh)	0.55	0.48	0.44	0.40	0.37	0.33
Generación en el escenario de BAU (GWh)	6,489	8,050	9,603	11,464	13,695	16,371
Emisiones de GEI del escenario BAU (tCO ₂ e)	4,056,858	5,128,344	6,193,350	7,470,055	9,000,816	10,836,545
Emisiones de GEI del escenario de acción (tCO ₂ e)	3,591,056	3,846,258	4,235,504	4,635,591	5,035,250	5,418,272
Nueva generación solar necesaria (GWh)	745	2,013	3,036	4,350	6,034	8,185
Energía solar de plantas centralizadas requerida (MW)	417	1,126	1,699	2,434	3,376	4,580
Reducciones estimada de GEI (tCO₂e)	465,802	1,282,086	1,957,846	2,834,463	3,965,566	5,418,272

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 actividad resultante de la implementación de esta acción. Para esta acción, la estructura del diseño de la acción se centra en la intensidad de carbono de la red, en toneladas de emisiones por megavatio-hora de electricidad (tCO₂e/MWh). Actualmente, esa electricidad se genera mediante una combinación de generación a base de 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). La implementación de nuevas plantas de energía solar reducirá la intensidad de carbono con el tiempo de acuerdo con los objetivos.

Se realizaron los siguientes cálculos y supuestos:

- A. Identificación de los valores de intensidad de carbono de la red en el escenario BAU. Estos valores se tomaron directamente de la línea base de suministro de energía y están indicados en la tabla de resumen anterior. Por ejemplo, en 2030 este valor es 0.64 tCO₂e/ MWh.
- B. Cálculo de la intensidad de carbono de la red del escenario de esta acción. Esto se derivó multiplicando la intensidad de carbono de la red en el escenario BAU por las reducciones en la intensidad de carbono de la red requeridas en base a las metas en 2030 y 2050 de esta acción.

Por ejemplo, en 2030 considerando la meta de reducción de la intensidad de carbón de la red de 25:

$$0.64 \text{ tCO}_2\text{e} / \text{MWh} \times (1 - 25\%) = 0.48 \text{ tCO}_2\text{e} / \text{MWh}$$

Para los otros años del período de planificación (2020 - 2050), se asumió que:

- Las nuevas adiciones de capacidad comenzarán en 2022.
- Habría una rampa lineal² hacia la meta de 2030 durante cada año. Además, las adiciones continuas de capacidad ocurrirían después de 2030 de manera lineal para lograr la meta de 2050.

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 realizaron los siguientes cálculos:

- A. Identificación de los valores anuales de generación en el escenario BAU. Estos valores se tomaron directamente de la línea base de suministro de energía y están indicados en la tabla de resumen anterior. Por ejemplo, en 2030 este valor es 8,050 GWh.
- B. Cálculo de las emisiones de GEI del escenario BAU. Estos valores se tomaron directamente de la línea base de suministro de energía y están indicados en la tabla de resumen anterior. Por ejemplo, en 2030 este valor es 5,128,344 tCO₂e.
- C. Cálculo de las emisiones del escenario de esta acción. Por este cálculo se utilizaron los valores de generación en el escenario BAU y los valores de la intensidad de carbono de la red para la acción. Por ejemplo, en 2030:

$$\text{Emisiones GEI en el escenario de esta acción} = 8,050 \text{ GWh} \times 1,000 \text{ MWh/GWh} \times 0.48 \text{ tCO}_2\text{e} / \text{MWh} =$$

$$3,846,258 \text{ tCO}_2\text{e}$$

- D. Estimación de las reducciones de GEI. Mediante este cálculo, las emisiones de GEI del escenario BAU se restaron de las emisiones de GEI del escenario Acción. Por ejemplo, en 2030:

$$3,846,258 \text{ tCO}_2\text{e} - 5,128,344 \text{ tCO}_2\text{e} = -1,282,086 \text{ tCO}_2\text{e}$$

Paso 3 - Estimación en la cantidad de nueva generación solar requerida y la capacidad total requerida

Además de las reducciones de emisiones asociadas con esta acción, en este análisis se proporciona también estimaciones de la cantidad de nueva generación solar requerida, en gigavatios-hora (GWh), y la capacidad total requerida, en megavatios (MW) para lograr las metas.

