

CO-BENEFICIOS

Oportunidades de empleo y beneficios locales de la participación de las comunidades en proyectos de energía renovable en

YUCATÁN



Juntos transformemos
Yucatán
GOBIERNO DEL ESTADO

SEFOET
SECRETARÍA DE FOMENTO
ECONÓMICO Y TRABAJO

SDS
SECRETARÍA DE
DESARROLLO
SUSTENTABLE

CONEEC
Conectando energía y cambio climático

giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Por encargo de:



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

de la República Federal de Alemania

IMPRESIÓN

Este informe se elaboró en el contexto del proyecto *Co-beneficios: Contribución de la Transición Energética para el Desarrollo Sostenible en México* (Co-beneficios México), implementado a través del proyecto Convergencia de la Política Energética y de Cambio Climático en México (CONECC) de la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, en coordinación con la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y en colaboración con el Instituto de Estudios Avanzados para la Sostenibilidad, Potsdam (IASS).

El proyecto CONECC forma parte de la Iniciativa Internacional de Protección del Clima (IKI). El Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear (BMU) apoya esta iniciativa con base en la decisión adoptada por el Parlamento Alemán.

GIZ

CO-BENEFICIOS—Oportunidades de empleo y beneficios locales de la participación de las comunidades en proyectos de energía renovable en Yucatán, febrero 2021.

Supervisión y coordinación

Felipe Borja Díaz, Pedro Hernández-López, Juan Carlos Mendoza – GIZ México

Implementación técnica

José Castro, Karen Navarrete – Ithaca Environmental

Edición y correcciones

Emiliano Reyes Galindo, Ariadne Rentería Castañeda, Dahely J. Castelán Mendoza, Camila Ramírez Rea – GIZ México

En colaboración con

La Secretaría de Fomento Económico y Trabajo (SEFOET) y la Subsecretaría de Energía de Yucatán y la Secretaría de Desarrollo Sustentable (SDS).

Diseño y maquetación

Laguna · www.lagunadentro.com

Formación

Constanza Miranda Ruiz

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Dag-Hammarskjöld-Weg 1-565760 Eschborn / Alemania www.giz.de

Oficina de la GIZ en México

Torre Hemicor, Piso 11
Av. Insurgentes Sur No. 826
Col. Del Valle, Benito Juárez
C.P. 03100, Ciudad de México, México.
T +52 55 55 36 23 44

giz-mexiko@giz.de

Se agradece el acompañamiento y las facilidades brindadas por el Gobierno del Estado de Yucatán para la realización del presente reporte, esto a través de la Secretaría de Fomento Económico y Trabajo (SEFOET) y la Subsecretaría de Energía; asimismo, un agradecimiento especial a la Mtra. Mirelle de Fátima Segovia Martín y a su equipo de trabajo por su invaluable apoyo y acompañamiento técnico en el proceso.

CO-BENEFICIOS

Oportunidades de empleo y beneficios locales de la participación de las comunidades en proyectos de energía renovable en

YUCATÁN

CONTENIDO

- Resumen ejecutivo** **9**
- 1. Introducción** **11**
 - 1.1. Objetivos 12
 - 1.2. Alcance 12
- 2. Marco político nacional y estatal** **13**
 - 2.1. Política nacional 13
 - 2.1.1 Política de cambio climático 13
 - 2.1.2 Políticas de energía limpia 13
 - 2.2. Política estatal 14
 - 2.2.1 Plan Estatal de Desarrollo de Yucatán 2018—2024 14
 - 2.2.2 Programa Especial de Acción ante el Cambio Climático de Yucatán 14
- 3. Metodología y supuestos** **15**
- 4. Resultados para el estado de Yucatán** **17**
 - 4.1. Evaluación de oportunidades de empleo a partir de la participación de comunidades en proyectos de energía renovable 17
 - 4.2. Empleos en el Estado de Yucatán bajo los escenarios MLTE y TCC 18
 - 4.2.1 Empleos derivados de proyectos eólicos 18
 - 4.2.2 Empleos derivados de proyectos fotovoltaicos 20
 - 4.2.3 Empleos derivados de proyectos de generación fotovoltaica distribuida 20
 - 4.2.4 Resumen de empleos generados por energías renovables en Yucatán 22
 - 4.3. Evaluación de la brecha de habilidades para Yucatán 23

4.4. Evaluación de ahorro de costos y generación de ingresos a partir de la participación de comunidades en proyectos de energía renovable	25
4.4.1 Estimación de ahorros en costos en Yucatán	26
4.5. Regiones prioritarias para el despliegue de energía renovable en Yucatán	28
4.5.1 Bajo acceso a la red y áreas marginadas en Yucatán	30
5. Opciones de política pública para el estado de Yucatán	31
6. Conclusiones	35
Glosario	37
Bibliografía	39
Anexo 1. Habilidades y necesidades ocupacionales en energía renovables	41
Anexo 2. Metodología para estimar los ahorros generados bajo los esquemas <i>net metering</i> y venta total a nivel estatal y municipal en el estado de Yucatán	43

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Metodología para evaluar co-beneficios en Yucatán	16
Figura 2. Perspectiva de total de empleos generados por proyectos eólicos en Yucatán bajo Escenarios MLTE y TCC (2020–2049)	19
Figura 3. Perspectiva del total de empleos generados por proyectos fotovoltaicos en Yucatán (2020–2049)	20
Figura 4. Perspectiva del total de empleos generados por Generación Solar Distribuida en Yucatán bajo el escenario MLTE (2020-2049)	21
Figura 5. Perspectiva del total de empleos generados por Generación Solar Distribuida en Yucatán bajo el escenario TCC (020-2049)	22
Figura 6. Total de empleos generados por tecnología y escenario en Yucatán (2020–2049)	23
Figura 7. Personas graduadas vs. Demanda laboral para energías renovables en Yucatán bajo el escenario MLTE (2020–2034)	24
Figura 8. Personas graduadas vs. Demanda laboral para energías renovables en Yucatán bajo el escenario TCC (2020–2034)	25
Figura 9. Ahorros estimados bajo <i>net metering</i> por sector tarifario y escenario en Yucatán (2020-2049)	27
Figura 10. Ahorros estimados bajo venta total por sector tarifario y escenario en Yucatán (2020–2049)	27
Figura 11. Ahorros estimados bajo <i>net metering</i> , por municipio y escenario en Yucatán (2020–2049)	29
Figura 12. Ahorros estimados bajo el esquema de venta total por municipio y escenario en Yucatán (2020–2049)	29

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Capacidad acumulada estimada de GSFD (MW) en Yucatán por escenario (2020–2049)	26
Tabla 2. Cobertura de la red eléctrica vs. déficit social y niveles de pobreza por municipio en Yucatán	30

ACRÓNIMOS Y SIGLAS

ANUIES	Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior	LIE	Ley de la Industria Eléctrica
ABM	Asociación de Bancos de México	MEM	Mercado Eléctrico Mayorista
CENACE	Centro Nacional de Control de Energía	MLTE	Escenario de Metas de Ley de Transición Energética
CFE	Comisión Federal de Electricidad	MW	Megawatt
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático	MWh	Megawatt-hora
COFEMER	Comisión Federal de Mejora Regulatoria	MWP	Megawatt pico
CONUEE	Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía	NDC	Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (por sus siglas en inglés)
CRE	Comisión Reguladora de Energía	NREL	Laboratorio Nacional de Energía Renovable de Estados Unidos (por sus siglas en inglés)
DAC	Tarifa Doméstica de Alto Consumo	O&M	Operación y Mantenimiento
DIST	Tarifa de Demanda Industrial en Subtransmisión	ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
DIT	Tarifa de Demanda Industrial en Transmisión	OIT	Organización Internacional del Trabajo
DOF	Diario Oficial de la Federación	ONG	Organización No Gubernamental
ER	Energías Renovables	PED	Plan Estatal de Desarrollo
FV	Fotovoltaico	PDBT	Tarifa de Pequeña Demanda (hasta 25 kW-mes) en Baja Tensión
GD	Generación Distribuida	PEACC	Programa Especial de Acción ante el Cambio Climático
GDBT	Gran Demanda (mayor a 25 kW-mes) en Baja Tensión	PIB	Producto Interno Bruto
GDL	Generación Distribuida Limpia	PIIRCE	Programa Indicativo para la Instalación y Retiro de Centrales Eléctricas
GDMTH	Tarifa de Gran Demanda en Media Tensión horaria	PML	Precio Marginal Local
GDMTO	Tarifa de Gran Demanda en Media Tensión ordinaria	PND	Plan Nacional de Desarrollo
GEI	Gases de Efecto Invernadero	POI	Punto de Interconexión
GSFD	Generación Solar Fotovoltaica Distribuida	PRODESEN	Programa para el Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional
GW	Gigawatt	PRONASE	Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía
I-JEDI	<i>International Jobs & Economic Development Impact Model</i>	PYMES	Pequeñas y Medianas Empresas
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía	RGD	Red General de Distribución
KWP	Kilowatt pico	RNT	Red Nacional de Transmisión
LCOE	<i>Levelized Cost of Electricity</i> (Costo Nivelado de Energía)	SEN	Sistema Eléctrico Nacional
		SENER	Secretaría de Energía

RESUMEN EJECUTIVO

El proyecto Co-Beneficios México busca proporcionar a las personas tomadoras de decisiones y formuladoras de política pública herramientas que les permitan avanzar en el logro de los objetivos de la agenda climática, ambiental y social tanto a nivel nacional como subnacional. De la misma forma, busca comunicar los beneficios del despliegue de energías renovables a gran y mediana escala, así como la importancia de la participación de la generación distribuida en la matriz energética del país.

El término *co-beneficio* se refiere al cumplimiento simultáneo de varios intereses u objetivos resultantes de una intervención de política pública, una inversión del sector privado o una combinación de ambas (Helgenberger, *et al.*, 2019). En el contexto de acción climática, los co-beneficios de mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero enfatizan los resultados positivos en otras áreas del desarrollo sostenible, tales como la calidad del aire, la salud, la prosperidad económica o el uso eficiente de recursos. Además de su relevancia para el compromiso del gobierno de aumentar la igualdad y la justicia social para la ciudadanía de México, el enfoque de co-beneficios es un importante facilitador para crear nuevas coaliciones de política pública (IASS, 2017a).

El presente documento busca destacar los beneficios económicos y sociales que se derivan del despliegue de energías renovables en el estado de Yucatán. Para ello, se han identificado las principales políticas a nivel nacional y estatal por medio de las cuales se fomenta el desarrollo de proyectos de energías renovables. Se han estimado también los empleos que pueden ser generados en el estado a través de proyectos solares fotovoltaicos, eólicos y de generación distribuida. De la misma forma, se calcularon los ahorros económicos en las comunidades, provenientes de la adopción de esquemas de contraprestación de generación distribuida.

Los resultados principales para el estado de Yucatán son los siguientes:

Empleos generados por energías renovables

- En el sector eólico podrían generarse hasta **117 mil empleos** en el periodo 2020–2049.
- En el mismo periodo, los proyectos fotovoltaicos podrían contribuir con la creación de más de **28 mil empleos** en Yucatán.
- Los empleos generados por la instalación de generación distribuida, bajo el **escenario de Metas de Ley de Transición Energética (MLTE)** entre 2020 y 2049 se estiman en **46 mil**, mientras que en el **escenario ambicioso de Transición a Cero Carbono (TCC)** lo empleos generados podrían ascender a **101 mil**.

Ahorros generados por generación distribuida

- Bajo el **escenario MLTE**, el esquema *net metering* podría generar un ahorro total de **63 mil millones de pesos** en Yucatán durante el periodo **2020–2049**; el **sector industrial (mediana empresa)** sería el que mayor ahorro registraría con **36.6 mil millones de pesos**.
- En el **escenario TCC**, el esquema *net metering* tiene un potencial de ahorro de **133 mil millones de pesos** (110 % más que en el escenario MLTE) para el periodo **2020–2049**. El **sector industrial (mediana empresa)** registraría el mayor ahorro con **77 mil millones de pesos**, aproximadamente.
- Bajo el **escenario MLTE**, el esquema de **venta total** podría generar un ahorro total de **28.7 mil millones de pesos** para el periodo **2020–2049**. El **sector industrial (mediana empresa)** tendría el mayor ahorro, con **21 mil millones de pesos**.
- En el **escenario TCC**, el ahorro total en **venta total** se calcula en **58.2 mil millones** (aproximadamente 103 % más que en el escenario MLTE). El **sector industrial**

(**mediana empresa**) sería el más beneficiado, con un ahorro de **44.4 mil millones de pesos**.

Regiones prioritarias para el despliegue de energías renovables en Yucatán

- Bajo el esquema de *net metering*, en los escenarios MLTE y TCC, Mérida tiene el mayor potencial de ahorro durante el periodo 2020—2024, puesto que, considerando el primer escenario, podría registrar ahorros de hasta **495 millones de pesos**, mientras que en el escenario TCC dicho ahorro se incrementa a **562 millones de pesos**.
- Respecto a la estimación de ahorros en el esquema de venta total, Mérida también registra el mayor potencial de ahorro a corto plazo (en el periodo 2020—2024) en ambos escenarios: bajo el MLTE, los ahorros se aproximan a los **488 millones pesos** y en el TCC a los **552 millones de pesos**.

Con base en los resultados obtenidos, se han identificado acciones específicas que podrían detonar el desarrollo de proyectos de energía renovable en Yucatán y, en consecuencia, la generación de co-beneficios. Las acciones que se proponen son las siguientes:

1. Crear programas estatales para promover la instalación de generación solar distribuida en el sector comercial e industrial de Yucatán.
2. Crear alianzas con el sector privado para financiar proyectos de energía renovable en el estado.
3. Diseñar estrategias para garantizar el acceso sustentable a la energía eléctrica en las comunidades que aún no cuentan con los servicios básicos.
4. Promover la instalación de paneles fotovoltaicos en edificios gubernamentales.
5. Impulsar las tecnologías de almacenamiento para aprovechar la generación de energía por fuentes renovables en el estado.
6. Fomentar programas de educación y capacitación para satisfacer la demanda laboral de profesionales y técnicos en el sector de energías renovables de Yucatán.
7. Apoyar procesos efectivos de participación para la ejecución de proyectos de energía renovable.
8. Comunicar de manera constante los co-beneficios asociados al desarrollo de proyectos de energía renovable a nivel local.

1. INTRODUCCIÓN

El término co-beneficio se refiere al cumplimiento simultáneo de varios intereses u objetivos resultantes de una intervención de política pública, una inversión del sector privado o una combinación de ambas (Helgenberger, et al., 2019). En el contexto de acción climática, los co-beneficios de mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero enfatizan los resultados positivos en otras áreas políticas, tales como la calidad del aire, la salud, la prosperidad económica o el uso eficiente de recursos. Además de su relevancia para el compromiso del gobierno de aumentar la igualdad y la justicia social para la ciudadanía de México, el enfoque de co-beneficios es un importante facilitador para crear nuevas coaliciones de política pública (IASS, 2017a).

El proyecto Co-beneficios México se ha desarrollado, desde octubre 2018, bajo el marco del proyecto “Convergencia de la política energética y de cambio climático en México (CONECC)” implementado por la Cooperación Alemana al Desarrollo Sustentable (GIZ) en México. En su primer año, se cuantificaron los co-beneficios sociales y económicos de las energías renovables y la eficiencia energética, resultantes de dos escenarios de política pública desarrollados para México. El proceso de identificación de los co-beneficios estuvo acompañado por los gobiernos estatales de Yucatán, Oaxaca, Ciudad de México, Baja California Sur y otros actores clave (organizaciones no gubernamentales, universidades estatales, expertos en energías renovables y eficiencia energética), quienes fueron considerados relevantes para la promoción de la transición energética a nivel regional y para la generación de oportunidades sociales y económicas.

Los principales co-beneficios estimados fueron ahorros de costos de generación de energía eléctrica; ingresos en edificios públicos con energías renovables; ahorros e ingresos generados en las comunidades por el desarrollo de proyectos de generación distribuida; y empleos generados por el despliegue de energías renovables. La cuantificación de los co-beneficios se basó en dos escenarios que consideran la política climática y la del sector eléctrico en México:

A. Escenario de metas de la Ley de Transición Energética (MLTE). Considera los datos del Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (PRODESEN) 2019—2033.

B. Escenario de Transición a Cero Carbono (TCC). Además de considerar el PRODESEN 2019—2033, plantea una mayor penetración de energías renovables en el sector eléctrico en México, con el fin de descarbonizarlo para el año 2050.

El proyecto co-beneficios México busca proporcionar a las personas tomadoras de decisiones y formuladoras de política pública las herramientas que les permitan avanzar en el logro de los objetivos de la agenda climática, ambiental y social tanto a nivel nacional como subnacional. De la misma forma, busca comunicar las implicaciones del despliegue de energía renovables a gran y mediana escala, así como la importancia de la participación de la generación distribuida en la matriz energética del país.

Los resultados preliminares del reporte nacional fueron dados a conocer en un taller en el mes de agosto de 2019 y publicados en marzo del 2020. El proyecto también fue presentado en la conferencia *Climate Opportunity 2019* celebrada en Berlín en el mes de octubre de 2019, así como en la Conferencia de las Partes (COP) 25 de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), celebrada en España, bajo la presidencia de Chile, en diciembre del 2019.

Con base en lo anterior, el presente documento busca destacar los co-beneficios económicos y sociales que se derivan del despliegue de energías renovables en el estado de Yucatán. Para ello, se han identificado las principales políticas a nivel nacional y estatal por medio de las cuales se fomenta el desarrollo de proyectos de energías

renovables y se han estimado los empleos que pueden ser generados en el estado a través de proyectos solares fotovoltaicos, eólicos y de generación distribuida. De la misma forma, se calculan los ahorros económicos en las comunidades debido a la adopción de esquemas de contraprestación de generación distribuida.

