



INECC

INSTITUTO NACIONAL
DE ECOLOGÍA Y
CAMBIO CLIMÁTICO

**Reducción de emisiones
asociadas al programa de
modernización y rehabilitación
de centrales hidroelectricidad en
México**

**Reducción de emisiones asociadas al
programa de modernización y
rehabilitación de centrales
hidroeléctricas en México**

Elaboración: 2022

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC)
Coordinación General de Mitigación del Cambio Climático.

Directorio Institucional

Dr. Agustín Ávila Romero

Director General de Políticas para la Acción Climática, SEMARNAT y Encargado de Despacho de la Dirección 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

Dr. Ing. Roberto Ulises Ruiz Saucedo

Subdirector de Innovación y Transferencia Tecnológica

Ing. Eduardo Olivares

Subdirector de Industria y Energía

Preparado por:

M.I. Gabriela Mariscal Jurado, Subdirectora de Mitigación en Energía y Transporte

Dr. Ing. Roberto Ulises Ruiz Saucedo, Subdirector de Innovación y Transferencia Tecnológica

Autorizado por:

Dra. Claudia Octaviano Villasana

Coordinadora General de Mitigación al Cambio Climático

D. R. © Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Diciembre 2022.
Boulevard Adolfo Ruíz Cortines No. 4209 Col. Jardines en la Montaña, Alcaldía
Tlalpan, Ciudad de México C.P. 14210. <https://www.gob.mx/inecc>

Imágenes de portada: Pixabay. Libres de derechos

Contenido

Contenido	5
Figuras y Tablas.....	6
Abreviaturas y acrónimos.....	7
Introducción	8
Resumen ejecutivo.....	10
Alineación con el Programa Especial de Cambio Climático 2021-2024 (PECC)	12
Recopilación de información	12
Centrales Hidroeléctricas	12
Datos resumidos de las licitaciones identificadas.....	13
Datos de Fichas SEMARNAT	15
Capacidad y generación de acuerdo con los PRODESEN.....	17
Capacidad Efectiva por tecnología y Generación Bruta de CFE y PIE's por tecnología	20
Adiciones de capacidad del PIIRCE	22
Factores de emisión de la red	24
Factor de planta.....	24
Información de permisos de la CRE	29
Metodología	32
Principales resultados y hallazgos.....	37
Conclusiones.....	39
Referencias.....	41

Figuras y Tablas

Figura 1. Factores de Emisión eléctricos FE_R en el periodo 2014-2021	24
Figura 2. Factores de planta de hidroeléctricas (embalses).....	26
Figura 3. Factores de planta de hidroeléctricas (hilo del agua).....	27
Figura 4. Factores de planta de hidroeléctricas (embalses e hilo del agua)	27
Figura 5. Factores de planta de hidroeléctricas (en licitaciones)	28
Figura 6. Generación (PRODESEN); Generación (SIE, SENER)	34
Figura 7. Generación (PRODESEN); Generación (SIE, SENER) y escenarios de Línea Base y de Mitigación.....	37
Figura 8. Escenarios de Línea Base y de Mitigación separado por repotenciación y PIIRCE.	38
Tabla 1. Información documentos licitación.....	13
Tabla 2. Resultados del análisis de información documentos licitación....	14
Tabla 3. Información proporcionada por SEMARNAT.....	15
Tabla 4. Capacidad instalada en el SEN de 2014-a 2021	17
Tabla 5. Generación (bruta o neta) reportada en el SEN de 2014-a 2021....	18
Tabla 6. Generación CFE y PIE ´s reportada en el SIE de SENER de 2010-a 2020	20
Tabla 7. Capacidad instalada CFE y PIE ´s reportada en el SIE de SENER de 2010-a 2020	21
Tabla 8. Adiciones de Capacidad para el periodo de 2019-a 2030 del PIIRCE	22
Tabla 9. Factores de Emisión eléctricos FE_R en el periodo 2014-2021, su promedio y DS.	24
Tabla 10. Factores de Planta Hidroeléctricas consideradas.	25
Tabla 11. Información de permisos de la CRE y su análisis.....	29
Tabla 12. Mitigación por PIIRCE, repotenciación/equipamiento.	38