² 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).

- A. Cálculo de la cantidad de generación solar (GWh) requerida en cada año. Por este cálculo, se consideró el valor de generación de BAU para cada año. La cantidad de generación de energía con cero emisiones de carbono generada con las nuevas plantas de energía solar se determina multiplicando la generación de BAU por la proporción de la intensidad de carbono del escenario de acción dividida por la intensidad de carbono de BAU. Por ejemplo, en 2030:

$$8,050 \text{ GWh} \times [1 - (0.48 \text{ tCO}_2\text{e} / \text{MWh} / 0.64 \text{ tCO}_2\text{e} / \text{MWh})] = 2,013 \text{ GWh}$$

- B. Cálculo de la capacidad de generación solar (MW) necesaria en cada año. Por este cálculo se necesitan los valores de generación solar calculados en el paso anterior y un factor de capacidad asumido para la energía solar. El factor de capacidad representa la cantidad de horas por año que la planta solar está generando energía. Se tomó un valor de 0.204 en base a la literatura.³ Por ejemplo, en 2030:

$$2,013 \text{ GWh} \times 1000 \text{ MWh} / \text{GWh} \times 1 / 8,760 \text{ horas} / \text{año} \times 1 / 0.204 = 1,126 \text{ MW}$$

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 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

³ 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>.

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 CO₂ equivalente reducida (CE). El valor de CE se indica en dólares estadounidenses para cada tonelada de CO₂ equivalente reducida (US\$/CO₂e). 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.

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

$$\text{estimación de los costos o ahorros directos totales} / \text{nivel de gasto del sector}$$

Resultados

En término de magnitud, se espera que esta acción resulte en un gran ahorro social para Querétaro en comparación con los niveles de gasto típicos en el sector de suministro de electricidad y agua (es decir, el gasto en materiales y mano de obra de las empresas del sector de suministro de agua y electricidad).

En base a estos resultados, la implementación de proyectos de energía solar fotovoltaica centralizada parece muy atractiva desde una perspectiva social. Sin embargo, debe entenderse que la CFE mantiene el control sobre la incorporación de nuevas fuentes de generación a la red eléctrica. Por lo tanto, en la próxima etapa de implementación de esta acción, es necesario que el estado de Querétaro trabaje con la CFE para diseñar e implementar los mecanismos adecuados para promover la incorporación de generación eléctrica renovable a la red.

Métodos y Fuentes

Paso 1 - Determinación de un valor de referencia de CE

El primer paso para evaluar la magnitud de los costos y ahorros sociales de esta acción fue determinar un valor de referencia para el CE de la acción. En 2018, INECC realizó análisis para acciones de mitigación en México, incluidos proyectos de energía solar centralizada. Se estimó un valor de CE de - \$50 USD/tCO₂e (el valor negativo indica un ahorro de costos). El ahorro de costos sociales para las plantas solares fotovoltaicas centralizadas es consistente con otras evaluaciones recientes en otras jurisdicciones, incluido un análisis para Guatemala en 2018.⁴

En la siguiente tabla se proporciona un resumen de los datos de CE disponibles. En términos generales, los valores calculados en estudios anteriores (> 6 - 8 años) no incluyen reducciones significativas en el costo de las plantas solares fotovoltaicas a gran escala. A menos que los costos actuales de la electricidad de la red sean muy bajos (por ejemplo, < \$ 0.05 USD / kWh), las plantas solares fotovoltaicas deberían generar un ahorro para la economía local.

