

Análisis de Oportunidades Potenciales de Eficiencia Energética (EE) y Energías Renovables (ER) en los Servicios de Agua Municipales

2021



MEDIO AMBIENTE
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



INECC
INSTITUTO NACIONAL
DE ECOLOGÍA Y
CAMBIO CLIMÁTICO



CLEAN ENERGY
INVESTMENT
ACCELERATOR

Análisis de oportunidades potenciales de eficiencia energética (EE) y energías renovables (ER) en los servicios de agua municipales



Directorio

Dra. María Amparo Martínez Arroyo

Directora General del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático

Elaboración, edición, revisión y supervisión:

Dra. Claudia Octaviano Villasana

Coordinadora General de Mitigación al Cambio Climático

Ing. Eduardo Olivares Lechuga

Director de Proyectos Estratégicos en Tecnologías de Bajo Carbono

M. en I. Gabriela Mariscal Jurado

Subdirectora de Modelación y Análisis de Políticas de Mitigación

Dr. Ing. Roberto Ulises Ruiz Saucedo

Subdirector de Innovación y Transferencia Tecnológica

Reporte: Análisis de oportunidades potenciales de eficiencia energética (EE) y energías renovables (ER) en los servicios de agua municipales

Preparado por:

Samantha López, Clean Energy Coordinator, World Resources Institute Mexico

Fernanda Delgado Luna, Consultant for World Resources Institute Mexico

Inder Rivera, Clean Energy Manager, World Resources Institute Mexico

Jason Venetoulis, Chief Solar & Sustainability Officer, Allotrope Partners

Michelle Murphy Rogers, Senior Director, Clean Energy Advisory Practice, Allotrope Partners

Alicen Kandt, Senior Engineer, National Renewable Energy Laboratory

Christopher Hallock, Researcher, National Renewable Energy Laboratory

Norma Hutchinson, Research Analyst, World Resources Institute

Por encargo de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) con apoyo del NDC Partnership's Climate Action Enhancement Package (CAEP)

D.R. © 2021 Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático

Blvd. Adolfo Ruíz Cortines 4209,

Jardines en la Montaña, Ciudad de México. C.P. 14210

<http://www.gob.mx/inecc>

La SEMARNAT e INECC también reconocen que el Acelerador de Inversiones en Energía Limpia (CEIA) apoyó la elaboración de este estudio. CEIA está dirigido conjuntamente por el Instituto de Recursos Mundiales (WRI), Allotrope Partners y el Laboratorio Nacional de Energía Renovable de EE. UU. (NREL). Se agradece el apoyo de los Organismos Operadores de Agua de: Durango, Mexicali y Torreón.

Foto de portada: Pixabay.



Resumen ejecutivo

Los servicios de agua en México tienen un consumo de energía de 3,969.47 millones de kWh por año (9,241 millones de pesos), este consumo de energía aumenta anualmente en un 5%. Para las empresas u organismos operadores de agua (OOAs), cambiar el modelo comercial de la inversión en activos a la compra de servicios energéticos y a contratos de compra de energía tiene el potencial de generar ahorros de electricidad y reducciones de emisiones de GEI.

Aunque hay varios programas disponibles para las empresas de agua, no hay ninguno que se centre exclusivamente en medidas de eficiencia energética o soluciones de energía renovable. Solo el 4.1% de los proyectos PRODDER localizables y el 1.3% de los proyectos PROAGUA localizables estaban relacionados con la eficiencia energética. Se identificaron solo 9 OOAs de los 2,688 existentes en México que tienen proyectos de energía limpia. Además, hay fondos federales disponibles, pero han disminuido considerablemente en los últimos años, alcanzando solo un tercio de los fondos observados en 2016, como se muestra en la Sección 3.

Este estudio explora medidas para optimizar la demanda, y que pueden tener beneficios y generar ahorros para los organismos operadores. Las oportunidades de EE pueden reproducirse en todos los OOAs, ya que las tecnologías son lo suficientemente avanzadas comercialmente y están disponibles. Las soluciones de EE relacionadas con el bombeo tienen un gran potencial en los tres OOAs incluidos en el estudio ya que las bombas de agua potable consumen al menos el 75% de la electricidad total en las instalaciones. Se identificaron dos oportunidades principales de relacionadas con energía renovable para OOAs: (1.) generación en el sitio (individual y agregada) y (2.) la compra de energía a través de acuerdos de compra de energía (PPA). En casi todos los casos, el costo de la electricidad obtenida a través de un PPA puede ser entre 10-30% más bajo que las tarifas de los servicios públicos actuales, dependiendo del volumen de energía, la correlación entre el consumo y la generación, la dispersión/concentración de los centros de carga y la solvencia del usuario final.

El nuevo esquema de tarifas puede haber dado lugar a un aumento exponencial de los costos de la electricidad para las OOAs, pero también representa una oportunidad para la gestión de la energía. Esta fuerte señal de mercado es más efectiva que las regulaciones ambientales para buscar cambios operativos y reducción del consumo de energía. Los OOAs descentralizados tienen experiencia en la gestión de la energía y el monitoreo, pero por lo general carecen de financiación, tienen un conocimiento superficial del marco jurídico energético y no necesariamente tienen experiencia en contratación en dicho sector o las facultades para invertir en un sistema fotovoltaico. Se podrían implementar nuevos modelos comerciales con poca o ninguna inversión (como un PPA). Los OOAs deben llevar libros contables actualizados para demostrar su solidez financiera. Además, los recursos actuales de CONAGUA podrían usarse como crédito para Los OOAs o garantías para desarrolladores privados.



Contenido

Resumen ejecutivo	7
Contenido.....	8
Tablas y Figuras	11
Abreviaturas y acrónimos.....	13
1. Introducción.....	16
2. NDC de México y su relevancia para los sectores de agua y saneamiento	17
2.1 Vulnerabilidad del sector del agua al cambio climático	17
2.2 Importancia de la eficiencia energética y las energías renovables para los sectores de agua y aguas residuales	19
3. Antecedentes y actores clave en los sectores mexicano de agua y saneamiento	20
3.1 Sectores de agua y saneamiento: principales actores y estructura organizativa de las empresas de agua.....	20
3.2 Consumo de energía de los servicios públicos de agua.....	22
3.3 Evolución de la tarifa eléctrica de las empresas de agua	25
3.4 Impacto de las nuevas tarifas en las empresas de agua.....	28
3.5 Fondos disponibles para los servicios públicos de agua	29
3.6 Marco del sector energético: alternativas para la adquisición de energía	35
Generación in situ: generación distribuida (hasta 500 kW)	36
Generación in situ: superior a 500 kW	36
Proveedor calificado y usuario calificado	36
Mensajes clave	38
4. Municipios seleccionados.	39
5. Análisis de oportunidades potenciales de eficiencia energética (EE) en los servicios de agua municipales	43
5.1 Políticas e incentivos para promover un uso más eficiente del agua por parte de los clientes	44
5.2 Cambios operativos o de proceso para ahorrar energía en las instalaciones de tratamiento	45
5.3 Soluciones técnicas para ahorrar energía en las instalaciones de tratamiento.....	46



5.4 Oportunidades de eficiencia energética en Mexicali	51
5.5 Oportunidades de eficiencia energética en Durango.....	55
5.6 Oportunidades de eficiencia energética en Torreón	59
5.7 Conclusiones sobre oportunidades de eficiencia energética.....	61
Mensajes clave	63
6. Análisis de las oportunidades potenciales de energía renovable (ER) en las empresas de servicios de agua municipales.....	64
Barreras.....	66
Herramientas y análisis de viabilidad	67
6.1 Compra de energía solar y eólica.....	68
6.1.1 Comprar un sistema de energía renovable en el sitio	68
6.1.2 Comprar la energía que genera un sistema a través de un PPA.....	69
6.2 ER para empresas de agua en México	71
6.3 Costos de energía y retorno de la inversión en ER.....	74
6.4 Conclusión: Adquisición de ER para instalaciones de tratamiento de agua	78
Mensajes clave	79
7. Estrategia financiera: EE + RE	80
7.1 Superar las barreras antes de iniciar proyectos de EE / ER.....	80
Información	80
Condiciones legales.....	80
Análisis de Costo-Beneficio (ACB) y desarrollo de capacidades	81
7.2 Resumen de ahorros potenciales.....	82
7.3 Modelos de negocio para la energía fotovoltaica en México.....	83
7.4 Próximos pasos para atraer financiamiento	85
Mensajes clave	86
8. Conclusiones.....	87
8.1 Consideraciones para las empresas de agua al planificar proyectos relacionados con la energía.....	87
8.2 Una creciente necesidad de nuevos modelos comerciales.....	87
Apéndice 1. Metodología	90
Proceso de selección	90
Indicadores, datos recopilados y fuentes	90
Descripción de los municipios que participan en el estudio.....	107
MEXICALI	108
DURANGO	111
TORREON.....	113
Descripción de la situación socioeconómica de los municipios.....	118



Apéndice 2. Diseño de investigación de oportunidades de ER: datos, metodología y supuestos.....	120
Apéndice 3. Hoja de ruta para implementar soluciones de EE y ER para empresas de agua en México.....	123
Referencias.....	127
Glosario.....	136



Tablas y Figuras

Figura 1. Principales actores en los sectores mexicano de agua y saneamiento.....	21
Figura 2. Ciclo urbano del agua.....	23
Figura 3. Precio monómico por tarifa de energía para las empresas de agua después de la reforma, promedios nacionales.....	27
Figura 4. Evolución de Porcentajes de Inversiones (%) realizadas por Programas de CONAGUA (2015-2019)	29
Figura 5. Criterios de selección.....	90
Figura 6. Consumo de energía por habitante (KWh/hab)	93
Figura 7. Emisiones liberadas por habitante por el consumo de energía para la prestación del servicio de agua (Kg CO ₂ e/MWh * Hab).....	93
Figura 8. Sumario de Indicadores de PIGOO.....	96
Figura 9. Grado de presión sobre el recurso hídrico, 2017	101
Figura 10. Ubicación de las principales PTAR y PBAR en Mexicali	111
Figura 11. Ubicación de pozos de agua y tanques de almacenamiento de AMD ..	112
Figura 12. Resultados por dimensión del índice básico de prosperidad de la ciudad	119
Tabla 1. Consumo de energía en el ciclo completo (en porcentajes)	24
Tabla 2. Transición del régimen arancelario.....	25
Tabla 3. Ejemplo de GDMTH para la División Norte de CFE	27
Tabla 4. Resumen de las principales características de los programas de CONAGUA.....	32
Tabla 5. Resumen de empresas de agua con proyectos de energía limpia.....	34
Tabla 6. Marco legal para usuarios calificados.....	37
Tabla 7. Criterios de selección definidos, fuentes y estimación de indicadores.....	39
Tabla 8. Sumario de las calificaciones de los indicadores.....	42
Tabla 9. Costo y beneficios probables de las medidas de ahorro operativo.....	46
Tabla 10. Ejemplo de distribución del consumo de energía de una planta de tratamiento de agua.....	49
Tabla 11. Uso y costos anuales de energía en Mexicali.....	51



Tabla 12. Costos y uso de energía anual en Durango.....	56
Tabla 13. Uso y costos de energía anual de Torreón.....	59
Tabla 14. Resumen de medidores eléctricos sin uso.....	60
Tabla 15. Resumen de posibles medidas de eficiencia energética	62
Tabla 16. Uso total de electricidad y costo promedio.....	71
Tabla 17. Potencial solar y área de instalación.....	73
Tabla 18. Ahorros estimados debidos a la compra de energía renovable con PPA y emisiones potencialmente evitadas.....	76
Tabla 19. Combinando demanda e inversión en ER.....	77
Tabla 20. Medidas de conservación de energía y ahorros potenciales.....	82
Tabla 21. Modelos de negocio fotovoltaicos: características clave.....	83
Tabla 22. Modelos financieros fotovoltaicos.....	85
Tabla 23. Datos de emisiones y consumo de energía	94
Tabla 24. Datos de PIGOO	97
Tabla 25. Datos de estrés hídrico	101
Tabla 26. Valores promedio de los indicadores	103
Tabla 27. Datos indicadores para la metodología de selección	104
Tabla 28. Indicadores de desempeño de AMD Durango, CESPМ Mexicali y SIMAS Torreón	107
Tabla 29. Plantas de tratamiento de agua en la ciudad de Mexicali	109
Tabla 30. Plantas de tratamiento de aguas residuales operadas por CESPМ.....	110
Tabla 31. Plantas de tratamiento de aguas residuales operadas por AMD	113
Tabla 32. Plantas de tratamiento de aguas residuales operadas por SIMAS.....	115
Tabla 33. Tarifa mensual de agua para usuarios domésticos de clase media en Mexicali, Durango y Torreón.....	116
Tabla 34. Grado de presión del agua a diferentes niveles (RHA, Estado y Subcuenca Hidrológica)	117
Tabla 35. Indicadores socioeconómicos de Mexicali, Durango y Torreón	118
Tabla 36. Supuestos para RE	120
Tabla 37. Descuentos por RE.....	121
Tabla 38. Supuestos para RE	121
Tabla 39. Hoja de ruta.....	124



Abreviaturas y acrónimos

AF: Agente Financiero

AMD: Aguas del Municipio de Durango

ANEAS: Asociación Nacional de Empresas de Agua y Saneamiento de México

BADN: Banco de Desarrollo de América del Norte

BANOBRAS: Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos

BID: Banco Interamericano de Desarrollo

CAEP: Climate Action Enhancement Package

CD: Corriente Directa

CEIA: Clean Energy Investment Accelerator

CEL: Certificados de Energía Limpia

CENACE: Centro Nacional de Control de Energía

CEPAL: UN. Comisión Económica para América Latina y el Caribe

CESPM: Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali

CFE: Comisión Federal de Energía

CGRF: Coordinación General de Recaudación y Fiscalización de CONAGUA

CONAGUA: Comisión Nacional del Agua

CONAPO: Consejo Nacional de Población

CPEUM: Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos

CP: Contraparte

CPI: Índice Básico de ciudades Prosperas (Cities Prosperous Index (CPI), por sus siglas en inglés)

CRE: Contratación por Rendimiento Energético (Energy Performance Contracting (EPC), por sus siglas en inglés)

DCOT: Diseño, Construcción, Operación t Transferencia

DOE: U.S. Departamento de Energía de USA

DOF: Diario Oficial de la Federación

EE: Eficiencia Energética

EdA: Escuela de Agua

EPA: Agencia de Protección del Ambiente de USA (por sus siglas en inglés)

ER: Energía Renovable

FV: Fotovoltaica (Solar Photovoltaic (PV), por sus siglas en inglés)

FONADIN: Fondo Nacional de Infraestructura



GCI: Gerencia de Cooperación Internacional de la SGP de CONAGUA.

GDBT: Gran Demanda Baja Tensión

GDMTH: Gran Demanda Media Tensión Horaria

GDMTO: Gran Demanda Media Tensión Ordinaria

GEI: Gases de Efecto Invernadero (GHG: Greenhouse gas emissions, por sus siglas en ingles)

GFOO: Gerencia de Fortalecimiento de Organismos Operadores de la SGAPDS de CONAGUA)

GPFAPS: Gerencia de Programas Federales de Agua Potable y Saneamiento de la SGAPDS de CONAGUA

HVAC: Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado (Heating, Ventilation, and Air Conditioning (HVAC), por sus siglas en ingles)

IMTA: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

INECC: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático

INEGI: Instituto Nacional de Estadística y Geografía

KWh: kilowatt-hora

LAN: Ley de Aguas Nacionales

LED: Diodos Emisores de Luz (Light-Emitting Diodes (LED) por sus siglas en ingles)

LIE: Ley de la Industria Eléctrica

MEM: Mercado Eléctrico Mayorista

MCE: Medidas de Conservación de Energía

NDC: Contribución Nacionalmente Determinada (Nationally Determined Contribution (NDC), por sus siglas en inglés)

NREL: Laboratorio Nacional de Energía Renovable (National Renewable Energy Laboratory NREL, por sus siglas en inglés)

O&M: Operación y Mantenimiento

OC: Organismo de Cuenca

OD: Oxígeno Disuelto

OPD: Organismo Público Descentralizado

OOA: Organismos Operadores de Agua (WU: Water utilities)

PBAR: Planta de Bombeo de Aguas Residuales

PDBT: Pequeña Demanda Bajo Voltaje

PIGOO: Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores

PPA: Contrato de Compra de energía (Power Purchase Agreement (PPA), por sus siglas en inglés)

PROAGUA: Programa de Agua Potable, Drenaje y Tratamiento



PRODDER: Programa de Devolución de Derechos

PROMAGUA: Programa de Modernización de Organismos Operadores de Agua

PROSANEAR: Programa de Saneamiento de Aguas Residuales

PTAR: Plantas de Tratamiento de Agua Residual

RAMT: Riego, Agricultura Media Tensión

RFP: Solicitud de Interés (Request For Proposals (RFP), por sus siglas en inglés)

RHA: Región Hidrológico-Administrativa

SCADA: Sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (por sus siglas en inglés)

SEMARNAT: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México

SGP: Subdirección General de Planeación. De CONAGUA

SGA: Subdirección General de Administración de CONAGUA

SHCP: Secretaría de Hacienda y Crédito Público

SIMAS: Sistema Municipal de Aguas y Saneamiento de Torreón

SGAPDS: Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento de CONAGUA

SGE: Sistemas de Gestión de Energía (Energy Management System (EMS), por sus siglas en inglés)

TIR: Tasa Interna de Retorno

TO: Tecnología de Operación

VAV: Volumen de Aire Variable

VFD: Variadores de Frecuencia (Variable Frequency Drive)

VPN: Valor Presente Neto

ZAP: Zona de Atención Prioritaria



1. Introducción

México solicitó el apoyo de NDC Partnership para investigar y revisar el potencial de eficiencia energética (EE) en la infraestructura municipal de bombeo de agua y tratamiento de agua para identificar su potencial de mitigación. Este trabajo incluye, entre otros: identificar medidas de EE, determinar dónde y cuánta energía se utiliza; identificar medidas que no involucren inversiones a corto plazo y aquellas que requieran reemplazo tecnológico y evaluar la rentabilidad de las medidas; diseñar proyectos de inversión y estrategia de financiamiento.

Las empresas de agua en México enfrentan altos costos de electricidad que pueden afectar el suministro y la calidad de los servicios de agua y aguas residuales en el país. Para acelerar la implementación de estrategias para lograr la NDC de México, el objetivo de este proyecto fue brindar recomendaciones sobre las oportunidades de Energías Renovables (ER) y Eficiencia Energética (EE) disponibles para los organismos operadores de agua municipales descentralizados en los sectores de agua y aguas residuales en México. A través de un robusto proceso de selección (Sección 4 y Apéndice 1), el equipo de CEIA se asoció con tres municipios: Durango, Durango; Torreón, Coahuila Zaragoza y Mexicali, Baja California — para brindar análisis técnico. En la Sección 5, discutimos las mejores prácticas de EE y proporcionamos un conjunto de recomendaciones de alto nivel para los municipios involucrados en este estudio. Además, en la Sección 6, analizamos de manera similar las opciones de adquisición de ER disponibles para los municipios asociados.

El proyecto se enfoca en el apoyo técnico para las energías renovables (ER) y la eficiencia energética (EE) en los sectores de agua y aguas residuales, específicamente en alianza con las entidades operativas encargadas del tratamiento de agua y aguas residuales en municipios con poblaciones superiores a quinientos mil habitantes y ofreciendo análisis para ayudar a los municipios socios clave a avanzar con soluciones de energía renovable y eficiencia energética para sus empresas de agua.

Con los abundantes recursos solares y eólicos de México, el aprovechamiento de la energía renovable (ER) se está convirtiendo cada vez más en una forma viable para que las organizaciones reduzcan simultáneamente los costos de energía y la dependencia de los combustibles fósiles para obtener electricidad. La disminución de los precios globales de los componentes de las energías renovables, los costos de transacción, las políticas nacionales y los compromisos aspiracionales alineados con el Acuerdo de París, han contribuido a aumentar el atractivo de la adopción de las energías renovables. En apoyo de sus objetivos del Acuerdo de París, México estableció su “Ley de Transición Energética” con el objetivo de generar el 35% de su electricidad a partir de fuentes limpias para el 2024 (y el 50% para el 2050). El sector del agua y las aguas residuales tiene ahora nuevas oportunidades para aprovechar las energías limpias.



2. NDC de México y su relevancia para los sectores de agua y saneamiento

El 4 de noviembre de 2016, el gobierno mexicano publicó un decreto (Presidencia México, 2016) mediante el cual se anuncia que el Acuerdo de París fue firmado, aprobado por el Congreso y posteriormente ratificado por el Presidente de México.

En 2015, el país presentó su Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC por sus siglas en inglés) a la Secretaría de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Esta Primera NDC (SEMARNAT, 2015) comprometió a México a reducir, de manera incondicional, las emisiones de Gases de efecto Invernadero (GEI) en 2030 en un 22% por debajo de la línea base de las proyecciones de "business as usual (BAU)" considerando 2013 como año de referencia¹.

En la NDC el tema del agua es un tema transversal que incluye, por ejemplo, los sistemas productivos en agricultura, ganadería, producción industrial, desarrollo urbano y ordenamiento territorial; y también se considera en la Conservación, Restauración y Uso Sostenible de la Biodiversidad y Servicios de los Ecosistemas.

Asimismo, el tema del agua está influenciado por políticas de eficiencia energética que forman parte de los Enfoques y Acciones Multisectoriales señalados en las NDC en el campo de la mitigación.

2.1 Vulnerabilidad del sector del agua al cambio climático

Los efectos adversos del cambio climático están fuertemente relacionados con el cumplimiento de algunos derechos humanos como los derechos a un medio ambiente saludable, servicios de salud, suministro de alimentos y de agua potable, vivienda digna y educación. La protección de estos derechos al igual que los ecosistemas y la diversidad biológica dependen en gran medida de los sistemas hídricos y estos podrían verse influenciados a su vez por la extensión y las operaciones de la infraestructura y los servicios hídricos. El vínculo entre el respeto a los derechos humanos, la acción climática y los recursos hídricos es cada vez más evidente (SEMARNAT, 2020).

En un sentido amplio, el desarrollo económico y los ecosistemas compiten por los recursos hídricos limitados, ya que ambos exigen acceso al agua en cantidad y

¹ Derivado de la sentencia emitida por el Decimoprimer Tribunal Colegiado en Materia Administrativa del Primer Circuito (expediente número 81/2021), así como del acuerdo de fecha 28 de septiembre de 2021, del Juzgado Décimo Primero de Distrito en Materia Administrativa en la Ciudad de México (expediente Inc. 218/2021) en relación a las medidas de suspensión de la revisión de las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (NDC por sus siglas en inglés) contenidas en el amparo presentado por Greenpeace México el 9 de marzo de 2021, las NDC de 2015 están actualmente vigentes.



calidad suficientes. Por ejemplo, el aumento constante de la ganadería y sus productos podría acelerar la deforestación o aumentar el estrés y la contaminación de los cuerpos de agua.

En este contexto, el suministro y tratamiento de agua en México, proporcionado por los operadores públicos de agua, presenta una amplia gama de problemas, por ejemplo: sistemas de tarifas no eficientes, costos de energía elevados, en algunos casos uso de bombas, tecnologías o esquemas de tratamiento en operaciones actuales con un uso intensivo de energía, falta de medidas de eficiencia energética y falta de recuperación de energía de las aguas residuales. Todos estos problemas afectan la calidad del servicio.

En la actualidad en México, la disponibilidad de agua está actualmente en peligro. Al menos el 14% de las cuencas hidrológicas están en déficit y el 16% de los acuíferos presenta sobreexplotación. Adicionalmente, la cobertura de los servicios de agua potable y saneamiento residencial no se brinda al 100%. En las zonas rurales este porcentaje es menor que en las urbanas y esta situación se agrava en las zonas marginadas. Las asimetrías sociales, así como las desigualdades de género, afectan la accesibilidad del agua en cantidad y calidad suficiente (SEMARNAT, 2020).

La vulnerabilidad del sector del agua se puede considerar desde varias perspectivas, por ejemplo: el cambio climático podría inducir cambios en la disponibilidad de los recursos hídricos. Los fenómenos meteorológicos extremos cada vez más frecuentes también podrían debilitar la infraestructura de suministro y tratamiento y aumentar su vulnerabilidad económica. La infraestructura de tratamiento y suministro de agua también se ve afectada por aspectos económicos o legales como:

- La falta de regulación que permita y apoye una operación económica sustentable y la reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI).
- La falta de recursos para su expansión y operación,
- La falta de consideración de la resiliencia en la planificación y ejecución de proyectos de instalaciones de suministro y tratamiento de agua.
- El alto costo de la energía para el funcionamiento de la infraestructura, y
- El propio estado de las instalaciones que determina su eficiencia, sus pérdidas y su consumo energético.

Asimismo, este sector influye en la vulnerabilidad de otros sectores como la agricultura y el desarrollo urbano. El aumento de temperatura y evapotranspiración en diferentes regiones del país debido al cambio climático ya altera la disponibilidad de este recurso, y con ello altera tanto la demanda como el consumo del recurso, como consecuencia una menor disponibilidad promedio anual de agua por habitante.

Desde una perspectiva energética, el uso de bombas más eficientes, la reducción de las pérdidas de agua en la distribución, la producción de biogás y la reutilización de agua tratada entre otras medidas, permiten no solo reducir costos sino también reducir las emisiones de GEI. Por tanto, tiene sentido examinar cómo la



eficiencia energética, los acuerdos de compra o la generación distribuida con energías renovables pueden contribuir a reducir la vulnerabilidad económica de este sector y aumentar sus contribuciones a la mitigación de GEI al reducir el consumo de electricidad a partir de fuentes de combustibles fósiles.

2.2 Importancia de la eficiencia energética y las energías renovables para los sectores de agua y aguas residuales

Dentro de los servicios públicos de agua y saneamiento, los gastos de electricidad asociados representan entre el 5 y el 30% del presupuesto operativo a nivel mundial llegando hasta el 40% en algunos casos (Feng et al, 2012, citado por Ferro & Lentini, 2015).

Existe una gran oportunidad para reducir los costos de energía en el sector del agua y las aguas residuales. Según un estudio en América Latina y el Caribe, las medidas de EE pueden reducir los costos relacionados con la electricidad entre un 10% y un 40% para los servicios de suministro de agua y hasta un 75% para las instalaciones de tratamiento de aguas residuales (Plantas de Tratamiento de Agua Residual, PTAR) (United Nations World Water Assessment Programme [WWAP], 2014, citado por Ferro & Lentini, 2015).

México no es una excepción. Los operadores de agua enfrentan altos costos de electricidad y esta carga de costos ha llevado a varias interrupciones del servicio. En 2020, cuando las empresas de agua en cinco municipios mexicanos no pudieron pagar sus deudas, la empresa de electricidad de México, la Comisión Federal de Electricidad (CFE), cortó el suministro eléctrico². Además, en 2019, 84 alcaldes municipales solicitaron el apoyo del gobierno del estado de Hidalgo para pagar las facturas de electricidad para continuar brindando servicios de agua a sus poblaciones (Alcaraz, 2019).

Este estudio describe las estrategias de EE y ER que las empresas de agua (Organismos Operadores de Agua, OOA) pueden emprender para complementar las opciones de suministro eléctrico, optimizar sus procesos y reducir costos. Además, estas estrategias brindan beneficios ambientales, alineados con los objetivos de mitigación del cambio climático a nivel de ciudad y país que se han establecido.

La creación del Mercado Mayorista bajo la Reforma Energética brindó a todos los usuarios finales, para reducir sus costos de factura de energía y reducir su huella de carbono, una cartera completamente nueva de oportunidades³ tanto para la generación in situ (generación distribuida: menos de 500 kW) como para la

² Qro: CFE suspenderá servicio en Amealco y afectará sistema de agua potable (Quadratin Querétaro). 23 mayo 2021. Ver: <https://agua.org.mx/tag/cfe/>

³ GIZ, SENER y CEIA han publicado una guía para la adquisición de energía limpia en México que se puede encontrar. Ver: https://energypedia.info/images/7/7d/Modalidades_Compras_ER_GIZ_2018.pdf



adquisición de energía limpia de un tercero (esquema de proveedor calificado) a través de un contrato de compra de energía. Estas dos opciones se explorarán más a fondo en el documento para los servicios públicos de agua.

3. Antecedentes y actores clave en los sectores mexicano de agua y saneamiento

3.1 Sectores de agua y saneamiento: principales actores y estructura organizativa de las empresas de agua

Los principales marcos legales que determinan la gestión del agua en México son la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPEUM) ver por ejemplo el art. 27 (la nación es dueña de todas las aguas y bienes nacionales), art. 115 (Los municipios estarán a cargo de los servicios públicos como: agua, alcantarillado y tratamiento y disposición de aguas residuales) y la Ley Nacional de Aguas (LAN) ver por ejemplo art. 4 (Atribuciones legales de la CONAGUA para la administración de las aguas nacionales y sus bienes públicos).

Los actores a nivel nacional y estatal responsables de dictar y coordinar las responsabilidades municipales, ya sea directamente o por medio de terceros, son la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), CONAGUA y las Comisiones Estatales del Agua. Cada una de estas organizaciones se muestra en la Figura 1 y se describe a continuación.

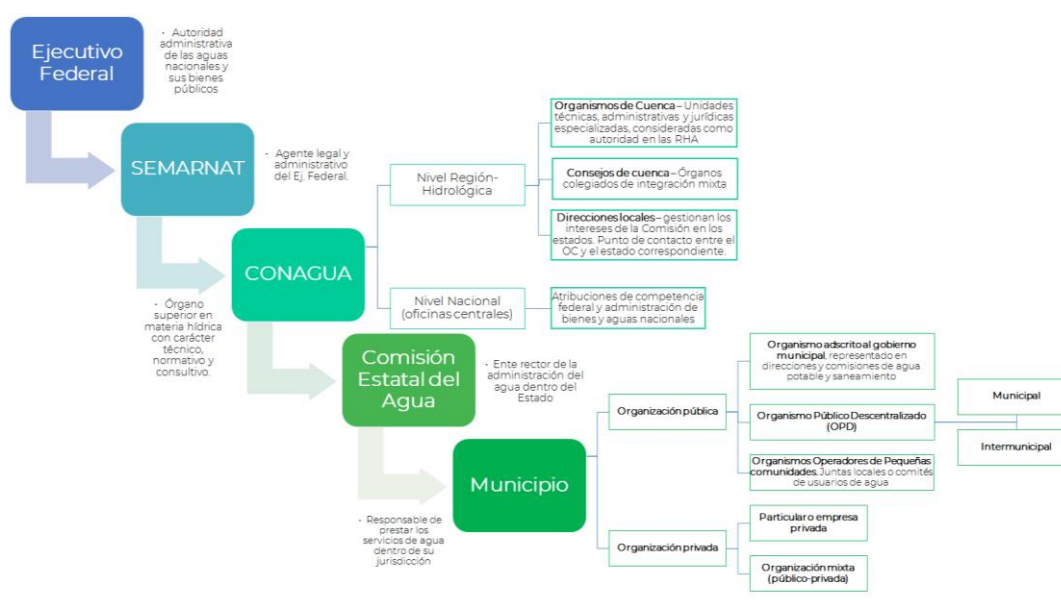
La SEMARNAT trabaja directamente con el Poder Federal para proponer proyectos de ley, reglamentos, decretos y convenios relacionados con el sector del agua. Además, la SEMARNAT emite Normas Oficiales Mexicanas en materia de aguas a propuesta de la Comisión, entre otras actividades (LAN, 1992, artículo 8).

CONAGUA es una institución descentralizada de la SEMARNAT que actúa como el máximo poder de decisión en México en lo que respecta al manejo, control y protección de las aguas públicas. Para cumplir con sus funciones, la CONAGUA se divide en dos modalidades diferenciadas a Nivel Nacional y Regional Hidrológico - Administrativo, a través de sus Organismos de Cuenca⁴ (OC) (LAN, 1992, Artículo 9).

⁴ En México, la gestión del agua se distribuye en unidades territoriales conocidas como cuencas hidrológicas (áreas de la superficie terrestre en las que el agua fluye en diferentes formas a través de una red hidrográfica de cursos de agua que convergen en uno principal). Estas Regiones Hidrológicas (Regiones Hidrológicas, RH) están compuestas por una o más cuencas y las Regiones Hidrológico-Administrativas (Regiones Hidrológico-Administrativas, RHA) están conformadas por varias Regiones Hidrológicas. El Gobierno Federal cuenta con las 13 Regiones Hidrológico-Administrativas existentes para establecer políticas de agua a través del Programa Nacional de Agua.

- A nivel Nacional las oficinas centrales de la CONAGUA tienen competencias a nivel federal (técnico, normativo, presupuestario y consultivo) y administran las aguas y bienes nacionales, además de los establecidos en el artículo 9 de la LAN.
- En el Nivel Regional Hidrológico - Administrativo, los Organismos de Cuenca colaboran en la gestión de los recursos hídricos como brazo técnico, administrativo y legal de CONAGUA. Trabajan en sintonía con los Consejos de Cuenca (órganos colegiados de integración mixta) que consideran la pluralidad de intereses, demandas y necesidades en las cuencas correspondientes y con las Direcciones locales que son un punto de contacto entre los Organismos de Cuenca y las entidades federativas para aplicar la CONAGUA. políticas, estrategias y programas.

Figura 1. Principales actores en los sectores mexicano de agua y saneamiento.



Fuente: Autores con información de CONAGUA (2019f) e INEGI (2016)

Una Comisión Estatal del Agua es una agencia pública descentralizada dentro del gobierno estatal, considerada como un órgano rector de la administración del agua dentro de su entidad (CONAGUA, 2019f). A través de las leyes estatales del agua, se regula la planificación, la gestión y la conservación del agua. Las leyes estatales de agua también describen los términos y condiciones generales que los municipios (por ejemplo, fijación de tarifas) deben seguir para proporcionar servicios públicos de agua y aguas residuales.

Para cumplir con sus obligaciones, los municipios tienen la opción de otorgar una concesión a una organización pública, privada o mixta conocida como Organismos Operadores de Agua (OOA) (Camacho & Casados, 2017). El Instituto



Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) definió la clasificación de los OOA de la siguiente manera "Los servicios públicos de agua están adscritos al gobierno municipal (representados en las direcciones y comisiones de agua potable y saneamiento) o en los servicios públicos de agua descentralizados (Organismos Públicos Descentralizados, OPD). En comunidades pequeñas o rurales, organismos operadores se conocen como juntas locales o comités de usuarios, con menor frecuencia las empresas concesionarias privadas se involucran en la prestación del servicio" (INEGI, 2016).

En 2014, el Censo de Empresas de Agua registró 2,688 organismos operadores de agua en México⁵, 152 de las cuales son administrados por el sector privado (concesionarias) y las restantes 2,536 empresas de agua son parte del sector público en sus diferentes estructuras. De acuerdo con el alcance de la cobertura física, estas empresas de agua se desglosan de la siguiente manera: 1,245 empresas de agua operan solo en las capitales municipales, 892 prestaron servicio en las capitales municipales y otras localidades, 350 prestaron servicio a municipios enteros y 201 prestaron servicio solo en localidades rurales o para toda una entidad federativa (INEGI, 2016).

Para brindar los servicios, las empresas de agua deben contar con un decreto de creación emitido por la autoridad municipal, bajo el cual se delega la función de administrar los recursos hídricos y generar la infraestructura técnica necesaria. Además, las empresas de agua reciben autorización para el uso del agua y su distribución dentro de un área geográfica determinada (municipio, localidad urbana o localidad rural). En el caso de las empresas privadas, se otorgan concesiones de agua (INEGI, 2016).

Las empresas de agua cuentan con el apoyo legal necesario (de los tres poderes de gobierno) para unirse con otros municipios (formando organismos intermunicipales) y para concesionar los servicios de agua a empresas privadas o alianzas público-privadas (Camacho & Casados, 2017). Todos estos mandatos sugieren que las empresas de agua tienen poder de decisión sobre la infraestructura que administran y, por lo tanto, pueden promover, administrar e implementar proyectos de eficiencia energética y energías renovables que les ayuden a mejorar su salud financiera al reducir costos y así asegurar la prestación del servicio y la contribución a la reducción de emisiones de GEI.

3.2 Consumo de energía de los servicios públicos de agua

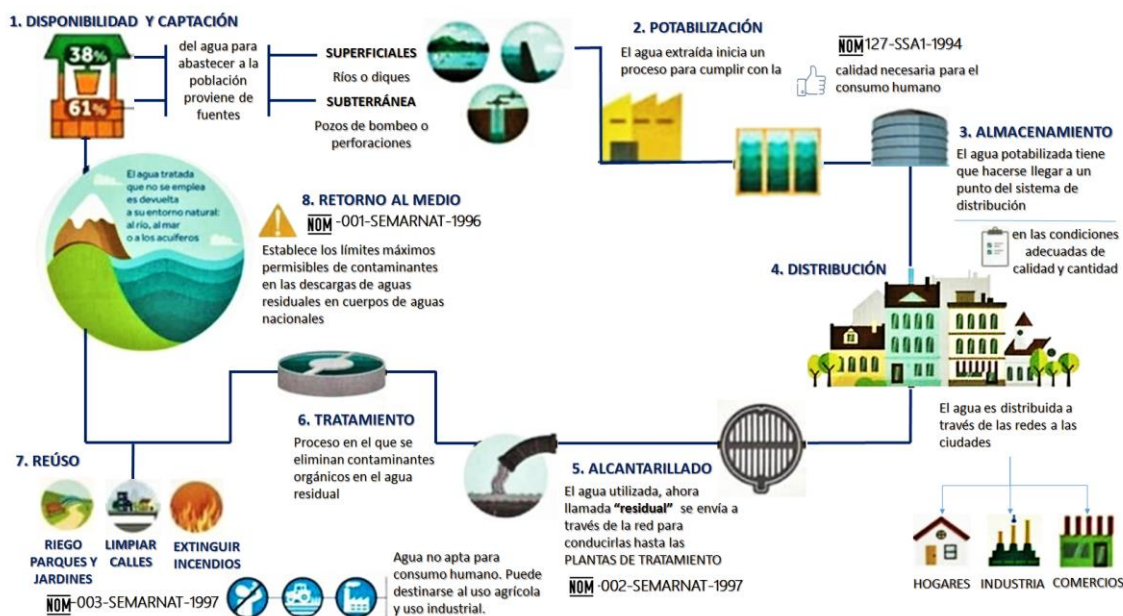
El ciclo urbano del agua operado por una empresa de agua consta de una serie de procesos. La primera etapa se conoce como "Abastecimiento", en la cual se extrae y distribuye agua de calidad para fines agrícolas, industriales y domésticos. La segunda etapa, conocida como "Saneamiento", recolecta, trata y elimina el

⁵ El Programa Nacional Hídrico 2020-2024 indica que solo hay 2,200 empresas de agua (CONAGUA, 2020b).

agua sobrante o vertida de los puntos de consumo, conocidos como "aguas residuales".

Durante cada fase, se requiere energía para operar la infraestructura de tratamiento y bombeo hidráulico. Para producir un cierto volumen de "agua de calidad" (definida como tal por las Normas Oficiales de Salud y Saneamiento de México), se consume una cierta cantidad de kilovatios-hora (kWh), sujeto a las condiciones del sitio. La Figura 2 muestra los procesos del ciclo urbano del agua con las diferentes etapas de producción y distribución del agua.

Figura 2. Ciclo urbano del agua



Fuente: Imagen extraída y adaptada del documento "Análisis de las Tarifas Eléctricas en los Sistemas de Agua Potable y Saneamiento de México" (El Colegio de México, 2019).

Nota: De todas las aguas residuales producidas, solo aprox. el 54% se recolecta en los sistemas de alcantarillado, el resto de las aguas residuales se vierte al medio ambiente sin tratamiento (SEMARNAT-INECC, 2018).