Las estimaciones que se presentan en este documento se realizaron a partir de los resultados publicados en el estudio *CO-BENEFICIOS. Contribución de la Transición Energética para el Desarrollo Sostenible en México* (GIZ, 2020), enfatizando los resultados para Yucatán. No obstante algunos datos, como la capacidad instalada de generación distribuida en el estado, fueron actualizados de acuerdo con las estadísticas dadas a conocer por la Comisión Reguladora de Energía (CRE) en el 2020. En comparación con los resultados obtenidos en el 2019, este nuevo dato implicó una ligera variación en los ahorros estimados por la expansión de generación distribuida en el estado.

Si bien, es cierto que el proyecto de co-beneficios México ha destacado los beneficios del despliegue de las energías renovables en el país y en Yucatán, el presente estudio busca analizar el contexto particular del estado para detectar oportunidades concretas que permitan dar respuesta a sus necesidades específicas alineadas con su marco de política pública. Considerando la situación de Yucatán, podrán brindarse un acompañamiento más efectivo y diseñarse intervenciones eficaces en políticas públicas enfocadas en promover el desarrollo sostenible en el sector estatal de las energías renovables que además contemplen la participación de las comunidades como un actor fundamental en el desarrollo de proyectos que impulsen una transición energética incluyente y social.

1.1. Objetivos

El caso de estudio desarrollado para el estado de Yucatán tiene dos objetivos principales:

1. Informar la formulación de la política energética y climática sobre los co-beneficios e impactos sociales, económicos y ambientales relacionados con el aumento en el despliegue de energía renovable en el estado, los cuales cuentan con un gran potencial para contribuir

al bienestar y desarrollo de la población de este estado y la región en que se ubica.

2. Proporcionar a las personas formuladoras de políticas y otros actores relevantes, herramientas metodológicamente sólidas para incorporar dichos co-beneficios en las agendas sociales, económicas y climáticas del estado.

1.2. Alcance

En el presente reporte se estiman los potenciales co-beneficios generados en el estado de Yucatán asociados al despliegue de energías renovables en México.

Los siguientes escenarios, bajo los cuales se analizan los co-beneficios consideran el desarrollo del sistema eléctrico mexicano para el periodo 2020—2049:

1. Escenario de Metas de Transición Energética (MLTE).

Este escenario fue desarrollado considerando lo dispuesto en el PRODESEN 2019—2033 desarrollado por la Secretaría de Energía (SENER). Considerando esta planeación se realizaron las proyecciones correspondientes para el periodo 2020—2049.

2. Escenario Transición a Cero Carbono (TCC).

Este escenario considera que para el año 2049, al menos el 75 % de la electricidad producida en el país provendrá de fuentes de energía limpia.

Para cada escenario fueron analizados aspectos como la variación del empleo (aumento o disminución) en el sector energético producto de la transformación de la matriz energética mexicana; la brecha de capacidades profesionales originada por el cambio de combustibles fósiles a energía renovables; y las capacidades que son requeridas para desarrollar e implementar las tecnologías solar fotovoltaica y eólica.

De la misma forma, son estimados los ahorros económicos potenciales y la generación de ingresos a nivel municipal (para hogares y PyMEs) por la instalación de capacidad de generación distribuida, en el estado de Yucatán.

2. MARCO POLÍTICO NACIONAL Y ESTATAL

A continuación, se describen los instrumentos de política pública de mayor relevancia para la promoción de las energías renovables a nivel nacional y sobre las cuales se sustentan las políticas formuladas para el estado de Yucatán.

2.1. Política nacional

2.1.1 Política de cambio climático

La Ley General de Cambio Climático (LGCC) (DOF, 2018)¹ provee objetivos clave para la política climática nacional, incluyendo: la regulación de la mitigación del cambio climático y las acciones de adaptación; la meta para reducir la vulnerabilidad de la población a los impactos del cambio climático; el apoyo de las capacidades nacionales para enfrentar el cambio climático; al apoyo para crear conocimiento, investigación y educación para favorecer las acciones de adaptación y mitigación; así como el compromiso para transitar a una economía competitiva y sostenible con bajas emisiones de carbono.

Asimismo, la LGCC ordena la evaluación de los costos de las externalidades sociales y ambientales relacionados con la generación eléctrica y los costos para reducir las emisiones GEI. Promueve la sustitución de combustibles fósiles por energías renovables para la generación de electricidad; el uso de energías renovables en los edificios del sector público; y el diseño de incentivos para impulsar la inversión del sector privado y público en energías renovables.

Las Contribuciones Determinadas a nivel Nacional (NDC, por sus siglas en inglés) de México se encuentran armonizadas con los objetivos y prioridades establecidas en la LGCC, así como con los acuerdos suscritos ante la CM-

NUCC². El componente de mitigación incluye un compromiso no condicionado para reducir 22 % las emisiones de GEI y 51 % de las emisiones de carbono negro para el año 2030 con respecto a un escenario tendencial (*business as usual*, BAU), lo que se traduce en una reducción de aproximadamente 210 MtCO₂e (Gobierno de México, 2020). Adicionalmente, se considera el compromiso condicionado para reducir 36 % las emisiones GEI y 70 % de las emisiones de carbono negro al 2030, el cumplimiento de esta meta supone el apoyo a nivel internacional de mecanismos financieros internacionales y la transferencia de tecnología (Gobierno de México, 2020).

Las metas de mitigación de emisiones GEI para el sector eléctrico e industrial están vinculadas a una expansión de energías limpias del 35 % para el 2024 y del 43 % para el 2030. Para ello, se ha planteado sustituir las plantas convencionales de combustibles fósiles por plantas de gas natural, energías limpias y biomasa, así como reducir las pérdidas de la red eléctrica.

2.1.2 Políticas de energía limpia

La política de energía limpia de México es establecida e implementada a través de dos leyes generales y sus directrices y normas específicas. Por un lado, la Ley de Transición Energética (LTE) (DOF, 2015) tiene el objetivo de mejorar la planificación para incrementar la expansión de energía limpia en el Sistema Eléctrico Nacional (SEN). Esta ley busca facilitar el camino para lograr las metas de expansión de energías limpias a través del incremento de su participación en el sector eléctrico de manera económicamente eficiente. De la misma forma, describe las actividades de la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) como organismo desconcentrado de la SENER, con el objetivo de promover

¹ La Ley General de Cambio Climático fue originalmente publicada en 2012 y su última reforma fue en 2018, en la cual se integran las bases para que México contribuya con el cumplimiento del Acuerdo de París.

² Un total de 197 naciones y territorios, denominados Partes, se han adherido a la CMNUCC.

la eficiencia energética y el apoyo técnico para fomentar el aprovechamiento sustentable de la energía. La CONUEE se encarga de la elaboración del Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (PRONASE).

Por otra parte, la Ley de la Industria Eléctrica (LIE) (DOF, 2014) tiene como fin regular la generación, transmisión y comercialización de la electricidad en México. Garantiza la competencia justa entre los sectores público y privado y asegura reglas no discriminatorias para el uso de las redes de transmisión y distribución.

2.2. Política estatal

2.2.1 Plan Estatal de Desarrollo de Yucatán 2018—2024

El Plan Estatal de Desarrollo de Yucatán 2018—2024, alineado a la Agenda 2030, establece cinco ejes transversales por medio de los cuales se busca direccionar el desarrollo sostenible en el estado; estos ejes están enfocados en la reducción de la pobreza, frenar la desigualdad, la injusticia y hacer frente al cambio climático. El “Eje 4: Yucatán Verde y Sustentable” es clave para la promoción de las energías renovables ya que establece objetivos, estrategias y líneas de acción enfocados en favorecer el aprovechamiento de las energías limpias para la generación de electricidad. Este eje busca regular las actividades humanas respecto al uso, explotación y aprovechamiento de los recursos naturales para garantizar el goce colectivo de los bienes

ambientales velando por su integridad natural y con ello promover el desarrollo económico sostenible.

2.2.2 Programa Especial de Acción ante el Cambio Climático de Yucatán

El Programa Especial de Acción ante el Cambio Climático (PEACC) del estado de Yucatán se basa en la LGCC que destaca, en términos de energías renovables y eficiencia energética, que las políticas públicas deberán promover las prácticas de eficiencia energética y el uso de energías renovables en la generación eléctrica además de fomentar la transferencia de tecnología baja en carbono.

En este sentido, el PEACC de Yucatán tiene como objetivos principales reducir las emisiones de GEI en el estado, así como reducir su vulnerabilidad frente a los efectos del cambio climático. En el PEACC se establecen dos ejes estratégicos para lograr tales objetivos: 1) mitigación del cambio climático y 2) adaptación. El eje de mitigación del cambio climático está dirigido a lograr un desarrollo bajo en emisiones de GEI conservando el potencial de sumidero de carbono de las áreas naturales del estado de Yucatán.

Dentro del eje estratégico de mitigación se incluyen estrategias y líneas de acción por medio de las cuales se busca promover la reducción de emisiones contaminantes en el sector de generación eléctrica, así como impulsar el aprovechamiento eficiente y sustentable de los recursos energéticos del estado.

3. METODOLOGÍA Y SUPUESTOS

Este proyecto utilizó múltiples métodos para cuantificar los co-beneficios y los impactos del despliegue de energía renovable en Yucatán. Esta sección presenta un breve resumen de la metodología de trabajo.

Revisión de literatura: Se realizó una revisión exhaustiva de informes nacionales e internacionales clave, documentos gubernamentales y literatura científica relacionados con el despliegue de energía renovable en México y los co-beneficios e impactos del desarrollo de proyectos de energía renovable en el país.

Entrevistas: Fueron entrevistados actores clave del sector privado, gobierno y sociedad civil para discutir oportunidades, barreras y conflictos relacionados con el despliegue de proyectos de energía renovable, particularmente en Yucatán.

Talleres: Como parte del proyecto, se desarrolló un taller regional en el estado de Yucatán (junio 2019) para discutir los co-beneficios e impactos en la historia reciente debido a la creación de proyectos de energía renovable. En dicho taller participaron actores clave de los sectores social, académico, privado y público relacionados con las energías renovables en el estado. El taller tuvo por objetivo presentar los resultados preliminares para discutirlos con el fin de identificar los retos y oportunidades que permitan incrementar los co-beneficios de mitigación y la acción climática al aumentar los proyectos de energías renovables.

El taller comenzó con una presentación sobre los hallazgos en estimación de ahorro de costos bajo esquemas de generación distribuida, específicamente *net metering* y venta total, así como generación de empleos en Yucatán. A esto siguió una sesión de preguntas y respuestas entre los participantes y los consultores.

En grupos de trabajo, los participantes respondieron y discutieron las siguientes preguntas clave:

- ¿Cómo mejorar la calidad del empleo a nivel comunitario? ¿Qué acciones se pueden realizar desde el ámbito público, privado y social? ¿Cuáles son las barreras?
- ¿Qué co-beneficios generados por las energías renovables deberían ser prioritarios en la región?
- ¿Cómo articular las energías renovables con el desarrollo regional y local?
- ¿Qué pueden hacer los actores estatales y locales para alinear el instrumento de política pública con los co-beneficios a nivel comunitario? ¿Cuáles son las principales oportunidades y barreras?

Finalmente, todos los grupos de trabajo presentaron sus conclusiones y se llevó a cabo una discusión de cierre.

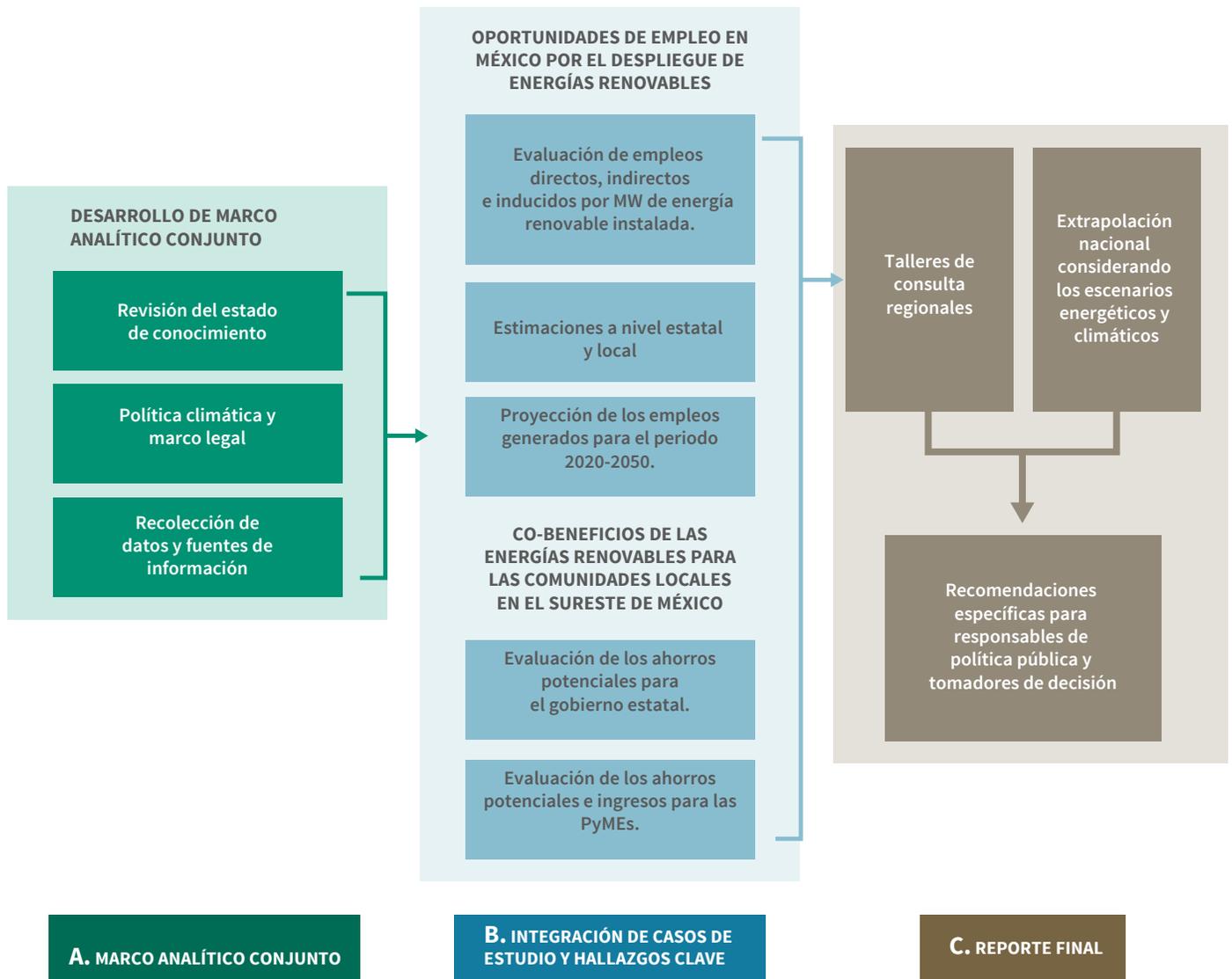
Recopilación y análisis de datos: se analizaron datos macroeconómicos, energéticos y de empleo para evaluar futuras oportunidades de empleo y ahorro a partir del despliegue de energías renovables a nivel nacional y del estado de Yucatán.

Desarrollo de escenarios: se desarrollaron dos escenarios futuros para evaluar la expansión del despliegue de energías renovables y sus consecuencias en términos de empleo y ahorro en costos de energía.

Modelación: se hizo uso de metodologías de modelación, como el *Modelo Internacional de Impactos de Empleo y Desarrollo Económico* (I-JEDI por sus siglas en inglés) para evaluar el empleo futuro del despliegue de energía eólica y solar.

En la Figura 1 se presenta, de forma esquemática, la metodología aplicada para evaluar los co-beneficios de los proyectos de energías renovables en el estado de Yucatán.

Figura 1. Metodología para evaluar co-beneficios en Yucatán



En los siguientes apartados se exponen los resultados más relevantes para Yucatán en términos de empleos generados por el desarrollo de proyectos de energías renovables, así como los ahorros económicos esperados en las PyMEs y en los municipios del estado.

4. RESULTADOS PARA EL ESTADO DE YUCATÁN

4.1. Evaluación de oportunidades de empleo a partir de la participación de comunidades en proyectos de energía renovable

Para llevar a cabo la estimación de empleos generados a partir del desarrollo de proyectos de energía renovable en Yucatán, se recopilaron una serie de datos macroeconómicos (PIB, PIB *per cápita*, inflación, tasa de desempleo) y de información relacionada con el potencial de aprovechamiento de energía solar y eólica, así como de las líneas de transmisión: capacidad, ubicación y trayectorias. También se realizaron entrevistas con desarrolladores de proyectos de energía renovable, con experiencia en la construcción, operación y mantenimiento de este tipo de proyectos, para validar las estimaciones obtenidas y los supuestos considerados.

Las principales fuentes de información consultadas para la obtención de datos fueron INEGI, SENER, CENACE, CFE y CRE. El PRODESEN 2019—2033 sirvió de base para la estimación de capacidad de energía renovable instalada en Yucatán y, por ende, para el cálculo de empleos directos, indirectos e inducidos.

Para evaluar la tendencia de las principales variables macroeconómicas nacionales y su relación con la generación de empleo por MW instalado en plantas de energía renovable (solar y eólica) y plantas convencionales, se analizaron los datos recopilados a través de estadística descriptiva con el fin de estimar la capacidad instalada de energías renovables en Yucatán. En el caso de los empleos, la estimación se realizó utilizando el modelo I-JEDI, desarrollado por NREL.