Los valores de CE negativos indican ahorro y los valores de CE positivo un costo

Sector - Segmento de mercado	CE (2020 USD/tCO₂e)	Región	Citación y Notas
Sistema Centralizado	\$34	Globale	McKinsey, 2009 ^c
Sistema Centralizado	\$55	América del Norte	Bloomberg NEF, 2010 ^b
Sistema Centralizado	\$8	Romania	World Bank, 2016 ^d
Sistema Centralizado	-\$7	Coahuila, Mexico	CCS, 2016 ^e . Política ES-1: Producción de electricidad a partir de energías renovables, con enfoque en energía solar y eólica. No es posible separar la energía solar del viento.

⁴ El valor de CE estimado para este plan fue - \$ 10 USD / tCO₂e. El menor nivel de ahorro en comparación con el resultado de la acción nacional en México podría deberse a una menor intensidad de carbono de la red en Guatemala.

Sistema Centralizado	-\$6	EE.UU - Minnesota	CCS, 2016 ^f . 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 ₂ e (2014) después de ajustar por superposiciones de políticas de demanda.
Sistema Centralizado	-\$50	México	INECC, 2018 ^g . 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 ^h . La acción se enfoca en grandes proyectos solares fotovoltaicos (> 5MW) conectados a la red.
Sistema Centralizado	-\$52	México	ICM/WRI/Carbon Trust, 2020 ⁱ . Energía solar fotovoltaica.

Nota: todos los valores están en dólares estadounidenses de 2020.

^a Boeringer, C. (2010). Impacto económico de las estrategias de mitigación de CO₂ para Polonia: modelado CGE y creación de capacidad. Ann Arbor: Loch Alpine Economics. El Banco Mundial. <http://documents.worldbank.org/curated/en/623431468333884038/pdf/610960WP0P11451sions0Economy1Poland.pdf>.

^b Bloomberg New Energy Finance: una nueva mirada a los costos de reducir las emisiones de carbono de EE. UU. Enero de 2010. <https://about.bnef.com/blog/us-mac-curve-a-fresh-look-at-the-costs-of-reducing-us-carbon-emissions/>.

^c Trayectoria hacia una economía baja en carbono: versión 2 de la curva global de reducción de gases de efecto invernadero e impacto de la crisis financiera en la economía del carbono: versión 2.1 de la curva global de costos de reducción de gases de efecto invernadero - McKinsey and Company, 2009. https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/dotcom/client_service/sustainability/cost%20curve%20pdfs/pathways_lowcarbon_economy_version2.ashx.

^d Evaluación de crecimiento verde de Rumania: abordar un clima cambiante y avanzar hacia una reducción de las emisiones de carbono. Junio de 2016. <http://documents.worldbank.org/curated/en/512891470687952934/pdf/107578-WP-PUBLIC-Romania-green-growth.pdf>.

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

^f Minnesota Climate Strategies and Economic Opportunities, Informe final, CCS, 29 de marzo de 2016. <http://www.climatestrategies.us/library/library/view/1186>.

^g 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.

^h Estrategia de desarrollo de bajas emisiones de Guatemala, Informe final, CCS, marzo de 2019. <http://www.climatestrategies.us/library/library/view/1226>.

ⁱ ICM/WRI/Carbon Trust, 2020. Policy Document: Sectoral decarbonization pathways , ICM/WRI/Carbon Trust, 2020. http://www.iniciativaclimatica.org/wp-content/uploads/2020/11/NationalCarbonBudgetMX_2020.pdf

Para esta acción, el CE desarrollado a partir de la evaluación del INECC (es decir, - \$50 USD/ tCO₂e) se considera el mejor valor de referencia de CE para esta acción.

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

Si se considera la estimación aproximada de CE indicada anteriormente (- \$50 tCO₂e) y la reducción de emisiones de GEI estimada anteriormente (1.282.086 tCO₂e en 2030 y 5.418.272 tCO₂e 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: - \$ 50 / tCO₂e x 1,282,086 tCO₂e = - \$ 64 millones de dólares
- 2050: - \$ 50 / tCO₂e x 5,418,272 tCO₂e = - \$ 271 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 de suministro de electricidad (es decir, el sector afectado por esta acción) para comprender su magnitud.