Según el informe de las Naciones Unidas de 2014 sobre el desarrollo de los recursos hídricos a nivel mundial, la cantidad de energía necesaria para proporcionar 1 m³ de agua segura para el consumo humano a partir de diversas fuentes de agua (superficial, subterránea, tratada) puede oscilar entre 0,37 y 8,5 kWh/m³ (WWAP, 2014).

El consumo de energía en las etapas de producción y distribución de agua varía considerablemente entre países, estados e incluso a nivel local. Esto depende en gran medida de diferentes factores, como el volumen extraído, tratado y transportado, factores demográficos, topográficos, técnicos, hidrológicos, etc. Incluso el cambio climático influye en el consumo de energía, ya que la



disponibilidad de agua disminuye en las diferentes regiones y por tanto los niveles de extracción de los acuíferos se profundizan cada vez más (aumento del consumo de energía y costos relacionados) (Ferro & Lentini, 2015).

En la Tabla 1 se muestran los datos promedio de América Latina y el Caribe sobre la distribución del consumo eléctrico en las etapas de suministro y saneamiento (y sus subetapas asociadas), así como algunos de los principales factores que influyen en la cantidad de consumo de energía.

Tabla 1. Consumo de energía en el ciclo completo (en porcentajes).

Fase	Proporción de energía consumida a lo largo del ciclo (%)	Comentarios (factores que influyen)
Suministro	65% del Total	
Recolección y distribución de agua cruda	7% (superficie) a 20% (subterráneo)	El nivel de profundidad de extracción, la distancia desde la fuente de captación hasta la planta de tratamiento de agua, la topografía local, el diseño del sistema de abastecimiento, entre otros.
Tratamiento de aguas	7% (superficie) a 1% (subterráneo)	El consumo de energía está determinado por el volumen, la concentración, el tipo de contaminantes y la naturaleza de las bacterias que se eliminarán del agua cruda. Cuanto menor es la calidad del agua, mayor es el consumo de energía para su tratamiento. El agua subterránea generalmente requiere menos tratamiento que el agua superficial. Influye en la calidad deseada para el uso final (humano, riego, industrial, etc.)
Bombeo para transporte y distribución de agua	52% (superficie) a 45% (subterráneo)	Esta fase es la que demanda mayor porcentaje de energía. Se realiza bombeo y presurización de agua para distribuir y mantener la presión en la red. A mayor distancia y altitud, el transporte requerirá más energía. Incluye el transporte de agua a los embalses para amortiguar los picos de demanda. Las pérdidas en la red o las fugas de agua aumentan la intensidad energética.
Saneamiento	35% del Total	
Recolección de aguas residuales (alcantarillado)	4%	Principales factores condicionantes: gravedad y distancia.



Fase	Proporción de energía consumida a lo largo del ciclo (%)	Comentarios (factores que influyen)
Tratamiento de aguas residuales	19%	Además del tamaño de la planta, el tipo de proceso y la eficiencia del equipo influyen en el consumo de energía. Los procesos que implican aireación requieren un mayor consumo de energía.
Eliminación de lodos	12%	Se puede producir energía en el tratamiento de lodos. Algunas plantas de tratamiento recuperan energía en forma de biogás, lo que reduce el consumo neto.

Fuente: Adaptado de Energy Efficiency and Economic Regulation in Water and Wastewater services (Ferro & Lentini, 2015), basado en Feng et al (2012) y Kenway et al (2011).

La Asociación Nacional de Empresas de Agua y Saneamiento de México, ANEAS, indica que el consumo eléctrico en los sistemas de agua de todo el país es de 3.969,47 GWh al año⁶ (9.241 millones de pesos⁷). Las estaciones de bombeo por sí solas consumieron el 95% (3.711 millones de kWh/año) del total de los sistemas de agua municipales en 2019 (Pacheco, 2019a, pág.15).

3.3 Evolución de la tarifa eléctrica de las empresas de agua

En los últimos años, con la aparición de la Reforma Energética y el nuevo esquema de tarifas, los costos de la electricidad han aumentado considerablemente para las empresas de agua. La nueva Ley de la Industria Eléctrica (Congreso de la Unión, 2014) sentó las bases para la separación legal de las actividades de generación, transmisión, distribución, comercialización y suministro de insumos.

Tabla 2. Transición del régimen arancelario

Nombre de la tarifa	Descripción	Tarifa previa	Costo por energía (kWh)	Costo por demanda (kW)
PDBT	Pequeña Demanda (hasta 25 kW-mes) en Baja Tensión	2 y 6	Cargo Fijo Flat	No

⁶ CONAGUA estimó en 2011 un consumo energético de 2.777 GWh para la extracción de agua por los municipios con un volumen extraído de 11.480 hm³, ver capítulo X. Pág. 175 (ONU-CEPAL, 2018).

⁷ Suponiendo que todos los centros de carga están en tarifa de media tensión: 2.5 pesos/kWh. Ver: https://www.senado.gob.mx/64/gaceta_del_senado/documento/94215



Nombre de la tarifa	Descripción	Tarifa previa	Costo por energía (kWh)	Costo por demanda (kW)
GDBT	Gran Demanda (mayor a 25 kW-mes) en Baja Tensión	3 y 6	Cargo Fijo Flat	Si
GDMTH	Gran Demanda (mayor de 25 kW-mes) en Media Tensión horaria	HM, HMC y 6	Costo diferenciado: base, intermedio y pico	Si
GDMTO	Gran Demanda (mayor de 25 kW-mes) en Media Tensión ordinaria	OM y 6	Cargo Fijo Flat	Si

Fuente: Autores con datos de tarifas industriales de CFE (2021). Ver: <https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/TarifasCREIndustria/Industria.aspx>

Con la reforma del mercado eléctrico en México se emitieron nuevos esquemas tarifarios, reemplazando así la Tarifa 6 "Servicio de bombeo de agua o aguas residuales, para servicio público" que se aplicaba a las empresas de agua, con cuatro categorías de consumo: PDBT (Pequeña Demanda en Baja Tensión); GDBT (baja tensión y alta demanda); GDMTH (gran demanda en voltaje medio por hora); y GDMTO (Demanda de voltaje medio ordinario grande), como se muestra en la Tabla 2 anterior.

En cuanto a los costos de electricidad relacionados con el bombeo de agua, la Tarifa 6 incluía solo un cargo fijo (pagado independientemente de la energía consumida) y un cargo variable (basado en los kWh consumidos por mes) a través de un costo fijo por unidad de energía (pesos/kWh). Después de la reforma, los cargos fijos pasaron a cargos variables, por kWh de energía consumida y por capacidad (por kW conectado a la red). Los cargos (El Colegio de México, 2019) se basan en:

- Costo de suministro (cargo fijo).
- Costo de distribución.
- Costo de transmisión.
- Costo de operación del Centro Nacional de Control de Energía (Centro Nacional de Control de Energía, CENACE).
- Dos cargas variables correspondientes a energía y capacidad (carga variable)
- Costo de las operaciones básicas del proveedor.
- Costo por servicios auxiliares no MEM.
- Costos por servicios relacionados con el Mercado Eléctrico Mayorista (Mercado Eléctrico Mayorista, MEM).

La Tabla 3 muestra un ejemplo de los cargos arancelarios del GDMTH.

Tabla 3. Ejemplo de GDMTH para la División Norte de CFE

Cargo	Tipo	Unidades	Feb. 21
Proveedor (proveedor básico)	Cargo fijo	MXN/mes	1,016.48
Energía base (kWh)	Variable	MXN/kWh	0.8700
Energía media (kWh)	Variable	MXN/kWh	1.3671
Energía pico (kWh)	Variable	MXN/kWh	1.5951
Distribución	Determinado anualmente	MXN/kW	74.97
Capacidad	Depende del mercado de capacidad	MXN/kW	331.00

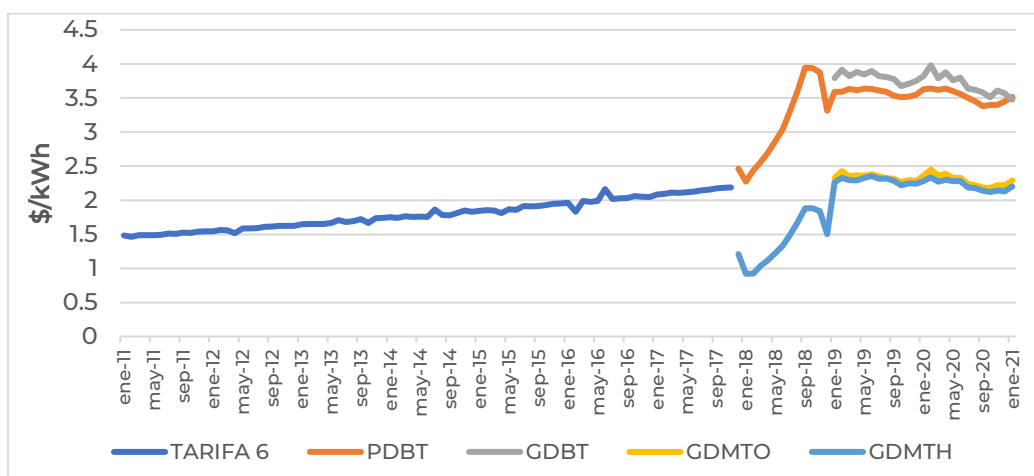
Fuente: Autores con datos de tarifas de CFE (2021)

Notas:

- Demanda contratada: debe ser de al menos 100 kW y al menos el 60% de la capacidad total tapada para tarifa GDMTH.
- Periodos base, medio y pico: definidos en cada región para las diferentes estaciones del año.

La siguiente Figura muestra el precio por kWh en pesos para diferentes tarifas, o las tarifas “energizadas”. Esto significa que el precio monómico⁸ incluye el promedio de todos los cargos mencionados anteriormente en una unidad de kWh.

Figura 3. Precio monómico por tarifa de energía para las empresas de agua después de la reforma, promedios nacionales.



Fuente: Autores con datos de: “Secretaría de Energía” [SENER] (2010), “Comisión Federal de Electricidad” [CFE] (n.d.) y “Comisión Reguladora de Energía” [CRE] (2019).

⁸ El precio monómico suma todos los costos relevantes (energía, operación y capacidad) en un cierto período de tiempo y se divide contra la energía consumida en ese período de tiempo.



La Figura 3 anterior también muestra cómo cambiaron los precios de kWh después de 2017 cuando se implementó el nuevo esquema de tarifas.

Según un estudio realizado por “El Colegio de México” (2019) encargado por ANEAS, *“la reestructuración del esquema tarifario provocada por la nueva reforma energética colocó a las empresas de agua en situación de vulnerabilidad, ajustándose a una tarifa industrial sin posibilidad de modificarla [...] olvidando que se trata de entidades cuya actividad principal es la prestación del servicio público de agua potable en los municipios”*.

3.4 Impacto de las nuevas tarifas en las empresas de agua

Para resaltar el impacto que este nuevo esquema tarifario tuvo en los costos operativos de las empresas de agua, el estudio de ANEAS muestra que, para el municipio de Aguascalientes, el nuevo esquema tarifario incrementó los cargos fijos en un 47.6%, los cargos por energía en un 72% y los cargos por capacidad en un 91.9%. A diciembre de 2017, en Monterrey, los cargos fijos generados por el nuevo esquema tarifario aumentaron en 62.1%. En Puerto Vallarta, la suma de los cargos fijos bajo la nueva tarifa aplicada (GDMTH) aumentó en un 78% en comparación con los pagos de cargos fijos anteriores bajo la Tarifa 6 (El Colegio de México, 2019).

Uno de los casos críticos ha sido el municipio de Acapulco, que tiene problemas de autosuficiencia para el pago de energía y se ha visto obligado a solicitar asistencia especial tanto al gobierno estatal como federal, con el fin de reducir los costos de la tarifa a ser capaces de brindar un servicio continuo y de calidad (Pacheco, 2019b).

Si bien el nuevo esquema de tarifas ha traído consigo cambios en los costos, cabe señalar que el uso de una tarifa horaria fomenta el uso de sistemas de gestión de energía para evitar cargos de alto costo (para consumir menos energía durante las horas pico). Con una tarifa fija, este cambio de comportamiento era menos posible.

Como tal, la reducción del costo de la energía y/o la diversificación de las fuentes de energía son puntos clave de interés para las empresas de agua, dado que, bajo la nueva tarifa, los cargos por energía pueden resultar en gastos importantes que pueden volverse impagables y por lo tanto afectar directamente la provisión continua de servicios. Ahora, más que nunca, es importante que las personas tengan acceso al agua para combatir la actual emergencia sanitaria Covid-19.

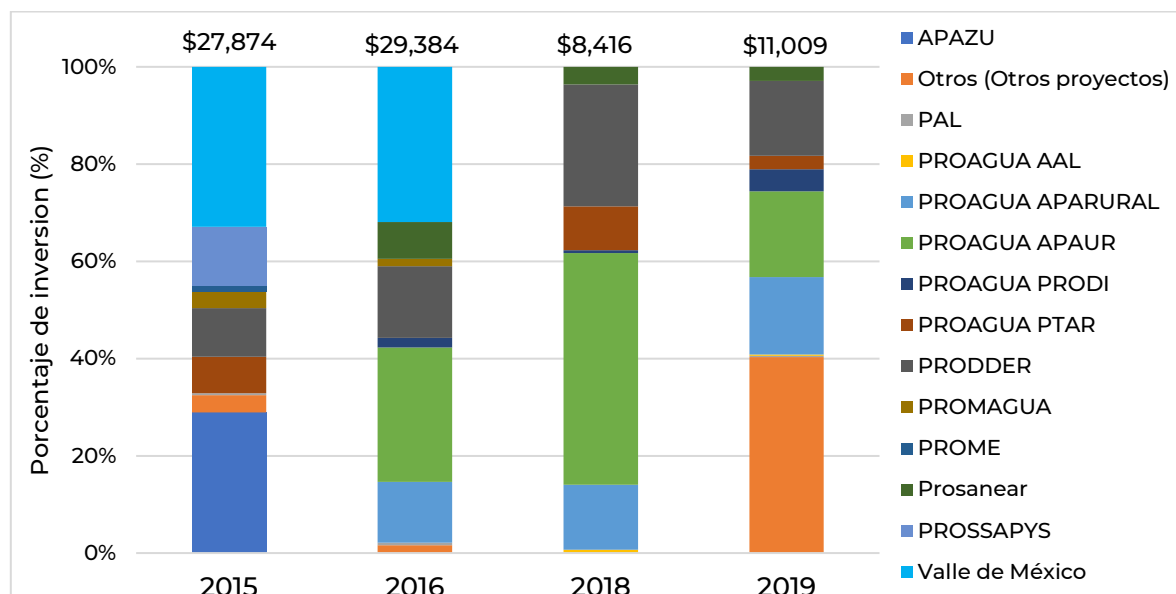
3.5 Fondos disponibles para los servicios públicos de agua

En México, existen varios programas y fondos de financiamiento específicamente dedicados al financiamiento de infraestructura y servicios de agua y saneamiento. Aunque hay varios programas disponibles para las empresas de agua, no hay ninguno que se centre exclusivamente en medidas de eficiencia energética o soluciones de energía renovable. Las empresas de agua que han utilizado fondos para este tipo de proyectos lo han hecho por voluntad propia.

Actores de las ramas federal, estatal y municipal, el sector privado, así como los bancos nacionales (por ejemplo, BANOBRAS) e internacionales (por ejemplo, BDAN y BID) ayudan a supervisar y asignar estos fondos.

Del total de inversiones realizadas en el sector, **el 80,65% de los fondos fueron aportados por el Gobierno Federal**, el 11,07% por Gobiernos Estatales y el 8,28% por Gobiernos Municipales, y ninguno por otros actores (comisiones estatales, préstamos, iniciativa privada, etc.). En 2019, los programas que aportaron más recursos de inversión fueron PRODDER con 1,691.4 millones y PROAGUA (Apartado Urbano) con 1,945.6 millones como se observa en la Figura 4 (CONAGUA, 2019d). De 2015 a 2019, FONADIN aportó en el sector “agua” con 1,100 mil millones de pesos⁹.

Figura 4. Evolución de Porcentajes de Inversiones (%) realizadas por Programas de CONAGUA (2015-2019)



Fuente: Autores con datos del Sistema Nacional de Información del Agua (SINA) (CONAGUA, 2019d)

⁹ Los proyectos pueden ser encontrados en: <https://www.fonadin.gob.mx/fni2/apoyos-autorizados/#toggle-id-3> y en: <https://www.fonadin.gob.mx/proyectos-de-inversion/proyectos-apoyados/agua/>



Notas: Las inversiones reportadas por programa y dependencia por sector de origen de los recursos en (Millones de pesos a precios constantes) se muestran sobre la columna por año.

Ver: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=presupuestoInvertido&ver=reporte&o=2&n=nacional>

PROAGUA AAL	Programa de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, Apartado Agua Limpia
PROAGUA APARURAL	Programa de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, Apartado Rural
PROAGUA APAUR	Programa de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, Apartado Urbano
PROAGUA PRODI	Programa de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, Apartado Proyecto para el Desarrollo Integral de Organismos Operadores de Agua y Saneamiento
PROAGUA PTAR	Programa de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, Apartado Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales
PRODDER	Programa de Devolución de Derechos.
PROMAGUA	Programa para la Modernización de Organismos Operadores de Agua.
PROME	Programa de Mejoramiento de Eficiencias de Organismos Operadores.
Prosanear	Programa Federal de Saneamiento de Aguas Residuales.
PROSSAPYS	Programa para la Construcción y Rehabilitación de Sistemas de Agua Potable y Saneamiento en Zonas Rurales.
Valle de México	Recursos Federales del Fideicomiso N° 1928.

Los fondos actualmente activos son:

- PROMAGUA (impulsado por FONADIN),
- PROAGUA, PRODDER y PROSANEAR (administrado por CONAGUA).

Estos fondos federales otorgan transferencias o subsidios federales basados en recursos fiscales (CONAGUA) o bonos verdes (FONADIN).

El Programa de Modernización de Organismos Operadores de Agua (PROMAGUA) tiene como objetivo apoyar a las empresas de agua para aumentar la cobertura, la calidad de cobertura y mejorar la eficiencia de sus servicios. El Fondo Nacional de Infraestructura (Fondo Nacional de Infraestructura, FONADIN) actúa como el brazo financiero y de capital privado en este programa para complementar los recursos no recuperables otorgados por el programa. Se enfoca principalmente en apoyar a las empresas de agua que atienden a municipios con una población de más de 50.000 habitantes o localidades atendidas por operadores intermunicipales (CONAGUA, 2012b).

Según la página web de FONADIN¹⁰, las ventajas de este programa son:

- FONADIN e inversionistas privados aportan el 100% de los recursos requeridos para el desarrollo del Proyecto.
- La empresa que presta el servicio se elige en función de la oferta que reúna las mejores condiciones técnicas y económicas, aumentando el beneficio socioeconómico.

¹⁰ Para más detalles vea:

https://www.fonadin.gob.mx/fni2/wp-content/uploads/sites/3/2019/10/Lineamientos_PROMAGUA.pdf



- La participación de FONADIN permite reducir la presión sobre las finanzas públicas locales, favoreciendo el equilibrio financiero de los proyectos y reduciendo la contraprestación que se debe pagar al inversionista privado.

El Programa de Agua Potable, Drenaje y Tratamiento, PROAGUA, busca fortalecer e incrementar la cobertura de los servicios de agua potable y alcantarillado que brindan las empresas de agua. El programa tiene cobertura nacional y se puede utilizar para ayudar a localidades urbanas y rurales de cualquier gobierno estatal que solicite apoyo. Los beneficiarios directos son los gobiernos estatales y / o municipales. Operacionalmente está conformado por las siguientes subsecciones: Urbano (APAUR), Rural (APARURAL), Agua Limpia (AAL), Instalaciones de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) y Proyecto de Desarrollo Integral de Servicios de Agua y Saneamiento (PRODI) (CONAGUA, 2020c). La subsección PTAR se incorporó a PROAGUA en 2017. El porcentaje de contribución federal para cada proyecto puede aumentar en base a consideraciones específicas establecidas por CONAGUA, incluyendo estar ubicado en Zona de Atención Prioritaria, ZAP, una localidad indígena, una localidad con situaciones de emergencia de agua, una localidad en extrema pobreza, con alta y muy alta marginación o con cobertura de agua potable por debajo del 20%, etc. (CONAGUA, 2020c).

El Programa de Reembolso de Derechos (Programa de Devolución de Derechos, PRODDER) brinda apoyo a proyectos destinados a mejorar la eficiencia e infraestructura de los servicios de agua y saneamiento, a través de recursos que CONAGUA obtiene de los ingresos y cuotas federales recaudados para el uso o explotación de aguas nacionales (CONAGUA, 2016). Este programa está abierto a todas las empresas de agua que hayan pagado derechos federales por el uso o explotación de las aguas nacionales y por el servicio público urbano, con poblaciones superiores a los 2.500 habitantes. Los prestadores de servicios deben solicitar su membresía mediante la presentación de un Programa de Acciones en el que se comprometen a invertir, junto con los recursos federales asignados, al menos otro monto igual (CONAGUA, 2016).

El Programa de Saneamiento de Aguas Residuales (PROSANEAR) asigna recursos federales, acumulados de los pagos recaudados por el uso o explotación de bienes de dominio público, como las entidades de aguas residuales. Estos recursos se asignan a mejoras en la eficiencia de infraestructura, operación y saneamiento. Las empresas de agua que han pagado sus tarifas por los servicios de tratamiento de aguas residuales, y con una población de más de 10,000 habitantes, son elegibles para solicitar membresía y recibir apoyo (CONAGUA, 2018b).

La Tabla 4 presenta un resumen de las principales características de los programas CONAGUA identificados (CONAGUA, 2015) y FONADIN (FONADIN, 2019).



Tabla 4. Resumen de las principales características de los programas de CONAGUA

Programa (Participantes involucrados)	Beneficiarios directos/ Contraparte Contribuyente Restante %	Acciones de apoyo	Apoyo proyectos energéticos	Apoyo no recuperable *
PROMAGUA Población mayor a 50.000 habitantes o OOA Intermunicipal (CONAGUA, BANOBRAS, FONADIN, OOA y empresas privadas a cargo de proyectos tipo DCOT.)	Organismos Operadores Contraparte (CP): Recursos de la empresa privada (generalmente 20% de capital riesgo) y el resto de la deuda privada.	Mejora de la eficiencia física y empresarial mediante: Proyectos de Mejora Integral de Gestión, Abastecimiento de Agua, Saneamiento y Macroproyectos. Apoyo financiero para estudios	Proyectos de ahorro de energía eléctrica y cogeneración mediante el uso de biogás	Recursos de FONADIN. Hasta un 49% en conceptos de mejora integral de gestión y macroproyectos, así como Asesoría Financiera y Licitación de Proyectos. Hasta el 50% para la elaboración o actualización de Estudios y Consultoría Estratégica para la Licitación y Cierre Financiero del Proyecto. Hasta el 50% del costo de los estudios de diagnóstico y planificación integral.
PROAGUA Localidades rurales (menos de 2.500 habitantes) (SGAPDS, cuerpo executor, OC, DL y GPFAPS)	El organismo executor puede ser: Estado/Agencia Estatal, Municipio, OOA o un Comité Comunitario CP: recursos estatales, municipales, OOA, sector social, iniciativa privada u otras entidades	Obtención, ampliación, construcción y rehabilitación de infraestructura hidráulica. Mejora de la eficiencia comercial, administrativa y técnica. Proyectos y estudios de obra	Formación de personal en Eficiencia Energética; Auditoría Energética; Automatización o sustitución de equipos de bombeo; Evaluación, medición y reducción del consumo energético; Reducción de potencia reactiva; Reemplazo o construcción de tanques de almacenamiento; Generación de energía alterna	Porcentaje base del 60% para el subcomponente "nuevo", 40% para "mejorado", 30% para "rehabilitado" y 50% para "mejora de la eficiencia". Aumenta según particularidades y puede llegar hasta el 100% en algunos casos.
PROAGUA Localidades urbanas (2.500 habitantes o más) (SGAPDS, cuerpo executor, OC, DL y GPFAPS)				Percentage varies according to the population range**. For the "new" subcomponent, base percentage is 40- 70%; for "improved", "rehabilitated" and "efficiency improvement" 30-50%. Percentage increases according to particularities and can reach up to 90%
PROAGUA / PRODI Población de entre 50.000 y 900.000 habitantes (SGAPDS, GFOO, SGP, GCI, SGA, OC, DL, gobiernos estatales, municipalidades a través de los OOA, AF y BID)	Organismo Público de agua Descentralizado (OPD) CP: Recursos estatales, municipales, OPD y BID (a través de crédito externo)	Acciones de los componentes de "Apoyo Institucional" e "Inversión en acciones integrales" (Subcomponentes: "Planes de Desarrollo Integral", "Acciones de Desarrollo Integral" e "Inversión en infraestructura y mejoramiento operativo")	Diagnóstico de eficiencia energética, Adquisición e instalación de equipos que reducen el consumo energético, Estudios de cambio de tarifa y Reducción de potencia reactiva	Porcentaje base del 50%, subiendo al 70% en caso de tener un paquete integral o ser una ZAP



Programa (Participantes involucrados)	Beneficiarios directos/ Contraparte Contribuyente Restante %	Acciones de apoyo	Apoyo proyectos energéticos	Apoyo no recuperable *
PRODDER Población mayor de 2.500 habitantes (OOA públicos o privados y SGAPDS)	OOAs CP: Recursos estatales, municipales o internos de generación de efectivo del prestador de servicios o préstamos. (Deben aportar al menos un monto equivalente al aporte federal)	Proyectos de Infraestructura de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, para el Mejoramiento de la Eficiencia y Apoyo a Estudios	Acciones que garanticen el ahorro de energía eléctrica y acciones de generación de energías alternativas	Hasta el monto total de los derechos amparados, hasta un máximo del 50% del monto total del Programa de Acciones
PROSANEAR Población mayor a 10.000 habitantes (Unidades Administrativas de RHA, SGAPDS, (GFPAS, GFOO, CGRF and SGA) y los beneficiarios)	Entidad federal, municipio, Paraestatal, organismo paramunicipal y empresa concesionaria CP: recursos estatales, municipales o internos de generación de efectivo	Infraestructura de saneamiento, operación de saneamiento y mejora de la eficiencia	Cogeneración de energía eléctrica para autoconsumo, Uso y gestión de fuentes alternativas de energía para autoconsumo en sistemas de saneamiento	Los recursos invertidos por el beneficiario, en proporción al monto federal asignado, pueden ser del 0% (para pueblos pequeños) al 100%

Fuente: Autores con información de Programas y Reglas Operativas de CONAGUA (CONAGUA 2012b), (CONAGUA, 2015), (CONAGUA, 2016), (CONAGUA, 2018b), (CONAGUA, 2020c)

Notas:

CP: Contraparte
AF: Agente Financiero
BANOBRAS: Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos S.N.C.
BID: Banco Interamericano de Desarrollo
CGRF: Coordinación General de Recaudación y Fiscalización de CONAGUA
DCOT: Diseño, Construcción, Operación y Transferencia
DL – Dirección local del depto. de gestión local
EdA: Escuela de Agua

FONADIN – Fondo Nacional de Infraestructura
GCI: Gerencia de Cooperación Internacional de la SGP de CONAGUA.
GFOO: Gerencia de Fortalecimiento de Organismos Operadores de la SGAPDS de CONAGUA)
GPFAPS: Gerencia de Programas Federales de Agua Potable y Saneamiento de la SGAPDS de CONAGUA
OC: Organismo de Cuenca
SGA: Subdirección General de Administración de CONAGUA
RHA: Región Hidrológico-Administrativa

SGAPDS: Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento de CONAGUA
SGP: Subdirección General de Planeación. De CONAGUA
OOA: Organismo Operador de Agua
ZAP: Zona de Atención Prioritaria
* Recursos Federales a menos que se indique lo contrario
**PROAGUA: (localidades urbanas) proporciona un mayor apoyo a los pueblos pequeños (localidades de 2500 a 14999)



Los proyectos relacionados con la eficiencia energética y las energías renovables se incluyen en la categoría de mejora de la eficiencia en todos los programas de financiación, que tiene el porcentaje más bajo de inversión en todo el sector.

Por ejemplo, el **Portal de Transparencia Presupuestaria** registró que:

- De 171 proyectos PRODDER localizables, solo hay 7 proyectos de eficiencia energética y 1 proyecto de energía renovable (SHyCP, 2020b).
- De 1.382 proyectos PROAGUA localizables, solo hay 18 son proyectos de inversión y evaluaciones dedicados a soluciones de eficiencia energética y 6 a proyectos de energía renovable (SHyCP, 2020a).

Los registros de PROMAGUA muestran que durante el período 2007-2012, el programa financió algunos grandes proyectos de cogeneración en diferentes plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), como en León, El Ahogado, Atotonilco, Agua Prieta, San Pedro, Mártir Hermosillo, promoviendo el uso de energías limpias en el subsector de saneamiento (CONAGUA, 2012a).

A pesar de la cartera de programas de financiamiento disponibles para respaldar estas soluciones, pocas empresas de agua han instalado tecnologías de energía renovable para su consumo energético. A enero de 2021, solo uno de los 42 municipios analizados en este estudio ha cambiado de proveedor o ha firmado un contrato de compra de energía (PPA por siglas en inglés) con un generador de energía renovable. La Tabla 5 a continuación proporciona un resumen de las empresas de agua que han instalado sistemas de generación limpia y renovable en todo México.

Tabla 5. Resumen de empresas de agua con proyectos de energía limpia

Ubicación	Organismo operador	Proyecto de energía limpia	Recursos
Guadalajara, Jalisco	SIAPA (Sistema Intermunicipal de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado)	1. Contratos de energía con una central eólica. 2. Cogeneración a partir de biogás en PTAR "Agua Prieta" y "El Ahogado".	1. Recursos estatales y municipales (SIAPA) 2. PROMAGUA- FONADIN y "Consortio Atlatec-Trident" (recursos privados)
León, Guanajuato	SAPAL (Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de León)	Cogeneración a partir de biogás en la PTAR municipal.	PROMAGUA - SAPAL y ECOSYS FYPASA (recursos privados)
Monterrey, Nuevo León	SADM (Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey)	Generación de electricidad a partir de biogás en PTAR "Dulces Nombres" y "Planta Norte"	SADM (Recursos estatales y municipales)
Mérida, Yucatán	JAPAY (Junta de Agua Potable y Alcantarillado de Yucatán)	Generación de energía eléctrica fotovoltaica en 5 PTAR.	Fondos APAZU (Programa de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento en Zonas Urbanas) 2013 y 2014



Ubicación	Organismo operador	Proyecto de energía limpia	Recursos
Mexicali, Baja California	CESPM (Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali)	Generación de energía eléctrica fotovoltaica en PTAR Arenitas	PROSANEAR. CESPM (recursos municipales) y Recursos federales
Ciudad Juárez, Chihuahua	JMAS (Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Juárez)	Cogeneración a partir de biogás en PTAR "Sur"	Degrémont S.A. de C.V. (Recursos privados)
Querétaro, Querétaro	CEA (Comisión Estatal de Aguas de Querétaro)	C Cogeneración a partir de biogás	PROMAGUA. Atlatec (Recursos privados)
San Luis Potosí, SLP	INTERAPAS	Cogeneración a partir de biogás en PTAR "El Morro"	FYPASA (Recursos privados)
Hermosillo, Sonora	Agua de Hermosillo	Cogeneración a partir de biogás en PTAR "Hermosillo"	PROMAGUA. TIAR Hermosillo, S.A.P.I. de C.V. (Recursos privados) y créditos del BDAN y el Banco del Bajío.

Fuente: Autores con información del Informe Documental de PROMAGUA 2007-2012 (CONAGUA, 2012a), Situación del Subsector de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (CONAGUA, 2019h), ONU-Habitat (2018a pp.99) e información compartida por CESPM y JAPAY.

PTAR: Planta de tratamiento de Aguas Residuales

BDAN: Banco de Desarrollo de América del Norte

Al cambiar el modelo de negocio de inversión en activos a servicios energéticos y contratos de compra de energía, existe el potencial de generar ahorros de electricidad y reducciones de emisiones de GEI.

3.6 Marco del sector energético: alternativas para la adquisición de energía

La Reforma Energética de México en 2013 creó el Mercado Eléctrico Mayorista, abriéndose a empresas privadas para participar en segmentos de la cadena de valor de la energía. Ahora las empresas privadas pueden participar en la generación y suministro de energía (comercialización). Los usuarios comerciales e industriales medianos y grandes pueden firmar un acuerdo o contrato de compra de energía (PPA) para la adquisición de energía a través de un proveedor calificado o directamente a través de un generador. Existen al menos cinco opciones para reducir la huella de carbono (SENER, 2018): A los efectos de este informe solo se detallan tres opciones.



Generación in situ: generación distribuida (hasta 500 kW)

La Generación Limpia Distribuida (DG) permite a los usuarios finales básicos generar electricidad renovable en el sitio con pequeñas centrales eléctricas con una capacidad inferior a 500 kW. Uno de los principales aspectos de la GD es su sencillez ya que no requiere permiso energético de la CRE y puede ser instalado por cualquier tipo de consumidor. El reglamento establece tres mecanismos de compensación:

1. **Medición neta:** que permite la compensación de la energía entregada a la red y la energía comprada al proveedor, ahorrando la tarifa de energía regulada por kWh generado. Por su sencillez y valor económico, es la primera opción a considerar.
2. **Facturación Neta:** la energía comprada a la red se factura con la tarifa básica de suministro, y la entregada a la red se remunera al Nodo de Precio Marginal Local (MLP) correspondiente.
3. **Venta total:** aplica donde no existe contrato de Suministro (consumo de energía) asociado al mismo punto de interconexión de la Central Eléctrica. Al igual que en la facturación neta, la remuneración está al precio de MLP.

Generación in situ: superior a 500 kW

La generación in situ superior a 500 kW requiere un permiso de energía de la CRE y un estudio de interconexión realizado por CENACE que evalúa la capacidad y viabilidad de la red para hacer frente a un influjo adicional de energía. Hay dos modalidades por encima de 500 kW.

1. **La modalidad de Suministro Aislado (SA)** permite a los usuarios finales generar o importar energía para el cumplimiento de su consumo, sin utilizar la transmisión de energía a través de la red eléctrica pública. Si ocurre una escasez, el usuario final puede comprar energía y también vender los excedentes. El suministro aislado tiene una ventaja: la energía consumida en la Red Privada no paga cargos por conceptos de Transmisión y Distribución.
2. **Generación local.** Similar a la modalidad de Suministro Aislado, la planta de energía tiene que entregar su energía a través de una Red Privada, pero a diferencia de Suministro Aislado, el usuario final debe ser un usuario calificado y el sistema eléctrico central pertenece a un tercero.

Proveedor calificado y usuario calificado

Los usuarios calificados (públicos o privados) pueden firmar contratos de energía, o Contratos de Compra de Energía (PPA), con un proveedor de energía diferente (proveedor calificado), donde los esquemas tarifarios y los precios de las tarifas



difieren de las tarifas reguladas cobradas por la empresa federal Comisión Federal de Electricidad (CFE).

Los usuarios generalmente encontrarán que las tarifas no reguladas son más bajas que las reguladas y, si así lo solicitan, energía más limpia. Sin embargo, se deben cumplir ciertos requisitos para pasar de usuario regulado (despachado por proveedor básico de CFE) a usuario calificado (despachado por proveedor calificado).

Los usuarios calificados deben exigir al menos 1 MW. Esto se puede lograr con una sola carga de 1 MW (LIE, 2014), o con varios puntos de al menos 25 kW (SENER, 2017), cada uno sumado sumando 1 MW. En el caso de los usuarios públicos para poder agregar varias cargas cada uno de ellos debe depender económicamente de la misma entidad pública.

Para convertirse en un usuario calificado, el usuario final debe registrarse en la Comisión Reguladora de Energía (CRE). Para obtener más detalles y una guía de registro, consulte: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/110730/Guia_RUC.pdf

Tabla 6. Marco legal para usuarios calificados.

Tema	Publicación
a) Condiciones para registrarse y operar como usuario calificado	DOF: 06/12/2017 http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5506927&fecha=06/12/2017 DOF: 12/07/2016 http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5444338&fecha=12/07/2016
b) Definición de demanda y plazos para cargas agregadas dentro de un mismo grupo económico	DOF 01/03/2017 http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5474979&fecha=01/03/2017
c) Condiciones de funcionamiento del registro de usuarios habilitados.	DOF 02/02/2016 http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5424091&fecha=02/02/2016
d) Condiciones de funcionamiento del registro de Usuario Cualificado (transitorio)	DOF 14/04/2016 http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5423490&fecha=26/01/2016

Fuente: Autores con información de Comisión Reguladora de Energía y DOF



Una vez que un usuario se convierte en usuario calificado¹¹, debe elegir un proveedor calificado (nuevo proveedor de energía diferente al actual proveedor básico de CFE). En este momento hay 53 proveedores calificados¹² (incluido proveedor calificado CFE) activos en el mercado que pueden firmar un contrato de energía. Los términos y condiciones a firmar bajo el PPA entre el nuevo proveedor de energía y un usuario calificado son negociables: período de tiempo del contrato, cantidad y tipo de energía (fósil, energía limpia o mixta) y el precio.

Las ventajas de convertirse en un usuario calificado: posibilidad de elegir un proveedor calificado (nuevo proveedor de energía diferente al actual proveedor básico de CFE), hay mucha competencia ya que, en este momento, hay 53 proveedores calificados (incluido el proveedor calificado de CFE) activos en el mercado que puede firmar un contrato energético. Los términos y condiciones por firmar bajo el PPA entre el nuevo proveedor de energía y un usuario calificado son negociables: período de tiempo para el contrato (desde corto hasta 3 años hasta contratos a largo plazo por encima de 7 años), contrato a medida: monto y tipo de energía (energía fósil, limpia o mixta; reducción potencial de las emisiones de GEI) y el precio (ahorro en la factura). Además, flexibilidad, ya que después del contrato puedes elegir otro usuario calificado.

Por otro lado, las desventajas incluyen el hecho de que es un mercado temprano, por lo que la mayoría de los proveedores calificados son nuevos (a excepción de las corporaciones internacionales). La comparación entre ofertas no es sencilla, ya que la mayoría de ellas incluyen conceptos de transferencia en los que la congestión es más relevante. Si el proveedor calificado seleccionado deja de operar (quiebra), un proveedor de emergencia tendrá que suministrar la energía a tarifas más altas que las reguladas, lo que obligará a los usuarios finales a seleccionar nuevamente otro proveedor calificado para evitar mayores costos.

Mensajes clave

1. El marco legal actual sugiere que las empresas de agua tienen poder de decisión sobre la infraestructura que administran y, por lo tanto, pueden promover, administrar e implementar proyectos de eficiencia energética y energías renovables que les ayuden a mejorar su salud financiera al reducir costos y, por lo tanto, asegurar la prestación del servicio y contribuir a la reducción de emisiones de GEI.

¹¹ Los Proveedores Calificados requieren un permiso CRE para brindar servicios de electricidad a Usuarios Calificados, así como un plan de negocios y un número estimado de clientes. Los Proveedores Calificados también deben registrarse como participantes del mercado para vender y comprar electricidad en el Mercado Eléctrico Mayorista.

