

## I-2. Producción y uso de combustibles renovables

### 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.	Impacto de descarbonización estimado (Impacto estimados en las emisiones de GEI)	6
	<i>Resultados</i>	6
	<i>Métodos y Fuentes</i>	7
	Paso 1 - Cambio en los datos de actividad	7
	Paso 2 - Estimación en la reducción de GEI	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	11
	Paso 3 - Determinación de la contribución de los costos o ahorros a los niveles de gasto del sector	11
	Paso 4 - Determinación de la magnitud (alto, mediano o bajo) de los costos o ahorros directos	11
6.	Evaluación macroeconómica	12
	<i>Introducción</i>	12
	<i>Resultados</i>	13
	<i>Metodología</i>	14
7.	Co-beneficios de la acción	19
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 consumo de combustibles industriales mediante el desarrollo de una industria de producción de biocombustibles en el estado y el uso de estos biocombustibles para compensar el uso de combustibles fósiles.

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

- Para 2030, implementar la capacidad de producción de biocombustibles en el estado suficiente para compensar el 5% del consumo de combustibles fósiles.
- Para 2050, implementar una capacidad de producción de biocombustibles en el estado suficiente para compensar el 15% del consumo de combustibles fósiles.

### **Potencial Mitigación de GEI:**

- Reducciones acumuladas (2021 - 2050) de GEI: 5.4 TgCO<sub>2</sub>e.
- 2.1% reducción de GEI a nivel del sector industrial (es decir, potencial bajo 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:** costos directos pequeños debido a los mayores costos de suministro de combustibles renovables al sector industrial del Estado en comparación con el escenario BAU.

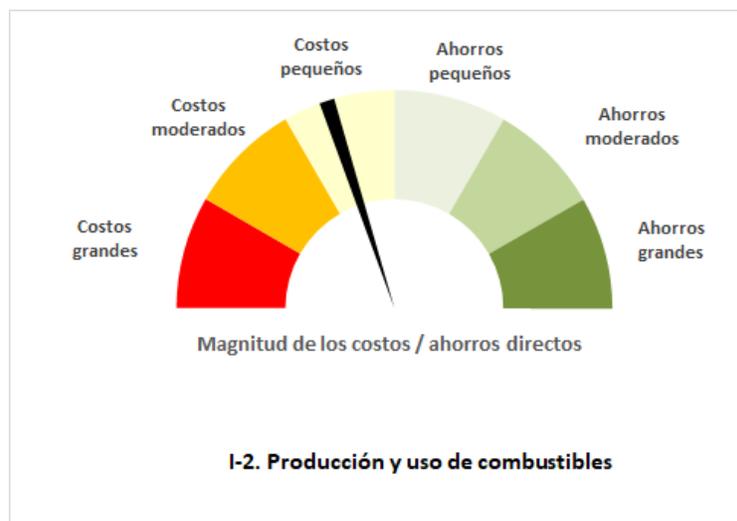


Figura 2. Magnitud potencial de los costos o ahorros directos de la acción.

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

- Aumento general de los costos en comparación con el escenario BAU compensado con otros estímulos macroeconómicos.
- Ningún cambio en el consumo de energía y entonces ningún impacto en los niveles de gasto local
- Cambio a favor de fuentes de energía y recursos locales (nuevos biocombustibles se usará localmente compensando las importaciones) para redistribuir los fondos en la economía local.

- Cambio negativo en las cadenas de suministro locales a corto plazo (más importaciones de productos y materiales) compensado con el establecimiento y/o expansión de nuevas o existentes cadenas de suministro locales a largo plazo para retener los fondos de inversión en la economía local.
- Cambio a favor de actividades en industrias (agrícola y de construcción) con mayor intensidad labor, aumentando el empleo local
- Fuentes externas de financiamiento (nacional o internacional) que inyectan más capital en la economía local.