En el siguiente cuadro se exponen brevemente las principales características y limitaciones del modelo I-JEDI.

Modelo Internacional de Impactos de Empleo y Desarrollo Económico (I-JEDI)

El modelo I-JEDI del Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL) estima la cantidad de empleos e impactos económicos que puede generar una central eléctrica según su capacidad instalada. El modelo estima dichos impactos en función de los gastos de capital y los costos operativos y de mantenimiento de acuerdo con la tecnología (renovable o convencional) de generación de la central. El I-JEDI también estima la derrama económica y el efecto multiplicador en la economía nacional y local.

Para el caso mexicano, el Modelo I-JEDI utiliza los datos de Insumo-Producto (I-O) del año 2015, para estimar la derrama económica en diferentes industrias del país. Sin embargo, el equipo consultor actualizó los supuestos relacionados con los costos de capital y de operación y mantenimiento por MW instalado, así como el porcentaje de componentes provistos dentro de la economía nacional, con base en entrevistas con integradores fotovoltaicos y empresas EPC.

El modelo I-JEDI presenta las siguientes limitaciones:

- a. Los resultados de empleo son netos, no brutos.

b. Los resultados son lineales y proporcionales.

c. Los resultados no toman en cuenta las variaciones en los precios, en las tarifas reguladas, en los impuestos o en los salarios que puedan derivarse de cambios en las políticas gubernamentales ni la disponibilidad de los recursos.

Supuestos y datos de entrada

Los supuestos clave y los datos de entrada que se consideraron en el modelo I-JEDI son los siguientes:

- Costos asociados a las actividades de construcción de las centrales eléctricas de energía renovable, tales como: trabajo de ingeniería y diseño, trabajo civil, montaje e instalación de equipos, trámite de permisos y licencias.
- Costos por la adquisición de equipos (turbinas, aspas, torres, paneles solares, inversores).
- Costos de operación de las centrales de energía renovable (OPEX).

A continuación, se presentan las estimaciones de empleos generados en Yucatán por el desarrollo de proyectos eólicos y fotovoltaicos considerando los dos escenarios, MLTE y TCC, de penetración de energías renovables.

4.2. Empleos en el Estado de Yucatán bajo los escenarios MLTE y TCC

Las proyecciones de empleo a nivel estatal consideran la participación actual de Yucatán en el total de capacidad instalada a nivel nacional (proporción de la capacidad instalada por tecnología de energía renovable en el estado respecto al total nacional); este supuesto se tomó en cuenta para las estimaciones posteriores al año 2034, ya que para el periodo 2020–2033 se registraron los datos presentados en el resumen del *Programa Indicativo para la Instalación y Retiro de Centrales Eléctricas (PIIRCE)* que se incluye en el Capítulo VII del *PRODESEN 2019–2033*. De esta forma, se asumió que en Yucatán se instalaría el 6 % del total de capacidad eólica y fotovoltaica instaladas en el país a partir del 2034 y aproximadamente el 4 % de generación distribuida (para este caso se tomaron en cuenta las estadísticas de generación distribuida publicadas por la CRE en el 2019).

Aunado a lo anterior, en el desarrollo de las proyecciones se consideró la capacidad límite de las redes, la cual re-

presenta un problema para el despliegue de las energías renovables en la Península de Yucatán.

Según los datos presentados en el *PRODESEN 2019–2033*, en el periodo 2020–2024 se tiene planeado instalar 815 MW de capacidad adicional en el estado de Yucatán. Estas nuevas adiciones de capacidad corresponden únicamente a proyectos eólicos y fotovoltaicos. Cabe mencionar que no existen planes para aumentar la capacidad de energía convencional en el estado dentro de los próximos 14 años, ya que actualmente existe una capacidad convencional instalada subutilizada debido a la falta de suministro de gas natural en la región.

Considerando lo anterior, en los siguientes apartados se proporciona una estimación de los empleos generados por el desarrollo de proyectos de energía renovable, específicamente, de proyectos solares fotovoltaicos y eólicos en el estado de Yucatán.

4.2.1 Empleos derivados de proyectos eólicos

Considerando la adición de proyectos de generación a partir de energía eólica, Yucatán resultará beneficiado por la generación de empleo en los próximos 30 años (2020–2049). Los empleos directos³ creados a partir de la construcción de la nueva capacidad serán aproximadamente siete mil para el periodo 2020–2024; para el periodo 2025–2029 se estima una caída a 156 empleos, debido a que no se espera la instalación de capacidad adicional,

3 • Los empleos directos se definen como: trabajadores de la construcción en el sitio, fabricantes de equipos, servicios de diseño, trabajadores de mantenimiento, personal de seguridad y fabricantes de piezas de repuesto.

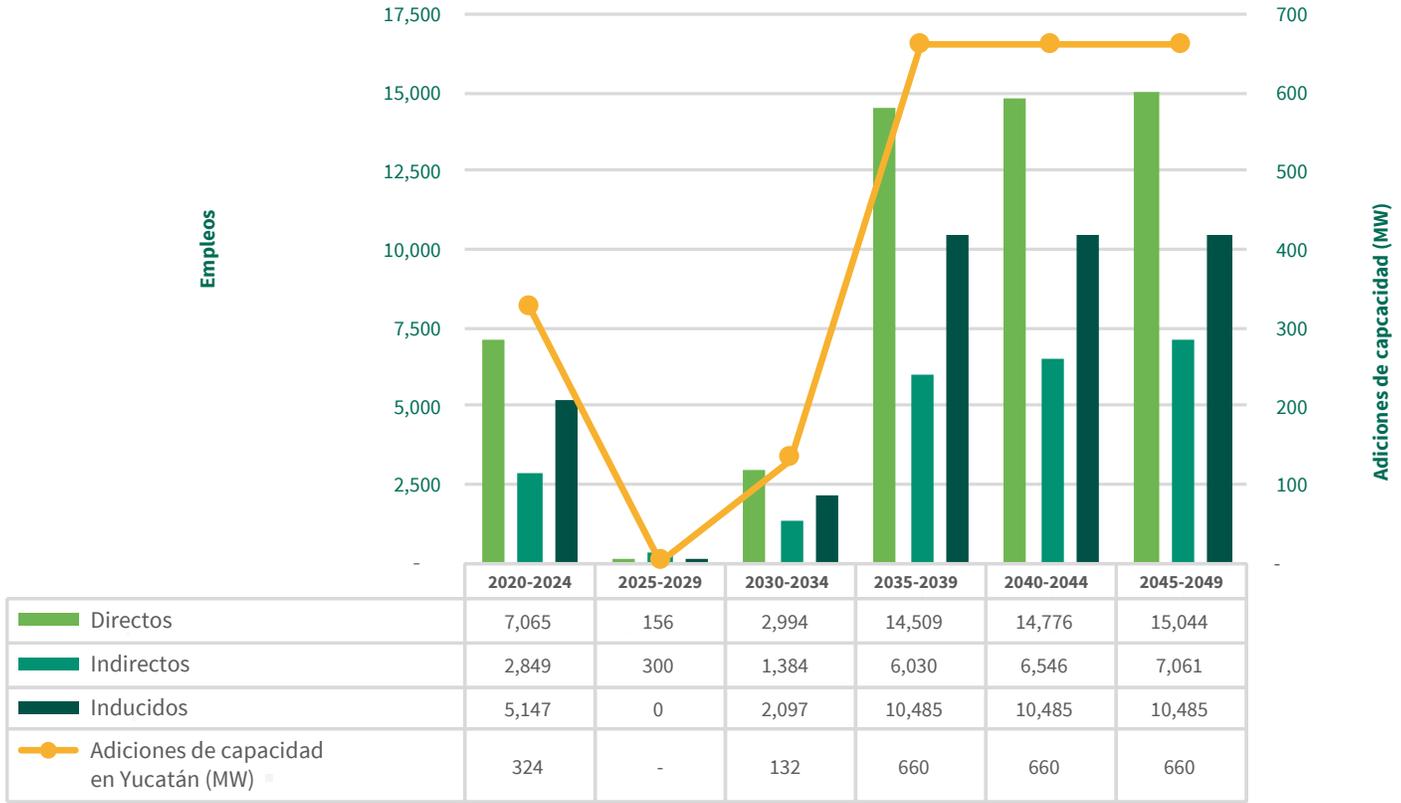
• Los empleos indirectos se definen como: servicios legales, proveedores de equipos de construcción, negocios mayoristas que venden repuestos, servicios contables, etc.

• Los empleos inducidos se definen como: vivienda, minoristas, restaurante, proveedores de atención médica, agricultura y proveedores de alimentos.

pero se mantienen los trabajos relacionados a operación y mantenimiento⁴. Para los periodos posteriores, se espera un repunte en la generación de empleos, el cual se encuentra relacionado con la construcción de nuevas centrales eólicas. De esta manera, se estima que para el periodo 2035–2039, los empleos directos generados se aproximen a los 14.5 mil, mientras que para los periodos 2040–2044 y 2045–2049, se calculan 14.7 mil y 15 mil empleos, respectivamente. Lo anterior representa un promedio aproximado de dos mil empleos anuales para los siguientes 30 años.

En la siguiente figura se muestra la relación entre la capacidad eólica instalada y los empleos generados a partir de proyectos eólicos en Yucatán⁵. Cabe destacar que se ha supuesto que el potencial del recurso eólico es limitado, independientemente del escenario, debido a que las restricciones en la capacidad de la red de transmisión no permitirán aprovechar la generación de renovables del sistema interconectado nacional, especialmente en la península de Yucatán (SENER, 2019). Esta tendencia se podría revertir si se mejora la infraestructura de distribución y transmisión eléctrica.

Figura 2. Perspectiva de total de empleos generados por proyectos eólicos en Yucatán bajo Escenarios MLTE y TCC (2020–2049)



Elaboración propia con datos de PRODESEN 2019 modelados en I-JEDI.

⁴ En el PRODESEN 2019–2033 no se contempla la instalación de nueva capacidad de energía eólica en el estado de Yucatán para el periodo 2025–2029.
⁵ En el caso de los empleos generados por proyectos eólicos y fotovoltaicos, no se estimaron cambios en la penetración de estas tecnologías bajo los escenarios mlte y tcc. La capacidad instalada en ambos escenarios es la misma, esto con base en la planeación del prodesen 2019–2033. Dado lo anterior, no hay resultados diferenciados de generación de empleos entre ambos escenarios.

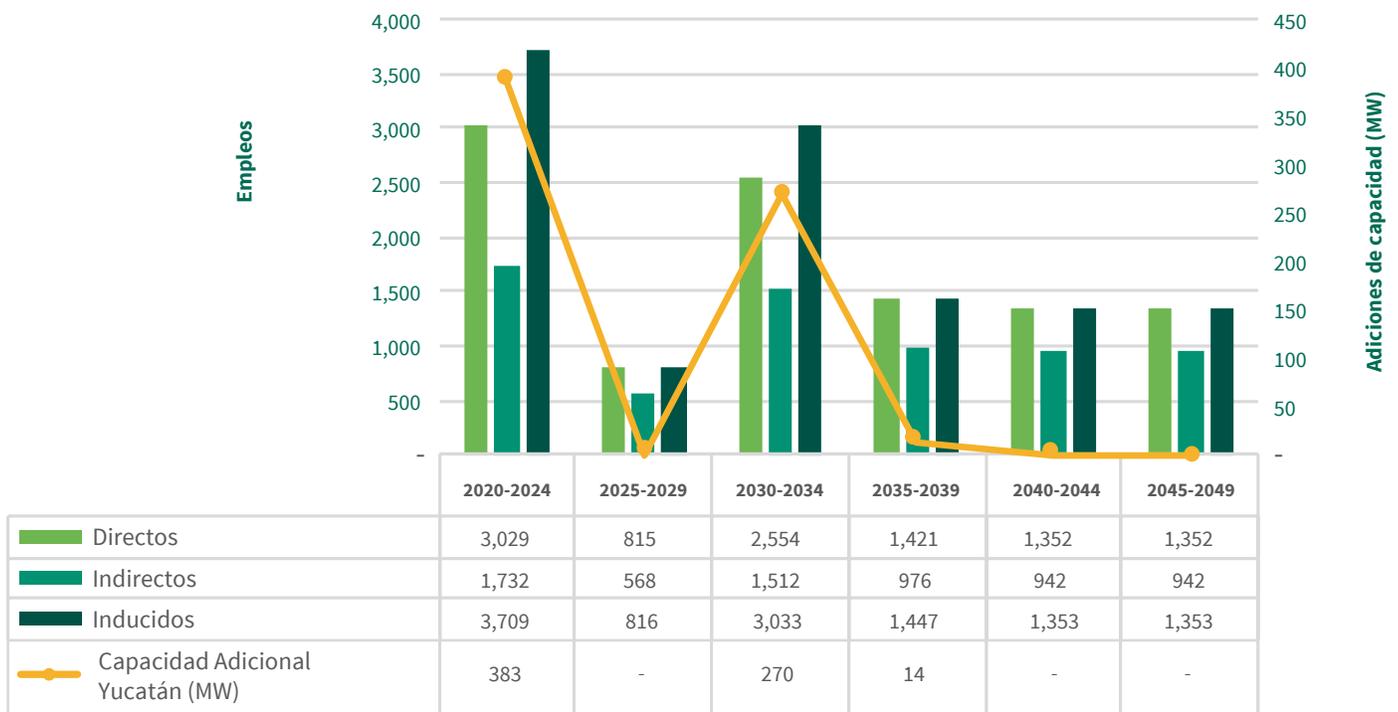
4.2.2 Empleos derivados de proyectos fotovoltaicos

En el caso de la energía solar fotovoltaica, se estima la instalación de 383 MW⁶ de capacidad para el periodo 2020–2024, lo cual tendrá como resultado la creación de tres mil empleos directos, aproximadamente. Para los periodos 2030–2034 y 2035–2039 se prevé la instalación de 270 y 14 MW, respectivamente, y la generación total de más de 3 900 empleos directos. Para el periodo que va del año 2040 a 2049 no se estima la adición de capacidad solar

fotovoltaica, razón por la cual se registra una disminución en el total de empleos directos (en comparación con los periodos anteriores), los cuales alcanzan una cifra aproximada de 2.7 mil.

En 30 años (2020–2049) los proyectos fotovoltaicos podrán contribuir con la creación de más de diez mil empleos directos en Yucatán, representando un promedio de 350.8 empleos directos generados anualmente. En la siguiente figura, se señala la capacidad solar fotovoltaica que se estima será instalada en Yucatán en los próximos años y los empleos asociados a ésta⁷.

Figura 3. Perspectiva del total de empleos generados por proyectos fotovoltaicos en Yucatán (2020–2049)



Elaboración propia con datos del PRODESEN 2019 modelados en I-JEDI.

4.2.3 Empleos derivados de proyectos de generación fotovoltaica distribuida

Para la estimación de empleos generados por el desarrollo de proyectos de generación distribuida se consideró la penetración de dicha tecnología en Yucatán bajo los escenarios MLTE y TCC. Bajo el escenario MLTE, se ha proyectado

que para el periodo 2020–2024, la capacidad instalada de generación distribuida sea de 210 MW, posteriormente, ésta experimentará un incremento considerable y alcanzará los 490 MW entre los años 2025–2029. Se calcula que, a partir del 2030, la capacidad instalada de generación distribuida registrará un descenso considerable en la región, lo cual se atribuye al límite de 28 GW en las Redes Generales de Distribución (RGD).

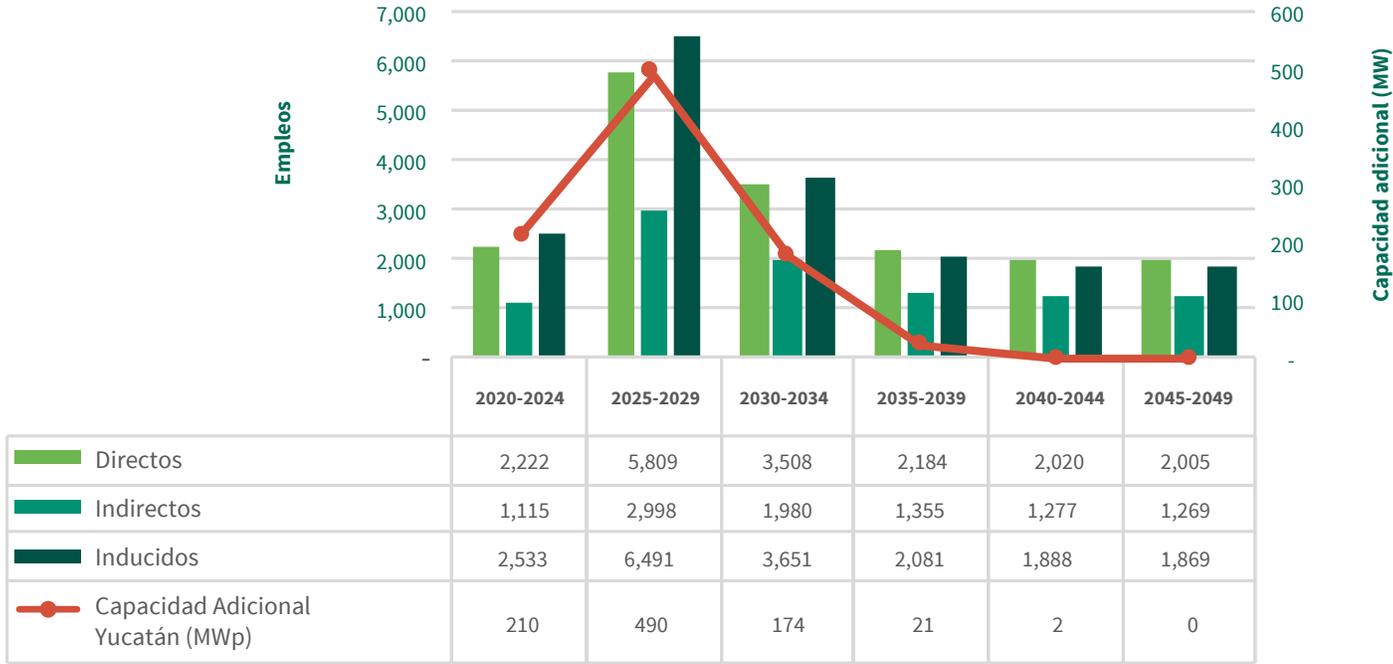
⁶ Las estimaciones fueron realizadas con base en los datos del PRODESEN 2019–2033.