¹²

[https://www.cenace.gob.mx/Docs/12_REGISTRO/ListasPM/2021/03.%20Lista%20de%20Participantes%20del%20Mercado%20\(Marzo-2021\).pdf](https://www.cenace.gob.mx/Docs/12_REGISTRO/ListasPM/2021/03.%20Lista%20de%20Participantes%20del%20Mercado%20(Marzo-2021).pdf)



2. El nuevo esquema de tarifas ha traído cambios en los costos. Por ejemplo, para el municipio de Aguascalientes, el nuevo esquema tarifario aumentó los cargos fijos en un 47,6%, los cargos por energía en un 72% y los cargos por capacidad en un 91,9%.
3. El uso de una tarifa horaria fomenta el uso de sistemas de gestión de energía para evitar cargos de alto costo (para consumir menos energía durante las horas pico). Con una tarifa fija, este cambio de comportamiento era menos posible.
4. Aunque hay varios programas disponibles para las empresas de agua, no hay ninguno que se centre exclusivamente en medidas de eficiencia energética o soluciones de energía renovable.
5. De acuerdo con la información del Portal de Transparencia Presupuestaria, solo el 4.1% de los proyectos localizables de PRODDER y el 1.3% de los proyectos localizables de PROAGUA estaban relacionados con la eficiencia energética. Solo 9 de 2,688 empresas de agua en México tenían proyectos de energía limpia.
6. A pesar de la cartera de programas de financiamiento disponibles para respaldar estas soluciones, pocas empresas de agua han instalado tecnologías de energía renovable para su consumo de energía. A enero de 2021, solo 1 de los 42 municipios analizados en este estudio ha cambiado de proveedor o ha firmado un Contratos de Compra de Energía (PPA) con un generador de energía renovable.
7. Cambiar el modelo de negocio de la inversión en activos a los servicios energéticos y los contratos de compra de energía tiene el potencial de generar ahorros de electricidad y reducciones de emisiones de GEI.

4. Municipios seleccionados.

Después de un análisis exhaustivo de los indicadores clave presentados en el Apéndice 1, se identificó una breve lista de posibles municipios asociados que podrían ser candidatos sólidos para aplicar o replicar soluciones de energía renovable y eficiencia energética en los servicios de agua. Resumen de la Tabla 7: los criterios de selección, la fuente de información, la estimación del indicador en base a la metodología de criterios de municipios identificados en el Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores (PIGOO).

Tabla 7. Criterios de selección definidos, fuentes y estimación de indicadores

Criterio de Selección	Fuente	Estimación del Indicador
Población mayor de 500,000 habitantes	INEGI Censo 2010 (INEGI, 2011)	42 municipios pasaron este filtro



Criterio de Selección	Fuente	Estimación del Indicador
Estructura organizativa de los OPD	Portales de internet de los OOA	30 municipalidades pasaron este filtro (26 OOA)
Soluciones de Energía Renovable	Tabla 5. (CONAGUA, 2012a); (CONAGUA, 2019g); (UN-Habitat, 2018a pp.99) e información compartida por CESPM y JAPAY	Se descartaron las empresas de agua con cogeneración en sus instalaciones de tratamiento, con contratos de suministro de energía y con soluciones de ER ampliamente replicadas. 26 municipios pasaron el filtro
Energía por habitante en (kWh/inhab)	(CFE, 2017) e (INEGI, 2011)	La media de los valores para los 26 municipios es de 23,33 kWh/hab. Los municipios con valores más altos y los dos medios fueron altamente considerados para el filtro final. Las emisiones de GEI son proporcionales al consumo de electricidad.
Relación de trabajo (%)	(IMTA, 2018) a través del Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores (PIGOO)	El promedio de 30 Organismos Operadores de Agua es 88.22 %
Micromedición (%)	(PIGOO, 2018)	El promedio de 30 Organismos Operadores de Agua es 62.67 %
Volumen de agua residual tratada (%)	(PIGOO, 2018)	El promedio de 30 Organismos Operadores de Agua es 60.74%
Cobertura de agua potable reportada (%)	(PIGOO, 2018)	El promedio de 30 Organismos Operadores de Agua es 96.24%
Eficiencia Física 2 (%)	(PIGOO, 2018)	El promedio de 30 Organismos Operadores de Agua es 58.76%
Eficiencia Comercial (%)	(PIGOO, 2018)	El promedio de 30 Organismos Operadores de Agua es 78.60%
Eficiencia Global (%)	(PIGOO, 2018)	El promedio de 30 Organismos Operadores de Agua es 45.82%

Fuente: Autores con información de INEGI, 2011, CONAGUA, PIGOO, IMTA, CFE, UN-Habitat, OOA

El filtro final empalma los resultados de los indicadores PIGOO (<http://www.pigoo.gob.mx/Inicio>) con la intensidad energética para seleccionar los



municipios clave. Este filtro presta especial atención a la intensidad energética y la cobertura del servicio.

Para obtener los promedios de PIGOO se utilizó una variable ficticia. Si la empresa de servicios públicos reportó datos a la plataforma, entonces la empresa de servicios públicos tenía asignado un 1, lo que significa que se consideraría. De los 42 municipios con una población superior a 500,000 habitantes, solo se consideraron 30. A partir de esas 30 empresas de servicios públicos, se calcularon los promedios. El hecho de que algunos municipios no tengan valores superiores a la media calculada no significa que tengan una mala calificación. En algunos casos, PIGOO los califica como sobresalientes o buenos en comparación con los promedios nacionales.

Luego de aplicar la selección de criterios, solo 10 empresas de agua descentralizadas fueron preseleccionadas¹³ (Tabla 8) e invitadas a participar a través de un taller realizado el 13 de noviembre de 2020 donde el proyecto fue presentado, 7 mostraron interés en el proyecto (Culiacán, Durango, Hermosillo, Irapuato, Mexicali, Morelia y Torreón). Solo 4 OPD enviaron datos de energía, pero la capacidad máxima de análisis se estableció solo para 3 empresas de agua, por lo que las empresas de agua seleccionadas fueron Mexicali, Durango y Torreón.

¹³ Las celdas en color verde tienen los valores más deseables, en color amarillo los valores promedio (o más cercanos al valor deseable) y en color naranja los valores menos deseables.



Tabla 8. Sumario de las calificaciones de los indicadores

Municipalidad	Estado	OPD	Intensidad energética operativa por habitante	Relación de trabajo (%)	Micro medición (%)	Volumen de Agua Residual Tratado (%)	Cobertura de agua potable reportada (%)	Eficiencia Física 2 (%)	Eficiencia Comercial (%)	Eficiencia Global (%)	Grado de presión hídrica (CONAGUA vs AQUEDUCT)
Hermosillo	Sonora	AGUAH	121.074	75.31	57.62	61.44	98.00	53.56	67.74	36.29	Muy Alto
Tlalnepantla de Baz	Estado de México	OPDM	51.331	94.60	93.59	2.11	99.41	45.28	61.91	76.32	Alto
Reynosa	Tamaulipas	COMAPA	41.045	79.17	38.10	89.83	95.36	61.42	54.74	33.62	Alto
Mexicali	Baja California	CESPM	33.135	96.85	91.73	97.15	98.28	81.83	99.84	81.70	Alto
Irapuato	Guanajuato	JAPAMI	22.311	96.04	78.84	117.23	84.00	40.88	63.75	26.06	Alto
Culiacan	Sinaloa	JAPAC	22.244	93.86	91.94	110.43	99.50	60.95	93.17	56.79	Muy Alto
Morelia	Michoacán	OOAPAS	14.671	96.19	61.56	64.02	97.80	42.61	80.45	34.27	Alto
Durango	Durango	AMD	14.571	87.61	63.45	108.19	99.48	42.65	94.05	40.11	Alto Medio
San Luis Potosí	San Luis Potosí	INTERAPAS	9.414	94.83	48.36	114.29	97.00	48.38	49.66	24.03	Alto Medio
Torreón	Coahuila	SIMAS	10.861	83.80	44.24	93.69	99.00	48.96	79.41	38.88	Alto Medio

Fuente: Elaboración propia en base a datos del “Instituto Mexicano de Tecnología del Agua” [IMTA] (2019), CRE (2017), INEGI (2011), CONAGUA (2019b) y World Resources Institute (WRI, 2019)

Valor más deseable

Valor medio

Valor menos deseable



5. Análisis de oportunidades potenciales de eficiencia energética (EE) en los servicios de agua municipales

Las oportunidades de eficiencia energética en los servicios de agua municipales se pueden clasificar en tres vías principales:

1. Políticas e incentivos para promover un uso más eficiente del agua por parte de los clientes;
2. Cambios operativos o de proceso para ahorrar energía en las instalaciones de tratamiento; y
3. Soluciones técnicas para ahorrar energía en las instalaciones de tratamiento.

Esta sección presenta una introducción de alto nivel de las oportunidades asociadas con las dos primeras vías y luego proporciona un análisis más extenso de posibles soluciones técnicas para ahorrar energía en las instalaciones de tratamiento.

Todas las oportunidades que se presentan son mejores prácticas de alto nivel para los servicios de agua municipales; algunos pueden ser relevantes mientras que otros pueden no serlo. Depende de los operadores de las empresas de servicios públicos, dado su conocimiento experto de sus instalaciones y operaciones, determinar qué oportunidades pueden ser aplicables y cuales podrían ser investigadas más a fondo. En el Apéndice 1 se proporcionan detalles sobre los métodos, la recopilación de datos y el análisis técnico.

Existen barreras para la implementación de oportunidades de eficiencia energética. Éstas incluyen:

- Falta de fondos para invertir en reemplazo / actualización de equipos.
- Dificultades para cuantificar adecuadamente los beneficios económicos potenciales de tales cambios, específicamente aquellos vinculados a los beneficios asociados con un mantenimiento reducido o una mayor confiabilidad.
- Otras barreras están asociadas con operaciones de aversión al riesgo en las que el personal no se siente cómodo cambiando los procesos de tratamiento y el equipo de soporte que pueden afectar la calidad del agua.
- Limitaciones a la capacitación del personal de las instalaciones de agua y aguas residuales en la operación y mantenimiento de nuevos equipos.



5.1 Políticas e incentivos para promover un uso más eficiente del agua por parte de los clientes

Las actividades de esta vía incluyen medidas implementadas por las instalaciones de agua y aguas residuales o las partes interesadas municipales para fomentar la adopción de prácticas de ahorro de agua por parte de los usuarios finales. Tales acciones pueden reducir no solo la cantidad de agua potable consumida, sino también la cantidad de aguas residuales generadas. Estos podrían incluir incentivos (por ejemplo, reembolsos ofrecidos por la compra de accesorios de bajo flujo); estructuras de facturación o tarifas para desalentar el uso elevado de agua (por ejemplo, estructuras de tarifas de bloques invertidos con costos crecientes para un uso más elevado); y/o políticas o leyes que permiten la reutilización y el reciclaje del agua, o que exigen productos eficientes.

Los incentivos, como los reembolsos, animan a los clientes a instalar equipos de ahorro de agua o realizar cambios en el ahorro de agua. Estos podrían incluir reembolsos que se pueden aplicar a la compra de equipos de ahorro de agua (por ejemplo, regaderas de bajo flujo), obsequios de productos (por ejemplo, barriles de lluvia para conectar a las canaletas de las casas para la captura de agua de lluvia, que podrían usarse para jardinería o lavado de automóviles), o incentivos económicos para determinadas modificaciones (por ejemplo, instalar xeriscaping¹⁴, por ejemplo).

La tarifa del agua para facturación se puede estructurar de manera que se desincentive a los clientes para que utilicen grandes cantidades de agua. La fijación de precios escalonada es un ejemplo. Se cobran tarifas bajas por el uso del agua sobre una base preestablecida (en México se factura bimestral) por debajo de un cierto umbral. Luego, se cobran tarifas crecientes por el uso por encima de ese umbral, pero por debajo del siguiente umbral más alto, y así sucesivamente con tarifas crecientes. Las estructuras de facturación de tarifas de agua que son opuestas (menores costos por un mayor consumo de agua) están incentivando esencialmente el uso elevado de agua. Cambiar las tarifas del agua requiere procedimientos legales y organizativos que pueden ser difíciles de ejecutar, y también se debe considerar que el aumento de las tarifas del agua puede tener impactos sociales y políticos, pero si se hace correctamente, se puede utilizar para fomentar la reducción del consumo del agua, lo que resulta en ahorros en los costos.

Las políticas o leyes que exigen la venta de productos exclusivamente eficientes en el uso del agua o que permiten ciertos comportamientos (reutilización del agua o captación de agua de lluvia, por ejemplo) son otros métodos para apoyar la reducción del uso del agua. Los requisitos de accesorios de bajo flujo (inodoros, urinarios, cabezales de ducha y grifos) pueden garantizar que solo los productos

¹⁴ Xeriscaping es el proceso de paisajismo o jardinería que reduce o elimina la necesidad de riego. Se promueve en regiones que no tienen suministros accesibles, abundantes o confiables de agua dulce y está ganando aceptación en otras regiones a medida que el acceso al agua de riego se está volviendo limitado; aunque no se limita a tales climas. <https://en.wikipedia.org/wiki/Xeriscaping>



más eficientes estén disponibles para la compra. Los códigos de construcción o de plomería pueden ayudar a respaldar la eficiencia del uso del agua y la reutilización del agua, como los códigos que especifican el tamaño máximo de tubería o que permiten sistemas de tubería doble (una para agua potable y otra para agua reciclada). Las políticas que incentivan a los inspectores a tener la capacidad para responsabilizar a los infractores son también un componente importante de la eficacia de dichas políticas.

5.2 Cambios operativos o de proceso para ahorrar energía en las instalaciones de tratamiento

Esta vía se centra en soluciones para la optimización del lado del suministro y, por lo general, no requiere la implementación de nuevas soluciones tecnológicas, sino que se centra en cambios operativos o de proceso dentro de una instalación de tratamiento de agua. Incluye la creación e **implementación de protocolos integrales de operación y mantenimiento (O&M)**, con el fin de tener un diagnóstico del estado inicial de la situación y poder identificar soluciones en etapas tempranas. Si bien los planes y estrategias de O&M varían según el proyecto y la aplicación, "el mantenimiento adecuado es esencial para maximizar los beneficios ambientales, sociales y económicos de la infraestructura verde, así como para garantizar que los proyectos funcionen como fueron diseñados"¹⁵.

A menudo también incluye el establecimiento de **nuevos procesos de reemplazo de capital** para garantizar el rendimiento óptimo de los equipos existentes, así como el reemplazo oportuno de los componentes al final de su vida útil, con los más óptimamente eficientes disponibles.

Otra acción podría ser la implementación de **sistemas de control de supervisión y adquisición de datos (SCADA)**, que rastrean el uso de energía a nivel de componentes/equipos. El monitoreo SCADA permite al operador rastrear de cerca el consumo de energía e identificar posibles problemas u oportunidades operacionales. Además de los sistemas SCADA, la submedición se puede utilizar para identificar y rastrear los procesos con mayor consumo de energía.

Se puede realizar un **análisis de facturas de servicios** para determinar si la tarifa actual de servicios públicos es la más apropiada para las operaciones del sitio o si una tarifa diferente puede ser más ventajosa económicamente. El análisis de las facturas de servicios públicos también es importante para comprender los períodos de tarifas dentro y fuera de las horas pico, y cuando se combina con los datos de carga por hora, se puede utilizar para identificar posibles oportunidades de ahorro (por ejemplo, para cambiar las cargas de bombeo a las horas de menor actividad, registrarse como un usuario calificado y contratación con un proveedor calificado para un mecanismo de adquisición de electricidad menos costoso, etc.).

¹⁵ Ver: https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-04/documents/green_infrastructure-om_report.pdf



La detección de fugas en las líneas de agua ahorra agua tratada que de otro modo se desperdiciaría. La eliminación de la infiltración/entrada en las líneas de aguas residuales ayuda a garantizar que el agua subterránea y la lluvia no se filtren en un sistema de alcantarillado y aumenten las cargas de bombeo y tratamiento.

La gestión de la demanda de energía se puede lograr mediante la adición de capacidad de almacenamiento de agua o recursos energéticos distribuidos (como la generación de energía in situ y/o los sistemas de almacenamiento de energía con baterías). Más información sobre los sistemas de energía renovable se proporciona en este informe en la Sección 6. “Análisis de las oportunidades potenciales de energía renovable (ER) en los servicios de agua municipales”

Tabla 9. Costo y beneficios probables de las medidas de ahorro operativo

Medidas	Costo probable	Ahorros y Beneficios probables
Protocolos de Operación y Mantenimiento (O&M)	Bajo	Medio (5-20%) ¹⁶
Nuevos procesos de reposición de capital	Alto	Alto
Sistemas de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (SCADA)	Alto	Alto
Análisis de facturas de los servicios	Bajo	Bajo-Medio
Detección de Fugas	Medio	Medio
Gestión de la demanda de energía	Bajo-Medio	Medio

Fuente: Autores

5.3 Soluciones técnicas para ahorrar energía en las instalaciones de tratamiento

Las soluciones técnicas para reducir el uso de energía en plantas de tratamiento de agua son el foco de este estudio. Las oportunidades de ahorro asociadas con estas soluciones técnicas se pueden clasificar por cargas: cargas por las construcciones y cargas por los procesos.

Las oportunidades de ahorro en edificios incluyen medidas asociadas con los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC), iluminación, cargas de enchufe y envoltorio del edificio. Las cargas de proceso son las asociadas con los procesos de tratamiento de agua y aguas residuales. En general, las cargas relacionadas con la construcción tienden a ser un pequeño porcentaje del uso total de energía de las plantas de tratamiento de agua.

¹⁶ Ver: https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-04/documents/green_infrastructure-om_report.pdf



Los problemas de calidad de la energía a nivel del sitio o de la instalación pueden afectar el uso eléctrico y las tarifas asociadas, así como el rendimiento del equipo. Una Guía Técnica de CFE¹⁷ (CFE, 2009) requiere al menos un factor de potencia de 0.90 (90%)¹⁸ de “decremento”. El factor de potencia se proporciona en las facturas de la CFE.

Si un sitio tiene un factor de potencia inferior al 90%, considere instalar condensadores (Capacitores) del lado de la carga de los transformadores. Además, si hay armónicos eléctricos importantes, es posible que se requiera un reactor para estabilizar la potencia. En sitios donde el factor de potencia es inferior al 90%, considere realizar una evaluación para determinar la viabilidad de mejorar la calidad del factor de potencia y cuantificar beneficios tales como una reducción de su factura de servicios públicos debido a una reducción en las corrientes de carga y una reducción en los costos de mantenimiento como es probable que aumente la vida útil del equipo. En general, la compensación de potencia reactiva tiende a tener un impacto positivo en su sistema de distribución y un período corto de amortización.

Las soluciones técnicas centradas en edificios para el ahorro de energía son las que tradicionalmente se enfocan en el sector de los edificios: medidas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC), mejoras de iluminación, gestión de carga de enchufes y mejora de la envolvente del edificio. Las medidas de ahorro de agua también reducirán el uso de energía, por lo que estas medidas también deberían incluirse.

Las posibles medidas de HVAC de bajo costo incluyen:

- Reducir las tasas de flujo de aire exterior a ASHRAE 62.1-2019¹⁹
- Implementar un programa de retranqueo (reducción) nocturno para el sistema HVAC.
- Supervisar los controles del ventilador de extracción
- Convierta el sistema de volumen constante en un sistema de volumen de aire variable (VAV).
- Verificar el funcionamiento correcto de los amortiguadores o reguladores de flujo de aire.
- Elimina las fugas en los conductos.

¹⁷ Ver: <https://lapem.cfe.gob.mx/normas/pdfs/c/10000-70.pdf>

¹⁸ Se refiere a "Sag" Disminución repentina de la tensión de alimentación a un valor entre 0,9 p.u. y 0,1 p.u. del valor nominal de dicha tensión de alimentación; seguido de una recuperación de voltaje después de un período corto de entre un ciclo a la frecuencia del sistema y 1 min. Indicados respectivamente en la Tabla 1 a la Tabla 3 - Parámetros de calidad de energía - Valores típicos en nodos de media tensión (13, 2 a 34,5 kV); Valores típicos en nodos de alta tensión (69 a 138 kV); Valores típicos en nodos de extra alta tensión (161 a 400 kV). Para más información sobre la importancia del factor de potencia en los costos y el ahorro de energía se recomienda: "Power factor correction: A guide for the plant engineer. Technical Data SA02607001E Effective November 2020. Ver:

<https://www.eaton.com/content/dam/eaton/products/low-voltage-power-distribution-controls-systems/power-factor-corrections/portfolio/eaton-pfc-guide-plant-engineer-SA02607001E.pdf>

¹⁹ ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2019 Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality
<https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standards-62-1-62-2>



- Cambie los puntos de ajuste a 68 ° F (20 ° C) para calefacción y 75 ° F (23-24 ° C) para enfriamiento.
- Asegurar que los sistemas que consumen energía y agua cumplan con los estándares CONUEE aplicables también ayudará a reducir el uso de energía²⁰.

Las oportunidades de iluminación incluyen la actualización a Lámpara (Focos), balastos y controles más eficientes, según sea necesario. Todas las luces T-12 deben actualizarse con sistemas de iluminación T-8, T-5 o LED. Otras medidas de iluminación de bajo costo incluyen el reemplazo de letreros de salida estándar (incandescentes o fluorescentes compactos) por letreros de salida LED; la instalación de sensores de ocupación en baños, salas de conferencias y oficinas privadas; y la reducción de los niveles de iluminación en espacios sobre iluminados. Las plantas de tratamiento de agua suelen tener cargas importantes de iluminación exterior. Los sistemas de iluminación LED son la solución más eficiente para la iluminación exterior. Los sistemas de iluminación solar también son una buena solución de iluminación exterior.

Las cargas de enchufe son aquellas cargas asociadas con cualquier equipo conectado a un edificio. Estos incluyen computadoras, impresoras, calentadores de espacio o acondicionadores de aire, refrigeradores, microondas y máquinas expendedoras de bocadillos y bebidas. La administración de energía de las computadoras, que garantiza que las computadoras entren en suspensión y/o se apaguen cuando no están en uso, combinada con computadoras portátiles y el reemplazo de impresoras personales por impresoras de red, puede proporcionar ahorros significativos. Asegurarse de que todos los electrodomésticos sean los más eficientes disponibles e instalar máquinas expendedoras con reductores²¹ en todas las máquinas expendedoras son dos formas adicionales de reducir el uso de energía.

La envolvente térmico del edificio abarca los sistemas de construcción que componen las paredes exteriores, las ventanas, las puertas y los techos de la estructura. Los edificios se podrían construir o se puede realizar la remodelación (retrofitting) de acuerdo con la norma de la CONUEE (Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía) NOM 008 ENER 2001 "Eficiencia energética en edificios, envolvente de edificios no residenciales" como mínimo. Mejorar la envolvente del edificio más allá de este estándar puede reducir aún más el uso de energía. Sellar áreas de fugas de aire (infiltración) y agregar sombra interior o exterior en las fachadas orientadas al sur son medidas relativamente fáciles y de

²⁰ Ver: <https://www.gob.mx/conuee>

²¹ Una máquina expendedora con reductores es un dispositivo de ahorro de energía con un sensor de movimiento y temperatura que se conecta a una toma de corriente y al que se conectan las máquinas expendedoras. La máquina expendedora se enciende y apaga para mantener los productos a la temperatura adecuada y cuando se acerca un cliente. Ver: <https://www.cleanenergyresourceteams.org/vendingmisers-refreshing-approach-energy-savings-city-saint-paul>.

Los sensores reductores de energía externa usan un controlador y una máquina o sensor montado en la pared para monitorear la ocupación y la temperatura de la habitación. Si pasan 15 minutos sin tráfico de peatones, el sensor reductor apagará la máquina. La máquina se vuelve a encender cuando la gente regresa y a intervalos regulares para mantener el producto frío. Los controladores externos son los más adecuados para áreas de poco tráfico.



bajo costo que pueden generar ahorros significativos. Reemplazar ventanas viejas o de un solo panel con sistemas de ventanas nuevos y eficientes, o agregar una película para ventanas, también puede ayudar a mejorar la envolvente del edificio. Mejorar el aislamiento de paredes y techos puede reducir la cantidad de transferencia de calor, al igual que instalar un techo blanco o de color claro o un techo verde (vivo).

Las oportunidades de ahorro de carga de proceso son aquellas asociadas con el suministro de agua tratada. Estos incluyen todos los procesos relacionados en plantas de tratamiento de agua y aguas residuales, así como las cargas eléctricas asociadas con el agua en movimiento. En general, para plantas de potabilización de agua, las cargas de bombeo (para mover agua cruda o distribuir agua tratada) son el mayor consumidor de energía, mientras que para las plantas de tratamiento de aguas residuales el tratamiento secundario y terciario (incluidos los motores de aireación) dominan el uso de energía, ver la siguiente tabla.

Tabla 10. Ejemplo de distribución del consumo de energía de una planta de tratamiento de agua

Proceso en la planta de potabilización de agua	Consumo anual (%)
Pretratamiento	0.36%
Bombeo	18.20%
Sopladores	76.37%
Enfriadores	2.55%
Cloración	2.28%
Edificio (oficina)	0.10%
Laboratorio	0.10%
Taller	0.03%

Fuente: Autores con datos de Aguas Municipales de Durango.

Dado que el bombeo de agua es un componente tan importante de la demanda eléctrica en las operaciones de las plantas de tratamiento de agua, la incorporación de sistemas de bombeo eficientes en las operaciones tiene el potencial de generar ahorros significativos. **Empiece por dimensionar correctamente todas las bombas y motores.** Además, la sustitución de todos los motores de eficiencia estándar por motores de eficiencia superior puede reducir el uso de energía hasta en un 10%.

Basándose únicamente en el ahorro de energía, algunas plantas industriales pueden encontrar rentable actualizar motores operables de eficiencia estándar con unidades de eficiencia superior. Suponiendo tarifas eléctricas de \$ 0.08 USD/kWh (1.6 MXN/ kWh) y comparando un motor de eficiencia estándar (92% de eficiencia) con un motor de eficiencia premium (95.5% de eficiencia) en el punto de carga del 75%, el período de recuperación simple para un motor de 75 caballos de fuerza (hp) con motor enfriado por ventilador totalmente cerrado con un costo



de compra inicial de \$ 4,640 USD es un poco más de cuatro años (ahorro anual de 13,373 kWh/año).

Esto muestra que un pequeño aumento en la eficiencia del motor puede reducir significativamente el uso de energía. (Departamento de Energía de EE. UU. [DOE], 2014)²².

Nota: si los costos de electricidad son más de \$ 0.08 USD/kWh (1.6 MXN/kWh) (actualmente los tres municipios incluidos en este estudio pagan entre 2 MXN/kWh a 3.5 MXN/kWh), o si hay rebajas disponibles para reducir los costos del motor, se mejoraría la economía. Si los motores están al final de su vida útil y se especifica una eficiencia superior, el costo adicional se recuperará en breve en ahorros.

Tenga en cuenta que, aunque las ganancias de eficiencia eléctrica se pueden lograr simplemente reemplazando los motores individuales, "generalmente se pueden lograr mayores ganancias de eficiencia a través de medidas de eficiencia del sistema que mejoran la eficiencia de un sistema de bomba/motor o un grupo de bombas/motores en su conjunto" (Pabie Y Reekie, 2013)²³.

Agregar Variadores de Frecuencia (VFD) a cualquier motor de CA (ya sea en aplicaciones de tratamiento de agua o aguas residuales) que se pueden aumentar o disminuir para diferentes requisitos de carga, tiene un potencial de ahorro significativo. Los VFD permiten que los sistemas funcionen a lo largo de un continuo de energía, reemplazando el simple binario de "encendido" o "apagado". Con un VFD, si la velocidad del motor se reduce en un 50% de la velocidad de carga completa, el uso de energía se reduce a solo el 12,5% del uso de una carga completa. Además, los VFD se pueden utilizar para reducir la demanda máxima que, a su vez, reduce los cargos por demanda que deben pagar las empresas de agua. Los VFD deben agregarse solo después de haber dimensionado correctamente tanto los ventiladores como los motores al tamaño correcto, para garantizar que el VFD utilizado sea el más adecuado.

En las operaciones de tratamiento de aguas residuales, el ajustar o dimensionar al tamaño correcto todos los ventiladores y motores y reemplazarlos con modelos actualizados de eficiencia superior puede generar ahorros significativos. En un ejemplo, al instalar nuevos ventiladores energéticamente eficientes en su sistema de aireación de primera etapa, una planta de tratamiento de aguas residuales en Wisconsin redujo su consumo de electricidad en un 50 por ciento (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos [EPA], 2013)²⁴.

Las tecnologías de aireación avanzadas, como las utilizadas en la planta de Wisconsin mencionada en el párrafo anterior, reducen el uso de energía del soplador mediante el uso de mecanismos tales como: sistemas de aire difuso, difusores de poros finos, paneles difusores de membrana, inyectores de turbina

²² See: https://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/04/f15/amo_motors_handbook_web.pdf

²³ Ver: https://www.sciencetheearth.com/uploads/2/4/6/5/24658156/electricity_use_and_management_in_the_municipal_water_supply_and_wastewater_industries.pdf

²⁴ Ver: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-08/documents/wastewater-guide.pdf>



sumergidos y turbo sopladores de alta velocidad. Los sistemas automatizados de control de oxígeno disuelto (OD) y la tecnología del sensor de OD permiten que el sistema de aireación se controle automáticamente para mantener un nivel de OD establecido, y el flujo y la presión del soplador pueden variar constantemente. Sin controles automáticos, los sistemas se controlan manualmente y, a menudo, los sopladores operan a flujo y presión constantes en todo momento, independientemente de si dichos niveles son óptimos para las condiciones de un momento dado. Tales ineficiencias pueden conducir a mayores costos de electricidad.

En los sistemas de suministro de agua, la adición de capacidad de almacenamiento de agua al sistema puede ayudar a reducir los costos operativos y proporcionar una mejor resiliencia. Además, si se puede agregar capacidad de almacenamiento a una altura por encima de la red de distribución y los centros de carga, la energía de bombeo se puede reemplazar por sistemas alimentados por gravedad. En tales configuraciones, se pueden lograr ahorros mediante el tratamiento y el bombeo de agua en momentos de tarifas eléctricas reducidas (suponiendo que exista una estructura de tarifas de tiempo de uso) o en momentos de producción excesiva de energía renovable. Otra posible solución podría ser el bombeo de corriente continua (CC) con energía fotovoltaica. Además, en caso de interrupciones de la red eléctrica o de la planta de tratamiento de agua, el agua del tanque se puede distribuir sin energía.

5.4 Oportunidades de eficiencia energética en Mexicali

El organismo operador de agua y alcantarillado de Mexicali tiene un total de 122 centros de consumo (centros de carga) asociados con el agua y las aguas residuales, 50 de los cuales apoyan el suministro de agua potable y 72 de los cuales apoyan el tratamiento de aguas residuales. A pesar de la variación en el número de centros de consumo entre las operaciones de agua y aguas residuales, en combinación cada uno utilizó casi la misma cantidad de energía y acumularon costos similares en 2019. La Tabla 11, a continuación, proporciona un resumen del uso anual de energía y los costos asociados para Mexicali.

Tabla 11. Uso y costos anuales de energía en Mexicali²⁵

TOTAL DE CENTROS DE CARGA ASOCIADOS CON AGUA Y AGUAS RESIDUAL	122
Energía consumida en (kWh/año)	48,086,699
Costos de la Energía sin IVA en [MXN pesos/año]	\$76,166,773

²⁵ Cálculos completados por los autores del informe, datos proporcionados por la Comisión de Servicios Públicos del Estado de Mexicali (CESPM) y con datos de (CONAGUA, 2019i)



CENTROS DE CARGA ASOCIADOS CON AGUA POTABLE	50
Capacidad instalada en (l/s) (Caudal potabilizado de agua en (l/s)) en 2019	5,720 (3,123)
Volumen de agua potable producida en (m ³) en 2019	89,049,902
Número de instalaciones entre (Nov 19-Oct 20)	50
Energía consumida en (kWh/año)	24,037,324
Costos de la Energía sin IVA en [MXN pesos/año]	\$38,313,886
Costo por kWh para potabilizar agua en (MXN pesos/kWh)	\$1.59
Energía consumida por m ³ de agua potable producido en (kWh/m ³)	0.269930943
CENTROS DE CARGA ASOCIADOS CON AGUA RESIDUAL	72
Caudal de tratamiento de agua residual en (l/s) en 2019	1845.2
Volumen de Agua residual tratada en (m ³) en 2019	67,151,461
Número de instalaciones entre (Nov 19-Oct 20)	72
Energía consumida en (kWh/año)	24,049,375
Costos de la Energía sin IVA en [MXN pesos/año]	\$37,852,886.96
Costo por kWh para tratar agua residual en (MXN pesos/kWh)	\$1.57
Energía consumida por m ³ de agua residual tratado en (kWh/m ³)	0.3581

Fuente: Autores con datos de Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali (CESPM) y (CONAGUA, 2019i)

La Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali (CESPM) es la agencia pública de la ciudad de Mexicali que brinda servicios de agua y alcantarillado. CESPM solicitó que este análisis se concentre en las diez instalaciones con mayor consumo de energía y brinde recomendaciones para reducir el uso de energía. Las diez instalaciones con mayor consumo de energía son: Planta Pot 1 (Planta de Tratamiento de Agua No. 1), Planta Pot 2 (Planta de Tratamiento de Agua No. 2), Planta Pot (PPOT) 3 (Planta de Tratamiento de Agua No. 3), Planta Pot GPE Victoria (KM43) (Planta de tratamiento de agua "GPE. Victoria"), PBAR-1 (Planta de bombeo de aguas residuales No. 1), PBAR-3 (Planta de bombeo de aguas residuales No. 3), PBAR-4 (Planta de bombeo de aguas residuales No. 4), PBAR-10 (Planta de Bombeo de Aguas Residuales No 10), PTAR-Las Arenitas (Depuradora de Las Arenitas) y PTAR-Zaragoza + PBAR-8 (Planta Depuradora de Aguas Residuales de Zaragoza + Planta de Bombeo de Aguas Residuales No 8).



Mejores prácticas actuales:

Se han implementado proyectos de eficiencia energética anteriores en varias instalaciones, lo que a veces ha supuesto un ahorro significativo. Un ejemplo de ello fue el reemplazo de 32 bombas por bombas de alta eficiencia (entre 2014 y 2020), lo que resultó en una reducción del 12% en el uso de energía. La práctica actual es reemplazar las bombas al final de su vida útil o con una vida mínima restante por bombas nuevas que sean al menos un 10% más eficientes.

Otra práctica recomendada es que, según la información proporcionada, parece que todos los motores tienen arrancadores de motor en un centro de control de motores en cada sitio, lo que reduce la corriente de entrada cuando arranca un motor y proporciona una ubicación para supervisar todas las operaciones del motor. Una mejor práctica adicional es que actualmente, el 80% de las aguas residuales tratadas en Mexicali se reutiliza para aplicaciones no potables. El impulso de algunas de estas mejores prácticas actuales y futuras fue la creación por parte de CESPМ en 2019 de una división de Control de Energía y Energías Renovables para ayudar a centralizar los esfuerzos en la reducción del uso de energía y la producción de energía renovable en el sitio.

Las actividades futuras planificadas incluyen la rehabilitación del sistema de aireación en PTAR-Zaragoza, que se espera que produzca un ahorro de energía del 20%. Se esperan ahorros similares para la expansión PTAR-Las Arenitas, donde la capacidad ampliada implementará un diseño similar.

Oportunidades de ahorro de energía:

En promedio, las bombas consumen entre el 75% y el 90% de la energía total utilizada en los 122 centros de consumo de tratamiento de agua y aguas residuales. Por lo tanto, las medidas de conservación de energía (ECM por sus siglas en inglés) y las modificaciones operativas, como las que se enumeran a continuación, asociadas con las bombas pueden tener el mayor potencial de ahorro.

Oportunidades de ahorro para estaciones de bombeo de agua, estaciones de bombeo de aguas residuales e instalaciones de tratamiento de aguas residuales:

1. **Compare el costo de agregar Variadores de Frecuencia (VFD) a las bombas con los ahorros de energía esperados para cada bomba para determinar el retorno de la inversión.**
2. **Explore la sustitución de motores más pequeños (de menos de 2 caballos de fuerza (hp) según la disponibilidad) con motores electrónicamente conmutados (motores ECM).**
3. **Revise las secuencias de control y de puesta en marcha de las bombas para determinar si es factible una configuración de mayor eficiencia energética.**
4. **Actualice toda la iluminación interior y exterior a LED, enfocándose en sitios que tengan iluminación incandescente o fluorescente ineficiente (por**



ejemplo, T-12). También céntrese en sitios con un uso de iluminación superior al promedio. Por ejemplo, la iluminación actualmente usa 4.04% del uso total de energía de Planta Pot GPE Victoria, que es el porcentaje más alto atribuido a la iluminación de cualquiera de los diez principales centros de consumo de Mexicali, que consumen en promedio 1.87% para iluminación. De manera similar, la iluminación PBAR-3 utiliza actualmente el 2,87% del uso total de energía y la iluminación PTAR-Arenitas utiliza el 2,67% del uso total de energía, ambos por encima del promedio.

5. **Considere instalar capacitores del lado de la carga en los transformadores en sitios con factores de potencia bajos (es decir, inferiores al 90%).** Además, si hay armónicos eléctricos importantes, es posible que se requiera un reactor (bobina) para estabilizar la potencia. Aunque el factor de potencia actual PTAR-Zaragoza + PBAR-8 y otros sitios casi cumplen con el mínimo requerido de la empresa de servicios públicos de 90% o más, una o una combinación de estas soluciones tienen el potencial de proporcionar otros beneficios (por ejemplo, aumento de la vida útil de los equipos existentes, reducción de las pérdidas eléctricas).

Oportunidades de ahorro para estaciones de bombeo de agua:

1. En donde la empresa de servicios públicos que proporciona electricidad utilice tarifas por tiempo de uso y con cargos por demanda, investigue opciones para reducir la demanda eléctrica cambiando las cargas (desde tiempos de tarifas eléctricas más altas a tiempos de tarifas eléctricas más bajas). Una solución podría ser la adición de capacidad de almacenamiento de agua al sistema, que podría llenarse durante los tiempos de tarifa eléctrica de bajo costo. De manera similar, se podría agregar almacenamiento de energía con baterías en el sitio para el arbitraje de energía y contribuir a la resiliencia del sistema. Las baterías podrían cargarse con un exceso de generación solar y/o durante tiempos de tarifas eléctricas de menor costo.

Estaciones de Bombeo de Aguas Residuales/Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales:

1. Evaluar el cambio de diseño de sistemas de aireación para plantas de tratamiento de aguas residuales. Reubicar y reemplazar los ventiladores en un lugar fijo fuera de los estanques de aireación. Esto elimina los gases tóxicos de los ventiladores y facilita el mantenimiento. Lo más probable es que se reemplacen un número mayor de ventiladores pequeños por un número pequeño de ventiladores más grandes dependiendo de la disposición y diseño. El uso y consumo de energía deberá tenerse en cuenta a medida que se evalúen distintos sistemas.



2. Considere controlar el encendido / apagado de los motores de aireación en función del contenido de oxígeno con sensores de oxígeno ubicados en los tanques de tratamiento.

Oportunidad Planta Depuradora de Aguas Residuales de Zaragoza

Las plantas de tratamiento de aguas residuales suelen utilizar un proceso de aireación para ayudar a matar las bacterias en el agua. Actualmente en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Zaragoza la aireación de la laguna de aireación se genera mediante motores en plataformas flotantes. El proceso de tratamiento crea sulfuro de hidrógeno (H_2S) como subproducto. El H_2S crea un ambiente corrosivo que ha dañado ventiladores, motores y plataformas, por lo que muchos de los motores de Zaragoza han requerido un rebobinado anual. El H_2S también representa un riesgo para la salud del personal de mantenimiento cuando ingresa a las lagunas para dar servicio a los aireadores. En cambio, la instalación de ventiladores fuera de las lagunas y la instalación de tuberías de aireación en el fondo de las lagunas proporcionaría múltiples beneficios de salud y eficiencia (es decir, reduciría el riesgo de accidentes, reduciría los costos de operación y mantenimiento y prolongaría la vida útil de los aireadores). La reubicación de los ventiladores permitiría la instalación de VFD en todos los ventiladores, logrando así importantes ganancias de eficiencia. La adopción de este diseño puede resultar en una reducción del uso de energía del 20% o más. Este enfoque de aireación también podría evaluarse en Las Arenitas (como parte del proyecto de expansión y renovación planificado).