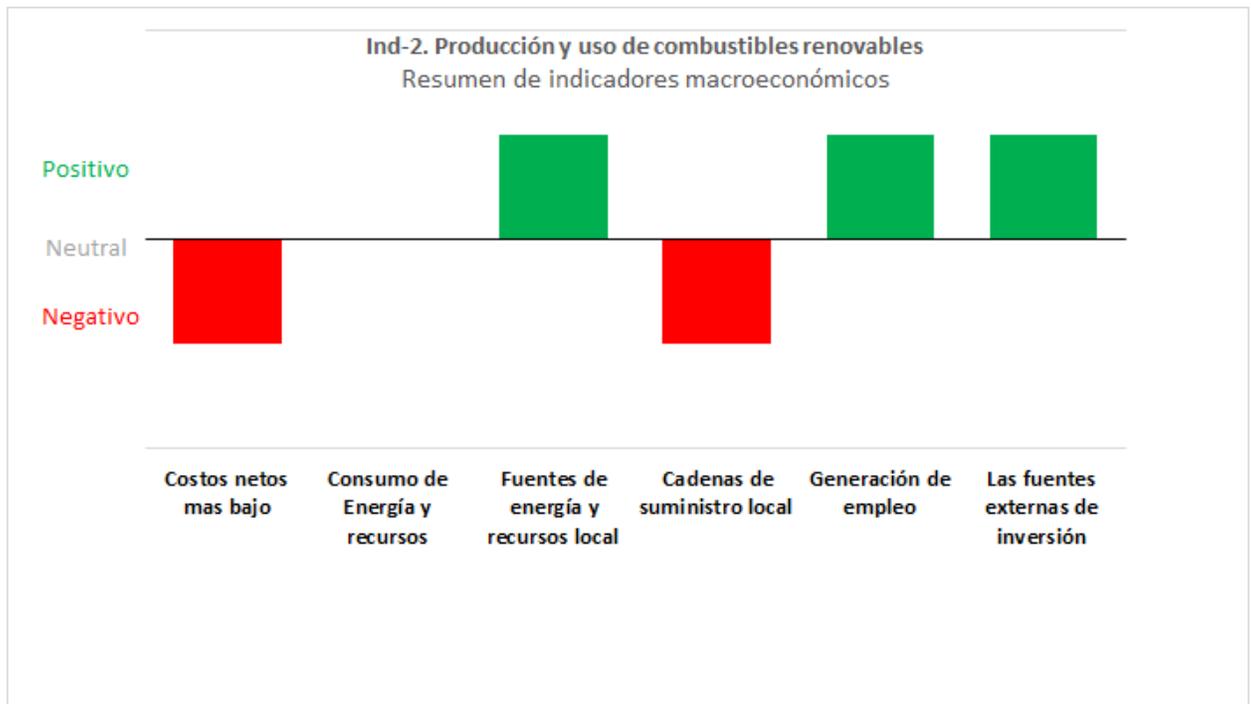


Figura 3. Resumen de indicadores macroeconómicos.

## 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 consumo de combustibles industriales mediante el desarrollo de una industria de producción de biocombustibles en el estado y el uso de estos biocombustibles para compensar el uso de combustibles fósiles. Esta acción incluirá los mecanismos de implementación necesarios para apoyar la producción de biocombustibles, así como los incentivos necesarios para que la industria adopte su uso.

Para la implementación de esta acción, se necesita un inventario de recursos bioenergéticos en Querétaro. Los recursos bioenergéticos son las materias primas para la producción de biocombustibles, como el biogás o el biodiésel. Cuando se dispone de una evaluación de recursos, se puede realizar una evaluación de posibles tecnologías de conversión para la producción de biocombustibles. Estas

tecnologías podrían incluir digestión anaeróbica (para producir biogás) o gasificación de biomasa sólida (para producir biometano). El biogás es una mezcla, principalmente de metano y dióxido de carbono. Se puede mejorar eliminando el dióxido de carbono a biometano (también conocido como gas natural renovable).<sup>1</sup>

Se espera que estos biocombustibles reemplacen principalmente a los siguientes tipos de combustibles fósiles en la industria del estado: gas licuado de petróleo (GLP) y gas natural. Se espera que las aplicaciones de uso final de estos biocombustibles incluyen: combustión para proceso de calentamiento y generación de energía renovable en el sitio.

La línea de base de GEI Querétaro tiene información limitada sobre posibles materias primas que se pueden usar como recursos bioenergéticos. Los desechos animales y los residuos de cultivos están disponibles en cantidades limitadas y ya existe cierto uso de estiércol animal en pequeños proyectos de digestión. Es probable que mejores oportunidades provengan de los desechos sólidos municipales, desechos industriales y tratamiento de aguas residuales municipales. A partir de la línea de base, se estima que la generación de gas de relleno sanitario es de alrededor de 7.500 metros cúbicos / hora (equivalente a alrededor de 1.250 terajulios de metano por año). Esta cantidad representa alrededor del 3% del uso actual de GLP y gas natural por parte de la industria. Sin embargo, cabe señalar que la digestión anaeróbica y la gasificación son mucho más eficientes que los vertederos para convertir los desechos orgánicos en energía. Aún así, será necesario identificar otros desechos orgánicos sostenibles para compensar el uso significativo de combustibles fósiles por parte de la industria. Alternativamente, se podrían importar biocombustibles; sin embargo, eso anularía los beneficios macroeconómicos de una industria de biocombustibles en el estado.