⁷ En el caso de los empleos generados por proyectos eólicos y fotovoltaicos, no se estimaron cambios en la penetración de estas tecnologías bajo los escenarios MLTE y TCC. La capacidad instalada en ambos escenarios es la misma, esto con base en la planeación del PRODESEN 2019–2033. Dado lo anterior, no hay resultados diferenciados de generación de empleos entre ambos escenarios.

La capacidad límite de las RGD frenará el crecimiento de la generación distribuida a nivel nacional y, en consecuencia, repercutirá en el nivel estatal ya que no será posible la instalación de nueva capacidad. Considerando la metodología aplicada en la estimación que se realizó a nivel estatal, a medida que disminuye la capacidad instalada de generación distribuida en México (nivel nacional), la generación distribuida (GD) en el estado se reducirá en una proporción de 4 % aproximadamente (el 4 % hace referencia al porcentaje de capacidad instalada de GD en el estado respecto al total nacional según las estadísticas publicadas por la CRE⁸).

Considerando lo anterior, los empleos directos generados por la instalación de generación distribuida serán 2.2 mil para el periodo 2020–2024; de forma similar a la variación de la capacidad instalada, los empleos directos se incrementarán entre los años 2025 y 2029 y alcanzarán la cifra de 5.8 mil; mientras que para el quinquenio 2030–2034 se estima generar 3.5 mil empleos directos. En la siguiente figura se presenta la capacidad de generación distribuida que se estima sea instalada en Yucatán en los próximos 30 años, así como los empleos directos, indirectos e inducidos generados bajo el escenario MLTE.

Figura 4. Perspectiva del total de empleos generados por Generación Solar Distribuida en Yucatán bajo el escenario MLTE (2020-2049)



Elaboración propia con datos del PRODESEN 2019 modelados en I-JEDI.

Por otra parte, el escenario TCC contempla una penetración más ambiciosa de generación distribuida en el estado en comparación con el escenario MLTE. En el periodo 2020–2024, se estima que será instalada una capacidad de 250 MW de generación solar distribuida (40 MW más en comparación con el escenario MLTE). Para los años comprendidos entre 2025 y 2029, la capacidad de generación distribuida aumentará y alcanzará los 968 MW (478 MW más que en el escenario MLTE). A partir del año 2030, la

instalación de generación distribuida comienza a disminuir gradualmente hasta registrar sólo 82 MW instalados para el quinquenio 2045–2049.

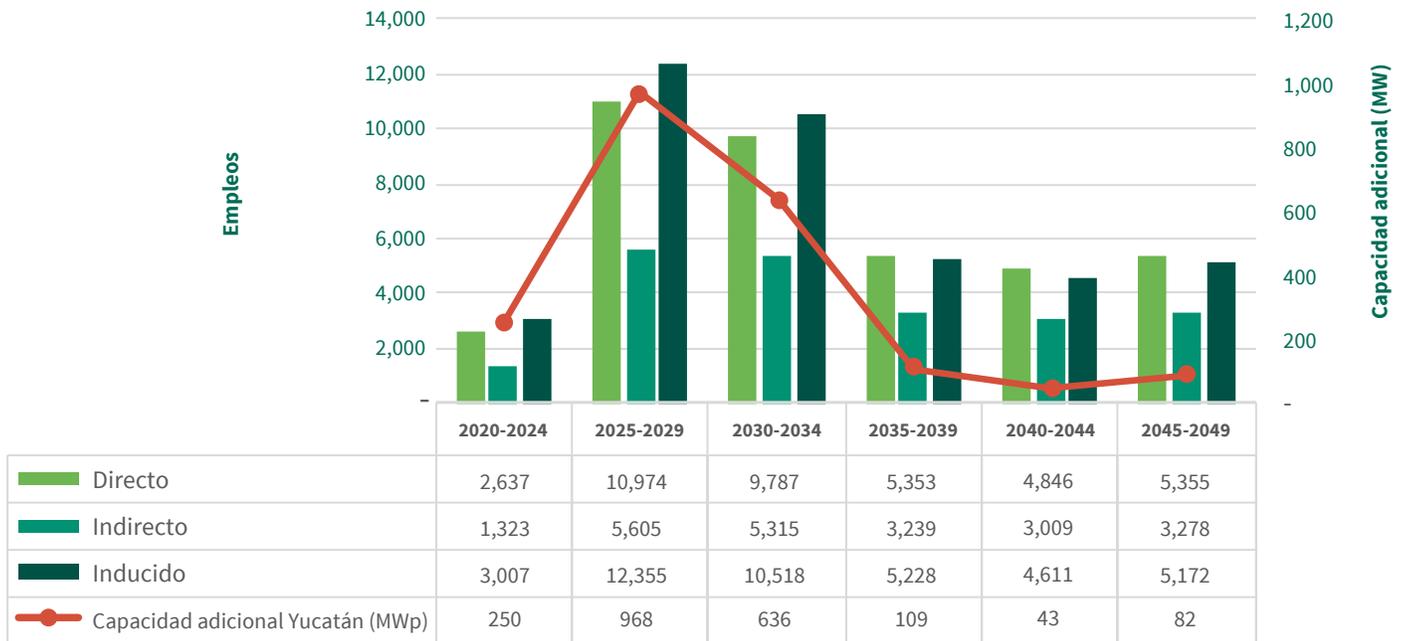
Con base en la evolución de la instalación de generación distribuida, los empleos directos generados en los próximos cinco años (2020–2024) serán 2.6 mil, los cuales aumentarán a más de diez mil para el periodo 2025–2029. En el periodo 2030–2034, los empleos directos

⁸ Solicitudes de interconexión de Centrales Eléctricas con capacidad menor a 0.5 MW. Contratos de Interconexión de Pequeña y Mediana Escala/ Generación Distribuida; (CRE, 2020).

disminuirán a 9.7 mil; este descenso continuará hasta 2045–2049, periodo en el cual se estima una cifra de 5.3

mil empleos directos generados. Esto puede observarse en la siguiente figura.

Figura 5. Perspectiva del total de empleos generados por Generación Solar Distribuida en Yucatán bajo el escenario TCC (2020-2049)



Elaboración propia con datos de PRODESEN 2019 modelados en I-JEDI.

El total de empleos directos generados en Yucatán en el periodo 2020–2049 bajo el escenario MLTE es de 17.7 mil, lo que representa un promedio de 592 empleos generados anualmente. Por otra parte, bajo el escenario TCC, se estima que la generación es de 38.9 mil empleos directos. Esto equivale a más del doble que los generados bajo el escenario MLTE, representado un promedio de 1.3 mil empleos directos generados anualmente (119 % más en comparación con el promedio de empleos generados bajo el escenario MLTE).

4.2.4 Resumen de empleos generados por energías renovables en Yucatán

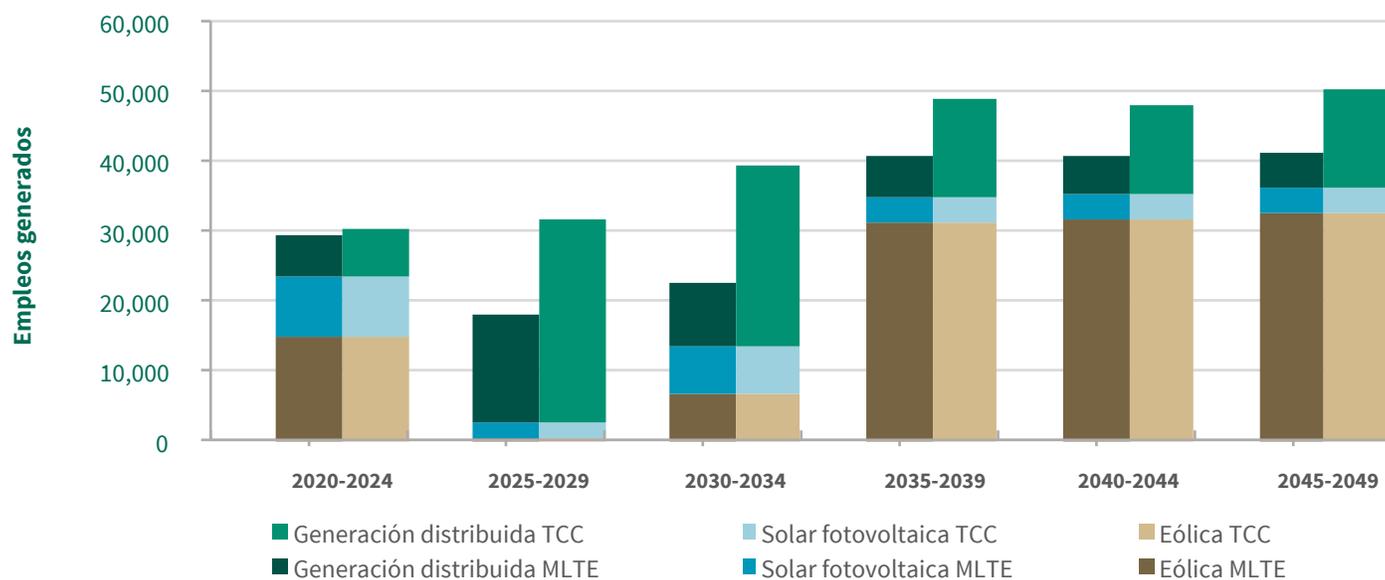
El total de empleos generados (directos, indirectos e inducidos) por fuentes de energías renovables en el Estado

de Yucatán en el periodo 2020–2049, y bajo el escenario MLTE, es de aproximadamente 192.5 mil, de los cuales 117.4 mil (61 % del total) se registran en proyectos eólicos; 28.9 mil (15 % del total) en solares fotovoltaicos; y 46.2 (24 % del total) en generación distribuida.

Por otra parte, en el escenario TCC, bajo el mismo periodo de tiempo, el total de empleos asciende a 247.9 mil, de los cuales 117.4 mil (47 % del total) se registran en proyectos eólicos; 28.9 mil (12 %) en solares fotovoltaicos; y 101.6 mil (41 % del total), 55 mil empleos más que en el escenario MLTE, en generación distribuida.

En la siguiente figura se ilustra el total de empleos generados por tecnología y escenario en el estado de Yucatán para el periodo 2020–2049.

Figura 6. Total de empleos generados por tecnología y escenario en Yucatán (2020—2049)



Elaboración propia con datos de PRODESEN 2019 modelados en I-JEDI.

4.3. Evaluación de la brecha de habilidades para Yucatán

Según los componentes de la cadena de valor, se han identificado habilidades y calificaciones clave en técnicos y profesionales involucrados en el desarrollo de proyectos de energía renovable. El grado de experiencia profesional determina el tipo de trabajo que se generará y los salarios que se perciben, es decir, cuanto mayor es el nivel de experiencia requerido, mayor es el ingreso que se percibe. La mayor necesidad de profesionales se encuentra, principalmente, en el proceso de fabricación, así como en la etapa de operación y mantenimiento. En el Anexo 1 se presenta una tabla que muestra el tipo de especialistas que se requieren en la cadena de valor de los proyectos de energía solar fotovoltaica y eólica, así como el nivel de experiencia requerido.

Con base en datos de la Organización Internacional del Trabajo (OIT), se identificaron instituciones de educación pública en Yucatán que integran carreras técnicas y de ingeniería (relevantes para la cadena de valor de las energías renovables) en sus programas de estudio. El mapeo de las instituciones de educación pública se basó en datos del año escolar 2017—2018 presentados por la Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación

Superior (ANUIES), tales como: carreras impartidas en cada institución, número de personas egresadas por carrera y el total de personas egresadas de instituciones públicas del estado.

Dadas las necesidades laborales de la cadena de valor de las energías renovables, en los últimos años se han integrado programas de licenciatura en centros universitarios en México, permitiendo formar profesionales que den respuesta a las crecientes necesidades del sector. Según datos de la ANUIES, en Yucatán existen 14 universidades públicas con programas de formación de profesionales y fortalecimiento de la investigación en el área de energías renovables. Durante el ciclo 2017—2018, estos centros universitarios registraron un total aproximado de 11,350 personas egresadas de carreras relevantes para las energías renovables, de las cuales, el 77 % fueron hombres y el 23 % mujeres (ANUIES, 2019).

Con el fin de evaluar las necesidades laborales en la cadena de valor de energías renovables, conforme aumenta su penetración en Yucatán, se ha calculado la relación de brecha (*gap ratio*) dividiendo la demanda laboral total en el sector (número de empleos generados por proyectos de energía eólica, solar fotovoltaica y generación solar distribuida) entre el 10 % del alumnado matriculado y graduado de programas académicos relacionados con las energías renovables en el estado.⁹ Los resultados mues-

⁹ El 10 % del alumnado matriculado de egresados y egresadas se utiliza para ejemplificar la brecha de habilidades en el estado, aunque el análisis podría llevarse a cabo considerando otro porcentaje. Este supuesto considera que no todas las personas egresadas y matriculadas se desarrollarán laboralmente en el sector de las energías renovables.

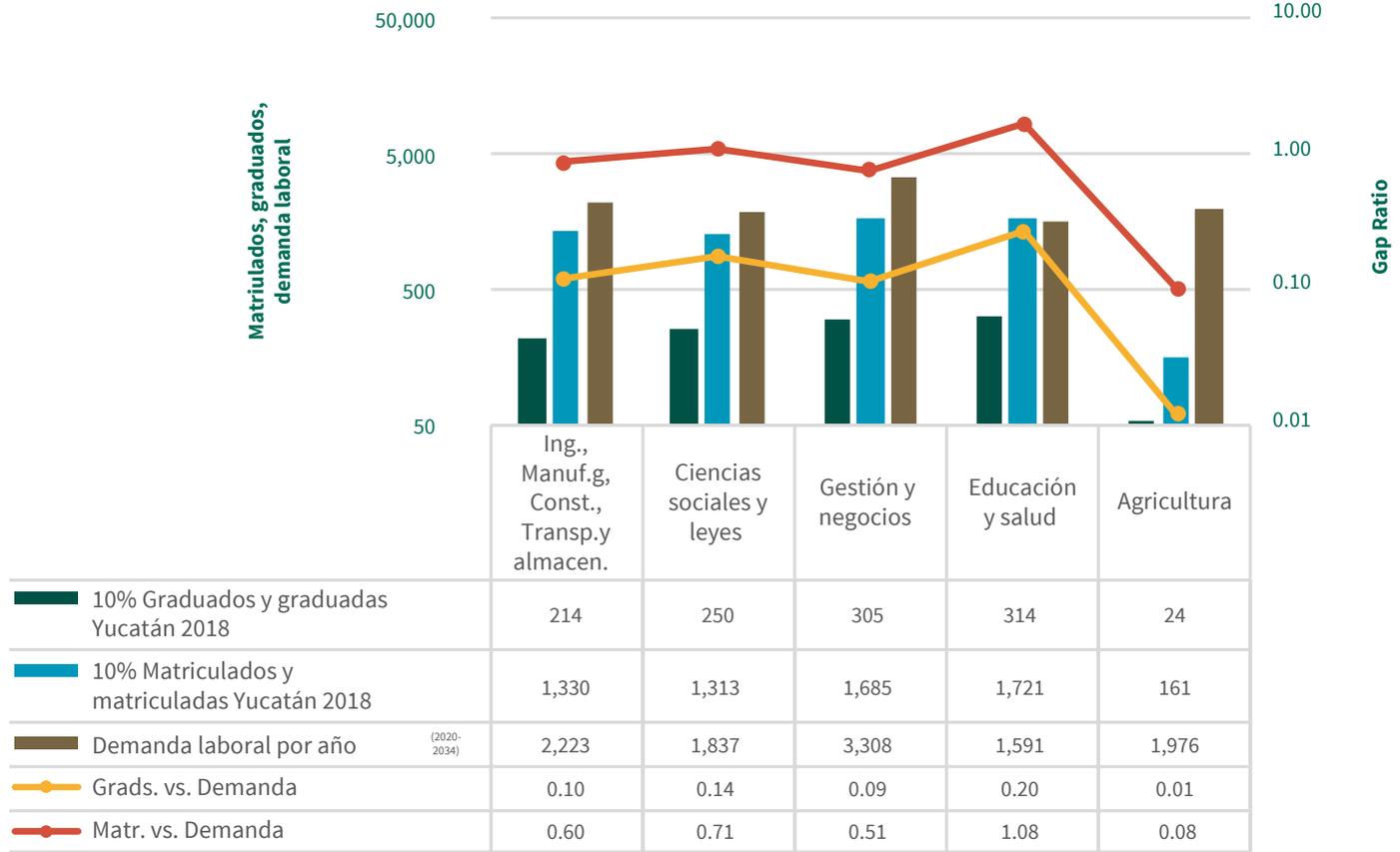
tran que hay una brecha de habilidades para la mayoría de las áreas de conocimiento (es decir, cuando la tasa de la brecha es inferior a 1), sin embargo, la brecha podría eliminarse fácilmente promoviendo una tasa de titulación (eficiencia terminal) más alta (mayor número de personas tituladas en relación a las personas matriculadas).