5.5 Oportunidades de eficiencia energética en Durango

La sanitaria de Durango reporta un total de 124 centros de consumo (carga) de agua y aguas residuales asociados, 97 de los cuales están asociados a los pozos utilizados para el suministro de agua potable (potable) y 27 de los cuales apoyan el tratamiento de aguas residuales. El uso de electricidad de las bombas de agua potable combinadas fue casi tres veces la cantidad de energía y costos que los centros de aguas residuales en 2020. Los costos de electricidad totales mensuales para todas las instalaciones desde diciembre de 2019 hasta noviembre de 2020 estuvieron dentro del 15% entre sí. La Tabla 12, a continuación, proporciona un resumen del uso de energía anual y los costos asociados para Durango.



Tabla 12. Costos y uso de energía anual en Durango²⁶

TOTAL DE CENTROS DE CARGA ASOCIADOS CON AGUA Y AGUAS RESIDUAL	124
Energía consumida en (kWh/año)	61,988,698
Costos de la Energía sin IVA en [MXN pesos/año]	\$137,878,331
CENTROS DE CARGA ASOCIADOS CON AGUA POTABLE	97
Capacidad instalada en (l/s) (Caudal potabilizado de agua en (l/s)) en 2019	4.5 (3.84)
Volumen de agua potable producida en (m ³) en 2019	
Número de instalaciones entre (Nov 19-Oct 20)	97
Energía consumida en (kWh/año)	47,779,769
Costos de la Energía sin IVA en [MXN pesos/año]	\$106,093,600
Costo por kWh para potabilizar agua en (MXN pesos/kWh)	\$2.45
Energía consumida por m ³ de agua potable producido en (kWh/m ³)	
CENTROS DE CARGA ASOCIADOS CON AGUA RESIDUAL	27
Caudal de tratamiento de agua residual en (l/s) en 2019	1,871
Volumen de Agua residual tratada en (m ³) en 2019	
Número de instalaciones entre (Nov 19-Oct 20)	27
Energía consumida en (kWh/año)	13,209,629
Costos de la Energía sin IVA en [MXN pesos/año]	\$31,784,731
Costo por kWh para tratar agua residual en (MXN pesos/kWh)	\$2.22
Energía consumida por m ³ de agua residual tratado en (kWh/m ³)	

Fuente: Autores con datos de Aguas del Municipio de Durango (AMD) y (CONAGUA, 2019i)

* En el caso de Durango y Torreón, los datos no se encontraron o no se proporcionaron, debido a la imposibilidad de realizar visitas de campo. Los conceptos se cambiaron para incluir información que estaba disponible para los tres operadores.

Aguas del Municipio de Durango (AMD) es la agencia pública de la Ciudad de Durango que brinda servicios de agua y alcantarillado. AMD está evaluando

²⁶ Cálculos completados por los autores del informe, datos proporcionados por la Comisión de Servicios Públicos del Estado de Mexicali (CESPM)



actualmente la compra de energía a un tercero. Las instalaciones de AMD se ven afectadas por apagones y problemas de voltaje en las conexiones de CFE. Esto daña sus equipos y reduce su vida útil debido a las distorsiones de la red.

Mejores prácticas actuales:

Las plantas de tratamiento de aguas residuales “Sur” y “Oriente” cuentan con robustos programas de mantenimiento preventivo para sus equipos mecánicos y eléctricos. Asimismo, todos los pozos de agua potable cuentan con un programa de mantenimiento preventivo para sus equipos mecánicos y eléctricos.

AMD ha estado examinando de manera proactiva oportunidades para cambiar a una estructura de tarifas más óptima (es decir, rentable) o creando medidores/cuentas adicionales con CFE en la PTAR Oriente.

Oportunidades de ahorro de energía:

En promedio, las bombas consumen entre el 75% y el 90% de la energía total utilizada en los 124 centros de consumo de agua y tratamiento de aguas residuales. Por lo tanto, las medidas de conservación de energía (ECM) y las modificaciones operativas, como las que se enumeran a continuación, asociadas con las bombas pueden tener el mayor potencial de ahorro.

Oportunidades de ahorro para estaciones de bombeo de agua, estaciones de bombeo de aguas residuales e instalaciones de tratamiento de aguas residuales:

1. **Compare el costo de agregar VFD** a las bombas con los ahorros de energía esperados para cada bomba para determinar el retorno de la inversión²⁷.
2. **Explore la sustitución de motores más pequeños** (menos de 2 caballos de fuerza (hp) según la disponibilidad) con motores ECM (motor conmutado electrónicamente).
3. **Evaluar la sustitución de motores con factores de potencia bajos** por motores de mayor eficiencia que tengan factores de potencia más altos.
4. **Revise las secuencias de control y la gestión de la operación y arranque** de las bombas para determinar si es factible una configuración de mayor eficiencia energética.
5. **Actualice toda la iluminación interior y exterior a LED**, enfocándose en sitios que tengan iluminación incandescente o fluorescente ineficiente (por ejemplo, T-12). También céntrese en sitios con un uso de iluminación superior al promedio. Por ejemplo, la iluminación utiliza actualmente el 7,69% del uso total de energía de PTAR-Del Parque, que es el porcentaje más alto atribuido a la iluminación de cualquiera de las plantas de tratamiento de aguas residuales de Durango.
6. **Considere instalar capacitores en los lados de carga de los transformadores** en sitios con factores de potencia bajos (es decir, inferiores al 90%). Además,

²⁷ Ver: <https://www.pumpsandsystems.com/how-use-vfds-optimize-water-wastewater-systems>



si hay armónicos eléctricos importantes, es posible que se requiera un reactor para estabilizar la potencia. Aunque el factor de potencia actual PTAR-Zaragoza + PBAR-8 y otros sitios casi cumplen con el mínimo requerido de la empresa de servicios públicos de 90% o más, una o una combinación de estas soluciones tienen el potencial de proporcionar otros beneficios (por ejemplo, aumento de la vida útil del hardware existente, pérdidas eléctricas reducidas).

Oportunidades de ahorro para estaciones de bombeo de agua:

1. **Investigar opciones para reducir la demanda cambiando las cargas** (de tiempos de tarifas más altas a tiempos de tarifas más bajas). Una solución podría ser la adición de capacidad de almacenamiento de agua, que podría llenarse durante los tiempos de tarifa eléctrica de bajo costo. De manera similar, se podría agregar almacenamiento de energía con baterías en el sitio para el arbitraje de energía y aumentar la resiliencia del sistema. Las baterías podrían cargarse con un exceso de generación solar y / o durante tiempos de tarifas eléctricas de menor costo.

Estaciones de Bombeo de Aguas Residuales / Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales:

1. **Evaluar el cambio de diseño de sistemas de aireación** para plantas de tratamiento de aguas residuales. Reubicar y reemplazar los ventiladores en un lugar fijo fuera de los estanques de aireación. Esto elimina los gases tóxicos de los ventiladores y facilita el mantenimiento. Lo más probable es que los ventiladores se reemplacen de varios más pequeños a un número menor de más lager, dependiendo de la disposición. El uso de energía deberá tenerse en cuenta a medida que se evalúen otros sistemas.
2. **Considere controlar el encendido/apagado de los motores de aireación** en función del contenido de oxígeno con un sensor de oxígeno ubicado en los tanques de tratamiento.
3. **Evaluar el uso de la cogeneración con biogás** en las plantas de tratamiento de aguas residuales²⁸.
4. **Desarrollar un cronograma de mantenimiento para la planta** de tratamiento de aguas residuales "Del Parque".
5. **Reunirse con representantes de CFE para discutir opciones para dividir el consumo en la PTAR Oriente en diferentes servicios de CFE para permitir el consumo fuera de las horas pico** y discutir las posibles implicaciones de tales acciones, como ceder una línea aérea a CFE.

²⁸ https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-07/documents/opportunities_for_combined_heat_and_power_at_wastewater_treatment_facilities_market_analysis_and_lessons_from_the_field.pdf

Además, otros estudios como el del IMTA han identificado a la planta Durango Sur como potencialmente capaz de utilizar biogás. Ver:

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/261712/2017_1303_INFORME_FINAL_IMTA-SENER.pdf



5.6 Oportunidades de eficiencia energética en Torreón

El sistema municipal de agua y saneamiento de Torreón cuenta con un total de 94 pozos, 48 bombas de aguas residuales, 44 tanques y bombas asociadas, y 3 EDAR (5 metros) que apoyan el suministro de agua potable y el tratamiento de aguas residuales. La energía asociada a los equipos de bombeo para el sistema de agua potable consume aproximadamente el 87% del consumo total en todos los centros de carga. El Sistema Municipal de Aguas y Saneamiento de Torreón Coahuila (SIMAS) es la agencia pública de la ciudad de Torreón que brinda servicios de agua y alcantarillado.

Tabla 13. Uso y costos de energía anual de Torreón²⁹

TOTAL DE CENTROS DE CARGA ASOCIADOS CON AGUA Y AGUAS RESIDUAL	142
Energía consumida en (kWh/año)	114,238,379
Costos de la Energía sin IVA en [MXN pesos/año]	\$208,420,425
CENTROS DE CARGA ASOCIADOS CON AGUA POTABLE	94
Capacidad instalada en (l/s) (Caudal potabilizado de agua en (l/s)) en 2019	851 (407)
Volumen de agua potable producida en (m ³) en 2019	
Número de instalaciones entre (Nov 19-Oct 20)	94
Energía consumida en (kWh/año)	90,886,797
Costos de la Energía sin IVA en [MXN pesos/año]	\$174,761,741
Costo por kWh para potabilizar agua en (MXN pesos/kWh)	\$1.92
Energía consumida por m ³ de agua potable producido en (kWh/m ³)	
CENTROS DE CARGA ASOCIADOS CON AGUA RESIDUAL	48
Caudal de tratamiento de agua residual en (l/s) en 2019	1,194.06
Volumen de Agua residual tratada en (m ³) en 2019	
Número de instalaciones entre (Nov 19-Oct 20)	48

²⁹ Cálculos completados por los autores del informe, datos proporcionados por la Comisión de Servicios Públicos del Estado de Mexicali (CESPM)



Energía consumida en (kWh/año)	23,351,582
Costos de la Energía sin IVA en [MXN pesos/año]	\$33,658,684
Costo por kWh para tratar agua residual en (MXN pesos/kWh)	\$1.44
Energía consumida por m ³ de agua residual tratado en (kWh/m ³)	

Fuente: Autores con datos del Sistema Municipal de Aguas y Saneamiento de Torreón Coahuila (SIMAS) y (CONAGUA, 2019i)

Mejores prácticas actuales:

- El personal de Torreón ha renegociado proactivamente con la CFE para cambiar la tarifa de dos grandes centros de carga (estaciones de bombeo de aguas residuales) a una tarifa más baja (para riego agrícola de media tensión (RAMT)).
- Existe un programa de mantenimiento preventivo para las bombas de pozo.
- Las bombas de la planta de tratamiento de aguas residuales “Fundadores” parecen tener arrancadores de motor; La implementación de esta práctica en otros sitios podría generar ahorros de energía y permitir mejores estrategias de control.

Oportunidades de ahorro de energía:

Los datos de costos de servicios públicos mensuales indican que varios medidores no tienen uso (en kWh) pero están acumulando cargos mensuales. Los datos de los servicios públicos para estos medidores deben investigarse para determinar si de hecho no hay cargas en estos medidores y, de ser así, las cuentas con el servicio público deben cerrarse. Estos incluyen los medidores enumerados en la Tabla 14, a continuación.

Tabla 14. Resumen de medidores eléctricos sin uso

Tanque	Tarifa	Medidor
Tanque Arista	GDMTO	R670XX
Tanque Reforma	GDMTO	R185YD
Tanque Magdalenas	GDMTO	413DYF

Fuente: Autores con datos del Sistema Municipal de Aguas y Saneamiento (SIMAS) Torreón

Oportunidades de ahorro para estaciones de bombeo de agua, estaciones de bombeo de aguas residuales e instalaciones de tratamiento de aguas residuales:



1. **Compare el costo de agregar VFD a las bombas** con los ahorros de energía esperados para cada bomba para determinar el retorno de la inversión.
2. Aunque existe un programa de mantenimiento preventivo para las bombas, que muestra que todas las bombas recibieron servicio en los primeros tres meses del año. **Distribuir el mantenimiento y la realización después de una cierta cantidad de horas de funcionamiento en comparación con un cronograma establecido puede ser más efectivo.** Los fabricantes de bombas brindan pautas y recomendaciones sobre la frecuencia con la que se debe realizar el mantenimiento de una bomba en función del promedio de horas diarias de tiempo de funcionamiento. Por ejemplo, una bomba que funciona las 24 horas del día necesitará más mantenimiento que una bomba que funciona 4 horas al día. Además, considere reemplazar las bombas que no han recibido un mantenimiento adecuado o al final de su vida útil por bombas más eficientes.
3. **Revise las secuencias de control y de arranque de las bombas** para determinar si es factible una configuración de mayor eficiencia energética.
4. **Investigar opciones para reducir la demanda eléctrica cambiando las cargas** (desde tiempos de tarifas eléctricas más altas hasta tiempos de tarifas eléctricas más bajas). Una solución podría ser la adición de capacidad de almacenamiento de agua, que podría llenarse durante los tiempos de tarifa eléctrica de bajo costo. De manera similar, se podría agregar almacenamiento de batería en el sitio para el arbitraje de energía y la resistencia. Las baterías podrían cargarse con un exceso de generación solar y / o durante tiempos de tarifas eléctricas de menor costo.
5. **Actualice toda la iluminación interior y exterior a LED**, enfocándose en sitios que tengan iluminación incandescente o fluorescente ineficiente (por ejemplo, T-12). Además, céntrese en los sitios con un uso de iluminación superior al promedio.
6. **La PTAR Rancho Alegre tuvo un gran repunte** en el consumo eléctrico en noviembre de 2019 (585,200 kWh), mientras que el consumo promedio de los otros meses fue de 268,333 kWh. Podría valer la pena **comprender, históricamente, qué provocó ese gran aumento de carga** y, si eso ocurre anualmente, investigar opciones para minimizar el gran aumento de carga.

5.7 Conclusiones sobre oportunidades de eficiencia energética

Existen numerosas oportunidades de eficiencia energética en los servicios de agua municipales. Se pueden clasificar en tres vías principales:

1. Políticas e incentivos para promover un uso más eficiente del agua por parte de los clientes;
2. Cambios operativos o de proceso para ahorrar energía en las instalaciones de tratamiento; y



3. Soluciones técnicas para ahorrar energía en las instalaciones de tratamiento.

Esta sección contiene una lista de posibles estrategias y medidas; algunos pueden ser aplicables a los municipios, mientras que otros pueden no serlo. Casi todas estas medidas resultarían en reducciones en el uso de energía, los gastos de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con el uso de energía de las empresas de servicios de agua municipales.

Este proyecto se llevó a cabo durante la pandemia mundial COVID-19, por lo que el alcance y la ejecución del trabajo se vieron limitados por la pandemia. El análisis no se llevó a cabo en base a los datos recopilados y las observaciones de los servicios públicos de agua municipales, sino que más bien dependió de los datos proporcionados por los servicios públicos.

Un proceso eficaz para identificar oportunidades rentables de eficiencia energética sería comparar la intensidad energética (es decir, el uso de energía por metro cuadrado o el uso de energía por agua tratada) en todas las instalaciones de tratamiento. Centrar los esfuerzos continuos en el mayor consumo de energía (por área o tratamiento) puede generar la mayor cantidad de oportunidades. En la Tabla 15, a continuación, se incluye un resumen de las posibles medidas de eficiencia energética.

Tabla 15. Resumen de posibles medidas de eficiencia energética

Medidas de EE	Ahorros estimados	Calculadora de ahorros
Agregar VDF a las bombas	Hasta 20% sin actualización de controles	http://vfds.org/vfd-savings-calculator.html
Remplazar motores pequeños (de menos de 2 hp dependiendo de la disponibilidad) con motores conmutados electrónicamente (motores ECM)	hasta 75%	
Revisar las secuencias de control/actualizar los controles y el arranque de las bombas para determinar si es factible una configuración más eficiente en energía		
Actualice toda la iluminación interior y exterior a LED, enfocándose en sitios que tengan iluminación incandescente o fluorescente ineficiente (p. Ej., T-12). También céntrese en sitios con un uso de iluminación superior al promedio.	Hasta 75% comparado con incandescente	https://www.lightbulbwholesaler.com/t-energy-savings-calculator.aspx
Considere instalar capacitores del lado de la carga en los transformadores en sitios con factores de potencia bajos (es decir, inferiores al 90%). Además, si hay armónicos eléctricos	Hasta 10%	https://www.rapidtables.com/calculator/power-factor-calculator.html



Medidas de EE	Ahorros estimados	Calculadora de ahorros
importantes, es posible que se requiera un reactor para estabilizar la potencia.		
Investigar opciones para reducir la demanda eléctrica cambiando las cargas (desde tiempos de tarifas eléctricas más altas hasta tiempos de tarifas eléctricas más bajas). Una solución podría ser la adición de capacidad de almacenamiento de agua al sistema, que podría llenarse durante los tiempos de tarifa eléctrica de bajo costo. De manera similar, se podría agregar almacenamiento de energía con baterías en el sitio para el arbitraje de energía y aumentar la resiliencia. Las baterías podrían cargarse con un exceso de generación solar y / o durante tiempos de tarifas eléctricas de menor costo.	20% - 50% del total de la energía usada en la PTAR	
Evaluar el uso de cogeneración con biogás en las plantas de tratamiento de aguas residuales.	20% - 50% del total de la energía usada en la PTAR	
Considerar mejoras en los sistemas de aireación	25% - 40%	
Evalúe la sustitución de motores con factores de potencia bajos por motores de mayor eficiencia que tengan mayor potencia.		
Analizar las opciones para cambiar a diferentes tarifas de servicios públicos con representante del suministrador de servicios públicos.		

Fuente: Autores con datos de Jenkins (1999), Variable Frequency Drives (2014), National Institutes of Health, Division of Technical Resources (2016), US Department of Energy (nd), Lightbulb Wholesaler (2021), Silber (2016), Tablas rápidas (nd), EPA (2011) y Maktabifard et al (2018).

Mensajes clave

1. Las medidas para optimizar la demanda pueden tener beneficios y generar ahorros. Principalmente aquellos que requieren menor inversión y que se pueden implementar en el corto plazo, por ejemplo, análisis de facturas de servicios, implementación de protocolos integrales de operación y mantenimiento (O&M) o cambios en la gestión de la demanda de energía para tener un diagnóstico del estado inicial del situación y ser capaz de identificar soluciones.



2. En los sistemas de agua, la adición de capacidad de almacenamiento de agua al sistema (como una medida de gestión de la demanda de energía) puede ayudar a reducir los costos operativos y proporcionar una mayor resiliencia. Si se puede agregar capacidad de almacenamiento a una altura por encima de la red de distribución y los centros de carga, la energía de bombeo se puede reemplazar por sistemas alimentados por gravedad. Esta es una medida que requerirá una gran inversión por lo que se debe planificar cuidadosamente y realizar un Análisis de Costo Beneficio para identificar cuáles serían los ahorros a largo plazo, por ejemplo, a lo largo de la vida útil del nuevo almacenamiento considerando posibles ahorros de energía para conocer si es económicamente viable.
3. Cuando hay sistemas de almacenamiento instalados, se pueden lograr ahorros al tratar y bombear agua en momentos de tarifas eléctricas reducidas (suponiendo que exista una estructura de tarifas de tiempo de uso) o en momentos de producción excesiva de energía renovable.
4. Las soluciones de EE relacionadas con el bombeo tienen un gran potencial en los tres servicios de agua: las bombas de agua potable consumen al menos el 75% de la electricidad total en las instalaciones.

6. Análisis de las oportunidades potenciales de energía renovable (ER) en las empresas de servicios de agua municipales

México siempre ha tenido abundantes recursos de energía renovable solar y eólica. Sin embargo, solo recientemente, el aprovechamiento de las energías renovables de la energía solar y eólica se ha convertido en una forma viable para que las organizaciones reduzcan los costos de energía al tiempo que reducen la dependencia de la electricidad generada por combustibles fósiles. En los últimos años, la adopción de ER por parte de las organizaciones se ha acelerado en México y gran parte del resto del mundo. Esto ha sido impulsado por la disminución de los precios globales en los componentes de energía renovable y los costos de transacción, las políticas nacionales y estatales y los compromisos aspiracionales de organizaciones y países para obtener el 35% de su demanda de energía de nuevos sistemas de energía renovable para 2024 (y el 50% para 2050)³⁰.

³⁰ México ratificó el Acuerdo de París en 2016. Acuerdo de París

Certificados de Energía Limpia: A diferencia de lograr ahorros netos mediante la adquisición de ER, los Certificados de Energía Limpia de México (CEL, por sus siglas en inglés) brindan una forma para que las empresas de servicios públicos y las organizaciones compren su salida de las reducciones de emisiones asociadas con su consumo de energía. A partir de enero de 2021, las políticas de la CEL y las prácticas de mercado en México se están reformando en los tribunales, y algunos casos incluyen impugnaciones constitucionales. La incertidumbre asociada ha llevado a una pausa efectiva en el mercado CEL de México. Para las organizaciones que tienen malas condiciones de instalación en el sitio o capacidad de financiamiento (solventía crediticia), con cambios positivos



Para muchas organizaciones que están acostumbradas a comprar su energía a proveedores regionales o nacionales establecidos desde hace mucho tiempo, navegar por la compra de electricidad a partir de fuentes de energía renovable no solo es una idea relativamente nueva, sino que también es probable que quede considerablemente fuera de su área de especialización. Para ayudar a guiar a los principales tomadores de decisiones y gerentes en el camino hacia las ER, esta sección del informe cubrirá dos de los principales enfoques de adquisición de electricidad de ER utilizados en México (comprar el sistema de ER o comprar la energía) y analizar algunos de los aspectos técnicos y factores financieros que pueden afectar a las empresas de agua en los estados mexicanos de Durango, Mexicali y Torreón.

En resumen, junto con las mejoras en la eficiencia energética, una de las mejores opciones para los servicios de agua es un sistema de energía solar en el lugar de 500 KW o menos. Los sistemas de energía solar in situ pueden producir beneficios medioambiental y financieramente positivos para las estaciones de bombeo y los sitios de operaciones más pequeños (centros de carga). Los sistemas en el sitio se pueden comprar directamente. Alternativamente, en lugar de comprar el sistema, una organización puede comprar la electricidad que produce un sistema in situ mediante un PPA. En el escenario de PPA, un tercero paga, posee, opera y mantiene el sistema. El propietario del sitio no tiene costos de capital de su bolsillo y solo paga la electricidad que produce el sistema. Como mínimo, este enfoque requiere un buen sitio para la producción de energía solar, un techo, suelo o área de agua adecuados para la instalación del sistema y un comprador de energía solvente (propietario del sitio).

Para centros de carga más grandes, como estaciones de bombeo, los sistemas en el sitio de 500 KW pueden proporcionar rendimientos económicos respetables, pero pueden no ser lo suficientemente grandes para cubrir una cantidad significativa de uso de electricidad. Para superar esto y lograr ahorros económicos de la energía renovable, las organizaciones pueden considerar combinar un sistema solar en el sitio con un PPA fuera del sitio. En esta situación, la organización adquiere ER a través de un contrato de un desarrollador solar o eólico que tiene o puede construir un nuevo proyecto de ER conectado a la red regional. La electricidad comprada se contabiliza en la factura de servicios públicos del usuario final. Por lo general, los PPA pueden proporcionar electricidad a una tarifa igual o menor que las tarifas de los servicios públicos, al tiempo que brindan una cobertura contra el aumento de las tarifas con términos de contrato que van de 10 a 20 años. Ambos enfoques se analizan con más detalle en las páginas siguientes.

Otro enfoque que deben considerar las instalaciones de aguas residuales es agrupar o combinar la demanda de múltiples centros de carga. Al aumentar la cantidad total de demanda de energía, los administradores de las instalaciones

imprevistos en la política, los CEL pueden convertirse en el enfoque de menor costo para lograr reducciones corporativas u obligatorias de emisiones de GEI.



pueden obtener mejores precios para múltiples sistemas de energía renovable o PPA en el sitio que prestan servicios en sus respectivos sitios.

Para los propósitos de este estudio, se modeló el uso de electricidad y el costo de cada uno de los servicios públicos de agua en Durango, Mexicali y Torreón para determinar cuánta energía solar se necesitaría para satisfacer el 100% de su demanda de electricidad.

Para la energía solar en el sitio, también se calculó el área necesaria para instalar el sistema correspondiente (Ver Tabla 16). En lugares donde el uso de energía es relativamente alto, es poco probable que los propietarios / gerentes de las instalaciones puedan satisfacer todas sus necesidades de electricidad con un sistema de energía solar en el sitio, incluso con mejoras sustanciales en la eficiencia energética.

Como tal, en este estudio también se tienen en cuenta los PPA externos y las opciones de inversión. Además, se utilizó un modelo financiero simple (ver Apéndice 2) para ilustrar los retornos financieros estimados de invertir mediante la compra de un sistema de ER (ver tablas 17 y 18).

En general, bajo las condiciones adecuadas, las instalaciones de tratamiento de agua en México tienen varias formas potencialmente viables de cambiar su fuente de electricidad a electricidad generada por energía solar y eólica de menor costo.

El documento ha distinguido y dividido las secciones sobre EE y ER porque los elementos técnicos y financieros son distintos y pueden tomarse, y generalmente se toman, de forma independiente. La sección de ER aborda las posibilidades en cada empresa de agua. Este fue un análisis realizado a nivel general porque la evaluación del sitio y otros factores no fueron posibles en esta fase específica de trabajo.

Barreras

Varias de las principales barreras para la adquisición de energía renovable en México incluyen:

1. Los propietarios y operadores de servicios de agua no tienen experiencia ni conocimiento de opciones de adquisición de energía renovable potencialmente viables.
2. Es posible que el techo y el terreno dentro de un servicio de agua específico no tengan suficiente espacio para que los sistemas de energía renovable respalden una parte significativa de su demanda de electricidad.
3. Las fuentes de energía que compiten para producir electricidad pueden ser relativamente baratas, estar subsidiadas o verse afectadas por precios de mercado que no reflejan con precisión los costos sociales y ambientales completos de una fuente de energía en particular. Por ejemplo, si los costos reales de producción de electricidad con combustibles fósiles están



- subsidiados y ninguna otra fuente de energía recibe un subsidio similar, los combustibles fósiles tendrán una ventaja y otras fuentes tendrán que superar un obstáculo financiero más alto para ser competitivos en ese Mercado.
4. Los cambios de política y la incertidumbre dificultan que los proveedores de ER planifiquen y operen sus negocios. Cualquier cambio en las reglas de operación del mercado de la electricidad afectará directamente a los generadores de energía, lo que resultará en inversiones varadas. La regulación que cambia rápidamente también dificulta que los compradores potenciales de ER comprendan y evalúen los beneficios a largo plazo.

Herramientas y análisis de viabilidad

Los estudios de viabilidad para ER son específicos del sitio y generalmente incluyen una o más visitas al sitio para su evaluación. Esto se hace porque los sitios tienen diferentes techos, áreas de terreno, tarifas, sistemas eléctricos, proximidad a las ubicaciones de interconexión y metas y capacidades financieras, por nombrar algunas de las variables.

Un administrador de servicios de agua podría aprender a evaluar la viabilidad de la energía renovable para su sitio, pero sin una evaluación profesional del sitio, las habilidades de expertos en el diseño de sistemas, conocimiento del mercado sobre componentes, mano de obra y otros costos, una evaluación de viabilidad completa será un desafío.

El camino más tradicional es asegurar propuestas técnicas y de costos a través de un proceso de RFP o trabajando directamente con expertos del sector privado que brindan servicios de EPC. La mayoría de los proveedores de energía solar y eólica que tienen buena reputación proporcionarán evaluaciones del sitio gratuitas que incluyen propuestas técnicas y financieras, por lo que una vez que se hace y se asegura una oferta, las empresas de agua se beneficiarán de esta evaluación gratuita en el sitio. Para un administrador de servicios públicos capacitado, las herramientas en línea que pueden usarse para ayudar a evaluar la viabilidad de un sitio incluyen:

Herramienta de evaluación eólica y solar:

<https://www.nrel.gov/gis/renewable-energy-potential.html>

PV Watts para estimar la producción solar:

<https://pwwatts.nrel.gov/>

Costos nivelados de electricidad:

<https://www.nrel.gov/analysis/tech-lcoe.html>



6.1 Compra de energía solar y eólica

Hay dos caminos principales para que las instalaciones de tratamiento de agua en México persigan sus objetivos financieros y ambientales a través de la adquisición de energía renovable:

1. Adquiera un sistema de energía renovable en el sitio y
2. Compre la energía que genera un sistema a través de un Contrato de Compra de Energía (PPA)

6.1.1 Comprar un sistema de energía renovable en el sitio

Los sistemas de generación de ER adquiridos por una organización casi siempre se encuentran en el lugar de la instalación. Los sistemas en el sitio son generalmente paneles solares con inversores de CC a CA conectados al sistema eléctrico de la instalación (generalmente detrás del medidor). Los lugares de instalación comunes incluyen techo, suelo o, más caro, estacionamiento (estructuras de sombra) y flotante (paneles solares). Los sistemas de paneles solares flotantes se pueden utilizar en estanques de almacenamiento, embalses y estanques de retención, por ejemplo. Se informa que los costos de los sistemas de paneles solares flotantes son un 5-10% más altos que los de las matrices montadas en el suelo (Haugwitz, 2020)³¹. El diseño, la ingeniería y la instalación de los sistemas de energía renovable se pueden pagar con efectivo de las cuentas de capital o con financiamiento parcial a través de deuda (por ejemplo, préstamos de bancos comerciales y emisiones de bonos públicos). Además, la compra de sistemas de energía solar en el sitio requiere costos continuos de operación y mantenimiento, excluidos por los costos legales y contables asociados con las negociaciones y la ejecución del contrato.

Para los tomadores de decisiones organizacionales no iniciados, la compra de un sistema puede parecer una perspectiva desalentadora desde una perspectiva financiera o de administración de instalaciones. Sin embargo, dependiendo de la situación de las instalaciones³², un sistema típico de energía solar en el sitio puede proporcionar ganancias económicas netas en 3-7 años, con retornos financieros compuestos en forma de ahorros en costos de energía a partir de entonces (20-30 años). Al comprar un sistema, una organización acumula todos los beneficios económicos. Al comprar el poder que genera un sistema de energía renovable a través de un PPA, los beneficios son los mismos, pero los rendimientos económicos se dividen con el propietario/inversor del sistema.

³¹ Ver: <https://www.pv-magazine.com/2020/09/22/floating-solar-pv-gains-global-momentum/>

³² Por ejemplo: el acceso y potencial del recurso solar en el sitio, las características de sombreado de los sitios, la curva de demanda de electricidad y los costos, así como las condiciones dinámicas del mercado y las políticas.



6.1.2 Comprar la energía que genera un sistema a través de un PPA

Las organizaciones que eligen no comprar un sistema de energía solar, pero les gustaría usar energía renovable para suministrar energía a sus instalaciones, pueden usar un PPA para adquirir energía renovable de un suministrador calificado. Los PPA se utilizan comúnmente para comprar electricidad de sistemas de energía solar en el sitio. **Para ubicaciones que tienen grandes cargas, pero un área insuficiente disponible para una instalación solar en el sitio**, una parte sustancial de sus necesidades de electricidad pueden cubrirse con un PPA³³ para ER de una planta eólica o solar fuera del sitio.

Independientemente de la ubicación del sistema de energía renovable, con un PPA, el comprador de la electricidad del sistema obtiene una reducción equivalente (kWh) en su factura de sus instalaciones, mientras que un inversionista externo paga por el sistema y la instalación, es propietario del sistema y es responsable de la operación y mantenimiento en curso. Los inversionistas obtienen beneficios cuando venden electricidad al comprador.

Para las organizaciones que compran energía, los PPA se han convertido en una forma atractiva de anular las limitaciones de gastos de capital al tiempo que logran ahorros económicos y objetivos ambientales.

- **Para calificar para un PPA, una organización debe tener una buena calificación crediticia y**
- **Deberá contratar a un abogado con experiencia para negociar los términos de la PPA en su nombre.**

Los términos generales básicos de un PPA que son negociados por el comprador y el vendedor incluyen:

- **Precio de la electricidad:** que puede ser plano o con descuento sobre la tarifa que le aplica al OOA, el primero reduce la volatilidad del precio y el segundo solo asegura un descuento.
- **Índice de precios** o escala anual o índice de precios al consumidor.
- **La duración del acuerdo:** generalmente de 10 a 20 años para la PPA en el sitio, mientras que para la PPA fuera del sitio, en México, es posible un PPA de 3 años. Cuanto más largo sea el período, mayor será el ahorro.
- **La cantidad garantizada de energía** que se suministrará y comprará durante la vigencia del contrato y las tasas de compensación si la producción es insuficiente.

³³ Estos a veces se denominan comúnmente PPA 'virtuales' porque la electricidad basada en ER no se proporciona directamente al sitio, pero el comprador puede recibir una reducción equivalente en el componente de uso/generación de su factura de electricidad y reclamar crédito por reducciones de emisiones a través de Certificados de Energía Limpia (CEL) o atributos ambientales empaquetados de manera similar, incluso si no están obligados a hacerlo por ley. En México, los usuarios pueden registrarse como Entidades Voluntarias y compensar Certificados de Energía Limpia.
http://diariooficial.segob.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5431464



Hay varios tipos de PPA:

1. PPA directo: normalmente se aplican a los sistemas que se encuentran en el sitio, pero el sistema de ER es propiedad de un tercero. Los sistemas de energía renovable fuera del sitio pueden celebrar contratos de compra de energía directa con los propietarios del sitio, pero es menos común que utilizar un contrato de contrato por diferencias o un contrato de contrato de compra virtual.

2. PPA virtual (VPPA): también se conocen como PPA financieros, ya que son contratos para la compra de energía entre dos partes. Cuando los electrones de ER generados no se pueden dirigir al sitio del comprador, todavía se puede usar un VPPA para comprar la energía de la instalación de generación. Aquí, la producción de la energía renovable y su venta se realizan en un nodo de distribución donde operan los mercados de energía. En entornos políticos donde el precio de la energía no se puede establecer (fijar) entre dos partes y está sujeto a las fluctuaciones del mercado, los acuerdos de compra de energía a menudo se estructuran como un contrato de diferencias, en el que un precio acordado para la energía se especifica en un contrato con el conocimiento de que ese precio será diferente del precio del mercado al contado a lo largo del tiempo. Si el precio del contrato es mayor que el precio de mercado, el generador paga la diferencia al comprador (comprador). Si el precio de mercado es mayor que los precios del contrato, el vendedor se queda con la diferencia. Estos acuerdos pueden tener pisos y techo, opciones de compra y venta, y una variedad de otras consideraciones financieras.

Puede encontrar más información aquí:

https://www.bancomext.com/wp-content/uploads/2018/12/Modelos_de_negocio_ER_Bancomext_GIZ.pdf
<https://s3.amazonaws.com/cdn.orricks.com/files/Renewable-Energy-PPA-Guidebook-for-CI-Purchasers-Final.pdf>
<https://my.solarroadmap.com/userfiles/PPA-Customers-Guide.pdf>
https://en.wikipedia.org/wiki/Power_purchase_agreement

IRENA: Contrato de compra de energía para energías renovables variables

<https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Events/2018/Aug/Renewable-Energy-PPAs.pdf?la=en&hash=C365D5D08EBFF26A1F7A29A13D721C5B3C4390D9>

NREL: Lista de verificación de acuerdos de compra de energía para gobiernos estatales y locales

<https://www.nrel.gov/docs/fy10osti/46668.pdf>

Las herramientas de modelado de RE Financiera se pueden encontrar en el sitio web de NREL:

<https://sam.nrel.gov/financial-models>



En casi todos los casos, el costo de la electricidad obtenida a través de un PPA puede ser un 10-30% más bajo que las tarifas del Suministrador de Servicios Básicos de Energía (CFE) para los servicios del OOA, dependiendo del volumen de energía, la correlación entre el consumo y la generación, las dispersiones/concentración de las cargas centrales y la solvencia del usuario final.

6.2 ER para empresas de agua en México

Para proporcionar una mejor comprensión de cómo los OOA en México pueden evaluar la viabilidad de la energía renovable para sus instalaciones, se presenta en esta sección el análisis del uso de electricidad, de los costos y del potencial de energía renovable en 172 instalaciones asociadas (centros de carga medidos propiedad de los OOA) ubicadas en las ciudades mexicanas de Durango, Mexicali y Torreón.

Para ayudar a proporcionar un contraste comparativo, los 10 centros de carga más grandes en Mexicali y Torreón, y los 86 centros de carga de rango medio en Torreón se analizan en las siguientes páginas³⁴. Los datos proporcionados por Durango fueron para 4 estaciones de bombeo y el personal de Durango solicitó enfocarse en estas grandes cargas.

Los casos de Mexicali y Torreón abarcan una perspectiva amplia sobre los desafíos energéticos que enfrentan las organizaciones de tratamiento de agua que atienden entre 700,000 y 1 millón de personas. El total de MWh de electricidad utilizados en 114 de los medidores facturados de Mexicali es de poco más de 48,000 MWh al año. Para las cargas de rango medio en Torreón, la cantidad total de MWh utilizados en 2020 ascendió a 88.300 MWh³⁵. Para Durango, los datos proporcionados y, por lo tanto, el análisis que aquí se presenta se limita a cuatro de las principales plantas de tratamiento, que utilizaron 17,654 MWh en 2019.

Tabla 16. Uso total de electricidad y costo promedio

	MWh/año	MXN \$/kWh	USD \$/kWh*	Número de medidores
Durango	17,654	1.91	0.095	4
Mexicali	48,087	2.07	0.104	114
Torreón	107,072	2.12	0.106	154

³⁴ El personal de Mexicali indicó que les gustaría que el análisis se enfocara en los 10 sitios con el mayor uso de electricidad. El personal de Torreón indicó que las cargas más grandes se habían cambiado recientemente a una tarifa más baja y solicitaron enfocarse en los centros de carga de bombas intermedias sin sumidero.

³⁵ Las ubicaciones con datos de uso incompletos o nulos y aquellas que usaban menos de 150 kWh de uso de electricidad por mes no se incluyeron en este estudio; consulte la sección Diseño de investigación que se puede encontrar en el Apéndice 2.



	MWh/año	MXN \$/kWh	USD \$/kWh*	Número de medidores
Mexicali: Top 10	36,650	1.59	0.080	10
Torreón: Top 10	26,974	1.75	0.087	10
Torreón: Mid-range	88,286	1.94	0.097	85

Fuente: Autores con datos de Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali (CESPM), Aguas del Municipio de Durango (AMD), Sistema Municipal de Aguas y Saneamiento de Torreón Coahuila (SIMAS)

Notas: * Tipo de cambio de 20 pesos por \$ 1 USD

Cuando los datos de uso y/o costos eléctricos eran inconsistentes, faltaban o las cargas eran muy pequeñas, los sitios (medidores) se excluyeron de este análisis. Fuente: Datos proporcionados por los municipios de Durango, Mexicali y Torreón.

Como muestra la Tabla 15, los precios de la electricidad varían según las ubicaciones. Esto puede explicarse por dos factores principales:

1. Costo relativo de la electricidad en la red (en el nodo) regional; y
2. El tamaño del centro de carga.

Los medidores en los centros de carga más pequeños tienden a pagar un costo más alto por kWh, en comparación con los centros de carga más grandes, como las estaciones de bombeo, independientemente de la ubicación.

Por ejemplo, en Mexicali, el costo de la electricidad en promedio es de 2.07 \$MXN/kWh (0.104 USD/kWh) en todos los 114 sitios, como se puede ver en la Tabla 15. Cuando el enfoque se reduce al 'Top 10' de los centros de carga de electricidad más grandes de Mexicali, el costo de la electricidad es aproximadamente un 20% menor es decir que el costo es: 1.59 \$MXN/kWh y 1.75 \$MXN/kWh sin IVA para el Top 10 en Torreón³⁶.