A partir de la Línea Base Socioeconómica, el valor agregado⁵ a la economía por los sectores de suministro de electricidad y agua en 2017 fue de \$8.33 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% / año como se indica en la línea de base socioeconómica), el valor agregado por estos sectores en 2030 será de \$ 13.5 mil millones de pesos de 2019 (es decir, \$ 613 millones de dólares); y en 2050, el valor agregado será de \$ 28,3 mil millones de pesos de 2019 (es decir, 1,287 millones de dólares).

Las estimaciones aproximadas de los ahorros directos de esta acción que se indicó anteriormente (es decir, \$64 millones de dólares en 2030 y \$271 millones de dólares en 2050), representan el siguiente porcentaje del valor agregado de los sectores de suministro de agua y electricidad:


- 2030: - \$ 64 millones de dólares / \$ 634 millones de dólares = 10% del valor agregado del sector de suministro de agua y electricidad a la economía
- 2050: - \$ 271 millones de dólares / \$ 1.330 millones de dólares = 20% del valor agregado del sector de suministro de agua y electricidad 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:

Costos o ahorros sociales directos	Tamaño del costo ahorro directo en 2050 (% de los niveles de gasto proyectados para el sector en 2050)	Indicador de la magnitud de costos/ahorros directos
Ahorros	> 10%	
Ahorros	1,0% - 10%	
Ahorros	< 1,0%	
Costo	< 1,0%	
Costo	1,0% - 10%	
Costo	> 10%	

⁵ 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.

La contribución estimada de los ahorros generados de la implementación de esta acción a los niveles de gasto de los sectores de referencia en 2050 (es decir, 20%) indica que la magnitud estimada de los ahorros directos de la implementación de la acción será grande () en comparación con los niveles de gasto típicos en estos sectores (es decir, el gasto en materiales y mano de obra por parte de las entidades en los sectores de suministro de agua y electricidad).

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 climático⁶ 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

⁶ 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

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:

- 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 posteriores 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 2. Resumen de los resultados.

Indicador macroeconómico	Impacto de la acción en el indicador*
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 la ingeniería, adquisición y construcción de instalaciones solares e interconexiones a la red. Además, los costos asociados con la adquisición e instalación de almacenamiento de energía también pueden incorporarse en los costos del proyecto. Los ingresos asociados a la acción provienen principalmente de las ventas de electricidad.

La cuantificación de estos costos directos está fuera del alcance de este Proyecto. Sin embargo, una comprensión de sus magnitud basada en una investigación bibliográfica sirve como insumo para el desarrollo de la evaluación macroeconómica aplicada a cada uno de los seis indicadores 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 disponible 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 3. Indicadores macroeconómicos con parámetros financieros y de implementación que podrían soportar la evaluación macroeconómica.

Indicador macroeconómico	Parámetros financieros	Parámetros de implementación
1. Cambios a favor de tecnologías y prácticas con costos de implementación netos más bajos que en el escenario BAU	Cambios en el gasto en la infraestructura del sistema energético: el consumo de energía y los flujos de energía pueden provocar una expansión o contracción del gasto	Tiempo de implementación, nivel de esfuerzo, tipo de productores y consumidores, ubicación, tipo de sistema (incluida la necesidad de almacenamiento de electricidad) e integración a red; diseño para el despliegue del sistema, incluidas fuentes de financiación e incentivos
2. Cambios en los gastos de energía y recursos naturales	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 infraestructura para nuevos sistemas de energía; impactos en el suministro de energía de la nueva generación, la energía total y la propiedad de las plantas de generación solar centralizada
3. Cambio a favor del suministro de energía y recursos locales	Cambios en las fuentes y características de la energía y los recursos para la generación de electricidad y la ubicación del gasto, incluidos los cambios del aumento de la generación local para compensar las importaciones	Cambios en la demanda de electricidad basada en la red a través de la generación en el sitio y que afecta el nivel de energía consumida en comparación con las importaciones; producción y venta de energía local total, crecimiento del sector energético.
4. Cambio a favor de las cadenas de suministro locales	Cambios en el gasto local en mano de obra, equipo, materiales para el desarrollo y operación de infraestructura y sistemas	Diseño para maximizar la cadena de suministro local para la fabricación, instalación y operación y mantenimiento. Se espera que esto aumente el uso de las cadenas de suministro de mano de obra local en el sector de la construcción y puede tener un impacto significativo en la fabricación local y en la mano de obra de instalación. Los problemas de uso de la tierra y de la cadena de suministro local pueden estar presentes dependiendo de la ubicación de los proyectos