Bajo el escenario MLTE, la mayor brecha de habilidades profesionales se encuentra en los sectores de ingeniería, manufactura, construcción, transporte y almacenamiento. No obstante, los sectores de educación y salud se encuentran mejor cubiertos por profesionales en Yucatán. El sector agrícola, que también registra una brecha significativa de competencias profesionales, se encuen-

tra relacionado con el sector de las energías renovables debido a que los usos productivos de la energía pueden contribuir con la reducción de pérdidas de cosecha (al potenciar la conservación de alimentos) y acceder a nuevas tecnologías, como bombas solares, que mejoren las actividades de las personas que trabajan en dicho sector. Por lo anterior, es importante contar con profesionales que puedan diseñar y aplicar tecnologías de energías renovables en el sector agrícola.

En la siguiente figura se presentan los resultados del análisis de brecha de capacidades profesionales para el estado de Yucatán.

Figura 7. Personas graduadas vs. Demanda laboral para energías renovables en Yucatán bajo el escenario MLTE (2020—2034)

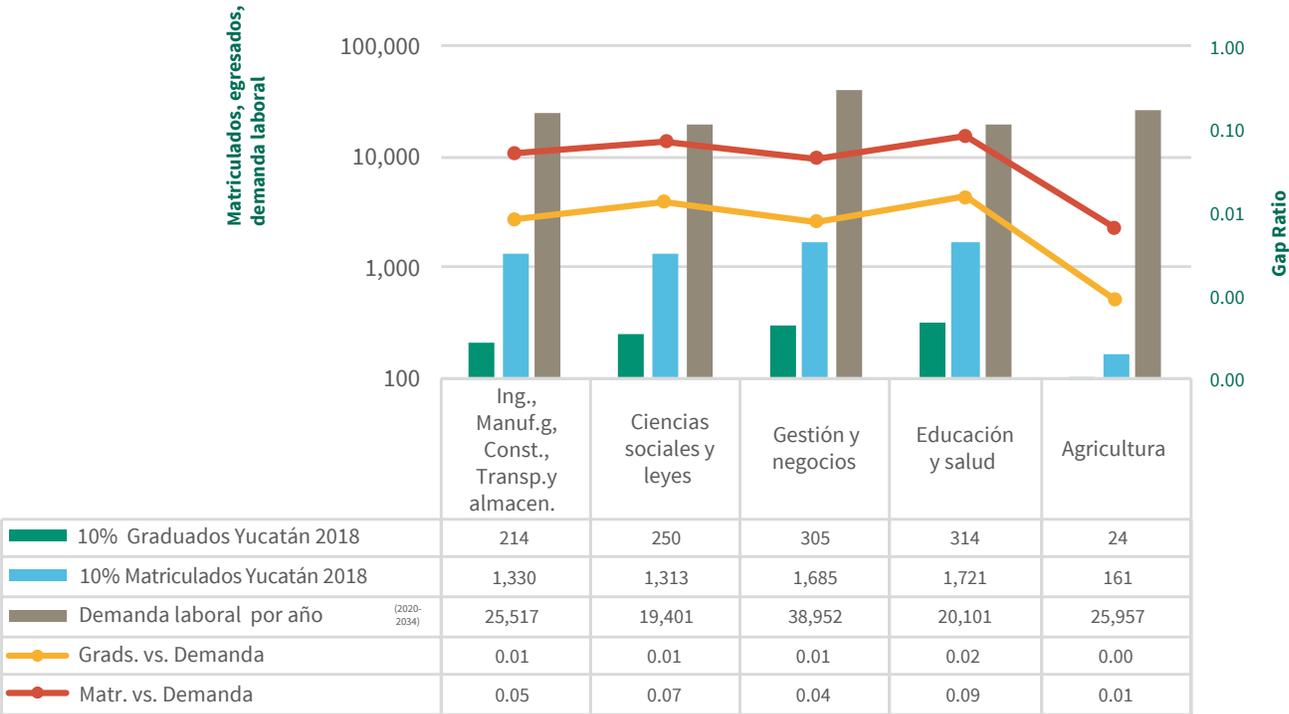


Elaboración propia con datos de la ANUIES.

El escenario TCC, que indica una mayor penetración de energías renovables en Yucatán, pone en manifiesto que un aumento en el desarrollo de proyectos de esta naturaleza representará un reto importante para la formación de profesionales. La brecha de habilidades se hace mayor en todos los sectores, incluidos los de salud y educación, lo que significa que es posible que no exista la oferta pro-

fesional adecuada para atender las necesidades del sector de energía renovables en el estado. Esta barrera para el desarrollo de proyectos de energía renovable puede enfrentarse mediante la creación y el fomento de programas enfocados en la formación de personas técnicas y profesionales afines al sector. Lo antes descrito puede observarse en la figura que se muestra a continuación:

Figura 8. Personas graduadas vs. Demanda laboral para energías renovables en Yucatán bajo el escenario TCC (2020—2034)



Elaboración propia con datos de la ANUIES.

4.4. Evaluación de ahorro de costos y generación de ingresos a partir de la participación de comunidades en proyectos de energía renovable

Como parte del estudio se estimaron los ahorros potenciales para los sectores doméstico (alto consumo), industrial, comercial y gran industria en el estado de Yucatán bajo los esquemas de generación distribuida *net metering* y venta total¹⁰ en los escenarios MLTE y TCC.

Este análisis considera la capacidad instalada de la Generación Solar Fotovoltaica Distribuida (GSFD) estimada a nivel estatal en ambos escenarios, la cual se calculó tomando en cuenta el porcentaje del total de la capacidad instalada a nivel nacional que se encuentra actualmente en el estado.

10 Las definiciones bajo las que se realizaron las estimaciones son las siguientes:

- *Net Metering*. Considera la diferencia entre la energía entregada por un suministrador (en este caso CFE) y la energía generada por el sistema de generación distribuida e inyectada a la red eléctrica en un periodo determinado.
- *Net Billing*. Considera la diferencia entre el valor monetario de la energía consumida y el valor de la energía inyectada a la red eléctrica. La energía consumida se cobra a precio regulado y la inyectada a la red se paga a Precio Marginal Local (PML).
- *Venta total*. Toda la energía producida por el sistema de generación distribuida se vende a CFE a PML.

Las estimaciones excluyen el *net billing* debido a que no presentan ventajas económicas significativas para el estado y su adopción es más compleja que los esquemas de *net metering* y venta total

Tabla 1. Capacidad acumulada estimada de GSFD (MW) en Yucatán por escenario (2020—2049)

Nivel	2020–2024		2025–2029		2030–2034		2035–2039		2040–2044		2045–2049	
	MLTE	TCC	MLTE	TCC	MLTE	TCC	MLTE	TCC	MLTE	TCC	MLTE	TCC
Nacional	15,841	17,922	67,356	101,692	107,385	212,827	114,930	245,685	115,716	252,318	115,791	260,163
Yucatán	693	784	2,945	4,446	4,695	9,305	5,025	10,742	5,059	11,032	5,062	11,375

Elaboración propia con datos de PRODESEN (2019) y CRE (2020).

Según estadísticas oficiales de la Comisión Reguladora de Energía (CRE, 2020), en 2019 la capacidad instalada total de generación distribuida en México fue de 968.14 MW, de los cuales 42.33 MW (4 % de la capacidad total nacional) se encuentran instalados en Yucatán. Suponiendo que este porcentaje se mantenga durante los próximos 30 años, se espera que para el 2024 se instalen en Yucatán 693 MW de GSFD bajo el escenario MLTE y 784 MW bajo el Escenario TCC.

4.4.1 Estimación de ahorros en costos en Yucatán

La metodología para estimar los ahorros potenciales para las pequeñas y medianas empresas en Yucatán por la implementación de proyectos de energía renovable consistió en la recopilación de datos de los costos nivelados de energía (LCoE) para las tecnologías eólica y solar fotovoltaica y en la revisión de literatura relacionada con los esquemas de contraprestación de generación distribuida vigentes en México (*net metering*, *net billing*, *venta total*).

El cálculo de ahorros derivados de la instalación de capacidad de generación distribuida en el estado se estimó para dos de los tres esquemas de compensación para el período 2020—2049: *net metering* y *venta total*¹¹ bajo los escenarios MLTE y TCC. Bajo el escenario MLTE, el es-

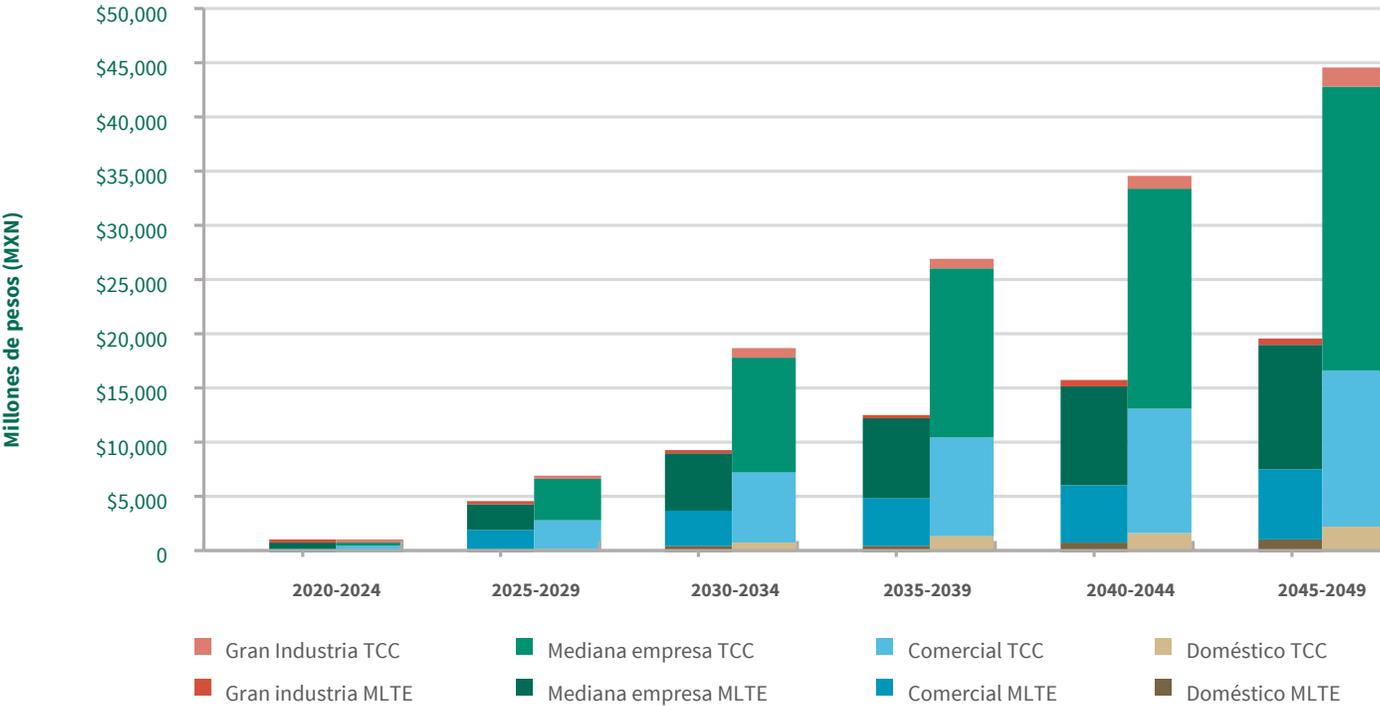
quema *net metering* podría generar un ahorro total de 63 mil millones de pesos en Yucatán en el período 2020—2049; el sector industrial (mediana empresa) sería el que mayor ahorro registraría, con 36.6 mil millones de pesos. En el escenario TCC, el ahorro total estimado es de 133 mil millones de pesos (aproximadamente 2.1 veces mayor que en el escenario MLTE); el sector industrial (mediana empresa) también tendría el mayor ahorro, con 77 mil millones de pesos aproximadamente. Las estimaciones de ahorros generados bajo el escenario MLTE se presentan en la Figura 9.

En lo que se refiere al esquema de *venta total*, bajo el escenario MLTE, se generaría un ahorro total de 28.7 mil millones de pesos para el período 2020—2049; el sector industrial (mediana empresa) tendría el mayor ahorro con 21.9 mil millones de pesos. En el escenario TCC, el ahorro total aumenta a 58.2 mil millones de pesos (103 % más que en el escenario MLTE); el sector industrial (mediana empresa) también sería el más beneficiado, con un ahorro de 44.4 mil millones de pesos. Los resultados para el esquema de *venta total* se muestran en la Figura 10.

Los resultados presentados anteriormente demuestran que el esquema *net metering* daría como resultado un mayor ahorro agregado a largo plazo para los consumidores de Yucatán en las tarifas no subsidiadas.

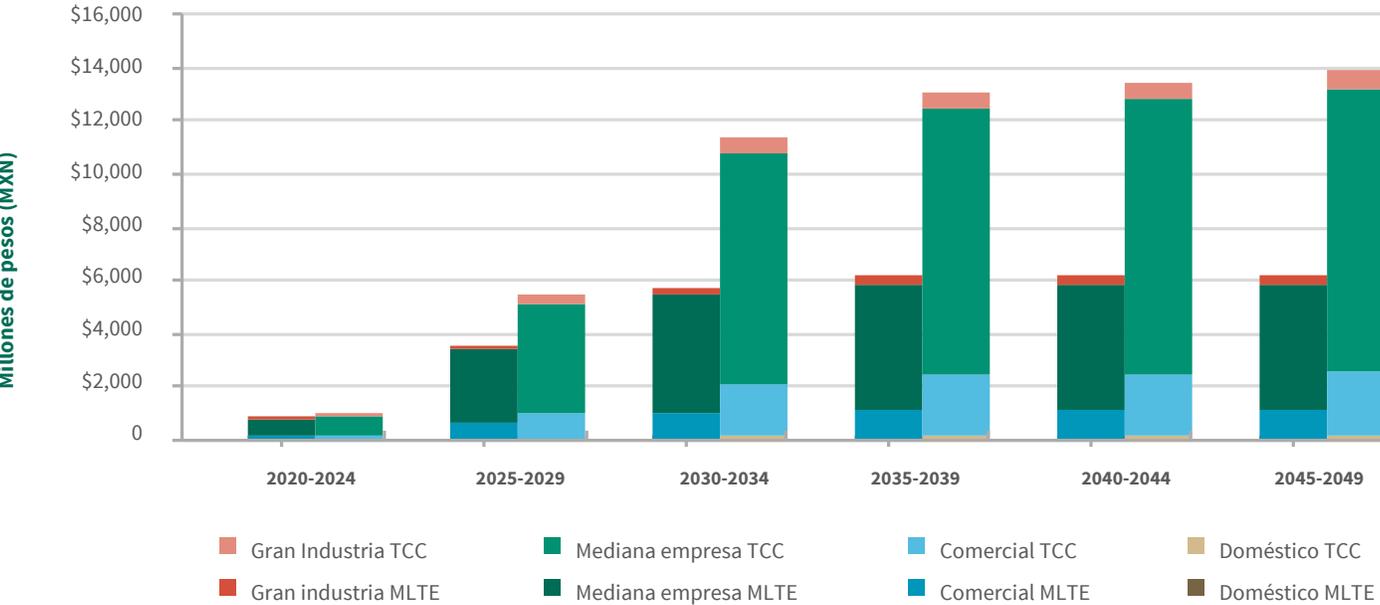
¹¹ La estimación de ahorros bajo el esquema de *venta total* consideró los PML del nodo “Tikul” (Yucatán), los cuales fueron proyectados para el año 2040, asumiendo una tasa de crecimiento anual de 3.5 % y un Costo de Energía Nivelado (LCoE) de \$ 0.80 MXN / kWh.

Figura 9. Ahorros estimados bajo *net metering* por sector tarifario y escenario en Yucatán (2020-2049)



Elaboración propia con datos de PRODESEN (2019) y CRE (2019).

Figura 10. Ahorros estimados bajo venta total por sector tarifario y escenario en Yucatán (2020—2049)



Elaboración propia con datos de PRODESEN (2019) y CRE (2019).

Resumen de ahorros en Yucatán

- Bajo el escenario MLTE, el esquema *net metering* podría generar un ahorro total de 63 mil millones de pesos en Yucatán en el periodo 2020—2049; el sector industrial (mediana empresa) sería el que mayor ahorro registraría, con 36.6 mil millones de pesos.
- Bajo el escenario TCC, el esquema *net metering* tiene un potencial de ahorro de 133 mil millones de pesos (110 % más que en el escenario MLTE) para el periodo 2020—2049. El sector industrial (mediana empresa) registraría el mayor ahorro con 77 mil millones de pesos, aproximadamente.
- Bajo el escenario MLTE, el esquema de venta total podría generar un ahorro total de 28.7 mil millones de pesos para el periodo 2020—2049. El sector industrial (mediana empresa) tendría el mayor ahorro, con 21.9 mil millones de pesos.
- Bajo el escenario TCC, el ahorro en venta total se calcula en 58.2 mil millones (aproximadamente 103 % más que en el escenario MLTE). El sector industrial (mediana empresa) sería el más beneficiado, con un ahorro de 44.4 mil millones de pesos.

4.5. Regiones prioritarias para el despliegue de energía renovable en Yucatán

Para estimar los ahorros bajo los esquemas de generación distribuida en los municipios de Yucatán, fue necesario proyectar el consumo de energía a nivel estatal y municipal, así como las tarifas eléctricas de la CFE para el período 2020—2050. En este caso, los supuestos se establecieron según datos de PRODESEN 2019—2033 y CFE.