En contraste, los costos para los centros de carga de rango medio en Torreón son 1.94 \$MXN/kWh. Se encontró que los costos marginales de electricidad para las cuatro estaciones de bombeo en Durango eran más altos en promedio a un precio de 1.9 \$MXN/kWh (\$ 0.095 USD/kWh)³⁷. Esto puede reflejar los mayores costos de la electricidad en la red regional de Durango.

Generalmente, las tres ciudades tienen aproximadamente el mismo potencial de energía solar: ~1945 horas pico de sol al año (kWh). La Tabla 17 muestra los tamaños medios del sistema y la cantidad de espacio (área) necesaria para la instalación del sistema.

³⁶ El personal de Torreón informó que además de 1.3 \$MXN/kWh para sus dos sitios más grandes, los precios de los otros grandes centros de carga fueron (o han sido) renegociados a una tarifa más baja, esto parecería significar que el promedio de 1.75 es demasiado alto, pero es lo que mostraron los datos de 2020.

³⁷ Este análisis asume que los datos proporcionados para Durango incluyen el precio del IVA, mientras que los datos para Mexicali excluyen explícitamente el IVA. Durango parece tener precios promedio de electricidad más altos, lo que no puede explicarse por el menor costo para cargas más altas, según se constata.



Para las organizaciones que están considerando la energía solar en el sitio para ayudar a suministrar sus instalaciones, **los perfiles de carga de uso de electricidad detallados y los análisis de producción específicos de la ubicación de la instalación son piezas críticas de información que deben determinarse** a través de una evaluación profesional en el sitio³⁸.

Para este proyecto, no fue posible realizar visitas in situ debido a la emergencia sanitaria COVID-19. Por lo tanto, todos los datos y cálculos presentados son suposiciones y se obtuvieron de diferentes fuentes. Donde se sabe que los sitios se ven fuertemente afectados por la sombra y otros factores que disminuyen el potencial solar, como el sitio “Del Parque” en Durango, las organizaciones pueden buscar la adquisición de energía solar fuera del sitio, que se analiza en las siguientes páginas.

Finalmente, cuando los centros de carga se encuentran en un programa de tarifas eléctricas según el tiempo de uso, cambiar el consumo a las horas de menor actividad al cambiar el tiempo de carga y el almacenamiento de la batería pueden ser estrategias viables para reducir los costos.

Para centros de carga de rango medio a pequeño, que pueden cubrirse con un sistema de energía solar de 500 kW o menos, si hay suficiente área disponible en el sitio sin sombra y orientada al sur, una organización puede satisfacer sus necesidades de electricidad con ER in situ después de las mejoras de eficiencia energética. (Como punto de referencia, un sistema de 500 KW requeriría alrededor de 6,000 metros cuadrados). Sin embargo, los sistemas de ER más pequeños pueden costar más por unidad (\$/KW) para instalar ese sistema a más de 1 megavatio (MW), consulte NREL: <https://www.nrel.gov/analysis/tech-lcoe-re-cost-est.html>, para obtener más información sobre el costo de instalación por tamaño.

Para superar esto, las organizaciones pueden **combinar los centros de carga en una solicitud de propuestas para múltiples instalaciones de sistemas en el sitio**. Al agregar proyectos, los postores pueden proporcionar costos más bajos a medida que se alcanzan economías de escala con más poder adquisitivo y con documentos de transacción estandarizados en todos los sitios; esta sería una buena estrategia para las ubicaciones de rango medio de Torreón.

Tabla 17. Potencial solar y área de instalación³⁹

	Horas de sol anuales (h)	Promedio generación (kWh/Mes)	Dimensión del sistema PV (KW)**	Área para instalación (m²)
Durango	1,950	280,871	1,728	20,741

³⁸ Los perfiles de carga deben ser para el uso de kWh durante 15 minutos o intervalos de una hora en el transcurso de un año, si está disponible. La mayoría de las empresas solares proporcionarán evaluaciones del sitio de forma gratuita como parte de una propuesta financiera para ingeniería, adquisición e instalación.

³⁹ Las cifras de esta tabla se basan en: Las tasas de irradiación solar se basan en datos del “Worldwide Energy Resources (POWER) Project <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>



	Horas de sol anuales (h)	Promedio generación (kWh/Mes)	Dimensión del sistema PV (KW)**	Área para instalación (m²)
Mexicali*	1,938	9,476	59	704
Torreón*	1,944	46,677	288	3,458
Mexicali: Top 10	1,938	305,415	1,891	22,693
Torreón: Top 10	1,944	224,784	1,388	16,651
Torreón: Mid-range	1,944	86,555	534	6,411

Fuente: Autores con datos de (CESPM), (AMD), (SIMAS).

Notas: * Incluye todos los sitios excepto los 10 principales centros de carga, ** Los tamaños del sistema solar son promedios estimados para un sitio típico.

Las estimaciones de horas de sol anuales por sitio utilizadas en esta tabla (sección) son: Durango (1,950 horas), Mexicali (1,938 horas) y Torreón (1,944 horas).

Los tamaños de los sistemas se estiman utilizando la demanda en cada instalación de agua dividida por el potencial de producción de un sistema fotovoltaico típico en cada municipio. Los tamaños estimados del sistema son el promedio general, p. Ej. 1 KW de PV requiere de 100 a 200 pies cuadrados (9.29 a 18.58 m²).

Como se puede ver en la Tabla 17 los centros de carga más grandes (Top 10), en promedio necesitarán entre 1 y 2 hectáreas de energía solar para neutralizar su consumo de electricidad de la red. Si bien es probable que a estas ubicaciones les vaya bien con un sistema in situ de 500 kW, es posible que algunas no tengan el espacio adecuado incluso con las mejoras de eficiencia energética. En tales casos, la agregación de cargas en una "Solicitud de Interés" (RFP por sus siglas en inglés) para la adquisición de electricidad fuera del sitio a través de un PPA puede resultar una estrategia útil. Este enfoque se analiza con más detalle en la siguiente sección.

Vale la pena considerar que para Torreón el total sería de 0.59 km² sin sombra (59 hectáreas), Mexicali requeriría aproximadamente la mitad de eso 0.27 km² (27 hectáreas) y para las cuatro estaciones de bombeo en Durango, se necesitarían entre 10 a 25 hectáreas para eliminar el 100% del uso de electricidad de la red con energía solar.

6.3 Costos de energía y retorno de la inversión en ER

En la subasta más reciente de México para el suministro de energía, decenas de empresas de energía solar y eólica presentaron ofertas históricamente bajas para la electricidad generada por energía solar y eólica. La oferta (precio) promedio fue menor a 1 peso por kWh (6.68 \$MXN/MWh o \$ 0.0335 centavos USD/kWh)



(Bloomberg New Energy Efficiency [BNEF], 2016)⁴⁰. Eso es casi un 70% menos que las tarifas minoristas de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales observadas en este estudio. Las empresas de agua no deben esperar ver ofertas de precios tan bajos para las energías renovables⁴¹.

Reducción de costos con RE (compra de energía)

La compra de electricidad es un costo general para el funcionamiento de una organización. Los fondos gastados en electricidad no tienen posibilidad de proporcionar un retorno positivo de la inversión. Solo se pueden lograr rendimientos positivos invirtiendo en (factores de producción) fuentes de electricidad con un costo marginal más bajo a lo largo del tiempo.

Las organizaciones que no desean comprar directamente un sistema de energía solar, pero que desean usar energía renovable para alimentar sus instalaciones, pueden, en la mayoría de los casos, usar un PPA de ER para reducir sus costos de electricidad. La Tabla 18 muestra el ahorro estimado que puede ser posible.

Las cifras de ahorro se determinan tomando la cantidad total de energía (MWh) utilizada por cada uno de los tres grupos, el cual es multiplicado por las tarifas de electricidad y los precios de mercado estimados de PPA para determinar el costo total de la electricidad durante 15 años.

Los resultados muestran los ahorros estimados durante 15 años al cambiar a un PPA de ER, en la columna del extremo derecho de la tabla se muestra las emisiones de GEI potencialmente evitadas. Si bien este análisis no puede proporcionar estimaciones definitivas de costos y ahorros para todas y cada una de las instalaciones, generalmente ilustra el potencial de utilizar un PPA para adquirir electricidad de ER.

⁴⁰ BNEF, 2018. "Resultados de la segunda subasta de energía en México: Precios récord bajos en América Latina" Ver: https://data.bloomberglp.com/bnef/sites/14/2017/01/BNEF_MexicosSecondPower_SFCT_FNL_B.pdf
www.greentechmedia.com/articles/read/mexico-auction-bids-lowest-solar-wind-price-on-the-planet

⁴¹ Primero, los precios de licitación recientes son solo para el componente de generación de un precio minorista de electricidad, los costos adicionales pagados por el usuario final incluyen transmisión, distribución, impuestos y otros costos administrativos. Estos factores pueden agregar entre un 30% y un 50% más costos al precio minorista final pagado en el medidor. El segundo factor que ayuda a explicar las bajas ofertas ofrecidas en las subastas está relacionado con el tamaño (economías de escala) de los proyectos de energía renovable propuestos, los tamaños oscilaron entre un mínimo de 30 MW y 505 MW. En contraste, para cubrir el sitio promedio (centro de carga) en Durango, el Top 10 de Mexicali o el Top 10 de Torreón, requeriría alrededor de 1 a 2 MW de energía renovable. Otros factores para un precio de subasta bajo: volumen de energía, duración del contrato (15 años), riesgo de crédito del comprador (CFE Suministrador Básico) y el ambiente de competencia creado a su alrededor.

Tabla 18. Ahorros estimados debidos a la compra de energía renovable con PPA y emisiones potencialmente evitadas

OOAs	Consumo de energía anual (MWh/año)	Costo por MWh (MXN\$/MWh)	Costos del OAA a 15 años (MXN\$)	Costos debidos al PPA a 15 años (MXN\$)	Ahorros estimados por PPA con ER (MXN)	Emisiones de GEI evitadas (tCO ₂ e)
Durango	17,654	1,910	-505,726,992	-404,581,593	101,145,398	8,721
Mexicali: Top 10	36,650	1,590	-874,125,823	-743,006,950	131,118,873	18,105
Torreón: Top 10	26,974	1,750	-707,907,575	-601,721,439	106,186,136	13,325

Fuente: Autores con datos de (CESPM), (AMD), (SIMAS).

Las estimaciones asumen que no hay un aumento anual en las tarifas de servicios públicos o PPA. Los flujos de caja no se descuentan. Las cifras son solo para fines de discusión y no constituyen una garantía de costos o ahorros. Factor de emisión para México en 2020: 0.494 tCO₂e / MWh

Debido a que los términos del contrato entre las partes compradoras y vendedoras de los PPA en México son privados y, por lo general, no se ponen a disposición del público, los ahorros sobre las tarifas de servicios públicos no se pueden enumerar con precisión aquí. Sin embargo, los datos limitados sobre los precios de los PPA y el sentido común dejan en claro que las ER adquiridas a través de un PPA a menudo se pueden proporcionar a las tarifas de los servicios públicos actuales o por debajo de ellas. Por ejemplo, en México varias empresas notables han firmado PPA bilaterales privados para energía solar: Bayer (100 MW), Heineken (28,8 GWh), Zodiac Aerospace Equipo de México (200 MW). Además, según las ofertas realizadas por los desarrolladores de ER para ofertas de PPA bilaterales privadas en México en las que participó CEIA, los posibles compradores de PPA de RE con buenos sitios de instalación o una gran demanda (fuera del sitio) pueden esperar ver precios que son del 10% al 30% por debajo del costo minorista de la electricidad.

Rentabilidad (retorno) de la inversión con RE (comprando el sistema)

Si una organización invierte directamente en una nueva planta de energía renovable (dentro o fuera del sitio), tiene el potencial de convertir un costo general en un rendimiento económico neto positivo. La Tabla 19 muestra el impacto potencial de escenarios hipotéticos en los que las cargas preespecificadas se reemplazan por plantas generadoras de energía renovable que son propiedad de la organización.

Para los inversionistas, los proyectos en el sitio en México generalmente se optimizan a 500 KW o menos, debido en gran parte a la política de facturación / medición neta de México que limita los proyectos elegibles a 500 KW. Los sitios con cargas más pequeñas tienden a tener condiciones de instalación que no son las óptimas, p. Ej. el techo mira hacia el este y oeste pero no hacia el sur o



sombreado parcial en el área de instalación. Por KW, los sistemas más pequeños también cuestan más de instalar que los sistemas de más de 1 MW debido a los términos que los instaladores de ER pueden obtener al pedir piezas y componentes al por mayor. Sin embargo, debido a que los centros de carga pequeños también tienden a tener tarifas de servicios públicos más altas (2-2,8 MXN \$ / kWh) que las que aún pueden lograr rendimientos económicos positivos con inversiones en ER in situ.

La Tabla 19 muestra los costos promedio de instalación llave en mano estimados para 100 kW y 500 kW con Tasas Internas de Retorno (**TIR**)⁴² del 10-11% y Valor Presente Neto (**VPN**)⁴³ positivo en el transcurso de 20 años, utilizando un factor de descuento del 10%.

Las tasas de descuento más altas reducirán los retornos estimados, los descuentos más bajos tendrán el efecto contrario. Independientemente, si bien el análisis sugiere que el VPN será positivo con rendimientos moderados en la mayoría de las situaciones, el análisis financiero es muy específico del sitio / situación y los que se ofrecen aquí son solo para fines ilustrativos.

Tabla 19. Combinando demanda e inversión en ER

Centro de carga	MW	Capex (MXN\$)	IRR	NPV (MXN\$)
Muy pequeños	0.100	\$2,000,000	11.0%	\$124,220
pequeños	0.5	\$9,000,000	10.2%	\$93,660
Medianos	5	\$80,000,000	11.8%	\$8,833,440
Múltiples	30	\$420,000,000	13.3%	\$85,979,340

Fuente: Autores en base a información confidencial, (Feldman et al, 2020), (Feldman & Margolis, 2020) y (GIZ, 2020)

Para instalaciones con cargas relativamente más grandes, las organizaciones pueden esperar pagar menos por KW para las instalaciones de sistemas de energía renovable, en comparación con los sistemas de menos de 500 kW o menos, por unidad (MXN/KW). Sin embargo, los sistemas de más de 1 MW en adelante tienden a tener un costo más bajo por KW instalado. Cuando los sistemas de energía renovable están montados en el suelo, flotantes o fuera del sitio, la cantidad de electricidad (kWh), se pueden diseñar e instalar para producir el máximo potencial solar (kWh por KW instalado). En promedio, estos sistemas serán más eficientes que un sistema típico de ER en techos con un conjunto fijo de características de instalación (por ejemplo, azimut, inclinación y sombreado). Los impactos de estos factores superan el impacto de los precios más bajos de la

⁴² Ver: <https://www.investopedia.com/terms/i/irr.asp>

⁴³ Ver: <https://www.investopedia.com/terms/n/npv.asp>



electricidad. Como se resume en la Tabla 19, es probable que los sistemas más grandes den como resultado el mejor desempeño económico general⁴⁴.

Las cifras de ahorro y los retornos de inversión presentados en este análisis se estiman con base en generalizaciones favorables y suposiciones sobre las condiciones del sitio, la solvencia crediticia de la organización, las variables de política dinámica y otras variables. Para obtener precios precisos, ahorros potenciales y cifras de retorno de la inversión, las organizaciones deberán buscar ofertas para la compra de RE que sean específicas a su situación y emplear apoyo financiero profesional para evaluar las implicaciones económicas para su organización. En el Apéndice 2 se puede encontrar una descripción detallada del diseño de investigación utilizado para estos cálculos.

6.4 Conclusión: Adquisición de ER para instalaciones de tratamiento de agua

Las instalaciones de tratamiento de agua que están considerando la energía renovable para suministrar energía eléctrica en sus instalaciones en México tienen varias formas potencialmente viables de cambiar las fuentes de electricidad, ahorrar dinero y reducir las emisiones de GEI.

Para instalaciones con una carga máxima relativamente pequeña (~ 500 kW, pico), es probable que la energía solar en el sitio brinde la mejor oportunidad para ahorrar costos. Los sistemas en el sitio se pueden comprar directamente, o la electricidad que produce un sistema en el sitio (propiedad de un tercero) también se puede comprar a través de un PPA. Para cualquier enfoque, las organizaciones deben tener una evaluación técnica y financiera profesional del sitio para tener en cuenta las tasas de irradiación solar específicas, las condiciones económicas, el techo, el suelo, el agua, la electricidad, la seguridad y otras consideraciones clave. Por lo general, esto se puede lograr contactando directamente a 3-4 proveedores de equipos de energía solar o mediante un proceso de solicitud de propuestas que permite a los contratistas solares precalificados que ofrecen opciones de compra y PPA competir por su negocio.

Para las organizaciones que buscan maximizar los ahorros en sus instalaciones, la estrategia de combinar centros de carga (por ejemplo, estaciones de bombeo de tratamiento de agua y edificios de administración y mantenimiento) puede aumentar el poder adquisitivo, crear economías de escala y reducir los costos de transacción, lo que resulta en precios más competitivos entre sitios frente a sitios individuales de forma fragmentada.

Para la organización que le gustaría explorar el financiamiento de la compra de un sistema de energía renovable (o invertir en proyectos fuera del sitio) un número

⁴⁴ Consulte el Apéndice 2 para obtener detalles sobre los supuestos de modelado utilizados para las Tablas incluidas en esta sección.



creciente de bancos comerciales y de desarrollo en México pueden brindar apoyo, p. Ej. Banco Interamericano de Desarrollo, Banco de Desarrollo de América del Norte (NADBank)⁴⁵, y la banca de desarrollo en México, p. e. Bancomext, y bancos privados, MUFG Bank, BBVA Bancomer (Thurston, 2018)⁴⁶.

Se recomienda que la selección de una fuente de financiación adecuada se lleve a cabo una vez definido el modelo de negocio y la necesidad de financiación específica. Para ello es importante tener en cuenta:

1. Si la empresa de agua está dentro de la jurisdicción de la institución financiera, por ejemplo, el NADBank
2. ¿Si se requiere un préstamo o se busca apoyo no reembolsable o una combinación de ambos?
3. ¿Qué tipo de banca se está considerando: ¿comercial, de desarrollo u otra como FONADIN?
4. ¿Quién invertirá en el proyecto, una entidad pública (Banobras), privada o ambas, la empresa de agua y los bancos o fondos?
5. ¿Qué servicios se contratarán?
6. ¿Cuáles serán las garantías de pago de la empresa de agua?

Mensajes clave

1. Para instalaciones con cargas relativamente más grandes, las organizaciones pueden esperar pagar menos por KW para las instalaciones de sistemas de energía renovable, en comparación con los sistemas de menos de 500 kW o menos, por unidad (\$MXN/KW). Sin embargo, los sistemas de más de 1 MW en adelante tienden a tener un costo más bajo por KW instalado.
2. Los rendimientos positivos de los proyectos de energía solo se pueden lograr invirtiendo en (factores de producción) fuentes de electricidad con un costo marginal más bajo a lo largo del tiempo.
3. Las organizaciones que no desean comprar directamente un sistema de energía solar, pero que desean usar energía renovable para alimentar sus instalaciones, pueden, en la mayoría de los casos, usar un RE PPA para reducir sus costos de electricidad.
4. En casi todos los casos, el costo de la electricidad obtenida a través de un PPA puede ser un 10-30% más bajo que las tarifas de los servicios públicos actuales, dependiendo del volumen de energía, la correlación entre el consumo y la generación, las dispersiones y/o la concentración de las cargas centrales y la solvencia del usuario final.

⁴⁵ NADBank es un banco binacional que solo opera 100 km arriba o abajo de la frontera entre México y Estados Unidos brindando asistencia técnica, donaciones o préstamos tanto al sector público como privado.

⁴⁶ Ver: <https://cleantechnica.com/2018/12/24/multilateral-banks-pile-onto-mexico-solar/>



7. Estrategia financiera: EE + RE

7.1 Superar las barreras antes de iniciar proyectos de EE / ER

Información

La disponibilidad de datos en el sector del agua y a nivel local no está completamente sistematizada o es de difícil acceso. Aunque se ha implementado y está disponible el PIGOO, no es obligatorio para las empresas de agua reportar los datos solicitados, y esto a menudo resulta en información desactualizada. Los actores federales tienen buenas herramientas de visualización y datos agregados que brindan una buena visión general del sector en su conjunto. **Sin embargo, la información detallada de los actores locales es vital para llevar a cabo proyectos de eficiencia energética y generación renovable, a fin de garantizar su éxito, impacto y que los beneficios sean cosechados por las comunidades locales (o en este caso, los operadores de la empresa de agua).** Dado que la información observada en las empresas de servicios de agua varía enormemente, es difícil compararla sistemáticamente y evaluar y tomar las decisiones correctas con el mayor impacto.

- Es recomendable sistematizar la información de consumo de agua y energía en cada medidor y centro de consumo a lo largo de varios años, identificando por qué falta información y eventos fuera de lo común para superar la falta de datos.
- La información bien organizada apoyará el proceso de planificación para atraer financiamiento, por lo que es recomendable establecer un procedimiento interno para mejorar la generación, registro y reporte de datos. Una mejora en este sentido también ayudará a informar sobre el desempeño y los problemas relacionados con los esfuerzos de mitigación del cambio climático.
- Es de considerar si esta mejora en la generación de datos, proceso de registro y reporte puede ser propuesta como un proyecto a las instituciones y agencias federales en el marco tanto de mejoras operativas como de sistemas MRV para mejorar la transparencia en las operaciones.

Condiciones legales

Las nuevas tarifas de energía no son vistas como una oportunidad por los organismos operadores de agua, por lo que la mayoría de ellas no han identificado el potencial para reducir sus facturas de energía de manera sostenible. La carga



de capacidad (kW) representa una oportunidad interesante debido a que la energía solar fotovoltaica se reconoce como capacidad y el potencial para un reemplazo de equipos más eficiente como una medida de EE. El desafío es encontrar condiciones legales que aseguren la inversión de terceros (públicos o privados) a través de contratos de mediano-largo plazo (PPA), ya sea en el sitio o fuera del sitio (suministrador calificado).

- Se deben identificar vías técnicas y legales para lo siguiente:
 - (i.) ¿Cómo se podrían agrupar legal y técnicamente los centros de consumo?
 - (ii.) ¿Cómo establecer alianzas con otras empresas regionales de agua para combinar el volumen de tal manera que sea más fácil atraer inversiones?
 - (iii.) ¿Qué aspectos legales de deben considerar para la realización de contratos con suministradores calificados?
 - (iv) ¿Qué aspectos legales de deben considerar para establecer una mejor calificación crediticia combinada que requiere desarrollo de capacidades?
- Se deben identificar y considerar a los actores involucrados en el proceso de toma de decisiones con influencia en la decisión de inversión, así como el período de la administración en el que se debe ejecutar la planificación de un proyecto.
- Estas barreras deben superarse antes de iniciar el proceso de captación de financiamiento.

Análisis de Costo-Beneficio (ACB) y desarrollo de capacidades

Los servicios públicos de agua descentralizados tienen experiencia en operaciones, gestión y monitoreo de la energía, pero por lo general, la falta de un conocimiento profundo del marco legal energético y la falta de experiencia en contratación en el sector energético podría ser un riesgo.

Es importante desarrollar capacidades respecto de los vacíos de experiencia antes mencionados en el marco legal y técnico del sector energético y para el desarrollo de ACB's con el fin de realizar la evaluación de las diferentes medidas que en este estudio se proponen.

- Una forma de desarrollar estas capacidades es identificar al personal con esta experiencia dentro de la empresa de agua e integrarlo en un grupo de trabajo para estos temas. La ACB y el marco legal del sector energético y la contratación de PPA requieren al inicio de consultores externos para transferir conocimientos sobre ACB, contratos y reglas del mercado energético al organismo operador. La comprensión de esto mejorará las posibilidades de obtener apoyo de los programas federales y atraer inversiones de terceros.



7.2 Resumen de ahorros potenciales

La Tabla 20 a continuación muestra los ahorros potenciales (en energía o dinero) que una empresa de agua podría lograr si aplica soluciones de EE o ER en sus instalaciones.

Tabla 20. Medidas de conservación de energía y ahorros potenciales

Medida de conservación de energía (ECM)	Compra de equipo		Servicio de terceros (sin gasto de capital): Acuerdo de compra de energía y Acuerdo de servicio de energía	
	Ahorros de energía (%)	Costo de equipo individual	Ahorros estimados	Costos de capital
Agregar VDF a las bombas	Hasta 20% sin actualización de controles	<5k USD	-	-
Reemplazar motores más pequeños ⁴⁷ <2HP	Hasta 75%	> 5k USD <25k USD	-	-
Reemplace todas las bombillas incandescentes con un uso de iluminación LED más alto que el promedio.	Hasta 75% (comparado con incandescente)	1 LED = ~USD\$3.00	-	-
Instalación de condensadores en los lados de la carga de los transformadores en sitios con factores de potencia bajos (es decir, inferiores al 90%).	Hasta 10%	> 70 USD <5k USD	-	-
Evalúe la sustitución de motores con factores de potencia bajos por motores de mayor eficiencia que tengan mayor potencia.	Depende de los patrones de energía y el equipo actuales.	> 150 USD <2k USD		-
RE Centros de carga más pequeños (0.1 MW)	Depende de las relaciones entre energía consumida y autogenerada	\$2,000,000 MXN	5%-10%	Ninguno a bajo costo

⁴⁷ Reemplace los motores más pequeños (menos de 2 caballos de fuerza (hp) según la disponibilidad) con motores conmutado electrónicamente (ECM motor).

Medida de conservación de energía (ECM)	Compra de equipo		Servicio de terceros (sin gasto de capital): Acuerdo de compra de energía y Acuerdo de servicio de energía	
	Ahorros de energía (%)	Costo de equipo individual	Ahorros estimados	Costos de capital
RE Pequeños centros de carga (0.5 MW)	Depende de las relaciones entre energía consumida y autogenerada	\$9,000,000 MXN	5%-10%	Ninguno a bajo costo
RE Centros de carga media (5 MW)	Depende de las relaciones entre energía consumida y autogenerada	\$80,000,000 MXN	8% - 12%	Ninguno a bajo costo
RE Múltiples centros de carga (30 MW)	Depende de las relaciones entre energía consumida y autogenerada	\$420,000,000 MXN	8% - 15%	Ninguno a bajo costo

Fuente: Authors

Nota: VFD: Variable Frequency Drive

7.3 Modelos de negocio para la energía fotovoltaica en México

Actualmente hay tres formas de adquirir energía solar en México. Comprar un sistema fotovoltaico, firmar un contrato para arrendar un sistema fotovoltaico o registrarse como usuario calificado y firmar un PPA con un proveedor calificado para energía fuera del sitio. La Tabla 21 a continuación muestra las principales características de cada opción y el tipo de usuario que se beneficiaría de ella. Una solución en el sitio podría combinarse con un PPA externo para cubrir la electricidad restante que no genera el sistema fotovoltaico.

Tabla 21. Modelos de negocio fotovoltaicos: características clave

	Características clave	Clientes relevantes
Opción 1: Compra Llave en mano en el lugar	<ul style="list-style-type: none"> A menudo, es el menor costo de electricidad por kWh durante la vida útil del sistema; 	Relevante para los usuarios que tienen: <ul style="list-style-type: none"> Suficiente espacio soleado en la azotea o en el suelo; y acceso a



	Características clave	Clientes relevantes
	<ul style="list-style-type: none"> • Reduce los costos de electricidad; • Requiere una inversión inicial del cliente para comprar el sistema; • El cliente es responsable (costo de mantenimiento y riesgo) de las operaciones y el mantenimiento del sistema fotovoltaico; • Beneficios fiscales disponibles. 	<p>capital para comprar un sistema.</p> <p>Más rentable para los clientes con:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Demanda máxima por debajo de 500 kW; • Se prevé que las instalaciones propias estén en funcionamiento durante 10 años o más; • Instalaciones que operan los siete días de la semana; y • Demanda de energía que se alinea con las horas probables de generación de ER.
Opción 2: PPA con terceros en el sitio o arrendamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Reduce los costos de electricidad; • Ofrece ahorros instantáneos en las facturas de servicios públicos, ya que no hay costos iniciales y utiliza el presupuesto operativo, no de capital; • El propietario del sistema de terceros es responsable (costo de mantenimiento y riesgo) de garantizar que el sistema fotovoltaico funcione bien y produzca la máxima electricidad posible. 	<p>Relevante para los usuarios que tienen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Suficiente espacio soleado en la azotea o en el suelo; • Acceso limitado a capital para la compra de un sistema total o que se centre en otras inversiones que son clave para las operaciones comerciales; y • Capacidad para firmar contratos a largo plazo (10-20 años). <p>Más rentable para los clientes con:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Demanda máxima por debajo de 500 kW; • Empresas que operan los siete días de la semana; y • Demanda de energía que se alinea con las horas probables de generación de ER.
Opción 3: PPA con terceros fuera del sitio (Suministrador calificado)	<ul style="list-style-type: none"> • Reduce los costos de electricidad • Ofrece ahorros instantáneos en las facturas de los servicios, ya que no hay costos iniciales y utiliza un presupuesto operativo, no de capital; • Permitir a los clientes comprar energía renovable de fuentes más allá de la solar (por ejemplo, eólica); • Ofrecer costos de generación más bajos a través de economías de escala (pero los clientes aún deben pagar las tarifas de transporte / operación del mercado); y 	<p>Relevante para los usuarios que tienen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Flexibilidad para contratar proveedores calificados como usuarios calificados; • Capital limitado para una compra total del sistema; • Un sitio que puede no ser propicio para RE; • Instalaciones arrendadas o que planean trasladar sus operaciones en los próximos años; y • Capacidad para firmar contratos a largo plazo (10-20 años). <p>Más rentable para usuarios</p>



	Características clave	Clientes relevantes
	<ul style="list-style-type: none"> Proporcionar ahorros en un porcentaje mucho mayor de las facturas de electricidad de los clientes. 	calificados con: <ul style="list-style-type: none"> Demanda superior a 500 kW. Instalaciones que NO operan los siete días de la semana o. Demanda de energía que NO se alinea con la generación en el sitio.

Fuente: Autores

7.4 Próximos pasos para atraer financiamiento

Al seleccionar un esquema financiero para adquirir energía limpia y lanzar una “Solicitud de Interés” o RFP por sus siglas en inglés (ver Apéndice 3), las empresas de agua deben tener en cuenta las siguientes características de los sistemas o equipos. Las empresas de agua deben incluir qué tipo de ofertas están buscando, dependiendo de si desean ser propietarios del sistema y el equipo (compra llave en mano) o si prefieren firmar un contrato a largo plazo con un tercero (PPA o arrendamiento). El cuadro 22 a continuación compara ambos modelos desde una perspectiva financiera. Se necesita una fuerte capacidad de inversión para proyectos llave en mano, y se necesita voluntad para firmar contratos por más de 10 años para un PPA o arrendamiento, así como garantías de pago como efectivo o cartas de crédito en stand-by.

Tabla 22. Modelos financieros fotovoltaicos

Características	Compra llave en mano	Financiamiento de terceros (PPA o arrendamiento)
Propiedad	Desarrollador fotovoltaico del cliente u otros inversores externos (es decir, un tercero)	Desarrollador fotovoltaico u otros inversores externos (es decir, terceros)
Inversión de capital inicial	En el balance general del cliente (efectivo o préstamo/línea de crédito)	Desarrollador fotovoltaico u otros inversores externos (es decir, terceros)
Financiamiento de proyectos	En el balance general del cliente (efectivo o préstamo/línea de crédito). El capital de construcción y financiamiento de proyectos a veces se agrupa.	Financiamiento del desarrollador fotovoltaico u otros inversores (es decir, un tercero)
Operación y mantenimiento	Responsabilidad del cliente. Por lo general, se asegura un contrato separado con un desarrollador fotovoltaico o un proveedor de O&M externo.	Costo incluido en PPA / arrendamiento.



Características	Compra llave en mano	Financiamiento de terceros (PPA o arrendamiento)
Garantías de equipos	Recomendado para su inclusión como parte de la adquisición del sistema inicial. Puede que no cubra la vida útil completa de todos los equipos (por ejemplo, inversores) durante la vida útil del proyecto.	El propietario externo administra las garantías y es responsable del riesgo operativo del sistema fotovoltaico más allá de las garantías.
Garantías de rendimiento (nivel mínimo de producción de kWh o el cliente no paga)	Las garantías de rendimiento de la producción se pueden negociar con los desarrolladores de proyectos, pero son raras con una compra llave en mano. Los fabricantes de paneles fotovoltaicos suelen ofrecer garantías de producción de 20 a 25 años en sus paneles.	Ampliamente ofrecidas e incluidas con los PPA, las garantías de desempeño deben estar en un lenguaje contractual que incluya garantías anuales de kWh mínimo y tasas de compensación en caso de fallas.
Seguros	Responsabilidad del cliente. Puede estar incluido en la póliza de seguro existente o requerir una póliza separada.	El propietario externo es responsable del riesgo operativo del sistema fotovoltaico. Debería aclararse la responsabilidad del seguro de propiedad y de responsabilidad.
El menor costo por kWh durante la vida útil del sistema fotovoltaico	Si	No
Posible flujo de caja positivo en el primer año	No	Si

Fuente: Autores

Mensajes clave

1. Como primer paso, las empresas de agua deben examinar qué medidas de baja inversión son factibles de implementar, estimar el personal y el tiempo requerido para su planificación e implementación. Para ello, es recomendable establecer indicadores de las medidas a dar seguimiento como se indica en el Anexo 3.
2. La elección del tipo de suministro de energía y la selección del modelo de negocio deben basarse en un buen ACB.
3. Se requiere profundizar mediante un análisis detallado en campo la viabilidad económica de cada uno de ellos.



8. Conclusiones

8.1 Consideraciones para las empresas de agua al planificar proyectos relacionados con la energía

Las nuevas tarifas de energía representan un desafío para los operadores de agua, ya que no existe una tarifa específica para el bombeo de agua como antes. Aun así, las empresas de agua pueden aprovechar el nuevo modelo de tarifa eléctrica reduciendo el consumo en las horas pico o instalando paneles solares para dejar de pagar la electricidad durante el día. La carga de capacidad (kW) representa una oportunidad interesante debido a que la energía solar fotovoltaica se reconoce como capacidad y el potencial para un reemplazo de equipos más eficiente como una medida de EE.

Un proceso eficaz para identificar oportunidades de eficiencia energética rentables en una instalación, para evaluar los impactos de las emisiones de GEI, podría ser comparar la intensidad energética (es decir, uso de energía por metro cuadrado o uso de energía por unidad de agua tratada). Centrar los esfuerzos continuos en el mayor consumo de energía (por área o tratamiento) puede generar la mayor cantidad de oportunidades para las empresas de agua, tanto para las soluciones de EE como de ER.

El nuevo esquema de tarifas puede haber dado lugar a un aumento exponencial de los costos de la electricidad, pero también representa una oportunidad para la gestión de la energía. Esta fuerte señal de mercado es más efectiva que las regulaciones ambientales para buscar cambios operativos y reducción del consumo de energía.

8.2 Una creciente necesidad de nuevos modelos comerciales

Uno de los desafíos identificados para las empresas operadoras de agua es la fijación de tarifas para el pago del servicio público. El problema radica en que la decisión final de fijar el esquema tarifario no recae en el organismo operador de agua, y que la metodología de cálculo es diferente en cada una de las leyes estatales de aguas, lo que puede generar controversia.

Sin embargo, el organismo operador de agua puede proponer tarifas que permitan su autosuficiencia económica a través de estudios específicos que le permitan sustentar adecuadamente la propuesta presentada a la institución correspondiente. Para conocer más sobre las metodologías para la fijación de una tarifa de agua, consulte el Libro "Estructuras Tarifarias" # 54 del Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de la CONAGUA (CONAGUA, 2019e).



- Los precios de las tarifas impactan directamente en la bancabilidad de los proyectos energéticos.

Por otro lado, la recuperación de costos por el servicio prestado y la identificación de fondos para administrar inversiones en infraestructura hidráulica son acciones de gran relevancia para la estabilidad financiera de las empresas y organismos operadores de agua.

Los recursos federales para los sectores de agua y aguas residuales han disminuido constantemente. Actualmente, solo se cuenta con un tercio del presupuesto de 2016, lo que hace que sea complejo invertir a fondo perdido para proyectos de EE y ER.

- Se podrían implementar nuevos modelos de negocios con poca o ninguna inversión (como un PPA) y podrían traer beneficios si se dan algunas condiciones. Las empresas de agua deben llevar libros contables actualizados para demostrar su solidez financiera, así como una prueba del mantenimiento de los equipos, una línea de base para su consumo de energía y más información que se detalla en la hoja de ruta del Apéndice 3.

Los organismos operadores de agua descentralizados tienen experiencia en la gestión y el monitoreo de la energía, pero generalmente carecen de financiamiento, tienen una comprensión superficial del marco energético y no necesariamente tienen experiencia en contratación en el sector energético, o las facultades para invertir en un sistema fotovoltaico o firmar contratos a largo plazo. Sin embargo, existen préstamos tanto para equipos como para sistemas fotovoltaicos que las empresas de servicios públicos pueden aprovechar, como los mencionados en la Sección 3.5.

Nuevas estrategias de inversión o financieras

Los recursos públicos también se pueden utilizar de forma diferente para aumentar el impacto y la escalabilidad.

- CONAGUA puede implementar garantías que cubran el riesgo crediticio asociado a contratos de mediano y largo plazo entre el sector público y privado. En lugar de donativos a fondo perdido. Esto se puede aplicar tanto a los PPA como a los proyectos de EE.
- CONAGUA puede implementar líneas de crédito revolventes. Los programas de financiamiento tienden a utilizar la escala de población y los indicadores rurales/urbanos para priorizar la asignación de recursos y clasificar los servicios de agua de esa manera.
- Se podrían construir nuevos fondos específicamente para proyectos de EE y ER. Para participar en estos nuevos fondos, los organismos operadores deben cumplir con algunas condiciones, por ejemplo:
 - El porcentaje de cobertura de agua es alto.



- Se ha establecido una eficiencia determinada en la micro-medición
- Una cierta eficiencia en la facturación ya se ha alcanzado.

Esto se debe a que las mejoras energéticas deben realizarse solo si el organismo operador de agua tiene un funcionamiento sólido y si se cubren las necesidades de la comunidad, independientemente de su tamaño.

- FONADIN podría modificar sus lineamientos operativos, así como los de PROMAGUA para abrir una línea específica para proyectos de EE y ER, bajo la condición de un esquema de financiamiento en dos etapas similar al que tiene actualmente el Fondo Verde para el Clima. Debería someterse, por ejemplo, a una Evaluación de Necesidades Técnicas que aclare en detalle los costos y beneficios de cada medida. En otras palabras, incluya un ACB.
- Para mejorar la bancabilidad de los proyectos, se debe proponer un esquema general de tarifas que considere las necesidades de mantenimiento, la planificación de reemplazo de equipos y los requisitos para aumentar la resiliencia al cambio climático.
- Los operadores de agua deberían estar legalmente autorizados a establecer grupos de inversión o empresas para aumentar su calificación crediticia y para economías de escala. Los proyectos de 2 o 3 operadores de agua del mismo estado serían más fácilmente financiables.

Siguiendo los pasos incluidos en la hoja de ruta en el Apéndice 3, las empresas u organismo operadores de agua pueden evaluar su consumo actual de energía, sus objetivos y necesidades, y diseñar una estrategia energética que se adapte mejor a ellos. Las consideraciones de financiamiento deben incluirse desde el principio, a fin de decidir qué opción de adquisición (Tabla 21) y qué modelo (Tabla 22) se alinea con la visión de la empresa de servicios públicos y obtiene los mayores beneficios.