Vale la pena señalar que existen otros tipos de acciones similares a esta que se pueden considerar, especialmente si una evaluación de recursos de biomasa indica limitaciones en las materias primas dentro del estado. Por ejemplo, una tecnología que se espera esté disponible a escala comercial dentro de los próximos 5 a 10 años es la producción de hidrógeno renovable. El hidrógeno se puede utilizar directamente como combustible en algunas aplicaciones (por ejemplo, pilas de combustible) o se puede mezclar hasta ciertos niveles en los sistemas de gasoductos de gas natural existentes.<sup>2</sup> Si el hidrógeno se produce mediante energía renovable (por ejemplo, energía solar y electrólisis del agua), este hidrógeno renovable compensará las emisiones derivadas del uso de gas natural.

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 la capacidad de producción de biocombustibles en el estado suficiente para compensar el 5% del consumo de combustibles fósiles.
- Para 2050, implementar una capacidad de producción de biocombustibles en el estado suficiente para compensar el 15% del consumo de combustibles fósiles.

---

<sup>1</sup> Consulte la descripción general reciente de las oportunidades de producción de biocombustibles desarrollada por la Agencia Internacional de Energía (IEA):

[https://webstore.iea.org/download/direct/2970?fileName=Outlook\\_for\\_biogas\\_and\\_biomethane.pdf](https://webstore.iea.org/download/direct/2970?fileName=Outlook_for_biogas_and_biomethane.pdf).

<sup>2</sup> Ver por ejemplo: [https://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/03/f11/blending\\_h2\\_nat\\_gas\\_pipeline.pdf](https://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/03/f11/blending_h2_nat_gas_pipeline.pdf).

Estas metas suponen que todo el biocombustible producido sería consumido por instalaciones industriales dentro del estado, no exportado.

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

- El consumo de combustible en el sector industrial de Querétaro fue de aproximadamente 46,000 terajulios (TJ) en 2019. Más del 90% de ese fue gas natural. El siguiente combustible más alto fue el 3% de GLP.
- Los subsectores de consumo clave son alimentos y bebidas, vidrio, pulpa y papel y productos químicos. Sin embargo, Querétaro tiene una base industrial bastante diversa, incluida la manufactura en general.
- Para tener una perspectiva de las cantidades relativas de biocombustibles necesarias para apoyar esta acción, el consumo de combustible estimado para 2030 para el sector industrial es de 73,600 terajulios (TJ). Aproximadamente el 90% de ese uso seguirá siendo gas natural en 2030. Para compensar el 5% del uso total de combustible industrial en 2030 (3,680 TJ), se necesitan 101 millones de metros cúbicos de biometano o 103 millones de litros de biodiesel o alguna combinación de estos u otros combustibles renovables.
- Para respaldar metas más alta de las indicadas anteriormente para esta acción, será necesario identificar cantidades significativas de otros materiales orgánicos sostenibles o los biocombustibles deberán importarse.

#### 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.

Parámetro	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Consumo de combustible del Sector Industrial en el escenario BAU (TJ)	59,683	73,918	89,934	109,488	133,384	162,616
Producción de combustible renovable necesaria para la acción (TJ)	1,643	3,696	8,870	14,044	19,218	24,392

Emisiones de BAU del sector industrial (tCO <sub>2</sub> e)	3,394,047	4,206,484	5,116,672	6,227,677	7,585,043	9,245,038
Intensidad de carbono del Combustible del Sector industrial en el escenario BAU (tCO <sub>2</sub> e/TJ)	56.9	56.9	56.9	56.9	56.9	56.9
<b>Reducciones estimada de GEI (tCO<sub>2</sub>e)</b>	<b>93,413</b>	<b>210,324</b>	<b>504,651</b>	<b>798,834</b>	<b>1,092,870</b>	<b>1,386,756</b>

### *Métodos y Fuentes*

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

El primer paso en el análisis fue determinar el cambio en la actividad de línea de base resultante de la implementación de esta acción. Para esta acción, este cálculo se refiere a la cantidad de producción de biocombustible (y uso por industria) en cada año.