Abreviaturas y acrónimos

CRE	Comisión Reguladora de Energía
CFE	Comisión Federal de Electricidad
$C_{hidro,a,i-1}$	Capacidad instalada por año $i-1$ considerando la capacidad previa más la capacidad prevista a instalarse en ese año en el PIIRCE en (GW)
$C_{hidro,add,i}$	Capacidad prevista a adicionarse en el año i en el PIIRCE en (MW)
FE	Factor de Emisión (se refiere al factor del SEN)
$FE_{2020,R}$	Factor de Emisión de la Red en 2020 (tCO ₂ e/kWh)
$FP_{i,t}$	Factor de planta teórico con base en generación y capacidad reportadas en los PRODESEN por año i
$G_{Tot,m,i}$	Generación total en el escenario de mitigación (GWh/año)
$G_{Tot,i}$	Generación total por capacidad instalada (GWh/año)
$G_{CFE,base,i}$	Generación base por repotenciación de CFE (GWh/año)
$G_{equip,CFE,i}$	Generación por reequipamiento (GWh/año)
$G_{hidro,i}$	Generación reportada en los PRODESEN por año i en (GWh)
$G_{hidro,LB,i}$	Generación de las centrales hidroeléctricas en el escenario de la línea base en el año i (GWh/año)
GWh	Giga watt hora
$C_{hidro,a,i}$	Capacidad instalada por año i considerando la capacidad previa más la capacidad prevista a instalarse en ese año en el PIIRCE en (GW)
$C_{hidro,i}$	Capacidad reportada en los PRODESEN por año i en (GW)
$H_{tot,a}$	Horas totales al año = 24*365
IM_i	Incremento de la mitigación (tCO ₂ e/año)
$M_{LB,i}$	Mitigación en el escenario de la Línea Base (tCO ₂ e/año)
$M_{m,proy,i}$	Mitigación en el escenario de mitigación debida al proyecto de repotenciación y reequipamiento (tCO ₂ e/año)
$M_{m,inst,i}$	Mitigación debida a la capacidad instalada ya en 2013 (tCO ₂ e/año)
$M_{m,rep,i}$	Mitigación debida a la repotenciación (tCO ₂ e/año)
$M_{m,equip,i}$	Mitigación debida al reequipamiento (tCO ₂ e/año)
MW	Megawatt
MWh	Megawatt hora
PRODESEN	Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional
PIIRCE	Programa Indicativo para la Instalación y Retiro de Centrales Eléctricas
SEN	Sistema Eléctrico Nacional
SENER	Secretaría de Energía
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SIE	Sistema de Información Energético
tCO₂e	Toneladas de dióxido de carbono equivalentes

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la Ley General de Cambio Climático, en su artículo segundo transitorio, el sector de generación de energía eléctrica tiene una meta de reducción de emisiones de 31% al 2030. De acuerdo con la actualización de la NDC (2022) México aumenta su meta de reducción de gases de efecto invernadero de 22% a 35% en 2030, con respecto a su línea base, con recursos nacionales que aportarán al menos un 30% y 5% con cooperación y financiamiento internacional previsto para energías limpias. El escenario tendencial proyectado al 2030, sin intervención de política de mitigación se cuantificó en 991 MtCO₂e como punto de referencia para 2030. Y se estima que la reducción de emisiones de 35% al 2030 implica 347 MtCO₂e reducidas en dicho año. En el sector de generación de energía eléctrica se estima en su escenario tendencial una emisión, al 2030, de 186 Mt CO₂e por lo que se requiere, para cumplir la meta, mitigar 57.6 Mt CO₂e en este sector para alcanzar la meta de 31%.