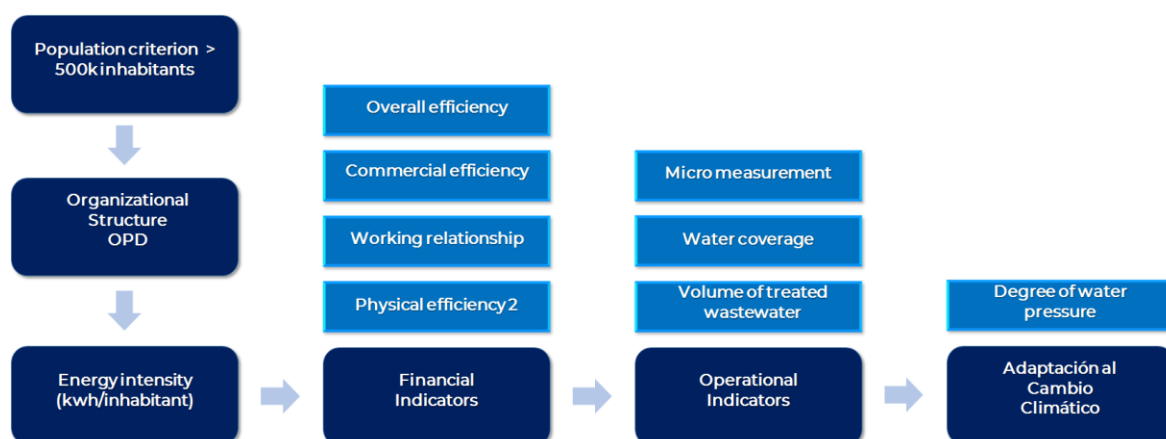
Apéndice 1. Metodología

Proceso de selección

Indicadores, datos recopilados y fuentes

Para completar el objetivo de este estudio y brindar apoyo en profundidad a tres municipios, fue necesario definir criterios clave para evaluar: el potencial de mitigación de las emisiones de GEI (en términos de intensidad energética); operación y finanzas de las empresas de agua (eficiencia técnica, financiera y operativa), así como la probabilidad de implementación y replicabilidad de los proyectos de EE y ER. A continuación, se presentan los indicadores seleccionados, sus respectivas fuentes y el análisis correspondiente.

Figura 5. Criterios de selección



Fuente: Autores.

Población con más de 500 mil habitantes

La encuesta intercensal del INEGI de 2015 identifica que existen 74 áreas metropolitanas en México (CONAPO, 2015b). En 2017, el Consejo Nacional de Población (CONAPO) proyectó que el 62,75% de la población (77,50 millones de habitantes) se concentra en estas áreas. “37 áreas metropolitanas tienen más de 500 mil habitantes, lo que representa un total de 67,10 millones de personas y el 54,32% de la población nacional” (CONAGUA, 2018a). Cuarenta y dos municipios y sus respectivos organismos operadores de agua cumplen con este criterio preliminar de población.



Estructura organizativa

Este indicador busca aumentar la probabilidad de implementación y escalado y está directamente relacionado con cuestiones financieras. Recordando que los organismos operadores de agua pueden tener cuatro tipos de estructura organizativa: Centralizada (adscrita al municipio), Descentralizada, Concesionada o un Comité Rural (INEGI, 2016), cada estructura tiene sus limitaciones y ventajas.

Idealmente, un organismo operador de agua descentralizado debería tener un modelo similar al de las organizaciones formales, centralizadas y con fines de lucro⁴⁸ (enfaticando que los beneficios económicos se invierten en el organismo mismo), en el que el propietario o propietario no es una persona, sino una junta directiva, representado internamente por el administrador o director (CONAGUA, 2019f).

Este estudio trata específicamente de los organismos públicos operadores de agua descentralizados porque tienen características importantes como tener personalidad jurídica propia, además de tener patrimonio propio y autonomía en el proceso de toma de decisiones (CONAGUA, 2019f). Esto contrasta con las agencias públicas centralizadas, que no tienen ninguna de estas características. Finalmente, las empresas de agua concesionadas fueron descartadas de este estudio porque hay muy pocas empresas de agua con esta estructura y, por lo tanto, la replicabilidad sería limitada⁴⁹.

De los cuarenta y dos (42) municipios analizados, se encontraron los siguientes: 27 organismos públicos descentralizados (2 de ellos son organismos intermunicipales⁵⁰), 18 concesiones⁵¹ (10 municipios tienen concesiones para todo el servicio de agua y en 8 la empresa privada solo opera 1 o 2 plantas principales de tratamiento de aguas residuales) 1 organización adscrita al gobierno municipal (Sistemas de Agua y Saneamiento de Centro), y 1 empresa paramunicipal mixta (Aguas de Saltillo) Ver Tabla 26.

Soluciones de energía renovable

Dentro de los municipios que cumplen con los indicadores anteriores (más de 500 mil habitantes y organismos públicos descentralizados), se han identificado algunos organismos operadores que tienen experiencia con proyectos de energías limpias. La mayoría de ellos, como se muestra en la Tabla 5, han optado

⁴⁸ Similar a las pequeñas empresas, cuyo principal objetivo es obtener beneficios. Para ello, cuentan con una estructura organizativa formal (aunque sea básica) y la autoridad tiende a centrarse en el propietario o propietarios (junta de gobierno), quienes tienen la última palabra (SGAPDS 2019).

⁴⁹ Algunas empresas de agua seleccionadas tienen una concesión para una infraestructura hidráulica privada (por ejemplo, PTAR), sin embargo, han pasado nuestros criterios de selección porque tienen infraestructura restante que puede utilizar soluciones de EE y ER.

⁵⁰ SIAPA (Sistema Intermunicipal de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado) brinda el servicio a los municipios de Guadalajara, Tlaquepaque y Zapopan y SADM (Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, I.P.D) a los municipios de Apodaca, Guadalupe y Monterrey.

⁵¹ Solo se encontraron 13 empresas privadas, ya que algunas brindan el servicio a más de un municipio (Agua de México, Atlatec, FYPASA Construcciones y Proactiva Medio Ambiente).



por proyectos de cogeneración, mientras que otros han instalado paneles solares, y uno ha firmado un PPA.

La Ley del Sector Eléctrico distingue entre energías renovables (solar y eólica, siendo las más comunes) y energías limpias (nuclear, hidroeléctrica y cogeneración, entre otras) (H. Congreso de la Unión, 2014). Este estudio busca incentivar y amplificar las fuentes de energía limpia que no emitan emisiones de ningún tipo durante su operación. Por lo tanto, nuestra metodología descartó las empresas de agua que operan una planta de tratamiento de aguas residuales con tecnologías de cogeneración u otras soluciones de energía limpia bajo su jurisdicción.

Intensidad energética operativa y emisiones por habitante

El indicador se enfoca en los organismos operadores públicos de agua descentralizados con mayor potencial de reducción de emisiones de GEI, algo que está estrechamente relacionado con la cantidad de energía consumida para brindar servicios a los usuarios dado que los servicios de agua y saneamiento son públicos.

Para este indicador se han utilizado los datos de consumo de energía a nivel de ciudad que se extrajeron con la tasa de bombeo de CFE para agua o aguas residuales (o T6), de CRE, (2017); Luego, estos datos se dividieron entre el número total de habitantes del municipio, utilizando datos del Censo de Población del INEGI (2010). Para la estimación de este indicador se aplicó la siguiente ecuación.

$$Ind\ Epc = \frac{Anual\ consumption\ (T6),\ 2017(KWh)}{Habitants\ in\ 2017} * EF_{2017}$$

Ind Epc Intensidad energética operativa y emisiones por habitante en (tCO₂e/hab.)

EF₂₀₁₇ Factor de Emisión del año 2017 = 0.582 tCO₂/MWh⁵²

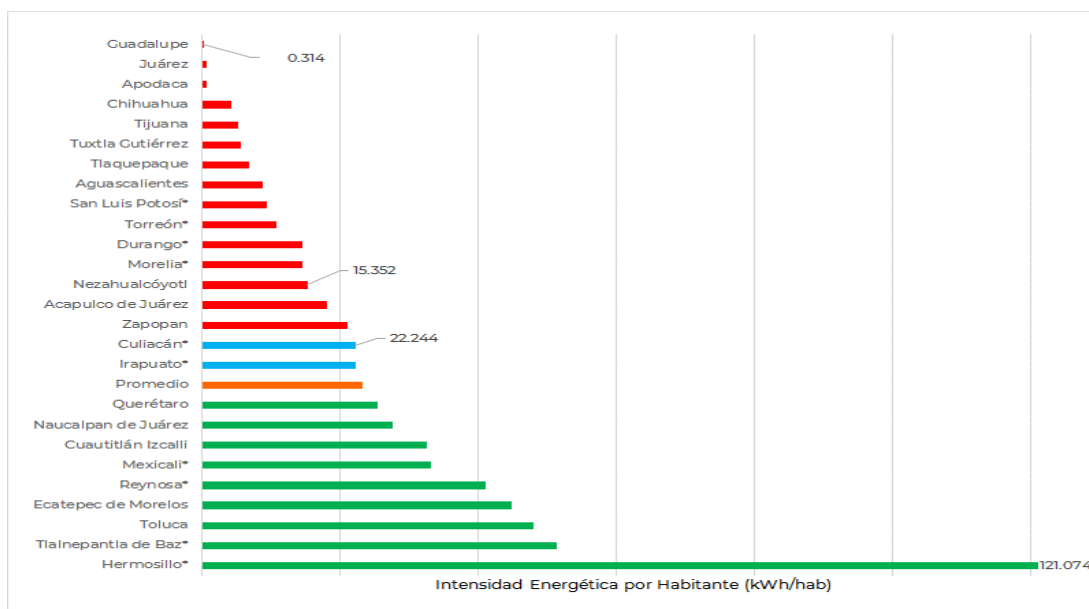
Los datos para este indicador han sido seleccionados porque son los datos más recientes disponibles públicamente que pueden dar una indicación del consumo de energía y la eficiencia energética de los servicios públicos de agua descentralizados y su respectiva necesidad de adoptar soluciones de eficiencia energética y energías renovables. La intensidad energética promedio es de 24 kWh/habitante y, como se muestra en la Figura 6, Hermosillo es el municipio con mayor demanda eléctrica por habitante. Para dar una idea del potencial de mitigación de emisiones, se presenta la Figura 7 con la estimación de las emisiones liberadas por la energía consumida en los servicios de agua por

⁵² See:

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/304573/Factor_de_Emisi_n_del_Sector_El_ctrico_Nacional_1.pdf

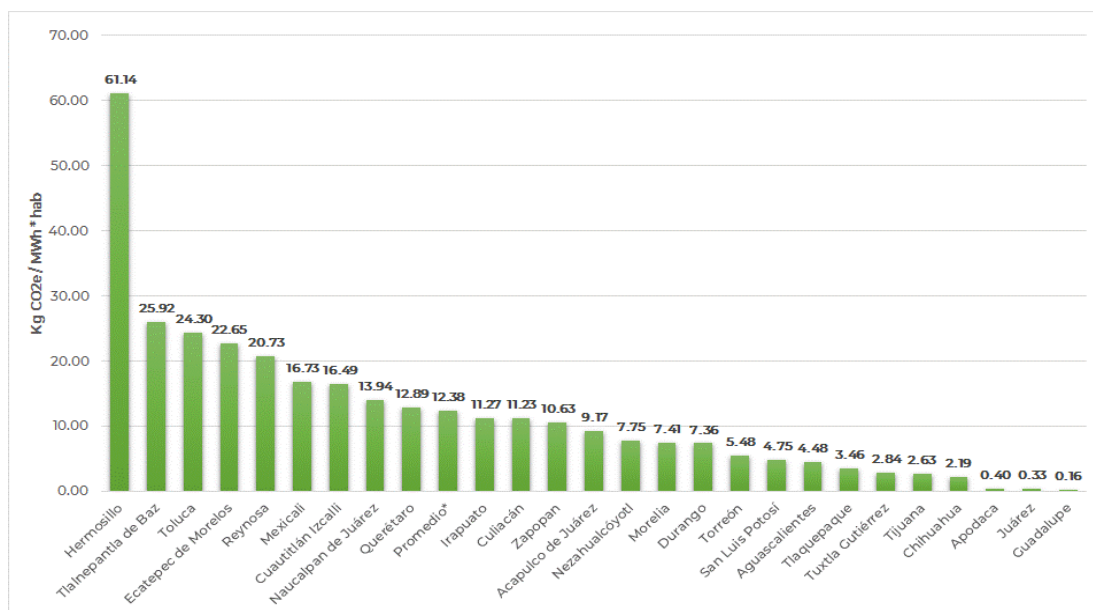
habitante. La emisión media liberada por habitante de los municipios analizados es de 12,38 kg CO₂e/MWh * Hab.

Figura 6. Consumo de energía por habitante (KWh/hab)



Fuente: Autores con datos de CRE (2017) e INEGI (2011)

Figura 7. Emisiones liberadas por habitante por el consumo de energía para la prestación del servicio de agua (Kg CO₂e/MWh * Hab)



Fuente: Autores con datos de CRE (2017), INEGI (2011) y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT] (2021)



La Tabla 23 a continuación muestra los datos utilizados para construir las dos figuras anteriores.

CEH: Capacidad Especifica por Habitante
EEH: Emisiones Especificas por Habitante

CEH: Consumo Especifico por Habitante

Tabla 23. Datos de emisiones y consumo de energía

OOAs	CEH (KW/Hab)	CEH (MW/Hab)	EEH (ton CO ₂ e/ MWh * Hab)	EEH (Kg CO ₂ e /MWh * Hab)
Hermosillo*	121.07	0.12	0.06	61.14
Tlalnepantla de Baz*	51.33	0.05	0.03	25.92
Toluca	48.11	0.05	0.02	24.3
Ecatepec de Morelos	44.86	0.04	0.02	22.65
Reynosa*	41.05	0.04	0.02	20.73
Mexicali*	33.14	0.03	0.02	16.73
Cuautitlán Izcalli	32.66	0.03	0.02	16.49
Naucalpan de Juárez	27.6	0.028	0.014	13.94
Querétaro	25.52	0.026	0.013	12.89
Promedio	24.51	0.025	0.012	12.38
Irapuato*	22.31	0.022	0.011	11.27
Culiacán*	22.24	0.022	0.011	11.23
Zapopan	21.05	0.021	0.011	10.63
Acapulco de Juárez	18.15	0.018	0.009	9.17
Nezahualcóyotl	15.35	0.015	0.008	7.75
Morelia*	14.67	0.015	0.007	7.41
Durango*	14.57	0.015	0.007	7.36
Torreón*	10.86	0.011	0.005	5.48
San Luis Potosí*	9.41	0.0094	0.0048	4.75
Aguascalientes	8.88	0.0089	0.0045	4.48
Tlaquepaque	6.85	0.0068	0.0035	3.46
Tuxtla Gutiérrez	5.63	0.0056	0.0028	2.84
Tijuana	5.209	0.00521	0.00263	2.63
Chihuahua	4.331	0.00433	0.00219	2.19
Apodaca	0.784	0.00078	0.00040	0.40
Juárez	0.65	0.00065	0.00033	0.33
Guadalupe	0.314	0.00031	0.00016	0.16

Fuente: Autores con datos de INEGI y CRE



Programa de indicadores de gestión para empresas de agua

Desde 2005, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) evalúa el desempeño de organismos operadores de agua. Este trabajo se denomina Programa de Indicadores de Gestión de Empresas de Agua o “PIGOO” (Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores)⁵³.

Esta evaluación de desempeño se realiza mediante un conjunto de indicadores (29 indicadores) y, a lo largo de la historia de este programa, se han evaluado un total de 387 organismo operadores de agua. En 2019 se evaluaron 146 organismos operadores de agua que, en total, ayudan a brindar servicios a un tercio de los usuarios del país. Los indicadores PIGOO reflejan los aspectos operativos del sector de agua y aguas residuales, junto con los problemas financieros y eficiencias relacionados (Hansen, M. & Rodríguez, J., 2019).

Los datos recopilados provienen de los datos más recientes disponibles públicamente de los organismos operadores de agua descentralizados. En el momento del proceso de análisis y selección, destacamos los organismos operadores de agua descentralizados con los datos más actualizados (al menos hasta 2015). Los indicadores seleccionados para el análisis evalúan el bienestar económico y la eficiencia operativa de las empresas de agua preseleccionadas:

- **Relación de trabajo (%):** Evalúa la confiabilidad financiera de la empresa de agua y su flexibilidad para incorporar proyectos de mitigación de emisiones de GEI (el promedio es 88.22%).
- **Micro-medición (%):** Este indicador evalúa el control del agua por parte de las empresas de agua y la racionalización del recurso.
- **Volumen de aguas residuales tratadas (%):** Este indicador evalúa la cobertura de tratamiento de las aguas residuales producidas. Cuanto mayor sea el porcentaje de agua tratada, mayor será la energía requerida para su tratamiento, lo que aumenta el potencial de mitigación.
- **Cobertura de agua reportada (%):** Este indicador evalúa el porcentaje de la población que cuenta con servicios de agua potable, así como el tamaño de la red de distribución y consumo que puede llegar a los hogares. Cuanto mayor sea el porcentaje de agua potable distribuida, mayor será la energía requerida para su tratamiento y distribución, aumentando así el potencial de mitigación de emisiones de GEI.
- **Eficiencia física 2 (%):** Este indicador evalúa la eficiencia entre el agua facturada y producida. Refleja el control de facturación y la capacidad contable del agua producida y entregada.
- **Eficiencia comercial (%):** evalúa la eficiencia entre facturación y cobranza. Refleja la eficiencia del organismo operador para recolectar los pagos facturados por consumo de agua y, por ende, sus respectivos flujos de caja.
- **Eficiencia general (%):** este indicador calcula la eficiencia general del sistema de agua potable. Refleja la eficiencia del organismo operador de agua en la

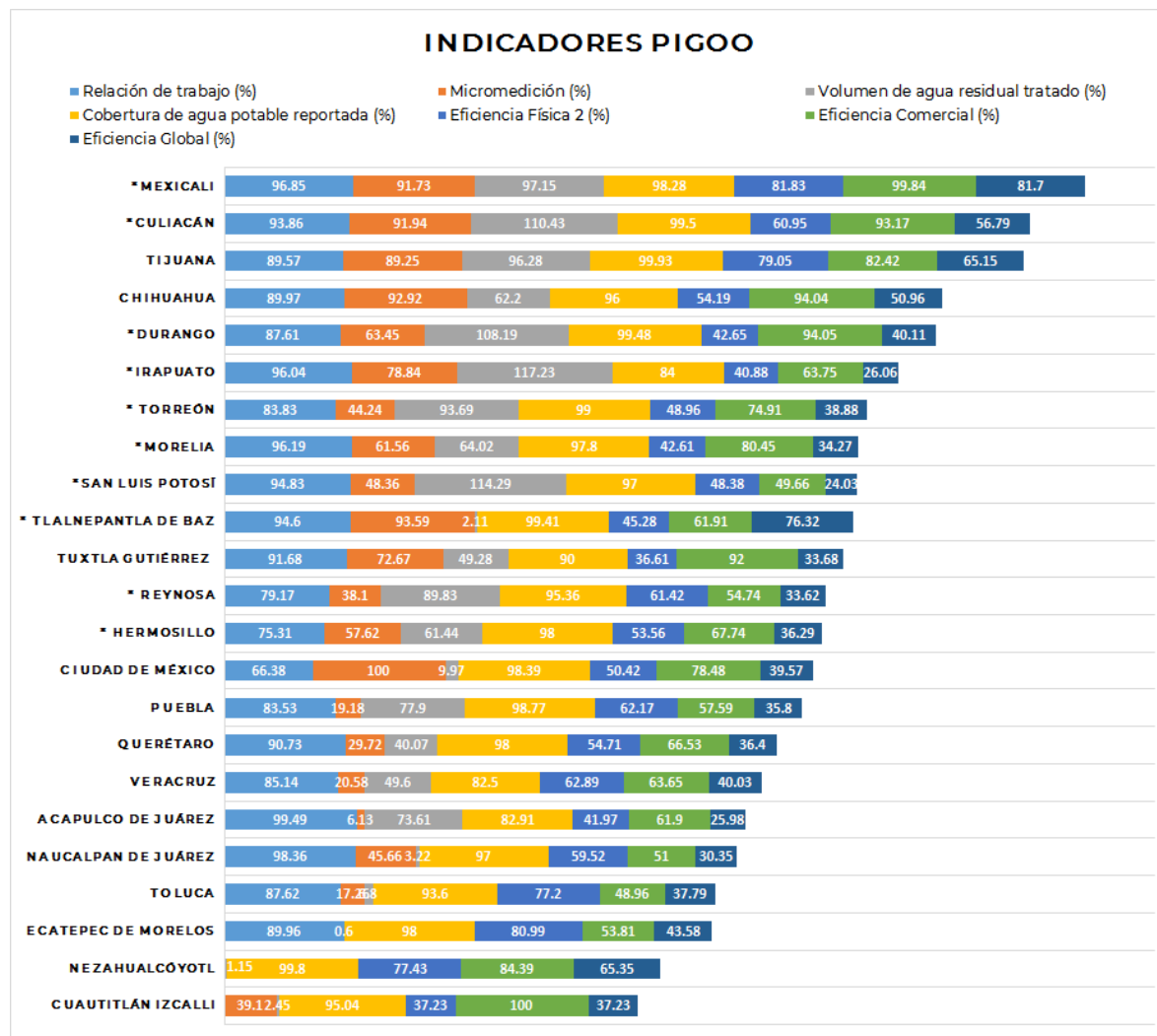
⁵³ Ver: <http://www.pigoo.gob.mx/>



recuperación de los gastos correspondientes al volumen de agua producida y da una idea de la solvencia financiera.

La siguiente Figura muestra cómo cada una de las 30 empresas de agua calificó en los indicadores PIGOO, y podemos ver que la empresa de servicios públicos de Mexicali (CESPM) está en la parte superior de la lista de operadores analizados.

Figura 8. Sumario de Indicadores de PIGOO.



Fuente: Autores basado en datos del Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores - PIGOO (IMTA, 2018)

La siguiente Tabla 24 muestra los datos de PIGOO para la Figura 9.



CVP: Costo del Volumen Producido

RT: Relación de Trabajo **MM:** Micro medición

VAT: Volumen de Agua Tratada

CAP: Cobertura de Agua Potable

EF2: Eficiencia Física 2 **EC:** Eficiencia Comercial

EG: Eficiencia Global

Tabla 24. Datos de PIGOO

Año	Municipalidad, Estado	Organismo Operador de Agua	CVP (\$/m ³)	RT (%)	MM (%)	VAT (%)	CAP (%)	EF 2 (%)	EC (%)	EG (%)
2013	Acapulco de Juárez, Guerrero	CAPAMA (Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Acapulco)	-	99.49	6.13	73.61	82.91	41.97	61.9	25.98
2018	Aguascalientes, Ags.	CCAPAMA (Comisión Ciudadana de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Aguascalientes)	8.73	96.18	76.22	63.15	99.27	51.05	81.29	41.5
No reporta	Álvaro Obregón, CDMX	AMSA (Agua de México S.A. de C.V.)								
No reporta	Apodaca, Nuevo León	SADM (Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, I.P.D)								
No reporta	Benito Juárez, Q. Roo	CAPA (Comisión de A.P.A. del Estado de Quintana Roo)								
No reporta	Centro, Tabasco	SAS (Sistema de Agua y Saneamiento)								
2018	Chihuahua, Chih.	JMAS (Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Chihuahua)	7.08	89.97	92.92	62.2	96	54.19	94.04	50.96
No reporta	Chimalhuacán, EDOMEX	ODAPAS (Organismo Descentralizado de APA y SMT. De Chimalhuacán)								
2017	Ciudad de México, CDMX	SACMEX (Sistema de la Ciudad de México)	13.31	66.38	100	9.97	98.39	50.42	78.48	39.57
No reporta	Coyoacán, CDMX	Industrias del Agua de la Ciudad de México, S.A. de C.V.								
No reporta	Cuauhtémoc, CDMX	Proactiva Medio Ambiente SAPSA S.A. de C.V.								
2017	Cuautitlán Izcalli, EDOMEX	OPERAGUA (Organismo Operador de Agua de Cuautitlán Izcalli)	7.1		39.1	2.45	95.04	37.23	100	37.23



Año	Municipalidad, Estado	Organismo Operador de Agua	CVP (\$/m ³)	RT (%)	MM (%)	VAT (%)	CAP (%)	EF 2 (%)	EC (%)	EG (%)
2018	Culiacán, Sinaloa	JAPAC (Junta de Agua Potable y Alcantarillado de Culiacán)	11.6	93.86	91.94	110.43	99.5	60.95	93.17	56.79
2016	Durango, Dgo.	AMD (Aguas del Municipio de Durango)	4.4	87.61	63.45	108.19	99.48	42.65	94.05	40.11
2011	Ecatepec de Morelos, EDOMEX	SAPASE (OPD para la prestación de servicios de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Ecatepec)	10.52	89.96	0.6		98	80.99	53.81	43.58
2018	Guadalajara, Jalisco	SIAPA (Sistema Intermunicipal de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado)	7.66	72.97	73.91	87.43	98.58	68.49	69.06	47.3
No reporta	Guadalupe, Nuevo León	SADM (Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey)								
No reporta	Gustavo A. Madero, CDMX	Proactiva Medio Ambiente SAPSA S.A. de C.V.								
2017	Hermosillo, Sonora	AGUAH (Agua de Hermosillo)	10.32	75.31	57.62	61.44	98	53.56	67.74	36.29
2018	Irapuato, Guanajuato	JAPAMI (Junta de Agua Potable, Drenaje, Alcantarillado y Saneamiento del municipio de Irapuato)	7.37	96.04	78.84	117.23	84	40.88	63.75	26.06
No reporta	Iztapalapa, CDMX	Tecnología y Servicios de Agua S.A. de C.V.								
2018	Juárez, Chihuahua	JMAS (Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Juárez)	8.02	75.69	72.08	70.56	98	58.03	51.66	29.98
2018	León, Guanajuato	SAPAL (Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de León)	19.56	99.2	99.91	81.25	96.93	65.07	89.1	57.98
2012	Mérida, Yucatán	JAPAY (Junta de Agua Potable y Alcantarillado de Yucatán)	3.85	74.4	94.55	0.42	98	78.09	90.69	70.82
2018	Mexicali, Baja California	CESPM (Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali)	12.61	96.85	91.73	97.15	98.28	81.83	99.84	81.7
2018	Monterrey, Nuevo León	SADM (Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, I.P.D)	17.92	92.84	99.61	126.74	99.63	65.25	98.3	64.14
2016	Morelia, Michoacán de Ocampo	OOAPAS (Organismo Operador de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de	9	96.19	61.56	64.02	97.8	42.61	80.45	34.27



Año	Municipalidad, Estado	Organismo Operador de Agua	CVP (\$/m ³)	RT (%)	MM (%)	VAT (%)	CAP (%)	EF 2 (%)	EC (%)	EG (%)
		Morelia)								
2017	Naucalpan de Juárez, Estado de México	OAPAS (Organismo de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Naucalpan)	20.27	98.36	45.66	3.22	97	59.52	51	30.35
2013	Nezahualcóyotl, México	ODAPAS (Organismo Descentralizado de Agua Potable, Alcantarillado, y Saneamiento de Nezahualcóyotl)	10.55			1.15	99.8	77.43	84.39	65.35
2018	Puebla, Puebla de Zaragoza	SOAPAP (Sistema Operador de Agua Potable y Alcantarillado de Puebla)	11.22	83.53	19.18	77.9	98.77	62.17	57.59	35.8
2018	Querétaro, Querétaro	CEA (Comisión Estatal de Aguas de Querétaro)	11.06	90.73	29.72	40.07	98	54.71	66.53	36.4
2016	Reynosa, Tamaulipas	COMAPA (Comisión Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Reynosa)	6.43	79.17	38.1	89.83	95.36	61.42	54.74	33.62
2018	Saltillo, Coahuila de Zaragoza	AGSAL (Aguas de Saltillo)	2.55	88.17	98.7	1.12	99	75.78	96.39	73.05
2015	San Luis Potosí, San Luis Potosí	INTERAPAS (Organismo Intermunicipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de San Luis Potosí)	5.73	94.83	48.36	114.29	97	48.38	49.66	24.03
2018	Tijuana, Baja California	CESPT (Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana)	10.31	89.57	89.25	96.28	99.93	79.05	82.42	65.15
2018	Tlalnepantla de Baz, Estado de México	OPDM (OPD para la prestación de servicios de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento del Municipio de Tlalnepantla)	13.72	94.6	93.59	2.11	99.41	45.28	168.55	76.32
No reporta	Tlalpan, CDMX	AMSA (Agua de México S.A. de C.V.)								
No reporta	Tlaquepaque, Jalisco	SIAPA (Sistema Intermunicipal de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado)								
2016	Toluca, Estado de México	AYST (Organismo de Agua y Saneamiento de Toluca)	13.63	87.62	17.26	6.8	93.6	77.2	48.96	37.79
2015	Torreón, Coahuila de Zaragoza	SIMAS (Sistema Municipal de Aguas y Saneamiento de Torreón)	9.09	83.83	44.24	93.69	99	48.96	74.91	38.88



Año	Municipalidad, Estado	Organismo Operador de Agua	CVP (\$/m ³)	RT (%)	MM (%)	VAT (%)	CAP (%)	EF 2 (%)	EC (%)	EG (%)
2016	Tuxtla Gutiérrez, Chiapas	SMAPA (Sistema Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Tuxtla)	7.41	91.68	72.67	49.28	90	36.61	92	33.68
2017	Veracruz, Veracruz de Ignacio de la Llave	SAS (Sistema de Agua y Saneamiento de Veracruz)	4.81	85.14	20.58	49.6	82.5	62.89	63.65	40.03
No reporta	Zapopan, Jalisco	SIAPA (Sistema Intermunicipal de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado de la ZMP de Guadalajara)	13.31							

Fuente: Autores con datos de PIGOO

Grado de presión sobre los recursos hídricos (vulnerabilidad al cambio climático)

Para analizar la vulnerabilidad de la población y, por tanto, la vulnerabilidad de las empresas de agua descentralizadas al cambio climático, se seleccionó el indicador que representa el grado de presión sobre los recursos hídricos. Cuanto mayor sea el grado de presión, mayores serán los esfuerzos de las empresas de agua para extraer, distribuir, tratar y disponer de estos recursos. El porcentaje que representa el agua utilizada con fines consuntivos⁵⁴ con respecto al agua renovable⁵⁵ es un indicador del grado de presión que se ejerce sobre el recurso hídrico de un país, cuenca o región. El grado de estrés puede ser muy alto, alto, medio, bajo y sin estrés. Si el porcentaje está entre 40 y 100% se ejerce un alto grado de presión, y cuando es mayor al 100% muy alto (CONAGUA, 2018a).

Los datos recolectados son a nivel estatal, hidrológico-administrativo y subcuenca hidrológica. Estos datos fueron extraídos del Sistema Nacional de Información del Agua de la CONAGUA y del Atlas de Riesgos del Agua ACUEDUCTO.

Tabla 25. Datos de estrés hídrico

Municipalidad	Agotamiento del agua (Aqueduct WRI, 2019)	Estrés hídrico a nivel estatal (CONAGUA, 2018) (%)	
Mexicali	Alto (50-75%)	114.4	Very High
Culiacán	Medio-Bajo (5-25%)	109.07	Very High
Morelia	Alto (50-75%)	43.25	High
Tlalnepantla de Baz	Medio-Alto (25-50%)	63.26	High
Hermosillo	Alto (50-75%)	102.90	Very High
Durango	Bajo-Medio (5-25%)	11.87	Low
Irapuato	Alto (50-75%)	105.23	Very High
San Luis Potosí	Bajo-Medio (5-25%)	19.12	Low
Reynosa	Bajo-Medio (5-25%)	47.49	High
Torreón	Bajo-Medio (5-25%)	63.8	High

Fuente: Autores con datos de CONAGUA

Figura 9. Grado de presión sobre el recurso hídrico, 2017

⁵⁴ Uso consuntivo: volumen de agua de una determinada calidad que se consume al realizar una determinada actividad, que se determina como la diferencia en el volumen que se extrae, menos el volumen que se descarga. (Ley de Aguas Nacionales, 1992, Art. 3).

⁵⁵ Agua renovable: Cantidad máxima de agua que es factible explotar anualmente en una región, es decir, la cantidad de agua que se renueva por lluvia y agua de otras regiones o países (importaciones). Se calcula como la escorrentía natural superficial interna promedio anual, más la recarga anual total de los acuíferos, más las entradas menos las salidas de agua a otras regiones (Gleick, 2002 citado por CONAGUA, 2018a).



Fuente: Adaptado de Estadísticas del Agua en México, (CONAGUA, 2018a)

Resultados de la metodología de selección

Se realizó un filtro final con los indicadores de Intensidad Energética Operativa y PIGOO. Se hicieron consideraciones especiales en este filtro:

- “Intensidad Energética Operativa” y los indicadores de cobertura del servicio “volumen de aguas residuales tratadas” y “cobertura de agua reportada” fueron altamente considerados. Por lo tanto, si una empresa de agua tenía valores deseables (mayores o muy cercanos al promedio calculado), pasaba el filtro.
- Si la empresa de agua tenía una intensidad energética operativa deseable pero varios indicadores por debajo del promedio del grupo, se descartó.
- Las empresas de agua que tenían valores menos deseables de intensidad energética operativa (con el límite inferior de 9 kWh / habitante) pero valores altamente deseables en los dos indicadores de cobertura del servicio pasaron el filtro.

La Tabla 25 muestra los valores promedio de las empresas de agua que eran deseables para nuestro criterio de selección inicial. En general, si la empresa de agua tenía valores numéricos altos en la mayoría de las categorías, también tenía mejores sistemas de monitoreo y control de sus finanzas y flujos de efectivo.



Tabla 26. Valores promedio de los indicadores

Indicador	Valor
Working Relationship	88.22
Micro-measurement	62.67
Volume of Wastewater Treated	60.74
Reported Water Coverage	96.24
Physical Efficiency 2	58.76
Commercial Efficiency	75.05
Overall Efficiency	45.82
Operating Energy Intensity	23.33 kWh/hab

Fuente: Autores con datos de PIGOO



Pob.: Población (INEGI, 2011) **OOA:** Organismo Operador de Agua **EO:** Estructura Organizativa **EL/ER:** Energía Limpia/Energía Renovable
CE: Consumo de Energía (kWh) (Tarifa 6) (CRE, 2017) **IEH:** Intensidad Energética Operativa por Habitante
OPD: Organismo Público Descentralizado **Conc.:** Concesion **AGM:** Adjunto al Gobierno Municipal

Tabla 27. Datos indicadores para la metodología de selección

Municipalidad	Estado	Pob.	OOA	EO	EL/RE	CE (kWh)	IEH (kWh/hab)
Acapulco de Juárez	Guerrero	789,971	CAPAMA	OPD	-	14,339,581	18.152
Aguascalientes	Aguascalientes	797,010	CCAPAMA	OPD	-	7,047,413	8.876
Álvaro Obregón	CDMX	727,034	AMSA	Concs.	-	-	-
Apodaca	Nuevo León	523,370	SADM	OPD	-	410,464	0.784
Benito Juárez	Quintana Roo	661	Aguakán	Concs.	-	-	-
Centro	Tabasco	640,359	SAS	AGM	-	-	-
Chihuahua	Chihuahua	819,543	JMAS	OPD	-	3,549,639	4.331
Chimalhuacán (I)	México	614,453	ODAPAS	OPD	-	-	-
Coyoacán	CDMX	620,416	Industrias del Agua de la Ciudad de México	Concs.	-	-	-
Cuauhtémoc	CDMX	531,831	Proactiva Medio Ambiente SAPSA	Concs.	-	-	-
Cuautitlán Izcalli	México	511,675	OASCUATLANIZCALLI	OPD	-	16,711,351	32.66
Culiacán	Sinaloa	858,638	JAPAC	OPD	-	19,099,5443	22.244
Durango	Durango	582,267	AMD	OPD	-	8,484,237	14.571
Ecatepec de Morelos	México	1,656,107	ODP SAPASE	OPD	-	74,287,623	44.857
Guadalajara	Jalisco	1,459,189	SIAPA	OPD	Yes	-	-
Guadalupe	Nuevo León	678,006	SADM	OPD	-	213,133	0.314
Gustavo A. Madero	CDMX	1,185,772	Proactiva Medio Ambiente SAPSA	Concs.	-	-	-



Municipalidad	Estado	Pob.	OOA	EO	EL/RE	CE (kWh)	IEH (kWh/hab)
Hermosillo	Sonora	784,342	Agua de Hermosillo	OPD	Yes (Concessioned WWTP)	94,963,292	121.074
Irapuato	Guanajuato	529,440	JAPAMI	OPD	-	11,812,284	22.311
Iztapalapa	CDMX	1,815,786	Tecnología y Servicios de Agua	Concs.	-	-	-
Juárez	Chihuahua	1,332,131	JMAS	OPD	Yes (Concessioned WWTP)	865,670	0.650
León	Guanajuato	1,436,480	SAPAL	OPD	Yes	-	-
Mérida	Yucatán	830,732	JAPAY	OPD	Yes	-	-
Mexicali (2)	Baja California	936,826	CESPM	OPD	Yes	31,042,088	33.135
Monterrey	Nuevo León	1,135,550	SADM	OPD	Yes	-	-
Morelia	Michoacán de Ocampo	729,279	OOAPAS	OPD	-	10,698,934	14.671
Naucalpan de Juárez	México	833,779	OAPAS	OPD	-	23,015,625	27.604
Nezahualcóyotl	México	1,110,565	ODAPAS	OPD	-	17,049,171	15.352
Puebla	Puebla de Zaragoza	1,539,819	Agua de Puebla	Concs.	-	-	-
Querétaro	Querétaro	801,940	CEA	OPD	Yes (Concessioned WWTP)	20,463,839	25.518
Reynosa	Tamaulipas	608,891	COMAPA	OPD	-	24,992,185	41.045
Saltillo	Coahuila de Zaragoza	725,123	AGSAL	Mixed Paramunicipal Company	-	-	-
San Luis Potosí	San Luis Potosí	772,604	INTERAPAS	OPD	Yes (Concessioned WWTP)	7,237,097	9.414



Municipalidad	Estado	Pob.	OOA	EO	EL/RE	CE (kWh)	IEH (kWh/hab)
Tijuana	Baja California	1,559,683	CESPT	OPD	-	8,124,844	5.209
Tlalnepantla de Baz	México	664,225	OPDM	OPD	-	34,095,274	51.331
Tlalpan	CDMX	650,567	AMSA	Concs.	-	-	-
Tlaquepaque	Jalisco	608,114	SIAPA	OPD	-	4,163,583	6.847
Toluca	México	819,561	AYST	OPD	-	39,430,162	48.111
Torreón	Coahuila de Zaragoza	639,629	SIMAS	OPD	-	6,946,759	10.861
Tuxtla Gutiérrez	Chiapas	553,374	SMAPA	OPD	-	3,117,413	5.633
Veracruz	Veracruz Ignacio de la Llave	552,156	Grupo Metropolitano de Agua y Saneamiento (G-MAS)	Concs.	-	-	-
Zapopan	Jalisco	1,243,756	SIAPA	OPD	-	26,180,707	21.050

Fuente: Autores con datos de INEGI (2011), CRE (2017), (CONAGUA, 2012a), (CONAGUA, 2019h), (2018a pp.99) e información compartida por CESPM y JAPAY.

NOTAS:

1. Se ha descartado Chimalhuacán porque las 2 PTAR que se detectan dentro del municipio son propiedad de CONAGUA ya que están ubicadas en el Parque Ecológico Lago de Texcoco y parece que las aguas residuales municipales son trasladadas a las PTAR de Coatepec, Teotihuacán y Texcoco.
2. Si bien Mexicali cuenta con un sistema fotovoltaico en la PTAR "Arenitas", se consideró como un caso de replicación, ya que tiene los mejores puntajes PIGOO de las empresas sanitarias analizadas, y tiene un potencial deseable para reducir su intensidad energética operativa.
3. Las celdas vacías muestran que el indicador no cumplió con los requisitos para pasar al siguiente filtro, por lo que no se consideran para los cálculos promedio de los siguientes indicadores
4. La aclaración: "Sí (Concesión)" significa que alguna planta de tratamiento de aguas residuales tiene soluciones de energía limpia o renovable, pero está en concesión a una empresa privada, por lo que aún es posible trabajar con la infraestructura restante operada por la OOA y por lo tanto pasa el filtro. (Para obtener más detalles, consulte la tabla 5. Resumen de los servicios públicos de agua con proyectos de energía limpia).