Se realizaron los siguientes cálculos y supuestos:

- A. Identificación del consumo de combustible en el escenario de *business as usual* (BAU) para la industria (principalmente, gas natural). 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 73,918 TJ.
- B. Cálculo de la la cantidad de biocombustible producido en base a las metas proporcionados anteriormente. Para generar estas estimaciones, se asume que:
  - La implementación de los primeros proyectos de producción de biocombustibles comienza en 2022
  - Se agrega producción adicional cada año de manera lineal para cumplir con la meta de 2030
  - Después de 2030, se agrega capacidad de producción de biocombustible adicional para cumplir la meta de 2050, también de manera lineal.

Utilizando 2030 como ejemplo, la cantidad de biocombustibles requerida es:

$$73,918 \text{ TJ} \times 5\% = 3,696 \text{ TJ}$$

#### Paso 2 - Estimación en la reducción de GEI

En el segundo paso del análisis, se calculan las reducciones de GEI en cada año. Se realizaron los siguientes cálculos:

- A. Identificación de las emisiones de GEI en el escenario de BAU derivadas de la quema de combustible en el sector industrial. 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 4,206,484 CO<sub>2</sub>e.
- B. Identificación de la intensidad de carbono de los combustibles quemados (nuevamente, esto es principalmente gas natural). Estos valores son simplemente las emisiones de GEI en cada año (toneladas equivalentes de dióxido de carbono o tCO<sub>2</sub>e) divididas por el contenido energético de todos los combustibles en el escenario BAU (terajulios o TJ). Por ejemplo, en 2030 este valor es 56.9 tCO<sub>2</sub>e/TJ
- C. Cálculo de las reducciones de GEI multiplicando la intensidad de carbono calculada arriba por la cantidad de biocombustible producido en cada año. Nuevamente, usando 2030 como ejemplo, se calculan las siguientes reducciones de GEI:

$$3,696 \text{ TJ} \times 56.9 \text{ tCO}_2\text{e/TJ} = 210,324 \text{ tCO}_2\text{e}$$

Es importante señalar que los métodos simples aplicados anteriormente para estimar las reducciones de GEI no tienen en cuenta los requisitos energéticos y las emisiones resultantes para el proceso de producción de biocombustible (por esto, se necesitan más detalles sobre las materias primas, las tecnologías de conversión y los productos de biocombustible). Sin embargo, los métodos tampoco tienen en cuenta las emisiones de suministro de combustible para los combustibles fósiles que se compensan (en este caso, principalmente gas natural). Estos incluyen emisiones de extracción, procesamiento y transmisión de combustible (algunas de las cuales pueden ocurrir fuera del estado). A los efectos de este análisis, se supone que estas emisiones de suministro de combustible (para biocombustibles) y reducciones (para combustibles fósiles) se compensan en gran medida entre los mismos (es decir, se reducen a cero).

## 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 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.

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

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

### Resultados

En términos de magnitud, se espera que esta acción resulte en un pequeño costo social para Querétaro en comparación con los niveles de gasto típicos del sector industrial (es decir, el gasto en materiales y mano de obra de las empresas industriales). Sin embargo, tenga en cuenta que en caso de un ligero aumento en las metas de esta acción (es decir, un aumento en la producción de biocombustible) cambiará la magnitud de los costos sociales directos al menos en el rango de tamaño moderado.

Para cumplir con las metas de esta acción, se esperan inversiones significativas para apoyar el desarrollo de una industria de biocombustibles en el estado. Como mínimo, esto incluye la construcción de

instalaciones de producción de biocombustible, y también puede incluir el desarrollo de infraestructura de transporte o transmisión de biocombustible. Dependiendo de los tipos de biocombustibles producidos, las instalaciones industriales también pueden necesitar realizar inversiones en sus procesos, de modo que puedan funcionar con los biocombustibles producidos.