Por otro lado, la estimación de penetración de generación distribuida a nivel estatal y municipal en Yucatán consideró los escenarios MLTE y TCC, al igual que las estadísticas de generación distribuida de 2019 de la CRE. Se calculó el porcentaje de la capacidad total de generación distribuida en el país que fue instalado en Yucatán en el 2019. A nivel municipal, dicha estimación se realizó de acuerdo con el consumo eléctrico registrado en los municipios respecto al total estatal.

La cuantificación de los ahorros bajo los esquemas de venta total y *net metering*, se realizó a partir de los Precios Marginales Locales (PML), de tarifas eléctricas por tipo de usuario y LCoE para la GSFD. En el Anexo 2 se detallan los pasos de la metodología y la lista de ecuaciones empleadas para la cuantificación.

A continuación, se presentan los principales hallazgos de la cuantificación de ahorros generados bajo los esquemas

net metering y venta total a nivel estatal y municipal en el estado de Yucatán.

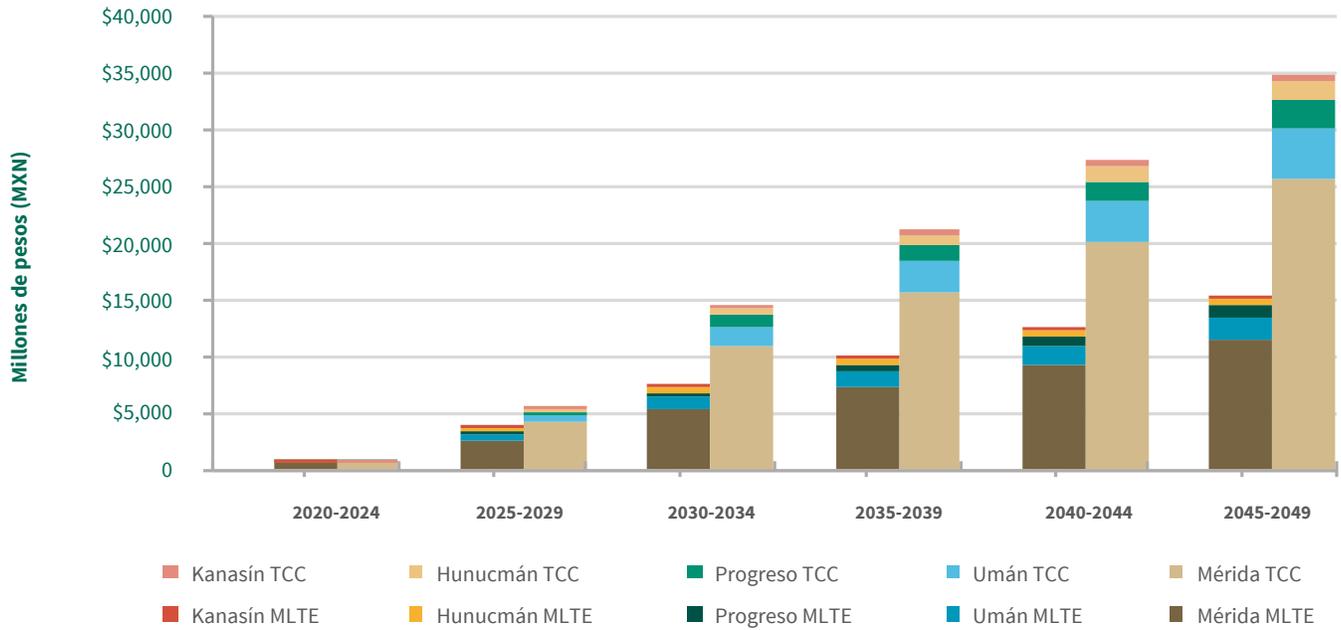
Resultados

En el estado de Yucatán, aproximadamente el 78 % del consumo doméstico, comercial e industrial se concentra en cinco municipios: Mérida (60 %), Umán (8 %), Progreso (4 %), Hunucmá (3 %) y Kanasín (2 %). Por lo tanto, concentrar los esfuerzos para implementar GSFD en estos municipios facilitaría la transición a una generación de energía más limpia.

De acuerdo con las estimaciones de ahorro de costos, bajo el esquema de *net metering* en los escenarios MLTE y TCC, Mérida tiene el mayor potencial de ahorro en el periodo 2020—2024: considerando el escenario MLTE, el municipio podría registrar ahorros de hasta 495 millones de pesos, mientras que en el escenario TCC dicho ahorro se incrementa a 562 millones de pesos. Lo anterior se observa con mayor claridad en la Figura 11.

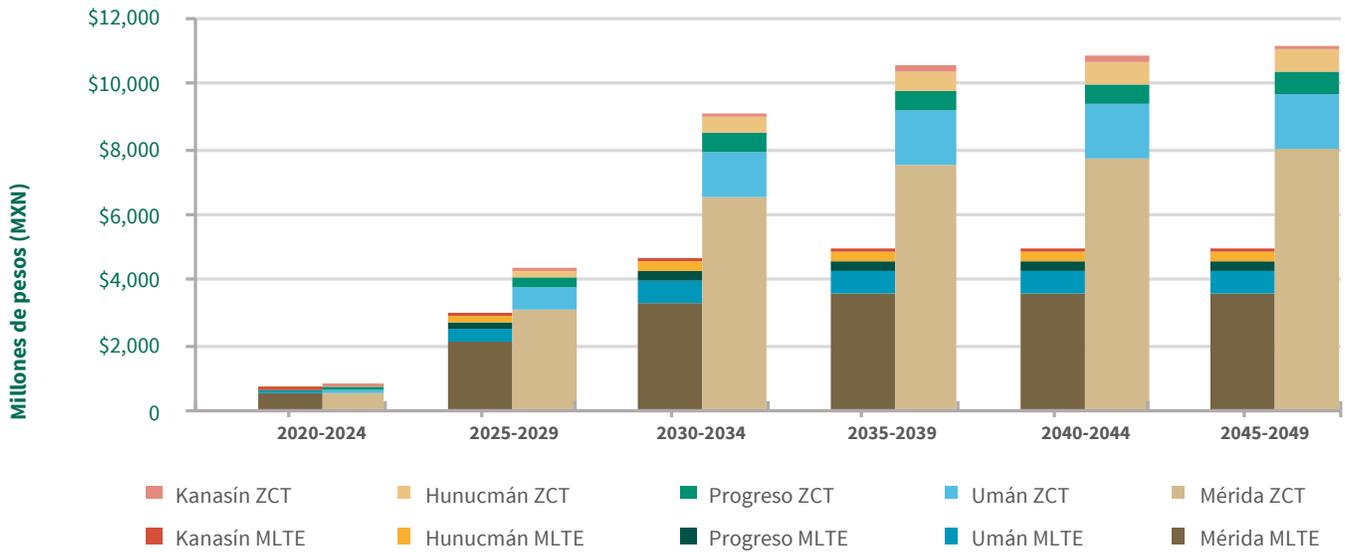
En lo que concierne a la estimación de ahorros en el esquema de venta total, Mérida también registra el mayor potencial de ahorro a corto plazo (en el periodo 2020—2024) en ambos escenarios: bajo el MLTE, los ahorros se aproximan a los 488 millones pesos y en el TCC a los 552 millones de pesos. En la Figura 12 se resumen y visualizan los ahorros estimados para los municipios con el mayor consumo de electricidad en el estado para los próximos 30 años (2020—2049).

Figura 11. Ahorros estimados bajo *net metering*, por municipio y escenario en Yucatán (2020–2049)



Elaboración propia con datos de PRODESEN (2019); CFE; CENACE y CRE (2019)

Figura 12. Ahorros estimados bajo el esquema de venta total por municipio y escenario en Yucatán (2020–2049)



Elaboración propia con datos de PRODESEN (2019); CFE; CENACE y CRE (2019)

4.5.1 Bajo acceso a la red y áreas marginadas en Yucatán

En 2015, aproximadamente el 1.31 % de la población total del estado de Yucatán no tenía acceso a la electricidad (INEGI, 2017). Los municipios con porcentajes considerables de población sin acceso a la energía eléctrica son Cantamayec (7.82 %), Tixcacalcupul (7.32 %), Chemax (6.51 %), Chichimilá (6.33 %) y Chankom (5.54 %). El con-

sumo eléctrico registrado en estos municipios representa solo el 0.62 % del total estatal.

Estos municipios forman parte de la lista de las Zonas de Atención Prioritaria Rurales para el año 2019 (Presidencia de la República, 2018), que forma parte de la Declaración de las Zonas de Atención Prioritaria para el año 2019. La siguiente tabla resume los datos sobre el grado de marginación, el grado de déficit social y el porcentaje de población en pobreza extrema en cada municipio.

Tabla 2. Cobertura de la red eléctrica vs. déficit social y niveles de pobreza por municipio en Yucatán

Municipio	Población (2017)	% Población viviendo en extrema pobreza (2015)	% Población que no tiene acceso a electricidad (2017)	Grado de marginación (2015)	Grado de deficit social (2015)
Cantamayec	2,619	16.64	7.82	Muy alto	Alto
Chankom	4,771	35.10	5.54	Alto	Alto
Chemax	37,006	31.43	6.51	Muy alto	Alto
Chichimilá	8,623	41.14	6.33	Alto	Alto
Tixcacalcupul	7,314	44.50	7.32	Muy alto	Alto

Fuente: Elaboración propia con datos del Anuario Estadístico y Geográfico del estado de Yucatán (INEGI, 2017) y la Lista de Zonas de Atención Prioritaria Rurales para el año 2019 (Presidencia de la República, 2018)

Con el mayor número de habitantes, el municipio de Chemax parece ser una oportunidad en términos del impacto social derivado de la implementación de sistemas fotovoltaicos de pequeña escala para satisfacer las necesidades eléctricas básicas de su población. Para determinar el tipo de sistemas fotovoltaicos que se pueden instalar en cada municipio, se deben realizar estudios para evaluar las condiciones de interconexión, desafíos técnicos y sociales, así como las tecnologías disponibles.

5. OPCIONES DE POLÍTICA PÚBLICA PARA EL ESTADO DE YUCATÁN

Las opciones de política que se presentan se encuentran alineadas con los cinco ejes transversales que se definen en el *Plan Estatal de Desarrollo del Estado de Yucatán (2018–2024)* y buscan contribuir con el desarrollo económico, social y sostenible del estado por medio de las energías renovables y sus co-beneficios, así como atender los objetivos y políticas en materia de mitigación del cambio climático, enfocadas en las energías renovables, que se establecen en el *Programa Especial de Acción ante el Cambio Climático del Estado de Yucatán*:

1. Desarrollar programas estatales para promover la instalación de generación solar distribuida en el sector comercial e industrial de Yucatán

Los sectores que registran el mayor potencial de ahorros económicos por la instalación de capacidad de GSFD en el estado de Yucatán son el comercial y el industrial. En estos sectores habrá que promover iniciativas y programas enfocados en brindar oportunidades de financiamiento e incentivos a los usuarios para que puedan instalar paneles solares en sus inmuebles, especialmente, en los municipios de Mérida, Umán, Progreso, Hunucmá y Kanasín. Si bien el comercio y la industria registran el mayor potencial de ahorros, el estado de Yucatán también podría considerar incluir la instalación de generación solar distribuida en el desarrollo de turismo verde y sustentable, ya que es un sector de gran relevancia en Yucatán, al ser uno de los lugares más visitados en México cuenta con una gran cantidad de hoteles, restaurantes y zonas de esparcimiento, los cuales generan un número significativo de empleos y a la vez pueden ser espacios importantes para instalar la generación solar distribuida.

Este tipo de programas no sólo potenciarían los co-beneficios vinculados a los ahorros económicos por GSFD en la región, sino que podrían contribuir

con el logro de los objetivos del eje “*Yucatán con Economía Inclusiva*” del Plan Estatal de Desarrollo 2018–2021, específicamente, los relativos a las políticas “*desarrollo comercial y fortalecimiento de las empresas locales*” y “*desarrollo industrial*”. En dichas políticas se destaca la intención del estado por aumentar la actividad comercial y la productividad del sector industrial de forma sostenible, así como impulsar la inclusión y responsabilidad social en ambos sectores (objetivos 1.1.1; 1.3.1; 1.3.2).

Aunado a lo anterior, esta recomendación se encuentra alineada con el eje transversal “*Yucatán verde y sustentable*”, particularmente con la política “*energía asequible y no contaminante*”, del Plan Estatal de Desarrollo, en la cual se define como acción clave la promoción de energías renovables en el ámbito industrial y comercial (incluyendo turismo verde y sustentable).

2. Crear alianzas con el sector privado para financiar proyectos de energía renovable en el estado

El desarrollo de proyectos de energía renovable puede propiciar la generación de co-beneficios que favorezcan tanto el desarrollo económico del estado como la generación de empleos, por lo cual es importante crear estrategias y sinergias entre el sector público y privado para financiar y apoyar la ejecución de proyectos de esta naturaleza en todas sus escalas. Deberá dedicarse especial atención al financiamiento de proyectos eólicos de gran escala, dado el alto potencial de aprovechamiento en Yucatán, siendo éste el tercer estado con mayor potencial de energía eólica a nivel nacional. Por otro lado, los empleos directos generados en este tipo de proyectos resultan mayores en comparación con los fotovoltaicos, por ejemplo.

El eje “*Yucatán verde y sustentable*” del Plan Estatal de Desarrollo señala como línea de acción la vinculación de los diferentes sectores para la implementación conjunta de proyectos de energía limpia para incrementar la generación de energía no contaminante en Yucatán, por lo que el financiamiento proveniente de fuentes públicas y privadas apoyará la consecución de este objetivo y favorecerá la creación de empleos dignos en la región.

3. Diseñar estrategias para garantizar el acceso sustentable a la energía eléctrica en las comunidades que aún no cuentan con servicios básicos

El estado podría identificar los municipios y regiones que, por su grado de marginación y nivel de pobreza extrema, no tienen acceso a los servicios básicos de energía eléctrica, y que el Gobierno Federal ha incluido en la Declaración de las Zonas de Atención Prioritaria. En estas regiones podría promoverse la instalación de sistemas fotovoltaicos no interconectados a la red (si es que las comunidades se encuentran alejadas de la red eléctrica) o de generación distribuida, que permitan crear comunidades sustentables al tiempo que satisfacen sus necesidades energéticas. La instalación de sistemas de generación distribuida producirá beneficios adicionales a las comunidades, como el ingreso por la venta de electricidad, donde estos ingresos podrían destinarse a cubrir otras necesidades básicas.

Por otro lado, habrá que diseñar esquemas de financiamiento con base en el perfil de las comunidades (actividades económicas que desarrollan, ingreso promedio, número de habitantes), para facilitar el acceso de sus pobladores a la energía limpia bajo criterios económicos.

Esta opción se alinea con los ejes “*Yucatán con calidad*” y “*bienestar social*” del Plan Estatal de Desarrollo, por medio de los cuales se busca implementar acciones de electrificación que garanticen a la población el acceso a energía continua y suficiente. La opción también se alinea al eje “*Yucatán verde y sustentable*”, cuyos principales objetivos, estrategias y líneas de acción se mencionan en el capítulo 3.

4. Promover la instalación de paneles fotovoltaicos en edificios gubernamentales

El gobierno puede promover la instalación de sistemas de GSFD en sus inmuebles con el objetivo de contribuir a la transición energética y ser un referente para la población de Yucatán y la región. El gobierno podrá reducir los costos asociados al consumo eléctrico en sus instalaciones y destinar los ahorros generados a la promoción de financiamiento de otros proyectos de energía renovable, principalmente de pequeña escala, en los sectores comercial e industrial, en las comunidades, o programas de eficiencia energética.¹²

5. Impulsar las tecnologías de almacenamiento para aprovechar la generación de energías renovables en el estado

La capacidad de las redes de transmisión y distribución de la península de Yucatán obstaculizarán el aprovechamiento de la generación de energía renovables y la atención a la creciente demanda eléctrica en el estado en los próximos años. En este sentido, las tecnologías de almacenamiento representan una alternativa para aprovechar la energía generada y dar solución a los problemas de demanda eléctrica de la región, los cuales podrían agravarse en el futuro.

El almacenamiento de energía eléctrica contribuirá a equilibrar la demanda y oferta eléctrica en el estado y a reducir la dependencia al gas natural del parque de generación actual. La poca disponibilidad de gas natural en la región ha provocado que el aprovechamiento de las centrales de generación, que operan a partir de este combustible, no sea el adecuado y que su eficiencia disminuya; en consecuencia, este tipo de centrales resultan poco viables (técnica y económicamente) en comparación con las tecnologías de energía renovable.

6. Fomentar programas de educación y capacitación para satisfacer la demanda laboral de profesionales y técnicos en sector de energías renovables de Yucatán

En coordinación con el sector privado y las instituciones académicas locales y nacionales, el gobierno estatal podría identificar las necesidades profesio-

¹² Respecto a eficiencia energética, vale la pena resaltar que el Gobierno del estado de Yucatán recientemente publicó en su Diario Oficial el Acuerdo 31/2020 en donde se establecen normas técnicas y disposiciones generales para lograr la eficiencia energética en los edificios públicos de este estado.

nales y conocimientos requeridos a lo largo de la cadena de valor de la industria de las energías renovables en Yucatán. Lo anterior servirá para crear programas educativos en las universidades, orientados a capacitar estudiantes para que puedan incorporarse a la industria y, por ende, reducir la brecha de competencias en este sector.

La capacitación y formación de profesionales en las áreas afines a las energías renovables debe ir de la mano con la oferta laboral que se espera sea generada en los próximos 30 años (2020—2049) en Yucatán, particularmente en los proyectos eólicos. Lo anterior puede promoverse como parte de las líneas de acción que se definen, de forma transversal, en el eje “*Innovación, conocimiento y tecnología*” del Plan Estatal de Desarrollo, considerando además enfoques de inclusión e igualdad de género.