Descripción de los municipios que participan en el estudio

Durante la etapa de selección, se realizó un taller el 13 de noviembre de 2020 con el fin de presentar el proyecto a nueve (9) empresas de agua descentralizadas interesadas. Solo cinco (5) compartieron información sobre su infraestructura hidráulica, datos de consumo de energía y costos derivados. Con base en nuestro análisis, se seleccionaron tres (3) municipios para este estudio: Mexicali, Durango y Torreón. Estos municipios mostraron interés y compartieron la información necesaria para realizar un análisis de EE y ER.

Los siguientes indicadores de desempeño para las empresas de agua potable Aguas del Municipio de Durango (Aguas del Municipio de Durango, AMD), Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali (CESPM) y Sistema Municipal de Agua y Saneamiento de Torreón (Sistema Municipal de Aguas y Saneamiento de Torreón, SIMAS) reflejan una sana sostenibilidad financiera y una buena gestión del agua debido a su destacada cobertura de servicios.

Tabla 28. Indicadores de desempeño de AMD Durango, CESPM Mexicali y SIMAS Torreón

Indicator	AMD (Durango)	CESPM (Mexicali)	SIMAS (Torreón)
Working relationship (%)	87.61 (good)	96.85 (good)	83.8 (good)
Cost between volume produced (\$/m3)	4.4 (good)	12.61 (outstanding)	9.09 (good)
Wastewater Treated Volume (%)	108.19 (outstanding)	97.15 (outstanding)	93.69 (outstanding)
Water Coverage (%)	99.48 (outstanding)	98.28 (outstanding)	99 (outstanding)
Sanitary Sewer Coverage (%)	98.6 (outstanding)	95.5 (outstanding)	97 (outstanding)
Macro measurement (%)	84.04 (good)	100 (outstanding)	100 (outstanding)
Micro measurement (%)	63.45 (good)	91.73 (outstanding)	44.24 (good)
Physical Efficiency (%)	42.65 (good)	81.83 (outstanding)	48.96 (good)
Commercial Efficiency (%)	94.05 (outstanding)	99.84 (outstanding)	79.41 (good)
Overall Efficiency (%)	40.11 (good)	81.7 (outstanding)	38.88 (good)
Consumption per capita (T6) (kwh/hab)	14.571	33.135	10.861

Fuente: Autores con información de IMTA (2019), Fitch Ratings (2020b) (2020a) y S&P Global Ratings (2020)



A continuación, describimos la información compartida por las empresas de agua sobre la infraestructura hidráulica y también detallamos la vulnerabilidad al cambio climático y la situación socioeconómica del municipio.

MEXICALI

El municipio de Mexicali se ubica en el estado de Baja California, al noroeste de la República Mexicana, colindando con Estados Unidos. Según el Censo de Población y Vivienda 2020 realizado por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), Mexicali tiene una población de 1,049,792 habitantes (INEGI, 2021b). La superficie continental del municipio es de 14,528,3 km², por lo que su densidad poblacional es de 72,26 habitantes / km² (INEGI, 2021a) y concentra el 27,8% de la población del estado.

La empresa de agua de Mexicali se llama "Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali" (CESPM). En octubre de 2020, la agencia de calificación crediticia internacional, FITCH RATINGS, otorgó a CESPM una calificación A +, una calificación que asegura la estabilidad financiera de la empresa de agua (Fitch Ratings, 2020a). En noviembre de 2020, la CESPM también fue galardonada con el "Gonzalo Río Arronte", un reconocimiento a las mejores prácticas en la recolección-pago de agua. El premio se otorga anualmente a las empresas de agua que se distinguen con las mejores prácticas técnico-administrativas en el área (Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali [CESPM], 2020).

INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA DE CESPM

La agencia operativa de Mexicali cuenta con 122 centros de consumo de energía, 50 instalaciones para el servicio de agua potable y 72 para el servicio de saneamiento.

AGUA

Mexicali se abastece de agua del Río Colorado, "el agua del Río Colorado es captada en México en la estructura de desvío denominada" Presa Morelos ", ubicada en la localidad fronteriza de Los Algodones, Baja California. El agua fluye por los canales del Distrito de Riego No. 14, donde el canal Benassini abastece a dos de las tres plantas de tratamiento de agua en la Ciudad de Mexicali, Planta Potabilizadora No. 1 y Planta Potabilizadora No. 2, y el canal Reforma abastece a la tercera, Planta Potabilizadora No. 3 (Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali [CESPM], 2019).

En las localidades de Valle de Mexicali y San Felipe, CESPM opera 37 sistemas de agua potable de diversas capacidades que atienden a 68 localidades. El 65% de estos sistemas se abastece con agua del canal y el 35% con agua subterránea (pozos) (CESPM, 2019).



Según la información compartida por la Subdirección de Agua y Saneamiento, la CESPM opera:

- 8 Plantas de Tratamiento de Agua: 3 Plantas Principales de Tratamiento de Agua, 5 Plantas de Tratamiento de Agua más pequeñas en Mexicali.
- 2 Estaciones de Monitoreo, 1 Estación de Recloración, 1 Caudalímetro y 1 Planta Dosificadora en Mexicali.
- 37 sistemas de agua potable para abastecer a las localidades de Valle de Mexicali y San Felipe: 28 sistemas de tratamiento para el Valle de Mexicali y para San Felipe solo 6 pozos, 2 tanques de 5,000 m³ y 1 planta de bombeo.

Tabla 29. Plantas de tratamiento de agua en la ciudad de Mexicali

Water Treatment Plant Name	Purification Process	Installed Capacity (l/s)	Flow Treated (l/s)
Mexicali 1. Río Culiacán	Conventional Clarification	1800	298
Mexicali 2. Col. Calles	Direct Filtration	2500	1843
Mexicali 3. Xochimilco	Conventional Clarification	1250	679
Miguel Hidalgo	Direct Filtration	20	0.6
Hipólito Rentería	Conventional Clarification	18	5.4
Cerro Prieto 6	Direct Filtration	5	0.8
Benito Juárez	Direct Filtration	5	0.5
Xochimilco Fidum	-	-	-
	TOTAL	5,598	2,827.3

Fuente: Autores con información compartida por CESPM y del Inventario de Instalaciones de Tratamiento de Aguas y Aguas Residuales Municipales (CONAGUA, 2020a).

AGUAS RESIDUALES

La capacidad instalada para el tratamiento de aguas residuales es de 2.423 litros por segundo (lps), que trata un caudal de 2.290,6 lps. Del agua tratada, el 80.6% se reutiliza para la venta a plantas termoeléctricas (Termoeléctrica La Rosita y Termoeléctrica de Mexicali), venta a Electra Estrella de Oro, el proyecto de la línea púrpura (riego de jardines), compensación ambiental y riego interno de áreas verdes en EDAR Zaragoza, Arenitas y CETYS (Domínguez, J., comunicación personal, enero 2021).

Según información compartida por el Departamento de Aguas Residuales de CESPM, opera:

- 11 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), 3 PTAR ubicadas en la ciudad de Mexicali y 8 PTAR que atienden a los poblados aledaños de Valle de Mexicali y San Felipe. Los procesos de tratamiento utilizados son sistemas de laguna con aireación parcial y sistemas de lodos activados.

- Además, el operador reporta el consumo de una casa de lagunas de oxidación.
- Existen 2 PTAR que tratan agua en Mexicali mediante sistemas de lodos activados, pero no son operadas por CESPМ, el Instituto Tecnológico de Mexicali (7 lps) y UABC (10 lps).
- 45 estaciones de bombeo de aguas residuales (CBAR), 22 en la Ciudad de Mexicali, 17 en el Valle de Mexicali y 6 en San Felipe. Estos conducen las aguas residuales desde el sistema de alcantarillado a un punto de nivel superior (boca de inspección, caja rompepresiones, colector) y son dirigidas nuevamente por gravedad a las Plantas de Bombeo.
- 14 Plantas de Bombeo de Aguas Residuales (PBAR) para la Ciudad de Mexicali. Reciben grandes volúmenes de aguas residuales y las someten a un sistema de pretratamiento para remover sólidos flotantes y sedimentables y malos olores antes de ser enviadas a las respectivas EDAR.

Tabla 30. Plantas de tratamiento de aguas residuales operadas por CESPМ

Wastewater Treatment Plant Name	City	Treatment Process	Installed Capacity (l/s)	Flow Treated (l/s)
Zaragoza	Cd. Mexicali	Partial Aeration Lagoons	1,300	1158
Las Arenitas	Cd. Mexicali	Partial Aeration Lagoons	840	992
CETYS	Cd. Mexicali	Activated Sludge System	7	3.4
Alfredo V. Bonfil	Valle	Activated Sludge System	6	0.3
Algodones	Valle	Lagunar System	20	18.7
Ciudad Morelos	Valle	Lagunar System	30	18.8
Gpe. Victoria (km 43)	Valle	Lagunar System	70	38.6
Estación Coahuila	Valle	Lagunar System	20	9.7
La Puerta	Valle	Activated Sludge System	6	4.1
Oaxaca	Valle	Activated Sludge System	4	2.9
San Felipe	San Felipe	Lagunar System	120	44.1
		TOTAL	2,423	2,290.6

Fuente: Autores con información compartida por CESPМ y de CONAGUA (2020a)

Figura 10. Ubicación de las principales PTAR y PBAR en Mexicali



Fuente: Imagen compartida por CESPM

DURANGO

El municipio de Durango (oficialmente Victoria de Durango) se ubica en el estado del mismo nombre, en el norte de la República Mexicana. Es el más poblado y extenso a nivel estatal, con una población de 688.697 habitantes (INEGI, 2021b), una extensión de 9.285,4 km², una densidad de población de 74,17 habitantes / km² (INEGI, 2021a) y el 37,6% de la población del estado.

La Agencia Operadora de Agua de Durango se denomina "Aguas del Municipio de Durango" (AMD), que es una Agencia Pública Descentralizada que brinda servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento a la ciudad de Durango, promoviendo el desarrollo sostenible.

INFRAESTRUCTURA DE AGUA DE AMD

La sanitaria de Durango compartió información sobre 128 centros de consumo de energía. 115 instalaciones para el servicio de agua potable y 11 para el servicio de saneamiento, oficinas y caseta de la planta de tratamiento de aguas residuales Oriente.

AGUA

La ciudad de Durango se abastece de agua potable del acuífero del Valle del Guadiana mediante pozos profundos. El agua potable se distribuye a los cerca de

80 barrios de la ciudad a través de tanques de almacenamiento y directamente de los pozos que alimentan la red de distribución (CONAGUA, 2014). Según la información compartida por la empresa de servicios públicos de agua AMD, opera:

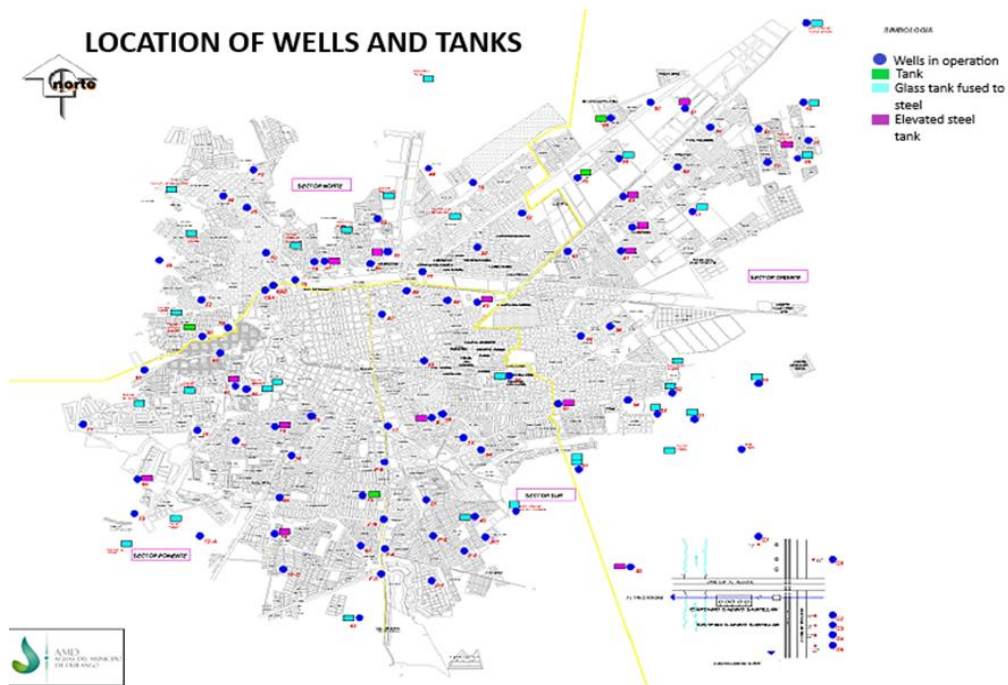
- 100 pozos profundos para agua potable
- 7 sumideros de bombeo para agua potable (cárcamos)
- 8 tanques de almacenamiento⁵⁶

AGUAS RESIDUALES

La capacidad instalada para el tratamiento de aguas residuales es de 2.800 litros por segundo (l / s), que trata un caudal de 1.870,5 l / s. Según la información compartida por la empresa AMD Water, opera:

- 5 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (EDAR) mediante procesos de tratamiento de Sistemas de Lodos Activados y Lagunas Facultativas.
- 5 sumideros de bombeo de aguas residuales, los cuales se denominan Poblado 5 de mayo, Poblado 20 de noviembre, Colonia 20 de noviembre, Cárcamo México y, Poblado 15 de octubre.
- 1 sumidero de drenaje de agua de desagüe (Nuevo Durango)

Figura 11. Ubicación de pozos de agua y tanques de almacenamiento de AMD



Fuente: Programa de Mitigación y Medidas Preventivas de Sequía 2014 para la ciudad de: Victoria de Durango, Durango (CONAGUA, 2014)

⁵⁶ Estos 8 tanques de almacenamiento tienen servicio directo de la CFE, sin embargo, AMD opera 39 tanques en total (22 pertenecen al punto de carga del sistema de pozo profundo y 9 están fuera de operación)

Tabla 31. Plantas de tratamiento de aguas residuales operadas por AMD

Nombre de la PTAR	Proceso de tratamiento	Capacidad Instalada (l/s)	Caudal tratado (l/s)	Colectores principales
Oriente	Proceso biológico: Laguna facultativa	2000	1450	Canelas, Sahuatoba, Ferrocarril, Industrial, San Gabriel, 20 de Noviembre y Dolores Del Rio
Sur	Lodos activados	600	350	Tapias 1 y 2, Ferrería, Durango Nuevo, Pastor Roaix, intersección Sur, Pueblito, 5 Sur y Acequia
Cristóbal Colón	Lodos activados	150	50	Cristóbal Colon, Milenio y Subcolector Providencia
Del Parque Guadiana	Lodos activados	30	20	Subcolector Silvestre Revueltas
Dalila	Lodos activados	20	0.5	Colector Rio Dorado
	TOTAL	2,800	1,870.5	

Fuente: Autores con información compartida por AMD.

TORREON

El municipio de Torreón se ubica en el estado de Coahuila Zaragoza en el noreste de México. Forma parte de la Comarca Lagunera junto con las ciudades vecinas de Matamoros en el mismo estado y Ciudad Lerdo y Gómez Palacio en el estado de Durango.

Es el segundo municipio más poblado del estado con una población de 720,848 habitantes (INEGI, 2021b). La superficie continental del municipio es de 1282,7 km², por lo que su densidad poblacional es de 562 habitantes / km² (INEGI, 2021a) y concentra el 23% de la población del estado.

La empresa de agua de Torreón se llama "Sistema Municipal de Aguas y Saneamiento de Torreón" (SIMAS), que es una Agencia Pública Descentralizada cuya misión es brindar el servicio de agua alcanzando los más altos niveles de calidad generando una vida más saludable para la comunidad.

INFRAESTRUCTURA HIDRAULICA DE SIMAS

La empresa de agua de Torreón compartió información sobre 194 centros de consumo de energía, 142 instalaciones de servicio de agua potable, 4 EDAR, 32 instalaciones de bombeo de aguas residuales y 16 sumideros de drenaje de aguas pluviales.

AGUA

El municipio de Torreón se abastece de aguas subterráneas del acuífero "Principal de La Comarca Lagunera" y sus principales fuentes de recarga son los ríos Nazas y Aguanaval.



El 99,87% del agua de abastecimiento público proviene de fuentes subterráneas, lo que implica baja calidad y alta contaminación provocada por la existencia de minerales nocivos (por ejemplo, arsénico) en niveles bajos de agua subterránea (Gobierno Municipal de Torreón, 2018). Según SIMAS se extraen 2.500 l/s de agua potable, el 11% es para usos industriales, mientras que el 89% restante es para servicios domésticos, comerciales, públicos, etc. (Gómez, J., comunicación personal, enero 2021).

SIMAS cuenta con 94 unidades de bombeo de pozo profundo y registra que el 87% del consumo de energía se utiliza para este propósito. Según la información compartida por SIMAS opera:

- 94 pozos de agua
- 4 estaciones de bombeo de agua potable (pozos privados en Santa Fe, Las Flores, Frac. San Luciano y Clarificadora).
- 44 tanques de almacenamiento

Con el fin de reducir el consumo energético para la extracción de agua potable, optar por fuentes superficiales y tener más y mejor calidad de agua, actualmente se está desarrollando un proyecto para distribuir agua desde la presa "Francisco Zarco" a los municipios de Torreón, Gómez Palacio y Lerdo de Tejada. Se encuentra en proceso de licitación para asignar la empresa promotora y se espera que este proyecto entre en operación en 2 años (Gómez, J., comunicación personal, enero de 2021).

AGUAS RESIDUALES

La capacidad instalada para el tratamiento de aguas residuales es de 1.925 litros por segundo (lps), que trata un caudal de 1.194 lps.

Las aguas residuales tratadas se reutilizan para riego agrícola e industriales. SIMAS negoció con la CFE cambiar la tarifa de las estaciones de bombeo de aguas residuales a una tarifa de riego agrícola en Media Tensión (RAMT), lo que ha reducido los costos por este concepto (Gómez, J., comunicación personal, enero 2021).

Según la información compartida por la Agencia Operadora SIMAS, opera:

- 3 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (EDAR) que utilizan procesos de tratamiento de Laguna de Oxidación y Sistemas de Lodos Activados. La EDAR Rancho Alegre cuenta con otras 2 instalaciones: un Canal Parshall y una estación de bombeo para el retorno de agua tratada.
- 48 sumideros de aguas residuales (16 sumideros de drenaje de aguas pluviales)

Tabla 32. Plantas de tratamiento de aguas residuales operadas por SIMAS

Nombre de la PTAR	Proceso de tratamiento	Capacidad Instalada (l/s)	Caudal tratado (l/s)	Colectores principales
Rancho Alegre	Laguna de oxidación	1900	1187	Los Rodríguez, Allende, Juárez, La Perla, Zaragoza y Oriente
Bosque Urbano	Lodos activados	20	5.42	Los Rodríguez y Bravo
Fundadores	Lodos activados	5	1.64	Bravo
	Total	1,925	1,194.06	

Fuente: Autores con información compartida por SIMAS.

TARIFAS DE AGUA

Las tarifas del agua en México se clasifican según el tipo de usuario y los mecanismos de redistribución de costos a través de subsidios. Las tarifas generalmente consisten en cargos fijos y cargos variables según el volumen utilizado y los cargos por alcantarillado y tratamiento de aguas residuales. A mayor consumo de agua, mayor precio por metro cúbico (CONAGUA, 2019e).

Las tarifas son establecidas y actualizadas por la empresa sanitaria, mientras que la instancia que las autoriza varía de acuerdo con lo marcado en las leyes estatales de aguas de cada entidad federativa, este puede ser el Ayuntamiento (a través de una sesión de concejo), el Estado de Agua correspondiente. Comisión o Congreso del Estado (CONAGUA, 2019e).

- En el Estado de Coahuila de Zaragoza el consejo de administración (órgano de administración y dirección de la Empresa de Agua) estudia y aprueba las tarifas de los servicios prestados.
- En el Estado de Durango, la Comisión Estatal del Agua aprobará las tarifas promedio calculadas, así como la congruencia entre las tarifas promedio y la estructura tarifaria correspondiente.
- En el Estado de Mexicali, las tarifas son revisadas y autorizadas anualmente por el Congreso del Estado. Las tarifas están publicadas en la ley de ingresos del Estado de Baja California.

La Tabla 33 muestra la tarifa para usuarios domésticos de clase media para conocer los cargos del servicio de agua para los 3 municipios aliados, estos cargos y tarifas se actualizan mensualmente. Los cargos pueden variar según el tipo de usuario y se les pueden aplicar descuentos como apoyo a personas con vulnerabilidad socioeconómica o como incentivo para reducir el consumo del recurso y estar al día con el pago del servicio.

Tabla 33. Tarifa mensual de agua para usuarios domésticos de clase media en Mexicali, Durango y Torreón

Municipio	Tarifa (MXN)	Cargo variable por exceso de los 30 m ³ consumidos (MXN)	Cargo variable por canalización y tratamiento (% del concepto de servicio de agua potable)
Mexicali	65.17 (0-5 m ³)	6.59	Solo para usuarios comerciales, industriales y agrícolas
Durango	166.27 (0-10 m ³)	6.89	Canalización: 30% Tratamiento: 9.9%
Torreón	120.42 (0-10 m ³)	15.96	Canalización: 25% Tratamiento: 31%**

Fuente: Autores con datos de Gobierno del Estado de Baja California (2020), SIMAS Torreón (2021) y H. Congreso del Estado de Durango (2021).

Notas: * La tabla refleja la tarifa mensual para usuarios domésticos de clase media.

** En Durango, el concepto de saneamiento se cobra después del rango de 30 m³ consumidos

VULNERABILIDAD DE LOS MUNICIPIOS AL CAMBIO CLIMÁTICO

Con el fin de analizar las posibles dificultades que presenta la empresa de agua descentralizada para garantizar un servicio continuo y de calidad, en este apartado se reporta el grado de presión del agua en diferentes niveles de medición, a partir del grado de presión de la Región Hidrológica Administrativa (RHA). a la que pertenece a la subcuenca más cercana al municipio.

El municipio de Mexicali pertenece a la RHA “I Península de Baja California”, Durango a la RHA “III Pacífico Norte” y Torreón a la RHA “VII Cuencas Centrales del Norte”. Los grados de presión de agua a nivel regional se pueden consultar en el Sistema Nacional de Información del Agua (SINA), los RHA I y VII tienen un alto grado de presión de agua y el RHA III de medio a alto (CONAGUA, 2019b).

Para obtener el grado de presión del agua a nivel estatal, se extrajeron datos de los volúmenes de agua concesionados por estado (CONAGUA, 2019g) y datos de agua renovable per cápita al 2019 (CONAGUA, 2019a), los resultados mostraron que Baja California tiene un grado muy alto de presión de agua, Coahuila alta y Durango baja.

Los resultados de la base de datos AQUEDUCT Water Atlas, un Atlas que mide un indicador homólogo (agotamiento del agua), se extraen para las subcuencas más cercanas: “Lago Saltón” en Mexicali, “San Pedro” en Durango y “Aguanaval” en Torreón. La Tabla 34 muestra un resumen de los datos:

Tabla 34. Grado de presión del agua a diferentes niveles (RHA, Estado y Subcuenca Hidrológica)

Municipio	Nivel de la medida	Grado de presión hídrica
Mexicali	RHA level (I Península de Baja California)	Alta (91.9%)
	Nivel estatal (Baja California)	Muy alta (114.4%)
	Nivel Subcuenca Hidrológica (Lago Salton)	Alta (50-75%)
Durango	Nivel RHA (II Pacífico Norte)	Media-Alta (40%)
	Nivel estatal (Durango)	Baja (11.9%)
	Nivel Subcuenca Hidrológica (San Pedro)	Baja-media (5-25%)
Torreón	Nivel RHA (VII Cuencas Centrales del Norte)	Alta (47.5%)
	Nivel estatal (Coahuila)	Alta (63.8%)
	Nivel Subcuenca Hidrológica (Aguanaval)	Baja (5%)

Fuente: Autores con datos de SINA (CONAGUA, 2019a), (CONAGUA, 2019b), (CONAGUA, 2019g) y (WRI, 2019)

En cuanto a los fenómenos hidrometeorológicos, el Sistema de Consulta Declaratoria del CENAPRED (Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), 2021):

- En Mexicali: 6 declaraciones entre 2001 y 2018. Los fenómenos con mayor presencia fueron ciclones tropicales y temperaturas extremas (2 cada uno). El año 2018 fue el más influyente con 4 declaraciones.
- En Durango: 55 declaraciones entre 1999 y 2020. Los fenómenos con mayor presencia fueron las lluvias (atípicas, severas y torrenciales) con 21 declaraciones. Los años de mayor influencia fueron 2016 y 2018 con 6 declaraciones cada uno.
- En Torreón: 17 declaraciones entre 2000 y 2018. Los fenómenos con mayor presencia fueron las lluvias (atípicas y severas) con 8 declaraciones. El año de mayor influencia fue 2018 con 5 declaraciones.

Los municipios presentan un grado medio-alto de presión de agua, donde los fenómenos hidrometeorológicos específicos de cada zona son más repetitivos e intensos, por lo que las empresas de agua enfrentan directamente los desafíos climáticos que afectan la disponibilidad y calidad del agua para el consumo humano.



Descripción de la situación socioeconómica de los municipios

Este apartado busca vincular la situación socioeconómica de los municipios con la vulnerabilidad de su población y su disponibilidad para obtener servicios básicos como el agua. Además de evaluar la prosperidad del municipio en base al Índice Básico de Ciudades Prósperas (CPI, por sus siglas en inglés) de ONU-Habitat.

Mexicali, Durango y Torreón tienen un índice de marginación muy bajo, un índice de rezago social muy bajo y un porcentaje de situación de pobreza de 27.5%, 32.3% y 26.2% respectivamente.

Tabla 35. Indicadores socioeconómicos de Mexicali, Durango y Torreón

Municipio	Indicadores	Valor
Mexicali	Índice de Marginalización (1)	Muy bajo (-1.648)
	Índice de atraso social (2)	Muy bajo (-1.34)
	Porcentaje de situación de pobreza (3)	25.7%
	Porcentaje de la población que vive en extrema pobreza (3)	1.7%
Durango	Índice de Marginalización (1)	Muy bajo (-1.585)
	Índice de atraso social (2)	Muy bajo (-1.31)
	Porcentaje de situación de pobreza (3)	32.3%
	Porcentaje de la población que vive en extrema pobreza (3)	0.8%
Torreón	Índice de Marginalización (1)	Muy bajo (-1.722)
	Índice de atraso social (2)	Muy bajo (-1.4)
	Porcentaje de situación de pobreza (3)	26.2%
	Porcentaje de la población que vive en extrema pobreza (3)	2.8%

Fuente: Autores con datos de CONAPO (2015), CONEVAL (2015) e INEGI (2015).

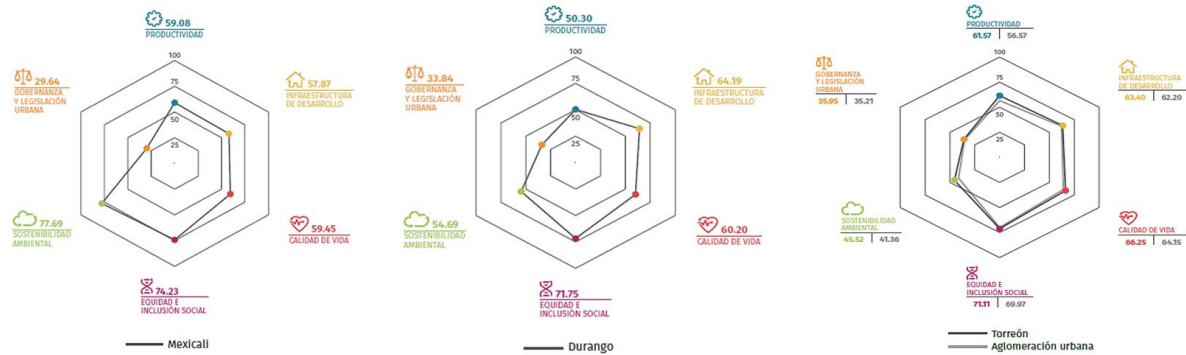
(1.) CONAPO, 2015a (2.) CONEVAL, 2015b (3.) CONEVAL, 2015a

Los datos recolectados muestran que la situación socioeconómica de los municipios es estable ya que tienen niveles muy bajos de marginación y rezago social, sin embargo, los indicadores de pobreza aún prevalecen, ya que según datos del INEGI (2015) 23.1%, 33.5% y 31.8% de la población La población de Mexicali, Durango y Torreón respectivamente gana menos de 2 veces el salario mínimo.

El CPI informa que los tres municipios tienen una prosperidad moderadamente débil. El alcance de la sostenibilidad ambiental es relativamente fuerte para Mexicali (77.69) pero bajo para Durango (54.69) y Torreón (45.52) (Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos [ONU-Habitat], 2018a, b, c).

Asimismo, el IPC destaca que la subdimensión de proporción de generación⁵⁷ de energía renovable refleja calificaciones bajas para Durango y Torreón, lo que da una indicación de la relevancia de adoptar políticas y acciones para fortalecer este sector, mientras que Mexicali con mejores resultados presenta oportunidades para consolidar las renovables. soluciones energéticas (ONU-Hábitat, 2018a, b, c).

Figura 12. Resultados por dimensión del índice básico de prosperidad de la ciudad



Fuente: UN-Habitat (2018a), (2018b) and (2018c)

⁵⁷ Energía geotérmica, solar fotovoltaica, solar térmica, mareomotriz, eólica, residuos industriales o municipales, biocombustibles primarios sólidos, biogás, biocombustible, biodiesel, otros biocombustibles líquidos, biocombustibles primarios y residuos no especificados, y carbón vegetal como parte del total de la producción eléctrica. Indicador calculado con datos de CFE de 2015 (Generación mensual bruta y neta, por tecnología y municipio) y de SENER de 2016 (Inventario Nacional de Energías Limpias [INEL]. Generación bruta de enero a diciembre de 2016) (ONU-Habitat, 2018a, b, c).



Apéndice 2. Diseño de investigación de oportunidades de ER: datos, metodología y supuestos

Este proyecto se propuso ayudar a las plantas de tratamiento de agua en México a evaluar y, cuando sea viable, llevar a cabo proyectos sustantivos de eficiencia energética y energías renovables.

Para hacer esto, se solicitó un acuerdo para dedicar tiempo del personal y proporcionar datos de electricidad específicos del sitio a más de una docena de organizaciones de tratamiento de agua en México en 2020. Con el apoyo del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y la participación voluntaria de tres organismos operadores de agua que atienden a casi 3 millones de personas, se adquirieron datos limitados pero críticos de los datos proporcionados por los municipios de Durango, Mexicali y Torreón. Los datos abarcaron más de 200 sitios, el estudio solo incluyó sitios con datos y demanda de más de 150 kWh por mes. Además, cuando faltaban o estaban incompletos los datos sobre el uso o el costo de la electricidad, los casos (medidores) no se incluyeron en la sección de ER. En Mexicali, por ejemplo, no se incluyeron los siguientes centros de carga (metros):

PLANTA "BENITO JUÁREZ", PLANTA "CERRO PRIETO 6", PLANTA "CIUDAD VICTORIA", PLANTA "COL CARRANZA" POZO, BOMBEO "GÓMEZ MORÍN", PLANTA LÁZARO CÁRDENAS LA 28 ", CUMBRE DE BOMBEO" LOS GAVILANES ", CUMBRE DE BOMBEO" MADERO " "BOMBEO", RANCHO EL CHIMI EJ., DURANGO "BOMBEO", SAN FELIPE 6 "POZO," SOLIDARIDAD "BOMBEO, PLANTA" VALLE DE GUADALUPE ", PLANTA DOSIFICADORA POTE 1, MEDIDOR POTE 2 CAJA A , ESTACIÓN DE SEGUIMIENTO KM 46, ESTACIÓN DE SEGUIMIENTO KM 46, PBAR-12, ESTACIÓN DE RECLORACIÓN.

Para los sitios de Torreón que fueron etiquetados por el municipio como "bombas sin sumidero" fueron el foco del análisis del centro de carga de rango medio. De los 94, 10 se eliminaron por datos insuficientes, quedando: 84 centros de carga. Sin evaluaciones técnicas (diseño e ingeniería) del sitio en todos los sitios, lo cual no fue posible realizar debido a la pandemia COVID-19, los análisis presentados en este documento tuvieron que hacer muchas suposiciones y generalizaciones para ilustrar ciertos puntos y proporcionar tablas con números. Las tablas 16-18 se basaron en los siguientes supuestos:

Tabla 36. Supuestos para RE

m ² /MW	12
Tasa de cambio MXN:USD	20

Fuente: Autores

La Tabla 37 supone un descuento preespecificado a las tarifas de los servicios del organismo operador con un PPA de RE, sin escalas anuales en los precios de la electricidad y no se aplica una tasa de descuento financiero. Además, los siguientes supuestos se aplican en la generación de cifras para la Tabla.

Tabla 37. Descuentos por RE

Descuento para el OOA	Valor
<500 KW	10%
5-10 MW	15%
30 MW	20%

Fuente: Autores

Para la Tabla 38, se supone que los costos son menores a medida que aumenta el tamaño del sistema de energía renovable (\$/KW), la producción (kWh) es mejor para los sistemas de energía renovable montados en el suelo o fuera del sitio, y las tarifas de los servicios públicos (\$ / kWh) son más bajas. Los supuestos se enumeran aquí:

Tabla 38. Supuestos para RE

Centros de Carga	Costos de instalación (\$MXN/KW)	kWh	\$/kWh
Muy pequeños	\$20,000	1,552	2.4
Pequeños	\$18,000	1,552	2.1
Medianos	\$16,000	1,695	1.9
Grandes	\$14,000	1,940	1.6

Source: Authors

Esta tasa de descuento utilizada es del 10%. La metodología utiliza principios contables básicos para determinar inversiones, costos, ingresos y flujos de efectivo descontados. Se proporciona en este informe solo con fines ilustrativos.

Las fórmulas utilizadas para calcular el valor actual neto y la tasa interna de rendimiento de los módulos solares fotovoltaicos se enumeran en la página siguiente.

$$VPN = \sum_{t=0}^N \frac{FNC_t}{(1 + i_t)^t}$$



Where:

VPN	Valor Presente Neto
FNC_t	Flujo Neto de Caja en un periodo t
i_t	Tasa de Descuento Social = 10%
N	Número total de periodos
t	Periodo en el cual ocurre el flujo de caja

RV = Residual Value

$$TIR = \sum_{t=1}^t \frac{C_t}{(1+r)^t} - C_o$$

Where:

TIR	Tasa Interna de Retorno
C_t	Flujo Neto de Caja en un periodo t
C_o	Inversión inicial total
r	Tasa de Descuento Social = 10%
N	Número total de periodos
t	Periodo en el cual ocurre el flujo de caja



Apéndice 3. Hoja de ruta para implementar soluciones de EE y ER para empresas de agua en México

Planificar - Actuar - Verificar - Hacer - Sistemas de gestión de energía ISO 50001

Los Sistemas de Gestión Energética se implementan en cualquier tipo de organización con el objetivo de establecer una política energética que rastree y mejore el desempeño energético. La ISO 50001 se basa en el ciclo de mejora continua: Planificar - Actuar - Verificar - Hacer.

Las empresas o organismo operadores de agua en México se beneficiarían enormemente de la implementación de un SGA porque, como se mencionó anteriormente en la Sección 3.3, la electricidad es uno de los principales costos operativos. El nuevo esquema de tarifas y las opciones de adquisición de energía renovable presentan algunas oportunidades interesantes para las empresas de agua. Están surgiendo nuevos modelos de negocio: los usuarios deben poder tomar decisiones de forma inteligente y considerar qué es lo mejor para ellos. No hay respuestas correctas o incorrectas, ni soluciones permanentes o absolutas que funcionen en todo momento. Así, un SGA proporciona suficiente flexibilidad y orientación para que las organizaciones ajusten su estrategia, mejorando constantemente y estableciendo claramente un camino a seguir.

La siguiente hoja de ruta pretende proporcionar una serie de pasos y consideraciones a considerar al implementar soluciones de eficiencia energética o energías renovables en instalaciones de agua y aguas residuales en México.

La ISO 50001 establece el ciclo PACD de la siguiente manera:

Planificar: realizar una revisión energética para establecer una línea base de consumo, indicadores clave de desempeño, objetivos, metas y planes de acción necesarios para alcanzar resultados que deriven en mejoras de desempeño energético. Esto debe estar alineado con la política energética de la organización.

Actuar: Ejecutar el plan de acción.

Verificar: Realizar un seguimiento de los procesos e informar los resultados.

Hacer: Tomar medidas para mejorar el rendimiento energético y el EMS.



Tabla 39. Hoja de ruta

Etapa	Objetivo	Descripción	Comentario
Planificar	<i>Establecer un equipo interno</i>	Las empresas de agua deben formar un equipo de energía que incluya directores, gerentes y personal técnico para establecer una política energética, indicadores clave de rendimiento y acciones que se implementarán. Es común que estos equipos estén integrados por el Director General, el área de Finanzas, el área de Operaciones y el departamento de Compras.	Uno de los requisitos para apoyar a las empresas de agua (Mexicali, Torreón y Durango) fue la conformación de un grupo de trabajo interno con diferentes áreas y niveles.
	<i>Establecer una política energética</i>	Las empresas de agua deben establecer metas dentro de un cierto período de tiempo para lograr reducciones o mejoras de energía.	En este caso, la política energética se ancló en la meta de mitigación para el Sector de Residuos establecido en la NDC de México. Así, la reducción y descarbonización del consumo de energía resulta en una reducción de las emisiones de GEI. Sin embargo, los objetivos para cada empresa de agua fueron diferentes: Torreón se centró en el bombeo de agua, Mexicali en medidas de eficiencia energética para sus 10 principales puntos de consumo y Durango exploró opciones en todos sus procesos. Todos ellos orientados a reducir su consumo eléctrico, así como a implementar soluciones de energía renovable cuando sea posible. Se llevaron a cabo reuniones con las empresas de agua para conocer sus intereses y necesidades.
	<i>Cálculos de energía: línea de base y recopilación de datos</i>	Cree una base de datos con información histórica (al menos de un año atrás) con detalles de las horas de funcionamiento, la capacidad por equipo, por punto de carga y la capacidad anual. Cuanto mayor sea la granularidad de los datos, mejor. Asegúrese de que refleje cómo cambia el consumo a lo largo de las horas, los días y los meses. Esto es importante para establecer cómo se ven los incrementos o picos "normales" y qué queda fuera del rango.	Las tres empresas de agua contaban con un muy buen registro de su consumo eléctrico, con datos históricos y principales puntos de consumo identificados, así como listados de equipos técnicos. Sin embargo, debido a que la pandemia de COVID-19 hizo imposible realizar visitas in situ, las soluciones y los análisis solo se pudieron realizar a un alto nivel con los datos proporcionados.