### *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.

Los costos o ahorros sociales para implementar esta acción dependen en última instancia de los tipos de materias primas disponibles, los costos de procesamiento y entrega a una instalación de conversión (por ejemplo, biomasa en biogás o biometano), los costos de entrega de la bioenergía al usuario final, y potencialmente cualquier costo para el usuario final para ajustar su equipo para utilizar el biocombustible. El reciente informe de la IEA mencionado anteriormente (Outlook for Biogas and Biomethane) encontró una amplia gama de costos para el suministro global de biogás (entre \$2 USD/MBtu y \$20 USD/ MBtu; MBtu son millones de unidades térmicas británicas). En comparación, a mediados de 2017, el precio del gas natural en México era de \$4.10 USD/MBtu. En situaciones en las que el suministro de biogás o biometano cuesta menos que el combustible que reemplaza (por ejemplo, gas natural), se produciría un ahorro para la sociedad (suponiendo que la industria tenga costos nulos o bajos para convertirlo al uso de biocombustibles).

Habría un potencial limitado para el suministro de biogás que genera un costo bajo. Un ejemplo podría ser el gas de vertedero, ya que se necesita poco en términos de costos de conversión (el vertedero ya existe, por lo que solo se necesitan equipos de recolección, procesamiento y transmisión de gas). En todos los demás casos, se necesita algún tipo de instalación de conversión (digestor anaeróbico, gasificador), y esto genera una parte significativa de los costos directos. Estos costos de conversión empujaran los costos generales de suministro de biogás hacia el extremo superior del rango de costos mencionado anteriormente. Esos costos son actualmente más altos que los del gas natural y es posible que esa situación no cambie significativamente en los próximos años (debido a la gran cantidad de suministro de gas natural). Claramente, un programa de fijación de precios del carbono en México podría ayudar a ampliar las opciones para la generación de biogás/biometano.

Sin ningún crédito por el precio del carbono, según las estimaciones globales de la IEA, los costos de del biometano para reemplazar el gas natural oscilan entre aproximadamente \$65 y \$160 USD/tCO<sub>2</sub>e, dependiendo de qué tan alto en la curva de suministro de biometano se ascienda. Este rango excluye la cantidad relativamente pequeña de desplazamiento de gas natural que podría lograrse utilizando las materias primas tecnológicas de menor costo, como el gas de vertedero.

En consideración de la falta de detalles adicionales sobre materias primas, tecnologías de conversión y costos de uso final, se seleccionó el punto medio del rango de CE indicados de la IEA, es decir \$110 USD tCO<sub>2</sub>e.

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

Si se considera la estimación aproximada de CE indicada anteriormente (\$110 tCO<sub>2</sub>e) y la reducción de emisiones de GEI estimada anteriormente (210.324 tCO<sub>2</sub>e en 2030 y 1.386.756 tCO<sub>2</sub>e en 2050), el costo 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: \$ 110/tCO<sub>2</sub>e x 210,324 tCO<sub>2</sub>e = \$ 23 millones de dólares
- 2050: \$ 110/tCO<sub>2</sub>e x 1,386,756 tCO<sub>2</sub>e = \$ 153 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 los costos 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>3</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 costos estimados de esta acción que se indicaron anteriormente (es decir, \$23 millones de dólares en 2030 y \$153 millones de dólares en 2050) representan el siguiente porcentaje del valor agregado del sector industrial:

- 2030: \$ 23 millones de dólares / \$ 11.1 mil millones de dólares = 0.2% del valor agregado del sector industrial a la economía
- 2050: \$ 153 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 costo 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 3. 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 gasto</b>	<b>Indicador de la magnitud de costos o ahorros directos</b>
---	---	--

<sup>3</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.

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

La contribución estimada del costo 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 costo directo de la implementación de la acción será pequeño (  ) 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>4</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:

- Los nuevos biocombustibles producidos en el estado se usará localmente en la medida de lo posible para el sector industrial, compensando directamente las importaciones y el uso de combustibles fósiles.

---

<sup>4</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 establecerán y mantendrán cadenas de suministro locales para retener fondos de inversión en la economía local, y se ampliará el mayor porcentaje posible de mano de obra local y materiales producidos localmente para la construcción, operación y mantenimiento de nuevas instalaciones de producción de biocombustibles, así como distribución de combustible.
- Se emplean incentivos y estándares locales o federales para incentivar la adopción del uso de biocombustibles en el sector industrial.
- Los biocombustibles producidos localmente estarán disponibles a un precio igual o inferior al costo del gas natural importado como reemplazo de combustible.
- Se utilizarán inversiones extranjeras y/o subvenciones o préstamos federales para permitir la inyección directa de capital a la economía.