		(conversiones de tierras agrícolas).
5. Cambio a favor de actividades intensivas en mano de obra	Cambios en el gasto en mano de obra local para construcción y operaciones.	Nuevas construcciones, instalación, permisos y mano de obra para O&M.
6. Cambios a favor de fuentes externas de inversión e ingresos	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.
- Se ha demostrado consistentemente que la generación solar centralizada reduce los costos del sistema energético al compensar la generación basada en fósiles más costosa.⁷
- Los costos de infraestructura y sistema de energía aumentarán a corto plazo para los propietarios de plantas debido a los costos de los nuevos proyectos solares; sin embargo, se espera que estos costos se recuperen con las ventas de energía. La generación solar es mucho menos intensiva en capital que la generación fósil y reducirá los costos en comparación con el desarrollo de la generación local de gas natural planificada por BAU.
- Actualmente, la mayor parte de la generación solar en larga escala en México ha sido desarrollada por el sector privado, con la generación vendida a la red bajo un Acuerdo de Compra de Energía (PPA). Si este modelo continúa, no se espera que se transfieran costos adicionales a los consumidores; más bien se espera un ahorro en los precios de la energía. Si las plantas son propiedad del estado, los costos de energía a corto plazo pueden aumentar debido a la recuperación de costos, pero se espera que disminuyan a largo plazo.
- Con base en los supuestos anteriores y los parámetros de diseño de esta acción, se espera que este indicador sea positivo para esta acción a través la implementación de proyectos de generación de energía de menor costo y precios de electricidad reducidos en comparación con el escenario BAU.

⁷ <https://www.irena.org/publications/2020/Jun/Renewable-Power-Costs-in-2019>.

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

- Esta acción requiere un cambio de la demanda de electricidad de generación importada/centralizada a nuevas fuentes de generación solar distribuida local. Sin embargo, 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 generación solar, reduciendo los costos de energía al compensar parcialmente el costo de la electricidad importada. De lo contrario, estos ingresos serían del operador de la red nacional, lo que tendría un efecto negativo 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. Se espera que la nueva generación solar local compensará directamente las importaciones de electricidad, redistribuyendo los fondos a la economía local en lugar de los productores externos.
- Con base en los supuestos anteriores y los parámetros de diseño de esta acción, se espera que este indicador sea positivo para esta acción. Cómo Querétaro tiene actualmente niveles bajos de generación de energía local, el impacto potencial en el sector energético a través de esta acción podría ser significativo.

Indicador 4 - Cambios a favor de cadenas de suministro locales

- No hay industria de fabricación relacionada a energía solar en Querétaro y, por lo tanto, se espera que los materiales y servicios requeridos por esta acción provengan de fuentes externas (importadas). Si hay cadenas de suministro locales establecidas, incluidos materiales de construcción y eléctricos, se espera que se vean influenciados positivamente por esta acción. Sin embargo, dado que no se espera que estas cadenas de suministro existentes sean significativas, el impacto general de esta acción en este indicador se estima bajo.
- Para maximizar los beneficios macroeconómicos, se supone de establecer o ampliar 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) que aumentarían significativamente los impactos macroeconómicos positivos.
- Los proyectos de energía solar requieren materiales de construcción, así como cableado y otros materiales eléctricos. Estas cadenas de suministro locales se pueden aprovechar a corto plazo para maximizar el beneficio macroeconómico de los proyectos a medida que se desarrollan otros sectores de empleo.