Etapa	Objetivo	Descripción	Comentario
	<i>Establecer KPI</i>	Dependiendo de las prioridades de la organización, se deben establecer indicadores. Si el objetivo es la eficiencia energética, los indicadores deben rastrear el consumo de energía; si se trata de descarbonización, se deben medir las emisiones por kWh y así sucesivamente. Otros indicadores incluyen el costo por kWh o kWh por año.	A efectos de comparación y evaluación comparativa, los KPI seleccionados fueron kWh / litro, tCO ₂ /MWh, MXN/kWh y kWh/año.
	<i>Planificación de la mejora del rendimiento energético</i>	Con un objetivo claro establecido, se deben fijar fechas y actividades. Si planea implementar alguna solución de energía renovable junto con EE, asegúrese de tener en cuenta las reducciones en el consumo al firmar un PPA o al dimensionar una planta de energía en el sitio.	Las acciones presentadas en este informe llegan hasta aquí. Las medidas de EE y las soluciones de ER se presentan para las empresas de agua de acuerdo con los datos y objetivos proporcionados.
Actuar	<i>Registro de acciones realizadas</i>	Tener constancia escrita de las acciones tomadas relacionadas con el plan establecido.	
	<i>Adquisición de servicios, productos y equipos energéticos</i>	Lanzar una RFP con las decisiones tomadas durante la fase de Plan. Incluye: consumo anual, costo promedio por kWh, número de puntos de interconexión a la red, capacidad total, ubicación, período de contratación, requisitos legales, garantías y condiciones para cancelar el contrato, requisitos mínimos para la energía (tipo de tecnología, precio de tarifa, tipo de tarifa, etc.). Para soluciones de eficiencia energética, garantías de reducción de consumos, monitorización remota o in situ, tipo de equipos a instalar (controladores, sensores, etc.), garantías y plazo de contratación. Al comprar equipo, asegúrese de verificar que cumpla con la legislación local y tenga una certificación internacional.	



Etapa	Objetivo	Descripción	Comentario
	<i>Auditoría externa para verificación</i>	La mayoría de los desarrolladores o ESCO deberán realizar visitas in situ.	
Verificar	<i>Seguimiento, medición y análisis</i>	Realizar un seguimiento de los KPI establecidos durante la fase de implementación, así como las medidas tomadas para garantizar que los cambios se puedan atribuir a las acciones y modificaciones planificadas. Los sistemas SCADA son particularmente útiles para esto; las empresas de agua deben considerar implementar uno.	
	<i>Acciones correctivas y preventivas</i>	Si se detectan anomalías durante el proceso, se deben tomar acciones para determinar su origen y, si es posible, corregirlas.	
Hacer	<i>Informar los resultados al equipo</i>	Una vez finalizados los pasos establecidos en el plan de acción, se actualizan los KPI y se presentan los resultados al equipo.	
	<i>Ajustar y establecer un nuevo plan de acción</i>	Se debe diseñar un nuevo plan de acción y alinearlo con la política energética de la organización.	

Fuente: autores



Referencias

- Alcaraz, J. A. (2019, November 25). *Municipios sin dinero para pago de luz y agua, solicitan apoyo estatal* [Municipalities without money to pay for electricity and water, request state support]. Periódico AM | Noticias de Hidalgo, México [Newspaper AM | News from Hidalgo, Mexico].
<https://www.am.com.mx/hidalgo/noticias/Municipios-sin-dinero-para-pago-de-luz-y-agua-solicitan-apoyo-estatal-20191125-0052.html>
- ASHRAE. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (2019). Standard 62.1-2019: *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*. ANSI: ASHRAE. <https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standards-62-1-62-2>
- BNEF. Bloomberg New Energy Efficiency (2016). *Mexico's second power auction results: Record low prices in Latin America*.
https://data.bloomberglp.com/bnef/sites/14/2017/01/BNEF_MexicosSecondPower_SFCT_FNL_B.pdf
- Boren, S. (2018, October 08). *How to Use VFDs to Optimize Water & Wastewater Systems*. PUMPS & SYSTEMS. <https://www.pumpsandsystems.com/how-use-vfds-optimize-water-wastewater-systems>
- van den Bos, A., Rivera, I., Tovar-Garza, A., Castellanos, A. & Neumeier, M. (2018). *Modalidades de compras de energías renovables para el sector comercial e industrial mexicano* [Renewable energy purchasing modalities for the Mexican commercial and industrial sectors]. Secretaría de Energía [Secretary of Energy].
https://energypedia.info/images/7/7d/Modalidades_Compras_ER_GIZ_2018.pdf
- Camacho, H., & Casados, J. (2017). *Regulación de los servicios de agua potable y saneamiento en México* [Regulation of drinking water and sanitation services in Mexico]. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) [Mexican Institute of Water Technology]. https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/regulacion-servicios/files/assets/common/downloads/publication.pdf
- Capodaglio, A., G. & Olsson, G. (2019). Energy Issues in Sustainable Urban Wastewater Management: Use, Demand Reduction and Recovery in the Urban Water Cycle. *Sustainability* 12, No. 1: 266 <https://doi.org/10.3390/su12010266>
- CENAPRED. Centro Nacional de Prevención de Desastres (2021). *Descarga base de datos* [Download database] [Excel file]. Sistema de Consulta de Declaratorias [Declaration Consultation System]. Retrieved March 01, 2021, from <http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/apps/Declaratorias/>
- CESPM. Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali (2019). *Infraestructura* [Infrastructure]. Retrieved March 03, 2021, from <http://www.cespm.gob.mx/tf-infraestructura.html#gsc.tab=0>
- CESPM. Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali (2020, November 18). *CESPM galardonada por las mejores prácticas de cobro-pago* [CESPM awarded for the best collection-payment practices]. <http://www.cespm.gob.mx/tf-noticias.html?not=1221#gsc.tab=0>



- El Colegio de México (2019). *Análisis de las Tarifas Eléctricas en los Sistemas de Agua Potable y Saneamiento de México* [Analysis of Electricity Rates in the Drinking Water and Sanitation Systems of Mexico]. El Colegio de México: Asociación Nacional de Empresas de Agua y Saneamiento de México.
<https://aneas.com.mx/wp-content/uploads/2020/05/LAS-TARIFAS-EL%C3%89CTRICAS-Y-SU-IMPACTO-EN-LOS-SISTEMAS-DE-AGUA-POTABLE-Y-SANEAMIENTO-DE-M%C3%89XICO.pdf>
- Comisión Federal de Electricidad (2021). *Industria: Esquema tarifario vigente* [Industry: Current rate scheme]. Retrieved March 08, 2021, from <https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/TarifasCREIndustria/Industria.aspx>
- Comisión Federal de Electricidad (2009). Calidad de la energía: características y límites de las perturbaciones de los parámetros de la energía eléctrica. Guía CFE L0000-70. Retrieved May 31, 2021, from <https://lapem.cfe.gob.mx/normas/pdfs/c/l0000-70.pdf>
- Comisión Reguladora de Energía (2017). Usuarios y consumo de electricidad por municipio (2010-2017) [Users and electricity consumption by municipality]. Datos abiertos. Retrieved March 08, 2021, from <https://datos.gob.mx/busca/dataset/usuarios-y-consumo-de-electricidad-por-municipio-2010-2017>
- Comisión Reguladora de Energía (2019). Memorias de cálculo de tarifas de suministro básico [Basic supply tariff calculation memories]. Datos abiertos. Retrieved March 08, 2021, from <https://datos.gob.mx/busca/dataset/memorias-de-calculo-de-tarifas-de-suministro-basico>
- CONAGUA. Comisión Nacional del Agua (2012a). *Memoria documental del programa para la modernización de organismos operadores de agua 2007-2012* [Documentary report of the program for the modernization of water utilities 2007-2012].
[http://www.conagua.gob.mx/conagua07/contenido/Documentos/MEMORIAS%20DOCUMENTALES/Memoria%20Documental%20PROMAGUA%20vfinal%20\(24-oct-2012\).pdf](http://www.conagua.gob.mx/conagua07/contenido/Documentos/MEMORIAS%20DOCUMENTALES/Memoria%20Documental%20PROMAGUA%20vfinal%20(24-oct-2012).pdf)
- CONAGUA. Comisión Nacional del Agua (2012b). *Programa para la Modernización de Organismos Operadores de Agua (PROMAGUA)* [Program for the Modernization of Water Utilities]. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales: Comisión Nacional del Agua.
<http://201.116.60.182/conagua07/Noticias/DescripcionprogramaPROMAGUA2012.pdf>
- CONAGUA. Comisión Nacional del Agua (2014). *Programa de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía 2014 para la ciudad de: Victoria de Durango, Durango* [2014 Drought Mitigation and Preventive Measures Program for the city of: Victoria de Durango, Durango]. Programa Nacional contra la Sequía [National Drought Program].
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/99854/PMPMS_Victoria_de_Durango_Dgo.pdf
- CONAGUA. Comisión Nacional del Agua (2015). *Reglas de Operación para los Programas de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento y Tratamiento de Aguas Residuales a cargo de la Comisión Nacional del Agua, aplicables a partir de 2016* [Operating Rules for Drinking Water, Sewerage, Sanitation and Wastewater Treatment Programs in charge of the National Water Commission, applicable as



of 2016]. Diario Oficial de la Federación (DOF) [Official Journal of the Federation].
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/105837/ROP_2016.pdf

CONAGUA. Comisión Nacional del Agua (2016). *Lineamientos para la asignación de recursos para acciones de mejoramiento de eficiencia y de infraestructura de agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales de acuerdo al contenido del artículo 231-A de la Ley Federal de Derechos* [Guidelines for the allocation of resources for actions to improve the efficiency and infrastructure of drinking water, sewerage and wastewater treatment according to the content of article 231-A of the Federal Law of Rights]. Diario Oficial de la Federación (DOF) [Official Journal of the Federation].
https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5457403&fecha=20/10/2016

CONAGUA. Comisión Nacional del Agua (2018a). *Estadísticas del Agua en México* (ed. 2018) [Water Statistics in Mexico]. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales: Comisión Nacional del Agua.
http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM_2018.pdf

CONAGUA. Comisión Nacional del Agua (2018b). *Instructivo para la presentación y seguimiento del Programa de Acciones de Infraestructura, Operación y Mejoramiento de Eficiencia de Saneamiento, conforme al artículo 279 de la Ley Federal de Derechos, para la asignación de recursos del Programa de Saneamiento de Aguas Residuales* [Instructions for the presentation and monitoring of the Program of Actions of Infrastructure, Operation and Improvement of Sanitation Efficiency, in accordance with article 279 of the Federal Law of Rights, for the allocation of resources of the Wastewater Sanitation Program]. Diario Oficial de la Federación (DOF) [Official Journal of the Federation].
http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5524680&fecha=31%2F05%2F2018

CONAGUA. Comisión Nacional del Agua (2019a). *Agua renovable (regional)* [Renewable water (regional)]. Sistema Nacional de Información del Agua [National Water Information System]. Retrieved March 01, 2021, from
<http://sina.conagua.gob.mx/sina/index.php?p=2>

CONAGUA. Comisión Nacional del Agua (2019b). *Grado de presión hídrico (regional)* [Degree of water pressure (regional)]. Sistema Nacional de Información del Agua [National Water Information System]. Retrieved March 01, 2021, from
<http://sina.conagua.gob.mx/sina/index.php?p=17>

CONAGUA. Comisión Nacional del Agua (2019c). *Inversiones por rubro de aplicación en el subsector agua potable, alcantarillado y saneamiento* [Investments by category of application in the drinking water, sewerage and sanitation subsector]. Sistema Nacional de Información del Agua [National Water Information System]. Retrieved February 26, 2021, from
<http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=presupuestoInvertido&ver=repo rte&o=3&n=nacional>

CONAGUA. Comisión Nacional del Agua (2019d). *Inversiones reportadas por programa y dependencia por sector de origen de los recursos* [Investments reported by program and dependency by sector of origin of the resources]. Sistema Nacional de Información del Agua [National Water Information System]. Retrieved February 26, 2021, from <http://sina.conagua.gob.mx/sina/index.php?p=30>



- CONAGUA. Comisión Nacional del Agua (2019e). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento: Estructuras Tarifarias [Drinking Water, Sewerage and Sanitation Manual: Rate Structures]*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales: Comisión Nacional del Agua. ISBN: 978-607-8246-89-2
- CONAGUA. Comisión Nacional del Agua (2019f). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento: Integración de un Organismo Operador [Drinking Water, Sewerage and Sanitation Manual: Integration of an Operating Agency]*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales: Comisión Nacional del Agua. ISBN: 978-607-8246-82-3
- CONAGUA. Comisión Nacional del Agua (2019g). *Registro Público de Derechos de Agua/Volúmenes Inscritos [Public Registry of Water Rights/ Registered Volumes]*. Sistema Nacional de Información del Agua [National Water Information System]. Retrieved February 24, 2021, from <http://sina.conagua.gob.mx/sina/index.php?p=40>
- CONAGUA. Comisión Nacional del Agua (2019h). Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, Ed. 2019 [Situation of the Potable Water, Sewerage and Sanitation Subsector, Ed. 2019]. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales: Comisión Nacional del Agua. <https://www.gob.mx/conagua/documentos/situacion-del-subsector-agua-potable-drenaje-y-saneamiento>
- CONAGUA. Comisión Nacional del Agua (2019i). Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación diciembre 2019. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/611037/Inventario_2019.pdf
- CONAGUA. Comisión Nacional del Agua (2020a). Inventario de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación 2019 [2019 Inventory of Municipal Water Treatment and Wastewater Treatment Facilities in Operation]. <https://www.gob.mx/conagua/documentos/inventario-de-plantas-municipales-de-potabilizacion-y-de-tratamiento-de-aguas-residuales-en-operacion>
- CONAGUA. Comisión Nacional del Agua (2020b). *Programa Nacional Hídrico 2020-2024 [National Hydric Program 2020-2024]*. Diario Oficial de la Federación [Official Journal of the Federation]. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5609188&fecha=30/12/2020
- CONAGUA. Comisión Nacional del Agua (2020c). *Reglas de Operación para el Programa de Agua Potable, Drenaje y Tratamiento a cargo de la Comisión Nacional del Agua, aplicables a partir de 2021 [Operating Rules for the Drinking Water, Drainage and Treatment Program in charge of the National Water Commission, applicable from 2021]*. Diario Oficial de la Federación (DOF) [Official Journal of the Federation]. http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5609030&fecha=28%2F12%2F2020
- CONAPO. Consejo Nacional de Población (2015a). *Índice de Marginación (Nacional) [Marginalization Index (National)]*. Sistema Nacional de Información del Agua [National Water Information System]. Retrieved March 01, 2021, from <http://sina.conagua.gob.mx/sina/index.php?p=21>



- CONAPO. Consejo Nacional de Población (2015b). *Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2015 [Delimitation of the metropolitan areas of Mexico 2015]*. Retrieved March 05, 2021, from <https://www.gob.mx/conapo/documentos/delimitacion-de-las-zonas-metropolitanas-de-mexico-2015>
- CONEVAL. Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (2015a). *Consulta Dinámica de resultados de pobreza a nivel municipio 2010 y 2015 [Dynamic consultation of poverty results at the municipal level 2010 and 2015]* [Excel File]. https://www.coneval.org.mx/Medicion/Paginas/consulta_pobreza_municipal.aspx
- CONEVAL. Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (2015b). *Rezago social (nacional) [Social lag (national)]*. Sistema Nacional de Información del Agua [National Water Information System]. Retrieved March 01, 2021, from <http://sina.conagua.gob.mx/sina/index.php?p=33>
- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos [CPEUM] [Political Constitution of the United Mexican States]. 1995, February (México).
- Deign, J. (2017, November 21). *Updated: Mexico's Energy Auction Just Logged the Lowest Solar Power Price on the Planet*. Green Tech Media (GTM). <https://www.greentechmedia.com/articles/read/mexico-auction-bids-lowest-solar-wind-price-on-the-planet>
- Denchak, M. (2021, February 19). *Paris Climate Agreement: Everything You Need to Know*. NRDC. <https://www.nrdc.org/stories/paris-climate-agreement-everything-you-need-know>
- Eagles, J. (2012). *Vending Misers: A refreshing approach to energy savings in the City of Saint Paul*. Clean Energy Resource Teams (CERTs). <https://www.cleanenergyresourceteams.org/vendingmisers-refreshing-approach-energy-savings-city-saint-paul>
- Feng, L., Quedraogo, A., Manghee S. & Danilenko A. (2012). *A Primer on Energy Efficiency for Municipal Water and Wastewater Utilities*. World Bank. <https://www.esmap.org/node/1355>
- Ferro, G., & Lentini, E. J. (2015). *Eficiencia energética y regulación económica en los servicios de agua potable y alcantarillado [Energy efficiency and economic regulation in drinking water and sewerage services]*. Naciones Unidas. Comisión Económica para América Latina y el Caribe: Cooperación Alemana Deutsche Zusammenarbeit. ISSN: 1680-9017, LC/L.3949
- Fitch Ratings. (2020a, October 07). *Rating: CESP*. Retrieved February 26, 2021, from <https://www.fitchratings.com/search?expanded=entity&filter.country=Mexico&filter.sector=International%20Public%20Finance&query=CESP>
- Fitch Ratings. (2020b, October 07). *Rating: Durango*. Retrieved February 26, 2021, from <https://www.fitchratings.com/entity/durango-dgo-municipio-de-87293375>
- FONADIN. (2019). Programa para la Modernización de Organismos Operadores de Agua (PROMAGUA). https://www.fonadin.gob.mx/fni2/wp-content/uploads/sites/3/2019/10/Presentaci%C3%B3n_Promagua.pdf
- Germano, J. H. (2019). *Cybersecurity Risk & Responsibility in the Water Sector*. American Water Works Association.



<https://www.awwa.org/Portals/0/AWWA/Government/AWWACybersecurityRiskandResponsibility.pdf>

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH (2020), Monitor de información comercial e índice de precios de Generación Solar Distribuida en México. Marzo 2020. Retrieved from am 2 June 2021:

https://energypedia.info/images/c/c2/Monitor_info_comercial_GSD.pdf

Gleick, P. H. (2002). *The World's Water 2002-2003: The Biennial Report on Freshwater Resources*. Island Press. DOI: 10.5070/G311610468

Gobierno del Estado de Baja California (2020, December 28). *Ley de Ingresos del Estado de Baja California para el Ejercicio Fiscal del Año 2021 [Income Law of the State of Baja California for the Fiscal Year 2021]*. Unidad de Transparencia. Congreso del Estado de Baja California.

<https://www.congresobc.gob.mx/Contenido/Transparencia/index.aspx?opcion=1>

Gobierno Municipal de Torreón (2018). *Plan Municipal de Desarrollo 2019-2021 [Municipal Development Plan 2019-2021]*.

<http://www.torreon.gob.mx/transparencia/pdf/PMD%202019%202021%20web.pdf>

H. Congreso del Estado de Durango (2021). *Anexo B "Ley de Ingresos del Municipio de Durango, Dgo." [Annex B "Income Law of the Municipality of Durango, Dgo."]*.

<http://congresodurango.gob.mx/leyes-ingresos-2021/>

H. Congreso de la Unión. (2014, August 11). *Ley de la Industria Eléctrica [Electricity Industry Law]*. Diario Oficial de la Federación (DOF) [Official Journal of the Federation].

http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LIElec_061120.pdf

Hansen, M. P., & Rodríguez, J. M. (2019). *Indicadores de Gestión Prioritarios en Organismos Operadores [Priority Management Indicators in Water Utilities]*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua: Subcoordinación de Hidráulica Urbana, Coordinación de Hidráulica [Mexican Institute of Water Technology: Sub-coordination of Urban Hydraulics, Coordination of Hydraulics].

http://www.pigoo.gob.mx/rep/InformeHC1915_PIGOO_Ed_2019.pdf

Haugwitz, F. (2020, September 22). Floating solar PV gains global momentum. *PV Magazine*. <https://www.pv-magazine.com/2020/09/22/floating-solar-pv-gains-global-momentum/>

IMTA. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (2019). Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores de Agua [Management Indicators Program for Water Utilities]. Retrieved November 06, 2020, from

<http://www.pigoo.gob.mx/Inicio>

INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2011). *Tabulados del Censo de Población y Vivienda 2010. Población Total [Tabulated Population and Housing Census 2010. Total Population]*. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2010/>

INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2015). *Tabulados de la Encuesta Intercensal 2015: Estimadores de la población de 12 años y más y su distribución porcentual según condición de actividad económica y de ocupación por municipio y sexo [Tabulated from the Intercensal Survey 2015: Estimates of the population aged 12 years and over and their percentage distribution according to the condition of economic activity and occupation by municipality and gender]*. Retrieved March 01, 2021, from

<https://www.inegi.org.mx/programas/intercensal/2015/default.html#Tabulados>



- INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2016). *Panorama censal de los organismos operadores de agua en México. Censos Económicos 2014 [Census overview of the water utilities in Mexico. Economic Census 2014]*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
https://www.inegi.org.mx/contenido/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvini/inegi/productos/nueva_estruc/CE_2014/702825089313.pdf
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2021a). *Indicadores de México en cifras. Población [Indicators of Mexico in numbers. Population]*. Retrieved March 03, 2021, from <https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/>
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2021b, January 25). *Tabulados del Censo de Población y Vivienda 2020. Población total [Tabulated Population and Housing Census 2020. Overall population]*.
<https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#Tabulados>
- IRENA. International Renewable Energy Agency (2018). *Power Purchase Agreements for Variable Renewable Energy*. <https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Events/2018/Aug/Renewable-Energy-PPAs.pdf?la=en&hash=C365D5D08EBFF26A1F7A29A13D721C5B3C4390D9>
- Jenkins, T. (1999). *Retrofitting VFD motors at a wastewater treatment plant*. EC&M.
<https://www.ecmweb.com/content/article/20889064/retrofitting-vfd-motors-at-a-waste-water-treatment-plant>
- Kenway, S., Lant, P., Priestley, A. & Daniels, P. (2011). The connection between water and energy in cities: a review. *Water Science & Technology*, Vol. 63, N°9. DOI [10.2166/wst.2011.070](https://doi.org/10.2166/wst.2011.070)
- Ley de Aguas Nacionales [National Water Law]. (1992, December 01). Diario Oficial de la Federación [Official Journal of the Federation].
- Lightbulb Wholesaler (2021). *Energy Savings Calculator*. LightbulbWholesaler.com.
https://www.lightbulbwholesaler.com/t-energy_savings_calculator.aspx
- Maktabifard, M., Zaborowska, E. & Makinia, J. (2018). *Achieving energy neutrality in wastewater treatment plants through energy savings and enhancing renewable energy production*. *Rev Environ Sci Biotechnol* 17, 655–689.
<https://doi.org/10.1007/s11157-018-9478-x>
- National Institutes of Health, Division of Technical Resources (2016). *ECM Motors: An Energy Saving Opportunity* [PDF File]. U.S. Department of Health & Human Services.
https://www.orf.od.nih.gov/TechnicalResources/Documents/Technical%20Bulletins/16TB/ECM%20Motors%20An%20Energy%20Savings%20Opportunity%20November%202016%20-%20Technical%20Bulletin_508.pdf
- NREL. National Renewable Energy Laboratory (n.d.). *System Advisor Model (SAM): Financial Models*. <https://sam.nrel.gov/financial-models>
- NREL. National Renewable Energy Laboratory (2009). *Power Purchase Agreement Checklist for State and Local Governments*.
<https://www.nrel.gov/docs/fy10osti/46668.pdf>
- Pabi, S., Amarnath, A. & Reekie, L. (2013). *Electricity Use and Management in the Municipal Water Supply and Wastewater Industries*. Electric Power Research Institute: Water Research Foundation.



https://www.sciencetheearth.com/uploads/2/4/6/5/24658156/electricity_use_and_management_in_the_municipal_water_supply_and_wastewater_industries.pdf

Pacheco, O. (2019a). Por la Sostenibilidad en las Tarifas Eléctricas en Guerrero [For Sustainability in Electricity Rates in Guerrero]. *Revista Agua y Saneamiento ANEAS 84 [Water and Sanitation Magazine ANEAS 84]*, Ed.84, 14-17.

<https://aneas.com.mx/wp-content/uploads/2020/03/AyS-84.pdf>

Pacheco, O. (2019b, March 19). Punto de Acuerdo Parlamentario presentado ante el Congreso de Guerrero el 12 de marzo de 2019 [Point of Parliamentary Agreement presented to the Guerrero Congress on March 12, 2019]. *Periódico Oficial del Gobierno del Estado de Guerrero (No. 29) [Official Newspaper of the Government of the State of Guerrero (No. 29)]*, 38-43.

<http://periodicooficial.guerrero.gob.mx/wp-content/uploads/2019/04/PePERIODICO-OFICIAL-29.pdf>

Rapid Tables (n.d.). *Power factor calculator*.

<https://www.rapidtables.com/calc/electric/power-factor-calculator.html>

S&P Global Ratings (2020). *Reporte de Calificaciones – Actuales e Histórico [Report Card - Current and Historical]* [Excel File].

https://www.standardandpoors.com/es_LA/web/guest/regulatory/disclosures#disclosure_mx

Secretaría de Energía (2010). *Precios medios de energía eléctrica por tarifa [Average prices of electricity by tariff]*. Sistema de Información Energética. Retrieved March 08, 2021 from

<http://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=cuadro&cvecua=IIIBC02>

Secretaría de Hacienda y Crédito Público (2020a). *Agua Potable, Drenaje y Tratamiento. Proyectos localizables [Drinking Water, Drainage and Treatment. Accessible projects]*. Transparencia Presupuestaria. Observatorio del Gasto [Budget Transparency. Spending Observatory]. Retrieved March 02, 2021, from

<https://nptp.hacienda.gob.mx/programas/jsp/programas/fichaPrograma.jsp?id=16S074>

Secretaría de Hacienda y Crédito Público (2020b). *Programa de Devolución de Derechos: Total de proyectos localizables [Rights Refund Program: Accessible projects]*. Transparencia Presupuestaria. Observatorio del Gasto [Budget Transparency. Spending Observatory]. Retrieved March 04, 2021, from

<https://nptp.hacienda.gob.mx/programas/jsp/programas/fichaPrograma.jsp?id=16U001>

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2021). *Aviso sobre el factor de emisión eléctrico para el reporte 2019 [Notice about the electrical emission factor for the 2019 report]* [PDF File]. Registro Nacional de Emisiones RENE. Retrieved March 23, 2021, from

<https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/registro-nacional-de-emisiones-rene>

Silber, J. (2016, April 07). *Power Factor Correction: An Overlooked but Powerful Tool for Delivering Energy Efficiency and Cost Savings*. Schneider Electric.

<https://blog.se.com/power-management-metering-monitoring-power-quality/2016/04/07/power-factor-correction-overlooked-powerful-tool-delivering-energy-efficiency-cost-savings/>



- SIMAS Torreón (2021). *Trámites y Servicios [Procedures and services]* [PDF File].
<https://www.simastorreon.gob.mx/wp-content/uploads/TRAMITES-Y-SERVICIOS-2021.pdf>
- Thurston, C. W. (2018, December 24). *Multilateral Banks Pile Onto Mexico Solar*. Clean Technica. <https://cleantechnica.com/2018/12/24/multilateral-banks-pile-onto-mexico-solar/>
- UN. United Nations. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2018). *Informe Nacional de monitoreo de la eficiencia energética de México, 2018 [Mexico's National Energy Efficiency Monitoring Report, 2018]*. United Nations. ISBN: LC/TS.2018/41
- UN-Habitat. Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (2018a). *Índice Básico de las Ciudades Prósperas, CPI, Mexicali 2018 [City Prosperity Index, CPI, Mexicali 2018]*. Centro de Investigación para el Desarrollo Sostenible: Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos [Research Center for Sustainable Development: United Nations Settlements Program].
http://70.35.196.242/onuhabitatmexico/cpi/2015/02002_Mexicali.pdf
- UN-Habitat. Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (2018b). *Índice Básico de las Ciudades Prósperas, CPI, Durango 2018 [City Prosperity Index, CPI, Durango 2018]*. Centro de Investigación para el Desarrollo Sostenible: Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos [Research Center for Sustainable Development: United Nations Settlements Program].
http://70.35.196.242/onuhabitatmexico/cpi/2015/10005_Durango.pdf
- UN-Habitat. Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (2018c). *Índice Básico de las Ciudades Prósperas, CPI, Torreón 2018 [City Prosperity Index, CPI, Torreón 2018]*. Centro de Investigación para el Desarrollo Sostenible: Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos [Research Center for Sustainable Development: United Nations Settlements Program].
http://70.35.196.242/onuhabitatmexico/cpi/2015/05035_Torre%C3%B3n.pdf
- U.S. Department of Energy (n.d.). *Electricity and Fuel>>LED Lighting*.
<https://www.energy.gov/energysaver/save-electricity-and-fuel/lighting-choices-save-you-money/led-lighting>
- U.S. Department of Energy (2014). *Premium Efficiency Motor Selection and Application Guide: A Handbook for Industry*. U.S Department of Energy: Copper Development Association.
https://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/04/f15/amo_motors_handbook_web.pdf
- U.S. Environmental Protection Agency, Combined Heat and Power Partnership (2011). *Opportunities for Combined Heat and Power at Wastewater Treatment Facilities: Market Analysis and Lessons from the Field*.
https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-07/documents/opportunities_for_combined_heat_and_power_at_wastewater_treatment_facilities_market_analysis_and_lessons_from_the_field.pdf
- U.S. Environmental Protection Agency (2013). *Energy Efficiency in Water and Wastewater Facilities: A Guide to Developing and Implementing Greenhouse Gas Reduction Programs*. Local Government Climate and Energy Strategy Series.
<https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-08/documents/wastewater-guide.pdf>



Variable Frequency Drives (2014). *VFD Cost Savings Calculator*. <http://www.vfds.org/vfd-savings-calculator.html>

WATERISAC. Water Information Sharing and Analysis Center (2019). *15 Cybersecurity Fundamentals for Water and Wastewater Utilities: Best Practices to Reduce Exploitable Weakness and Attacks*.
<https://www.waterisac.org/system/files/articles/15%20Cybersecurity%20Fundamentals%20%28WaterISAC%29.pdf>

WRI. World Resources Institute (2019). *Aqueduct Water Risk Atlas*. AQUEDUCT. Retrieved March 01, 2021, from https://www.wri.org/applications/aqueduct/water-risk-atlas/#/?advanced=false&basemap=hydro&indicator=w_awr_def_tot_cat&lat=30&lng=-80&mapMode=view&month=1&opacity=0.5&ponderation=DEF&predefined=false&projection=absolute&scenario=optimistic&scope=baseline&timeScale=annual&year=baseline&zoom=3

WWAP. United Nations World Water Assessment Programme (2014). *The United Nations World Water Development Report 2014: Water and Energy: Vol. 1*. UNESCO. ISBN: 978-92-3-104259-1, 978-92-3-904259-3 (ePub)

Glosario

Agua potable: Agua utilizada para uso doméstico e higiene personal, así como para beber y cocinar; cuyas características microbianas, químicas y físicas cumplen las directrices de la OMS (Organización Mundial de la Salud) o las normas nacionales para la calidad del agua potable.

Agua potable: proviene de fuentes superficiales y subterráneas y se trata a niveles que cumplen con los estándares estatales y federales de consumo. El agua de fuentes naturales se trata para detectar microorganismos, bacterias, productos químicos tóxicos, virus y materia fecal.

Agua renovable: Cantidad máxima de agua que es factible explotar anualmente en una región, es decir, la cantidad de agua que se renueva por lluvia y agua de otras regiones o países (importaciones). Se calcula como la escorrentía natural superficial interna media anual, más la recarga anual total de los acuíferos, más las entradas menos las salidas de agua a otras regiones.

Aguas residuales: Aguas de procesos productivos, industriales o de consumo humano que adquieren características distintas a las que tenía cuando se consideraba agua potable. Después del tratamiento, se pueden convertir en agua regenerada que se puede reutilizar si cumplen los criterios de calidad adecuados para cada tipo de uso.

Clarificación convencional: Proceso de depuración de aguas superficiales con altos valores de turbidez, color y / o microorganismos. El tren de tratamiento de agua está integrado con la rápida adición y mezcla de reactivos químicos, floculación, sedimentación, filtración y desinfección.



Certificados de Energía Limpia de México (CEL): Los CEL brindan una forma para que las empresas de servicios públicos y las organizaciones compren su salida de las reducciones de emisiones asociadas con su consumo de energía. A partir de enero de 2021, las políticas de la CEL y las prácticas de mercado en México se están reformando en los tribunales, y algunos casos incluyen impugnaciones constitucionales. La incertidumbre asociada ha llevado a una pausa efectiva en el mercado CEL de México. Para las organizaciones que tienen malas condiciones de instalación en el sitio o capacidad financiera (solventía crediticia), con cambios positivos imprevistos en la política, los CEL pueden convertirse en el enfoque de menor costo para lograr reducciones de emisiones de GEI corporativas o obligatorias.

Combustibles fósiles: Son recursos no renovables que provienen de la descomposición de los restos geológicos de materiales orgánicos combustibles, y que pueden utilizarse para el aporte de energía. (carbón, petróleo, gas natural).

Contrato de Compra de Energía (PPA): Contrato de Cobertura Eléctrica para adquirir energía de un Proveedor Calificado.

Cuencas Hidrológicas (RH): Áreas formadas por agrupaciones de subcuencas hidrológicas, cuya escurriencia superficial fluye íntegramente a través de una serie de arroyos, ríos y eventualmente lagos hacia el mar a través de una única desembocadura, estuario o delta.

Eficiencia energética: Se refiere al conjunto de soluciones que mejoran la intensidad energética (energía total requerida para suministrar un determinado volumen de agua en una ubicación determinada), consistente en mejorar los equipos y tecnología de los sistemas de extracción, tratamiento y distribución de agua.

Empresa de agua (Organismo Operador de Agua): Organización pública, privada o mixta a cargo de las obligaciones de un municipio de brindar los servicios públicos de agua, alcantarillado, tratamiento y disposición de aguas residuales.

Energía: la energía de algo como la electricidad o el petróleo, que puede funcionar, como proporcionar calor, luz, transformación química, etc.

Energía limpia: Son energías limpias aquellas fuentes y procesos de generación de electricidad cuyas emisiones o residuos, en su caso, no superan los umbrales establecidos en las disposiciones reglamentarias dictadas al efecto.

Energía renovable: obtenida de un flujo de recursos constantemente disponible, como la solar y la eólica, que no emiten dióxido de carbono y otras emisiones de gases de efecto invernadero en su producción que contribuyen al calentamiento global.

Factor de potencia: El factor de potencia (PF) es la relación entre la potencia de trabajo, medida en kilovatios (kW), y la potencia aparente, medida en kilovoltios amperios (kVA). La potencia aparente, también conocida como demanda, es la medida de la cantidad de energía utilizada para hacer funcionar maquinaria y



equipo durante un período determinado. Se encuentra multiplicando ($kVA = V \times A$). El resultado se expresa en unidades de kVA.

Facturación Tarifa Agua: Es la tabla autorizada para fijar el pago por cada tipo de usuario, por agua potable, alcantarillado y saneamiento, considerando, en su caso, el nivel de consumo y los precios por unidad de servicio que debe pagar cada usuario.

Filtración directa: método de tratamiento mediante el cual el agua pasa a través de medios granulares que eliminan los contaminantes. Primero use un coagulante químico (como sales de hierro o aluminio) y luego revuelva la mezcla, induciendo la unión de las partículas pequeñas en suspensión para formar grumos o “flóculos” más grandes que son más fáciles de remover y finalmente hacer pasar el agua por filtros.

Gases de Efecto Invernadero (GEI): Son gases emitidos de forma natural y antropogénica (emitidos por la actividad humana) cuya presencia contribuye al efecto invernadero. Los seis gases enumerados en el Protocolo de Kyoto son: dióxido de carbono (CO_2); metano (CH_4); óxido nitroso (N_2O); hidrofluorocarbonos (HFC); perfluorocarbonos (PFC); y hexafluoruro de azufre (SF_6).

Huella de carbono: la cantidad de dióxido de carbono y otros compuestos de carbono emitidos debido al consumo de combustibles fósiles por una persona, grupo, agencia, etc.

Lagunas de oxidación/almacenamiento: Las lagunas son cuerpos de agua o cuencas similares a estanques diseñados para recibir, retener y tratar aguas residuales durante un período de tiempo predeterminado. Si es necesario, se recubren con material, como arcilla o un revestimiento artificial, para evitar fugas al agua subterránea que se encuentra debajo.

Lagunas/estanques facultativos: estas lagunas de tierra suelen tener una profundidad de 1,2 a 2,4 m (4 a 8 pies) y no se mezclan ni airean mecánicamente. La capa de agua cerca de la superficie contiene oxígeno disuelto debido a la respiración atmosférica y la respiración de las algas, una condición que sustenta a los organismos aeróbicos y facultativos. La capa inferior de la laguna incluye depósitos de lodos y sostiene organismos anaeróbicos. La capa anóxica intermedia, denominada zona facultativa, varía de aeróbica cerca de la parte superior a anaeróbica en la parte inferior.

Plantas de Tratamiento de Agua (PP): Complejo que se encarga de someter las aguas superficiales o subterráneas de un río, o cualquier otro embalse, a diversos procesos con el fin de asegurar que sea apta para el consumo y uso en las actividades diarias de la población.

Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR): Es una instalación donde se tratan las Aguas Residuales para remover contaminantes y otras cualidades físicas y químicas, para convertirla en un agua sin riesgos para la salud y / o el medio ambiente al disponerla en un cuerpo receptor natural (mar, ríos o lagos) o para su reutilización en otras actividades



Plantas de Bombeo de Aguas Residuales (PBAR): Instalaciones que reciben grandes volúmenes de aguas residuales y las someten a un sistema de pretratamiento para remover sólidos flotantes y sedimentables y malos olores para luego ser dirigidas a las respectivas EDAR.

Pozo de agua: Es una excavación o estructura creada en el suelo para acceder al agua subterránea, extraída por bombas, en los acuíferos subterráneos. Los pozos pueden variar mucho en profundidad, volumen de agua y calidad del agua.

Regiones Hidrológico-Administrativas: Regiones formadas por agrupaciones de cuencas hidrológicas, consideradas como las unidades básicas para el manejo de los recursos hídricos en las que CONAGUA realiza sus funciones a través de organismos de cuenca.

Sistema de lodos activados: Es un proceso de tratamiento de aguas residuales que se basa en el uso de microorganismos (especialmente bacterias heterotróficas facultativas), que crecen en las aguas residuales, convirtiendo la materia orgánica disuelta en productos más simples como nuevas bacterias, dióxido de carbono y agua. Es un tratamiento secundario o biológico y es el más utilizado tanto a nivel municipal como industrial.

Sistema de aireación: la aireación pone el agua y el aire en estrecho contacto para eliminar los gases disueltos (como el dióxido de carbono) y oxida los metales disueltos como el hierro, el sulfuro de hidrógeno y los productos químicos orgánicos volátiles (COV). La aireación es a menudo el primer proceso importante en una planta de tratamiento.

Sistemas de bombeo: Dispositivos utilizados para levantar y extraer agua de un punto bajo a alto, de aguas superficiales, subterráneas o de embalses a sistemas de distribución. Pueden ser alimentadas por diversas fuentes de energía (electricidad, solar, combustible, eólica, etc.).

Subcuencas hidrológicas: Área terrestre cuya escorrentía superficial fluye íntegramente a través de una serie de arroyos, ríos y, eventualmente, lagos hacia un determinado punto de un curso de agua (generalmente un lago o una confluencia de ríos).

Tanque de almacenamiento de agua: Un tanque de almacenamiento de agua recolecta agua y la almacena para su uso posterior y acceso oportuno.

Tarifa eléctrica: Las tarifas eléctricas son disposiciones específicas que contienen las tarifas y condiciones que rigen el suministro eléctrico y están identificadas oficialmente por su número y / o letra (s) según su aplicación. La CFE tiene diferentes tarifas eléctricas, divididas según el tipo de usuario final, que también dependen de una regionalización establecida.

Uso consuntivo: Volumen de agua de cierta calidad que se consume al realizar una determinada actividad, que se determina como la diferencia en el volumen que se extrae, menos el volumen que se descarga.



Nota: El glosario es una recopilación de varias fuentes, con el fin de definir los conceptos utilizados en el documento. Por tanto, no constituyen definiciones con fuerza legal.