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 4. Resumen de la 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	Negativo
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	Negativo, Posiblemente 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

Se espera que los principales impactos asociados con esta acción sean el resultado del desarrollo de un nuevo sector industrial en el estado (producción de biocombustibles/biogás) y el cambio de algunos usos de combustibles fósiles importados a biocombustibles y biogás de producción local en el sector industrial. Los costos para los productores de biocombustibles/biogás están relacionados principalmente con la inversión en instalaciones de producción, conversión de tierras agrícolas (si se necesita). Los costos para los consumidores están asociados con cambios en los precios del combustible que resultan

de la adopción de biocombustibles y la adopción de tecnologías capaces de utilizar biocombustibles como materia prima primaria (si se necesita). Los ingresos asociados a la acción son el resultado de la venta de biocombustibles al mercado local o de las exportaciones y el aumento de la producción agrícola local en la producción de biocombustibles.

La cuantificación completa de los 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. De manera similar, los cambios de diseño asociados con esta acción están relacionados principalmente con las estructuras del sector de producción de biocombustibles, incluidos los insumos y productos. Los detalles completos de la implementación están más allá del alcance de este Proyecto. Sin embargo, una comprensión de su magnitud basada en una investigación bibliográfica de acciones similares, así como en los supuestos de expertos proporcionados, 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 5. Indicadores macroeconómicos con parámetros financieros y de implementación que podrían soportar la evaluación macroeconómica.*

<b>Indicador macroeconómico</b>	<b>Parámetros financieros</b>	<b>Parámetros de implementación</b>
<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 en infraestructura del producción y uso de combustible, el consumo de combustible y los flujos de combustible	Tiempo de implementación, nivel de esfuerzo, alcance de productores y consumidores cubiertos, ubicación; diseño de nuevas instalaciones de producción, incluidas fuentes de financiación e incentivos. Cambios en el proceso industrial para permitir el consumo de combustibles renovables.
<b>2. Cambios en los gastos de energía y recursos naturales</b>	Cambios en el consumo (uso) de combustible y niveles de gasto relacionados para	Diseño del sistema de producción y uso del combustible; apoyo a la infraestructura para los nuevos combustibles que afectan el suministro de

	consumidores y productores de combustibles. Cambios en la cantidad total y el costo del combustible producido y vendido.	energía y la propiedad de los sistemas de producción de combustible.
<b>3. Cambio a favor del suministro de energía y recursos locales</b>	Cambios en las fuentes y características de los insumos de energía para la producción de combustible y la ubicación del gasto, incluidos los cambios de una mayor generación local para compensar las importaciones.	Cambios basados en la demanda de combustible a través de la producción local de biocombustible que afectan el nivel de combustible consumido en comparación con el escenario BAU. Se espera que esto compense los suministros importados de combustible.
<b>4. Cambio a favor de las cadenas de suministro locales</b>	Cambio en el gasto local en equipo, materiales para el desarrollo y operación de infraestructura y sistemas.	Diseño para maximizar el uso de cadena de suministro local para la producción de biocombustibles. Necesita el desarrollo de un nuevo sector industrial y cadena de suministro, con un impacto significativo en el sector del empleo energético. Se debe prestar mucha atención a los recursos existentes y planificados para la producción de biocombustibles y al impacto en las cadenas de producción y suministro agrícolas existentes.
<b>5. Cambio a favor de actividades intensivas en mano de obra</b>	Cambios en las tasas de gasto en mano de obra local para construcción y operaciones.	Nuevas construcciones, instalación, permisos y mano de obra para O&M en la producción de biocombustibles. La producción de biocombustibles tiene una alta intensidad de mano de obra.
<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 provista en la sección anterior mostró que esta acción probablemente tendrá un costo neto de implementación alto para la sociedad de Querétaro.
- Los principales costos de implementación están asociados al desarrollo de tierras agrícolas para la producción de biocombustibles, la construcción de instalaciones de producción y procesamiento de biocombustibles, la infraestructura de transporte y distribución de biocombustibles y cambios en los procesos industriales para permitir el uso de biocombustibles como combustible primario. Se estima que estos costos sean significativos.
- El costo de producción de los biocombustibles varía según el tipo de recurso y aplicación, pero es similar en costo a los combustibles tradicionales para muchas aplicaciones<sup>5</sup> y no se espera que tenga un impacto significativo en los precios de los combustibles industriales.
- Si se utilizan residuos como aguas residuales, residuos de vertederos o residuos sólidos municipales para la producción de biogás, se creará una nueva fuente de ingresos a partir de un producto (es decir, residuos) que antes era solo un costo, mejorando el impacto macroeconómico de esta acción.
- Se pueden esperar ingresos significativos de la venta de biocombustibles, que presentarán impactos macroeconómicos positivos a través de la captación de fondos que se pueden redistribuir localmente y que fueron previamente asignados a combustibles importados.
- Sin embargo, como se mencionó anteriormente, esta acción requiere una inversión significativa para su implementación en comparación con el escenario BAU, y por lo tanto se espera que, con base en los supuestos anteriores y los parámetros de diseño de esta acción, este indicador sea negativo para esta acción.