- En base a los supuestos anteriores, si existe una oportunidad para expandir las cadenas de suministro locales, se espera que este indicador sea positivo para esta acción.

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 de 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 energía⁸ 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 trabajos a través de la capacitación y el desarrollo de la fuerza laboral que actualmente no existen en el estado.
- Con base en los supuestos anteriores y los parámetros de diseño de esta acción, se espera que este indicador sea positivo para esta acción. Si se pueden crear nuevos tipos de trabajo, existe un potencial macroeconómico positivo significativo.

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

- Los nuevos proyectos solares tienen potencial para atraer inversiones a nivel nacional o internacional que de otro modo no estarían disponibles, lo que puede tener un efecto estimulante significativo en la economía local si se pueden crear cadenas de suministro locales.
- Si hay incentivos fiscales, subvenciones u otros programas proporcionados por el gobierno federal se permitirá 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.
- Con base en los supuestos anteriores y los parámetros de diseño de esta acción, se espera que este indicador sea positivo para esta acción.

⁸ UNEP/ILO/IOE/ITUC, 2008. https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_emp/---ifp_skills/documents/publication/wcms_168354.pdf.

7. Co-beneficios de la acción

Co-beneficios y posibles inconvenientes de la implementación:

- Reducción de las emisiones de contaminantes del aire (estas pueden ser más importantes en jurisdicciones fuera del estado donde la energía se genera actualmente con combustibles fósiles).
- Es una fuente de energía ilimitada, limpia y no pone en peligro ni incrementa el calentamiento global, debido a que no produce gases de efecto invernadero ni subproductos peligrosos para el medio ambiente.
- Contribuye al desarrollo sostenible.
- Está disponible en todo el planeta, por lo que se convierte en la mejor forma de proveer electricidad a lugares aislados, donde el costo de instalar líneas de distribución de electricidad es demasiado alto.
- Genera empleo en las zonas donde se instala.
- Reduce el uso de combustibles fósiles.
- Reduce las importaciones energéticas.
- Se convierte en la mejor forma de proveer electricidad a lugares aislados, donde el costo de instalar líneas de distribución de electricidad es demasiado alto.
- Cambio de uso de la tierra; Se debe tener cuidado de identificar los sitios apropiados para minimizar las emisiones de GEI durante la construcción y operación de estas plantas. Estos incluyen pérdidas de carbono terrestre por la tala de áreas forestales y agrícolas; así como la pérdida a largo plazo del potencial de estas tierras para eliminar el CO₂ de la atmósfera.
- La inversión inicial es elevada, pues requiere, aparte de los módulos fotovoltaicos, el inversor, el regulador de carga, el cableado, las baterías y la instalación.
- Uso de grandes extensiones de tierra y sobre evaluados el costo de las tierras.
- Dependiendo del clima, su eficiencia de captación de energía solar disminuye considerablemente.
- Variabilidad de la luz solar, el ángulo al cual la luz del Sol incide en una región en particular varía a lo largo del día. En equipos de recolección de energía solar que se encuentran fijos, se dificulta aprovechar al máximo la energía solar durante todas del día.
- El mayor problema ambiental asociado a algunos de los componentes para su fabricación pueden ser tóxicos.

8. Otra información potencialmente importante

Se debe tener cuidado en la planificación futura de grandes transformaciones del sistema eléctrico, como las que contempla esta acción, para evitar situaciones en las que el suministro eléctrico se vuelva menos confiable. Por ejemplo, en áreas donde grandes penetraciones de energía solar han tenido éxito (por ejemplo, California, EE. UU.), han surgido desafíos para equilibrar el sistema eléctrico para adaptarse a las rampas diarias en la demanda de energía. A la luz de las otras acciones de generación distribuida en la industria y los sectores comercial / institucional, esta acción probablemente requerirá mecanismos adicionales destinados a evitar tales problemas de confiabilidad del sistema, incluida la adición de almacenamiento de electricidad, cambio de carga y otras medidas.

Insumos adicionales pueden ser útiles para el análisis. 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.