7. Apoyar los procesos participativos para la ejecución de proyectos de energía renovable

Fomentar buenas prácticas y realizar correctamente los procesos de consulta de las comunidades durante el desarrollo de proyectos de energía renovable, especialmente los de gran escala, para asegurar el respeto de sus derechos y evitar conflictos futuros. Por otra parte, se invita a reforzar los procesos participativos y de consulta para impulsar la inclusión y la intervención activa de las comunidades en la ejecución de proyectos de energía renovable. Esta inclusión comunitaria deberá integrar un enfoque de igualdad de género que destaque el rol de las mujeres a lo largo de todo el proceso de ejecución.

Cabe destacar que el gobierno del estado en colaboración con la Dirección de Impacto Social y Ocupación Superficial de la SENER han acompañado al menos siete consultas libres e informadas para la ejecución de proyectos de energía renovable en el estado de Yucatán. Por lo que se invita a una mejora continua de estos procesos participativos para asegurar sean efectivos y un ejercicio democrático de inclusión de las comunidades.

8. Comunicar los co-beneficios asociados al desarrollo de proyectos de energía renovable a nivel local

Diseñar y planear una estrategia de comunicación de los co-beneficios sociales, ambientales y económicos de manera constante, asociados al despliegue de las energías renovables (generación de empleos, ahorros económicos, reducción de emisiones de GEI) dirigida a todos los sectores económicos, productivos y sociales del estado, con el fin de impulsarlos a implementar proyectos de energía renovable y a tener una mayor participación. Las dependencias del gobierno estatal pueden trabajar conjuntamente para crear dicha estrategia y lograr que tenga un mayor impacto en la población del estado. En este sentido, las Secretarías de Desarrollo Social (SEDESOL), de Fomento Económico y Trabajo (SEFOET), de Desarrollo Rural (SEDER), de Desarrollo Sustentable (SDS) y de Investigación, Innovación y Educación Superior (SIIES) podrían tomar un rol de liderazgo para informar y difundir los múltiples co-beneficios de la energía renovables en el estado.

6. CONCLUSIONES

- El Programa Especial de Acción contra el Cambio Climático (PEACC) y el Plan Estatal de Desarrollo del Estado de Yucatán 2018—2024 representan una oportunidad para el despliegue de proyectos de energía renovable en el estado. En ambos documentos se reconoce la importancia de promover el desarrollo económico sostenible a través de las energías renovables, para lo cual definen políticas, estrategias, objetivos y líneas de acción enfocadas en su promoción. Lo anterior potenciará los co-beneficios en la región, tales como la generación de empleos, ahorros energéticos y económicos, reducción de emisiones, acceso de la población a energía limpia y barata, reducción de la pobreza energética, entre otros.
- Los escenarios de expansión de energías renovables en la matriz de generación de Yucatán que se presentan en el presente análisis buscan ser detonadores de la discusión acerca de la situación de las energías renovables en Yucatán y la región, así como sobre la manera en que pueden aprovecharse los co-beneficios que de ellas se derivan.
- Los empleos y ahorros generados, debido al desarrollo e implementación de proyectos de energía renovable, de cualquier escala, serán un elemento muy importante en el desarrollo económico de la región. El gobierno estatal juega un papel significativo ya que es uno de los principales promotores de este tipo de proyectos, diseñando estrategias de financiamiento, en colaboración con el sector privado, principalmente para el sector comercial e industrial e impulsando la instalación de sistemas fotovoltaicos en los edificios públicos.
- Las políticas sectoriales y los programas de educación deben promover la formación de profesionales que cuenten con las habilidades que se requieren en la cadena de valor de las energías renovables y la investigación y/o desarrollo de tecnologías (batería, redes inteligentes) que permitan hacer frente a la problemática del límite de capacidad de las redes de distribución y transmisión que actualmente impiden el total aprovechamiento de la generación de energía renovables y el aumento de la demanda eléctrica en Yucatán.
- El desarrollo de las energías renovables contribuirá con una reactivación económica verde, posterior a la pandemia de COVID-19 a nivel estatal. Con base en el análisis presentado, se infiere que la inversión en generación distribuida resultaría fundamental para la recuperación debido a su potencial de ahorro económico, a través de lo cual se podría detonar la generación de empleos, así como extender un efecto multiplicador sobre otras cadenas de valor relevantes para la economía del estado y la región.

GLOSARIO

Central Eléctrica	Instalaciones y equipos que, en un sitio determinado, permiten generar energía eléctrica.
Co-beneficio	Cumplimiento simultáneo de varios intereses u objetivos resultantes de una intervención de política pública, una inversión del sector privado o una combinación de ambas (Helgenberg, <i>et al.</i> , 2019).
Energía limpia	La energía limpia es aquella que durante su producción contamina menos en comparación con la energía proveniente de fuentes fósiles. En México, son consideradas como energías limpias: solar, eólica, mareomotriz, biomasa, geotérmica, hidroeléctricas, nuclear, térmica con procesos de secuestro y captura de carbono, y tecnologías de ciclo combinado de alta eficiencia.
Energías renovables	La energía renovable es aquella que se obtiene a partir de una fuente que no se acaba. Existen tipos de energía que son renovables porque provienen de un recurso inagotable y a la vez son limpias porque contaminan mínimamente el medio ambiente, pero no necesariamente todas las energías que son limpias provienen de fuentes renovables. Se consideran como energías renovables las siguientes (DOF, 2014): viento, radiación solar en todas sus formas, hidroeléctrica, energía oceánica en todas sus formas, geotermia y bioenergía.
Esquema de contraprestación	Un esquema de contraprestación es un modelo de contrato que se establece entre CFE y los usuarios de un sistema de generación distribuida para la compra y venta de energía eléctrica.
Generación distribuida	Aplica a centrales eléctricas limpias menores a 500 kW. No requiere permiso ante la CRE y puede ser instalada por cualquier tipo de consumidor.
Generador	Titular de uno o varios permisos para generar electricidad en Centrales Eléctricas o, bien, titular de un contrato de Participante de Mercado que representa en el Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) a dichas centrales.
Mercado Eléctrico Mayorista	Mercado operado por el CENACE en el que se realizan operaciones de compra y venta de energía eléctrica, potencia, certificados de energía limpia y servicios conexos.
NodoP	Nodo de fijación de precios que corresponde a uno o varios nodos de conectividad de la red.
Potencia pico (Wp, kWp)	La potencia pico es la máxima que genera un panel o conjunto de paneles en las horas de máxima insolación: 1000 w/m ² (energía incidente por metro cuadrado) y a 25 °C de temperatura ambiente.
Precio Marginal Local	El Precio Marginal Local (PML) se define como el precio de la energía eléctrica en un NodoP determinado del Sistema Eléctrico Nacional.

Red Eléctrica	Sistema integrado por líneas, subestaciones y equipos de transformación, compensación, protección, conmutación, medición, monitoreo, comunicación y operación, entre otros, que permiten la transmisión y distribución de energía eléctrica.
Red Nacional de Transmisión	Sistema integrado por el conjunto de las redes eléctricas que se utilizan para transportar energía eléctrica a las Redes Generales de Distribución y al público en general.
Redes Generales de Distribución	Redes Eléctricas que se utilizan para distribuir energía eléctrica al público en general.
Tarifa GDBT	Tarifa aplicada a todos los servicios que destinen la energía en baja tensión a cualquier uso, con demanda de más de 25 kilowatts.
Tarifa GDMTH	Tarifa aplicada a los servicios que destinen la energía a cualquier uso, suministrados en media tensión, con una demanda igual o mayor a 100 kW.
Tarifa GDMTO	Tarifa aplicada a los servicios que destinen la energía a cualquier uso, suministrados en media tensión, con una demanda menor a 100 kW.
Tarifa PDBT	Tarifa aplicada a todos los servicios que destinen la energía en baja tensión a cualquier uso, con demanda hasta de 25 kilowatts.
Tarifas DIST y DIT	Tarifa que se aplica a los servicios que destinan la energía a cualquier uso, suministrados en alta tensión, nivel subtransmisión, y que, por las características de utilización de su demanda, soliciten inscribirse en este servicio, el cual tendrá vigencia mínima de un año.

BIBLIOGRAFÍA

ABM. (2017). *Mercado de energía fotovoltaica de baja escala*. Obtenido de Generación distribuida: https://www.abm.org.mx/descargas/Paneles_Solares_2017.pdf

ABM. (2017). Mercado de Energía Solar Fotovoltaica de Baja Escala. *Generación Distribuida*.

ANUIES. (2019). *Anuario Educación Superior – Licenciatura*. Obtenido de <http://www.anui.es.mx/informacion-y-servicios/informacion-estadistica-de-educacion-superior/anuario-estadistico-de-educacion-superior>

CENACE. (5 de Enero de 2017). *Servicios Conexos*. Obtenido de <https://www.cenace.gob.mx/SIM/VISTA/REPORTES/ServConexosSisMEM.aspx>

CENACE. (2019). *Precios Marginales Locales*. Obtenido de <https://www.cenace.gob.mx/SIM/VISTA/REPORTES/PreEnergiaSisMEM.aspx>

CFE. (2017). *Informe Anual 2017*. Obtenido de https://www.cfe.mx/inversionistas/Documents/informe_anual/InformeAnual2017_CFE_vF-031018.pdf

CFE. (2018). Usuarios y consumos de electricidad por municipio.

CFE. (2019). *Esquema tarifario vigente*. Obtenido de <https://www.cfe.mx/tarifas/Pages/Tarifas.aspx>

CFE. (2020). *Consulta tu tarifa*. Obtenido de Esquema tarifario vigente. Hogar: <https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/TarifasCRECasa/Casa.aspx>

COFEMER. (27 de mayo de 2019). *Acuerdo por el que la CRE emite el modelo de contrato con el suministrador de servicios básicos y su metodología de contraprestación aplicable a GD colectiva*. Obtenido de <http://187.191.71.192/portales/resumen/47035>

Columbia Center on Sustainable Investment, Equitable Origin, Business & Human Rights Resources Centre and Sustainable Development Network. (2019). *Mapping the Renewable Energy Sector to the Sustainable Development Goals: An Atlas*. Obtenido de [unsdsn.org](http://unsdsn.org/wp-content/uploads/2019/06/190603-mapping-renewables-report-interactive.pdf): <http://unsdsn.org/wp-content/uploads/2019/06/190603-mapping-renewables-report-interactive.pdf>

CRE. (7 de marzo de 2017). *Disposiciones administrativas de carácter general...aplicables a centrales eléctricas de generación distribuida y generación limpia distribuida*. Recuperado el 30 de August de 2019, de RESOLUCIÓN Núm. RES/142/2017: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5474790&fecha=07/03/2017

CRE. (7 de junio de 2018). *Centrales Eléctricas de Generación Distribuida*. Obtenido de Datos Abiertos: <https://datos.gob.mx/busca/dataset/centrales-electricas-de-generacion-distribuida>

CRE. (2019). *Evolución de Contratos de Pequeña y Mediana Escala/Generación Distribuida*.

CRE. (2020). *Solicitudes de interconexión de Centrales Eléctricas con capacidad menor a 0.5 MW. Contratos Interconexión de Pequeña y Mediana Escala/Generación Distribuida*.

David Keyser, F. F.-E. (septiembre de 2016). *National Renewable Energy Laboratory (NREL)*. (NREL, Ed.) Recuperado el June de 2018, de User Guide for the International Jobs and Economic Development Impacts Model: <https://www.nrel.gov/docs/fy16osti/67036.pdf>

Deloitte. (abril de 2018). *Power Market Study 2030: a new outlook of the energy industry*. Obtenido de Monitor Deloitte: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/de/Documents/energy-resources/Deloitte-Power-Market-Study-2030-EN.pdf>

- DOF.** (2014). *Ley de la Industria Eléctrica*. Obtenido de Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LIElec_110814.pdf
- DOF.** (2015). *Ley de Transición Energética*. Obtenido de Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LTE.pdf>
- DOF.** (2018). *Ley General de Cambio Climático*. Obtenido de Diario Oficial de la Federación: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCC_130718.pdf
- GIZ.** (2019). *Taller de Presentación de Resultados del Proyecto de protección climática “Co-beneficios sociales, ambientales y económicos de las energías renovables y la eficiencia energética en México”*. Mexico City. Recuperado el september de 2019
- Gobierno de México.** (2020). *Contribución Determinada a nivel Nacional: México. Versión actualizada 2020*. Obtenido de <https://www.gob.mx/semarnat/documentos/contribucion-determinada-a-nivel-nacional>
- Gobierno del Estado de Yucatán .** (2014). *Programa Especial de Acción ante el Cambio Climático del Estado de Yucatán*. Mérida.
- Gobierno del Estado de Yucatán.** (2019). *Plan Estatal de Desarrollo de Yucatán 2018-2024*. Mérida.
- Gobierno Federal de México.** (2019). *Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024*. Presidencia de la República de México. Gobierno Federal de México.
- Helgenberg, S., Jänicke, M., & Görtler, K.** (2019). Co-benefits of Climate Change Mitigation. *Climate Action. Encyclopedia of the Sustainable Development Goals*. (W. Leal Filho, A. Azul, P. Brandli, P. Özuyar, & T. Wall, Edits.) Springer.
- IASS Potsdam.** (2017). *Mobilizing the co-benefits of climate change mitigation: Connecting opportunities with interests in the new energy world of renewables*. Obtenido de IASS Discussion Papers and IASS Working Papers: https://publications.iass-potsdam.de/rest/items/item_2348917_7/component/file_2666888/content
- INEGI.** (2017). *Anuario estadístico y geográfico del estado de Yucatán 2017*.
- INEGI.** (2019). *PIB y cuentas nacionales*. Obtenido de <https://www.inegi.org.mx/datos/default.html?t=0190#Temas>
- IRENA.** (junio de 2020). *The Post-COVID Recovery: An Agenda for Resilience, Development and Equality*. Obtenido de Publications: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jun/IRENA_Post-COVID_Recovery_2020.pdf
- Lazard.** (noviembre de 2018). *Lazard’s Levelized Cost of Electricity Analysis: Version 12.0*. Obtenido de <https://www.lazard.com/media/450784/lazards-levelized-cost-of-energy-version-120-vfinal.pdf>
- Montt, G., & al., e.** (marzo de 2018). *The transition in play: Worldwide employment trends in the electricity sector*. (I. L. Office, Ed.) Obtenido de Research Department Working Paper No. 28: http://www.oit.org/wcmsp5/groups/public/---dgreports/---inst/documents/publication/wcms_625865.pdf
- NREL.** (febrero de 2012). *Cost & Performance Data for Power Generation Technologies*. Obtenido de <https://www.bv.com/docs/reports-studies/nrel-cost-report.pdf>
- OIT.** (2011). *Skills and Occupational Needs in Renewable Energy*. Geneva.
- ONU.** (2020). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Obtenido de Objetivos: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/>
- Presidencia de la República.** (28 de diciembre de 2018). DECRETO por el que se formula la Declaratoria de las Zonas de Atención Prioritaria para el año 2019. México: DOF.
- Rutovitz, J., & Atherton, A.** (septiembre de 2009). *Energy Sector Jobs to 2030: A Global Analysis*. (G. International, Ed.) Obtenido de <https://secured-static.greenpeace.org/international/Global/international/planet-2/binaries/2009/9/energy-sector-jobs-to-2030.pdf>
- SENER.** (26 de abril de 2018). *Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios 2016*. Obtenido de <https://www.gob.mx/conuee/acciones-y-programas/estrategia-de-transicion-para-promover-el-uso-de-tecnologias-y-combustibles-mas-limpios-2016>
- SENER.** (14 de junio de 2019). *Prodesen 2019-2033*. Obtenido de <https://www.gob.mx/sener/articulos/prodesen-2019-2033-221654>

ANEXO 1.