Parte de la política de mitigación de la actual administración prevé un fortalecimiento de la Comisión Federal de Electricidad, una parte sustancial de la generación limpia de la CFE proviene de las centrales hidroeléctricas. El 13 de julio de 2021, se aprobó el Plan Integral de Modernización de Centrales Hidroeléctricas mediante el Acuerdo CA-041/2021 en la 44^a Sesión ordinaria del Consejo de Administración de CFE, se aprobó el Plan Integral de Modernización de Centrales Hidroeléctricas (CH), este plan prevé la modernización de varias de ellas entre las que se encuentran las de: Belisario Domínguez (“Angostura”), Humaya, Infiernillo, Mazatepec, Malpaso, Ángel Albino Corzo (“Peñitas”), Ing. Carlos Ramírez Ulloa (“El Caracol”), Ing. Fernando Hiriart Balderrama (“Zimapán”) y La Villita. La modernización se logrará a través de la sustitución de equipos, su repotenciación o reequipamiento esto con el objetivo para fortalecer la capacidad de generación de energía eléctrica a través de fuentes limpias y confiables. Con la modernización de estas centrales se incrementará la capacidad en 248 MW y la generación anual estimada de 1,754 GWh adicionales. Este plan contribuye no solo a fortalecer a CFE sino que pudiera representar una mitigación sustantiva de Gases de Efecto invernadero (GEI) es por ello que INECC se dio a la tarea de identificar y estimar de forma preliminar, con base en la información disponible, la posible contribución de la repotenciación y equipamiento de centrales hidroeléctricas a la mitigación de GEI.

Estas estimaciones se basan en una metodología que se describe en la sección 4 que toma en consideración la metodología de MDL “Large-scale Consolidated Methodology. Grid-connected electricity generation from renewable sources ACM0002”, una recopilación de información sobre los proyectos de repotenciación y equipamiento de CFE y propias estimaciones.

Los principales hallazgos de estas estimaciones son: (a.) Al 2024: 2.63 Mt CO₂e, de las cuales 0.87 Mt CO₂e corresponden a las acciones del Plan Integral de Modernización de Centrales Hidroeléctricas y 1.76 Mt CO₂e al incremento de capacidad declarado en el PIIRCE y (b.) Al 2030, 5.81 Mt CO₂e, de las cuales 1.05 Mt

Reducción de emisiones asociadas al programa de modernización y rehabilitación de centrales hidroelectricidad en México

CO₂e corresponden a las acciones del Plan Integral de Modernización de Centrales Hidroeléctricas y 4.76 Mt CO₂e al incremento de capacidad declarado en el PIIRCE.

RESUMEN EJECUTIVO

La recopilación de información para las estimaciones en este estudio se basa en fuentes públicas. La metodología se ha desarrollado considerando los datos históricos y planeados que implican una cierta mitigación en el horizonte a 2030. En general se ha seguido el método ACM0002, no se consideran emisiones de cuerpos de agua como lo señala esta metodología¹, y se consideró que la energía generada por las centrales hidroeléctricas al ser repotenciadas o reequipadas sustituye el mix de generación del Sistema Eléctrico nacional (SEN) representado por su factor de emisión.

Se ha recopilado información de las licitaciones públicas efectuadas por la Comisión Federal de Electricidad (CFE), la Secretaría de Energía (SENER), el Sistema de Información Energética (SIE), los Programas de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (PRODESEN) de varios años, información en boletines de prensa de CFE y otros de diversos medios de comunicación, los factores de emisión del SEN publicados por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) e información de permisos de la Comisión Reguladora de Energía (CRE). Además, se ha contado con información puesta a disposición del INECC por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). El estudio se centra en 16 instalaciones de centrales hidroeléctricas, pero particularmente en aquellas para las cuales se cuenta con información que permite una estimación.