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

- Esta acción implica el desplazamiento del consumo de combustibles fósiles importados para el sector industrial a nuevas fuentes de producción local. No se espera un cambio en el nivel de consumo total de combustible y, por lo tanto, este indicador no tiene un impacto importante en esta acción.

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

- Querétaro es un importador neto de energía y los combustibles fósiles para uso industrial se obtienen principalmente de fuentes fuera del estado. Se estima que la nueva producción local de biocombustibles compensará directamente una parte de los combustibles importados y aumentará el crecimiento del sector energético local, redistribuyendo los fondos a la economía local en lugar de a los productores a fuera del estado.
- Se espera que los biocombustibles producidos bajo esta acción sean consumidos íntegramente por la industria local, apoyando la retención de ingresos en las economías locales.
- Con base en los supuestos anteriores y los parámetros de diseño de esta acción, se espera que este indicador sea positivo para esta acción.

<sup>5</sup> <https://www.iea.org/reports/outlook-for-biogas-and-biomethane-prospects-for-organic-growth/sustainable-supply-potential-and-costs>

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

- Hay niveles muy bajos de producción de biocombustibles<sup>6</sup> y biogás<sup>7</sup> en Querétaro, por lo que se espera que el sector de producción de biocombustibles necesite desarrollarse muy rápidamente en el estado. 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 producidos localmente para la instalación de nueva generación de producción de biocombustibles a fin de maximizar el beneficio macroeconómico de la inversión de nuevos proyectos. Si se pueden establecer nuevas cadenas de suministro local, 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.
- Para la producción de biocombustibles se pueden usar productos agrícolas/cultivos alimentarios como maíz, caña de azúcar y soja, además de residuos. En 2016, Querétaro tenía más de 160.000 ha de tierras agrícolas que producían casi 2,8 millones de toneladas de productos agrícolas<sup>8</sup> y tiene importantes cadenas de suministro establecidas para apoyar la producción de biocombustibles de cultivos agrícolas. Sin embargo, el uso de productos agrícolas para la producción de combustibles puede impactar negativamente las cadenas de suministro de productos alimentarios locales.
- Se espera que la producción de biogás utilice también residuos existentes, como las aguas residuales y los residuos sólidos municipales (RSU), que crearán una nueva fuente de ingresos de productos que anteriormente generaban solo un costo.
- Querétaro tiene una terminal de carga de productos petrolíferos establecida para apoyar el almacenamiento y distribución de combustibles fósiles importados. Esta cadena de suministro se puede aprovechar y expandir para el transporte de biocombustibles y biogás si la producción y el uso in situ no son posibles.
- La producción de biocombustibles requerirá la construcción e instalación de nueva infraestructura que pueden utilizar cadenas de suministro de construcción locales ya establecidas.
- Esta acción requerirá una inversión significativa en cadenas de suministro nuevas y existentes. Si las cadenas de suministro se subcontratan para los primeros años de implementación, se espera que este indicador sea negativo. Si las cadenas de suministro locales se pueden utilizar, establecer y/ o expandir, se espera que el indicador cambie a positivo junto con el crecimiento 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 de producción de combustibles. Las nuevas instalaciones locales de producción de biocombustibles/biogás aumentarán los combustibles renovables producidos localmente y pueden brindar oportunidades para nuevos empleos, capacitación y expansión de los sectores de combustibles y mano de obra para la provisión de bienes y servicios asociados con la cadena de suministro.