Habilidades y necesidades ocupacionales en energía renovables

La siguiente tabla muestra el tipo de especialistas que se requieren en la cadena de valor de los proyectos de energía solar fotovoltaica y eólica, así como el nivel de cualificación requerido; este último se encuentra expresado mediante las siguientes letras:

- **A** — Altamente cualificado (Profesionales y especialistas)
- **M** — Media cualificación (Técnicos)
- **B** — Baja cualificación

Elementos de la cadena de valor	Energía Eólica	Energía Solar Fotovoltaica
Fabricación y distribución de equipos	<ul style="list-style-type: none"> • Ingenieros de investigación y desarrollo: informática, eléctrica ambiental, mecánica, diseño de energía eólica (A) • Ingenieros de software (A, M) • Modeladores (pruebas de prototipos) (A, M) • Mecánica industrial (M) • Ingenieros de fabricación (A) • Técnicos de fabricación (M) • Operadores de fabricación (B) • Expertos en garantía de calidad de fabricación (A, M) • Certificadores (A) • Profesionales de la logística (A, M) • Operadores logísticos (B) • Transportadores de equipos (B) • Profesionales de adquisiciones (A, M) • Especialistas en marketing (A, M) • Personal de ventas (A, M) 	<ul style="list-style-type: none"> • Investigadores (químicos, físicos, ingenieros con especialización en electricidad, mecánica, química, materiales, diseño de sistemas o ingeniería de procesos) (A) • Técnicos y asistentes de laboratorio químico (M) • Ingenieros de software (A, M) • Modeladores (A) • Ingenieros de fabricación (A) • Técnicos de fabricación (A, M) • Operadores de fabricación (M, B) • Especialistas en sistemas de construcción (A) • Expertos en garantía de calidad de fabricación (A, M) • Profesionales de la logística (A, M) • Operadores logísticos (B) • Transportadores de equipos (B) • Profesionales de adquisiciones (A, M) • Especialistas en marketing (M, A) • Personal de ventas (M, A)
Desarrollo del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> • Diseñadores de proyectos (ingenieros) (A) • Especialistas en evaluación de impacto ambiental (A, M) • Especialistas económicos, financieros y de riesgo (A) • Científicos atmosféricos (A) 	<ul style="list-style-type: none"> • Diseñadores de proyectos (ingenieros) (A) • Arquitectos (pequeños proyectos) (A) • Científicos y meteorólogos atmosféricos (A) • Especialistas en evaluación de recursos y evaluadores de sitios (A)

Elementos de la cadena de valor	Energía Eólica	Energía Solar Fotovoltaica
Desarrollo del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> • Especialistas en impacto social (A) • Abogados (contrato de alimentación, conexión a la red y contrato de financiación, permiso de construcción, contrato de compra de energía) (A) • Planificadores (seguimiento, modificación y aplicación de permisos) (A) • Asesor de desarrollo territorial (A) • Negociador del uso de la tierra (A) • Cabildero (A) • Mediador (A) • Representantes de ONG ambientales y sociales (A, M) • Oficiales de relaciones públicas (A) • Profesionales de adquisiciones (A, M) • Especialista en evaluación de recursos eólicos (A) • Geógrafos (A) 	<ul style="list-style-type: none"> • Consultor ambiental (A) • Abogados (A) • Representantes de financiadores de deuda (A) • Desarrolladores / facilitadores (A, M) • Asesor de desarrollo territorial (A) • Negociador del uso de la tierra (A) • Cabildero (A) • Mediador (A) • Representantes de ONG ambientales y sociales (A, M) • Oficial de relaciones públicas (A) • Profesionales de adquisiciones (A, M) • Especialistas en evaluación de recursos (A)
Construcción e instalación	<ul style="list-style-type: none"> • Jefes de proyecto (A) • Ingenieros eléctricos, civiles y navales (A) • Instaladores de pequeños aerogeneradores (M) • Electricistas de construcción (M) • Técnico de líneas eléctricas (M) • Trabajador de la construcción (M, B) • Inspectores de control de calidad (M) • Técnicos de instrumentación y control (M) • Desarrolladores comerciales (A) • Ingeniero de puesta en servicio (eléctrico) (A) • Trabajadores de transporte (B) 	<ul style="list-style-type: none"> • Diseñador de sistemas (ingenieros eléctricos o tecnólogos) (A, M) • Electricistas especialistas en energía solar (M) • Techadores especializados en diseñadores de sistemas solares (M) (ingenieros eléctricos / mecánicos / estructurales) • Instaladores (M) • Diseñadores y gerentes de proyectos (A) • Evaluadores de proyectos e instalaciones (A, M) • Profesionales de la construcción (A) • Instaladores (M) • Ingenieros de software (A, M) • Especialistas en garantía de calidad (A, M) • Desarrolladores comerciales (A) • Ingeniero de puesta en servicio (eléctrico) (A) • Trabajadores de transporte (B)
Operación y mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Técnico mecánico o instalador / técnico de mecatrónica de servicio eólico (A, M) • Especialistas en operación y mantenimiento (M) • Técnico de líneas eléctricas (M) • Electricistas de campo (M) 	<ul style="list-style-type: none"> • Especialistas en mantenimiento fotovoltaico (electricistas especialistas en energía solar) (M) • Inspectores (M, B) • Especialistas en reciclaje (A)
Actividades transversales/ Facilitadoras	<p>Responsables de políticas públicas y trabajadores de oficinas gubernamentales (A, M), personal de asociaciones comerciales y sociedades profesionales (A, M, B), educadores y formadores (A), gestión (A, M), administración (A, M, B), editores y escritores científicos (A, M), representantes de aseguradoras (A, M), profesionales de TI (A, M), profesionales de recursos humanos (A), otros profesionales financieros (contadores, auditores y financieros) (H), consultores de salud y seguridad (A, M).</p>	

ANEXO 2.

Metodología para estimar los ahorros generados bajo los esquemas *net metering* y venta total a nivel estatal y municipal en el estado de Yucatán

1. Proyección del consumo de electricidad a nivel estatal y municipal en Yucatán para el periodo 2020-2049 (Ec. 1.1, 1.2)

2. Proyección del consumo de electricidad por sector tarifario a nivel estatal y municipal en Yucatán para el periodo 2020-2049 (Ec. 2.1, 2.2)

3. Proyección de las tarifas de CFE para el periodo de 2020-2049 (Ec. 3)

4. Estimación de la capacidad instalada de generación distribuida en Yucatán en el periodo 2020-2049 (Ec. 4.1, 4.2)

5. Estimación de la capacidad instalada de generación distribuida por tipo de usuario a nivel estatal y municipal en Yucatán (2020-2049) (Ec. 5.1, 5.2)

6. Cuantificación de ahorros bajo el esquema *net metering* (Ec. 6.1, 6.2)

7. Cuantificación de ahorros bajo el esquema de venta local (Ec. 7.1, 7.2)

Lista de ecuaciones aplicadas durante el cálculo

Elemento calculado	Ecuación (Ec)	VARIABLES	Fuente de información
1. Proyección del consumo eléctrico a nivel estatal y municipal	1.1. Nivel estatal	<p>ECS_i = Valor, en MWh/año, del consumo eléctrico registrado (a nivel estatal) en Yucatán en el 2018⁽¹⁾:</p> <p>Yucatán: 3,622,797.29 MWh/año</p>	(1) CFE, 2018 (2) PRODESEN 2019—2033
	$ECS_n = [(CAGR + 1)^n] * ECS_i$	<p>ECM_i = Valor, en MWh/año, del consumo eléctrico registrado en cada uno de los municipios de Yucatán en el 2018 (1).</p> <p>CAGR = Tasa anual compuesta de crecimiento del consumo de electricidad en Yucatán⁽²⁾:</p> <p>Yucatán: 3.8 %</p> <p>n = Número de años (1, 2, 3, ...).</p>	
2. Proyección del consumo de energía eléctrica por tipo de usuario a nivel estatal y municipal en Yucatán para el período 2020-2049	1.2. Nivel municipal	<p>$ECM_n = [(CAGR + 1)^n] * ECM_i$</p> <p>$ECS_n$ = Valor estimado, en MWh/año, del consumo de electricidad en Yucatán (nivel estatal) en el año "n".</p> <p>ECM_n = Valor estimado, en MWh/año, del consumo de electricidad en "x" municipio de Yucatán en el año "n".</p>	
	2.1. Nivel estatal	<p>$ECTS_{x,n} = [(CAGR + 1)^n] * ECTS_{x,i}$</p> <p>$ECTS_{x,n}$ = Valor, en MWh/año, del consumo de electricidad registrado en el sector tarifario "x", en el año "n" a nivel estatal en Yucatán.</p> <p>$ECTS_{x,i}$ = Valor, en MWh/año, del consumo de electricidad registrado en el sector tarifario "x", en el 2018, a nivel estatal en Yucatán.</p> <p>CAGR = Tasa anual compuesta de crecimiento del consumo de electricidad en Yucatán⁽²⁾:</p> <p>Yucatán: 3.8 %</p> <p>n = Número de años (1, 2, 3, ...).</p>	
	2.2. Nivel municipal	<p>$ECTM_{x,n} = [(CAGR + 1)^n] * ECTM_{x,i}$</p> <p>$ECTM_{x,n}$ = Valor, en MWh/año, del consumo de electricidad registrado en el sector tarifario "x", en el año "n" a nivel municipal en Yucatán.</p> <p>$ECTM_{x,i}$ = Valor, en MWh/año, del consumo de electricidad registrado en el sector tarifario "x", en el 2018, a nivel municipal en Yucatán.</p>	

Elemento calculado	Ecuación (Ec)	Variables	Fuente de información
3. Proyección de tarifas eléctricas de CFE para el periodo 2020-2049	$TF_n = [(CAGRT + 1)^n] * T_i$	<p>T_i = Tarifa de CFE, en \$MXN/MWh, registrada en 2018 por sector y region ⁽³⁾.</p> <p>CAGRT = Tasa anual compuesta de crecimiento de las tarifas de CFE ⁽⁴⁾:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Domésticas (1-1F): 2.6 % • DAC: 4.8 % • Industriales y comerciales (PDBT, GDBT, GDMTH, GDMTO, DIS, DIT): 3.6 % <p>n = número de años (1, 2, 3, ...).</p> <p>TF_n = Tarifa estimada, en \$MXN/MWh, por sector en el año "n".</p>	<p>(3) CFE, 2019</p> <p>(4) ABM, 2017</p>
4. Estimación de la capacidad instalada de generación distribuida en Yucatán. (Nivel estatal y municipal)	4.1. Nivel estatal $DGS_n = DGN_n \times (\%DGS_i)$	<p>DGS_n = Capacidad instalada de generación distribuida (MW) estimada a nivel estatal en el año "n" bajo el escenario MLTE o TCC.</p> <p>DGN_n = Capacidad instalada de generación distribuida (MW) estimada a nivel nacional en el año "n" bajo el escenario MLTE o TCC.</p> <p>$\%DGS_i$ = Porcentaje de capacidad instalada de generación distribuida en Yucatán (nivel estatal) en el 2018 ⁽⁵⁾:</p> <p>Yucatan: 4 %</p>	(5) CRE, 2019
	4.2. Nivel municipal $DGM_n = DGS_n \times (\%ECM_i)$	<p>DGM_n = Capacidad estimada de generación distribuida instalada (MW) a nivel municipal en el año "n" bajo los escenarios MLTE y TCC.</p> <p>DGS_n = Capacidad instalada de generación distribuida (MW) estimada a nivel estatal en el año "n" bajo el escenario MLTE o TCC.</p> <p>$\%ECM_i$ = Porcentaje (respecto al total estatal) de consumo eléctrico registrado en determinado municipio en el año 2018 ⁽⁶⁾.</p>	(6) CFE, 2018
5. Estimación de la capacidad instalada de generación distribuida por tarifa a nivel estatal y municipal	5.1. Nivel estatal $DGTS_{x,n} = \%ECTS_{x,n} \times (DGS_n)$	<p>$DGTS_{x,n}$ = Capacidad estimada de generación distribuida instalada (MW) a nivel estatal en la tarifa "x" en el año "n".</p> <p>$\%ECTS_{x,n}$ = Porcentaje de electricidad consumida (respecto al total estatal) en la tarifa "x", en el año "n" a nivel estatal en Yucatán.</p> <p>DGS_n = Capacidad instalada de generación distribuida (MW) estimada a nivel estatal en el año "n" bajo el escenario MLTE o TCC.</p>	

Elemento calculado	Ecuación (Ec)	Variables	Fuente de información
5. Estimación de la capacidad instalada de generación distribuida por tarifa a nivel estatal y municipal	<p>5.2. Nivel municipal</p> $DGMT_{x,n} = \%ECTM_{x,n} \times (DGM_n)$	<p>$DGMT_{x,n}$ = Capacidad estimada de generación distribuida instalada (MW) a nivel municipal en la tarifa "x" en el año "n".</p> <p>$\%ECTM_{x,n}$ = Porcentaje de electricidad consumida (respecto al total estatal) en la tarifa "x", en el año "n" a nivel municipal en Yucatán.</p> <p>DGM_n = Capacidad estimada de generación distribuida instalada (MW) a nivel municipal en el año "n" bajo los escenarios MLTE y TCC.</p>	
6. Cuantificación de ahorros bajo el esquema de <i>net metering</i>	<p>6.1. Nivel estatal</p> $NMSS_{x,n} = (FBAUS_{x,n} - FNMS_{x,n}) - (LCOE \times GS_{x,n})$ $\%NMSS = \frac{NMSS_{x,n}}{FBAUS_{x,n}} \times 100$ <p>Donde:</p> $FNMS_{x,n} = CNTS_{x,n} \times TF_n$ $FBAUS_{x,n} = ETCS_{x,n} \times TF_n$ $CNTS_{x,n} = ETCS_{x,n} \times GS_{x,n}$ $GS_{x,n} = DGTS_{x,n} \times SH \times FP$	<p>$NMSS_{x,n}$ = Costos estimados bajo el esquema de <i>net metering</i> en la tarifa "x", en el año "n" a nivel estatal.</p> <p>$FNMS_{x,n}$ = Costos de la electricidad en la tarifa "x", en el año "n", bajo el esquema <i>net metering</i> a nivel estatal.</p> <p>$FBAUS_{x,n}$ = Costos de la electricidad sin el esquema <i>net metering</i> en la tarifa "x", en el año "n" a nivel estatal.</p> <p>$LCOE$ = Costo nivelado de energía = 0.80 MXN / kWh.</p> <p>$GS_{x,n}$ = Generación de electricidad en la tarifa "x" en el año "n" a nivel estatal.</p> <p>$CNTS_{x,n}$ = Consumo neto de energía en la tarifa "x" en el año "n" a nivel estatal.</p> <p>SH = Horas de sol al año = 8,760 hrs.</p> <p>FP = Factor de planta promedio para los sistemas fotovoltaicos en México: 17 % ⁽⁷⁾.</p>	(7) PRODESEN 2018-2032
	<p>6.2. Nivel municipal</p> $NMSM_{x,n} = (FNMM_{x,n} - FBAUM_{x,n}) - (LCOE \times GS_{x,n})$ $\%NMSM = \frac{NMSM_{x,n}}{FBAUS_{x,n}} \times 100$ <p>Donde:</p> $FNMM_{x,n} = CNTM_{x,n} \times TF_n$ $FBAUM_{x,n} = ETCM_{x,n} \times TF_n$ $CNTM_{x,n} = ETCM_{x,n} \times GM_{x,n}$ $GM_{x,n} = DGMT_{x,n} \times SH \times FP$	<p>$NMSM_{x,n}$ = Costos estimados bajo el esquema de <i>net metering</i> en la tarifa "x", en el año "n" a nivel municipal.</p> <p>$FNMM_{x,n}$ = Costos de la electricidad en la tarifa "x", en el año "n", bajo el esquema <i>net metering</i> a nivel municipal.</p> <p>$FBAUM_{x,n}$ = Costos de la electricidad sin el esquema <i>net metering</i> en la tarifa "x", en el año "n" a nivel municipal.</p> <p>$\%NMSM$ = Porcentaje de ahorro estimado bajo el esquema <i>net metering</i> por tarifa "x" en el año "n" a nivel estatal.</p> <p>$LCOE$ = Costo nivelado de energía = 0.80 MXN / kWh.</p> <p>$GM_{x,n}$ = Generación de electricidad en la tarifa "x" en el año "n" a nivel municipal.</p> <p>$CNTM_{x,n}$ = Consumo neto de energía en la tarifa "x" en el año "n" a nivel municipal.</p> <p>SH = Horas de sol al año = 8,760 hrs.</p> <p>FP = Factor de planta promedio para los sistemas fotovoltaicos en México: 17 % ⁽⁷⁾.</p>	

Elemento calculado	Ecuación (Ec)	Variables	Fuente de información
7. Cuantificación de ahorros bajo el esquema de venta total	<p>7.1. Nivel estatal</p> $NWSS_{x,n} = FBAUS_{x,n} - FNWS_{x,n}$ $\%NWSS = \frac{NWSS_{x,n}}{FBAUS_{x,n}} \times 100$ <p>Donde:</p> $FNWS_{x,n} = FBAUW_{x,n} - [FWS_{x,n} - (LCOE \times GS_{x,n})]$ $FWS_{x,n} = GS_{x,n} \times \overline{PML}_{y,n}$	<p>$NWSS_{x,n}$ = Costos estimados bajo el esquema de venta total en la tarifa "x", en el año "n" a nivel estatal.</p> <p>$FWS_{x,n}$ = Costos de la electricidad en la tarifa "x", en el año "n", bajo el esquema venta total, a nivel estatal.</p> <p>$\overline{PML}_{y,n}$ = PML promedio en el nodo "y", en el año "n". Se supone un crecimiento anual del 3.5 %. Se asumieron los precios del nodo Ticul (Yucatán).</p> <p>$FNWS_{x,n}$ = Facturación neta bajo el esquema de venta total en la tarifa "x", en el año "n" a nivel estatal.</p> <p>$FBAUW_{x,n}$ = Costos de la electricidad sin el esquema venta total en la tarifa "x", en el año "n" a nivel estatal.</p> <p>$\%NWSS$ = Porcentaje de ahorro estimado bajo el esquema de venta total por tarifa "x" en el año "n" a nivel estatal.</p>	
	<p>7.2. Nivel municipal</p> $NWSM_{x,n} = FBAUM_{x,n} - FNWM_{x,n}$ $\%NWSM = \frac{NWSM_{x,n}}{FBAUM_{x,n}} \times 100$ <p>Donde:</p> $FNWM_{x,n} = FBAUW_{x,n} - [FWM_{x,n} - (LCOE \times GM_{x,n})]$ $FWM_{x,n} = GM_{x,n} \times \overline{PML}_{y,n}$	<p>$FWM_{x,n}$ = Costos de la electricidad en la tarifa "x", en el año "n", bajo el esquema venta total, a nivel municipal.</p> <p>$FNWM_{x,n}$ = Facturación neta bajo el esquema de venta total en la tarifa "x", en el año "n" a nivel municipal.</p> <p>$NWSM_{x,n}$ = Costos estimados bajo el esquema de venta total en la tarifa "x", en el año "n" a nivel municipal.</p> <p>$\%NWSM$ = Porcentaje de ahorro estimado bajo el esquema de venta total por tarifa "x" en el año "n" a nivel municipal.</p>	



<https://iki-alliance.mx/>
 @Conecc_Mx