<sup>6</sup> <https://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2017/12/27/mexicos-universidad-autonoma-de-queretaro-to-begin-selling-biodiesel-to-the-public/>

<sup>7</sup> <https://www.sciencedaily.com/releases/2015/03/150317162218.htm>

<sup>8</sup>

[https://www.queretaro.gob.mx/generalImagen.aspx?ServerUploads=10.16.12.13&p=/ContenidosSEDESU/200\\_865\\_83\\_56824705\\_AEEQ\\_ENG\\_2018-2.pdf](https://www.queretaro.gob.mx/generalImagen.aspx?ServerUploads=10.16.12.13&p=/ContenidosSEDESU/200_865_83_56824705_AEEQ_ENG_2018-2.pdf)

- La producción de biocombustibles ofrece un potencial de crecimiento significativo también en los sectores de la agricultura y la construcción, que son industrias intensivas en mano de obra.
- Actualmente los combustibles y el gas natural usados en el sector industrial son principalmente importados, de modo que el crecimiento económico asociado con la producción y el transporte de estos combustibles es captado principalmente por economías afuera del estado. El traslado de esta producción a las economías locales puede conducir a un crecimiento laboral significativo en los sectores locales.
- 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. Si se pueden establecer nuevos tipos de mano de obra y expandirse las cadenas de suministro existentes, existe un potencial macroeconómico positivo significativo.

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

- La nueva producción de biocombustibles y biogás tienen potencial para atraer inversiones que de otro modo no estarían disponibles a nivel regional, nacional e internacional, lo que puede tener un efecto estimulante significativo en la economía local.
- Los incentivos fiscales, las subvenciones u otros programas de subsidios 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 en el 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.
- Los incentivos para la producción de biocombustibles y biogás pueden atraer a empresas internacionales con operaciones establecidas en el sector industrial en Querétaro para invertir capital adicional en operaciones locales que de otro modo no serían captadas.
- Proyectos de producción de biocombustibles/biocombustibles en larga escala pueden atraer inversiones de fuentes internacionales. Estas fuentes de financiamiento pueden generar impactos macroeconómicos positivos significativos para la economía local.
- Con base en los supuestos anteriores y los parámetros de diseño de esta acción, se espera que este indicador sea positivo para esta acción.

#### **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:

- Los impactos relacionados, como el consumo de agua y las emisiones de contaminantes atmosféricos de una industria de producción de biocombustibles en el estado, dependerán de la naturaleza de los procesos de producción que finalmente se implementen. Por ejemplo, las emisiones de contaminantes atmosféricos asociadas con la producción de biocombustibles podrían ser mayores o menores que las de la extracción / procesamiento / transmisión de gas natural.

- Los principales beneficios colaterales de la implementación de esta acción se relacionan con el crecimiento económico. Las inversiones, el empleo y el producto estatal bruto aumentarían como resultado de la producción de biocombustibles en Querétaro.
- Otro aspecto importante es que pueden comercializarse más fácil que otras alternativas, porque pueden almacenarse y distribuirse usando infraestructura existente.
- Los biocombustibles debieran tener un rol significativo en las políticas de cambio climático y esto ciertamente abrirá oportunidades para el desarrollo de los biocombustibles en países en desarrollo.

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

Es posible realizar un inventario de residuos industriales, y evaluar su posible revalorización para la producción de biocombustibles, tanto líquidos, sólidos como gaseosos. Además, los desechos municipales también deben evaluarse para los tipos de biocombustibles que podrían producirse y consumirse dentro del estado. Esto permitiría solucionar el problema de acumulación de residuos y pagos por disposición de residuos, al mismo tiempo que se genera una alternativa energética.

Sería necesario realizar estudios de la composición de los residuos y evaluar el potencial para producir aquellos combustibles que son los más sencillos de generar dada la composición de los residuos. Los combustibles producidos serían evaluados en pruebas a nivel de laboratorio para evitar problemas operativos, y luego serían "liberados" para su uso en empresas.

Estos combustibles renovables podrían usarse para generar energía eléctrica o energía térmica. Sin embargo, dada la dependencia actual del sector industrial del gas natural y del sistema de transmisión y distribución de gas existente, los combustibles renovables que podrían introducirse directamente en el suministro actual de combustible son los más prometedores a corto plazo (por ejemplo, biometano, hidrógeno). Dependiendo del volumen potencial de producción de combustible, se pueden considerar las ventas al exterior, para lo cual se deben cumplir las normas ASTM asociadas. Esto permitiría a las empresas reducir su dependencia de los combustibles fósiles y revalorizar sus desechos, al tiempo que resolvería el problema de su eliminación.