Tipo de central CH	Nombre de la central
Embalse	Belisario Domínguez (Angostura)
Embalse	Ing. Carlos Ramírez Ulloa (El Caracol)
Embalse	Humaya
Embalse	Infiernillo
Embalse	La Villita (José María Morelos)
Embalse	Malpaso
Hilo de agua	Mazatepec
Embalse	Peñitas
Embalse	Ing. Fernando Hiriart Balderrama (Zimapán)
	Encanto, Minas y Portezuelo I y II

La metodología comprende 12 pasos que se enfocan en determinar el factor de planta en las instalaciones con los datos disponibles, más adelante establecer el factor de planta que tendrían las instalaciones una vez que tuvieran una rehabilitación o modernización y el reequipamiento. Estos trabajos permitirían un incremento de capacidad en siete centrales (repotenciación) de 248 MW adicionales con una generación anual estimada de 1,754 GWh. En otras

¹ En la sección 5.4.3 (ver página 17) de dicha metodología se incluyó un componente para la estimación de emisiones del cuerpo de agua asumiendo un valor default de emisiones para reservorios, cuando la densidad de capacidad por metro cuadrado es menor a 10 W/m².

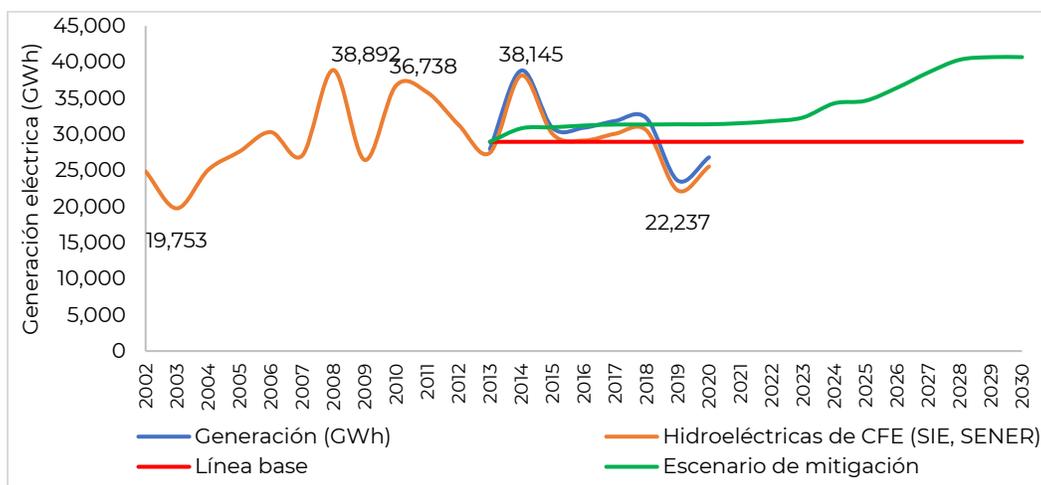
Reducción de emisiones asociadas al programa de modernización y rehabilitación de centrales hidroeléctricas en México

publicaciones se menciona que se contempla la modernización de 14 centrales hidroeléctricas para una generación anual de 1,860 GWh. El reequipamiento representa una generación de 330.7 GWh/a.

Para la estimación se ha utilizado la generación histórica a partir de datos de los PRODESEN, que permite estimar la línea base de emisiones, la planeación del PIIRCE para estimar las adiciones de capacidad de centrales hidroeléctricas que podrían ocurrir hasta 2030, y se ha utilizado el factor de emisión de 2020 de 0.494 (tCO₂e/MWh) para todo el periodo de estimación hasta 2030. Es de mencionarse que este FE es un poco más alto que el promedio de los datos 0.488 (tCO₂e/MWh). La diferencia es de 1.3%. La Desviación Estándar de los 8 datos disponibles es de ±0.051 tCO₂e/MWh, si se estiman los extremos (= Promedio ± DS) resultaría en una variación de ±10.4% (0.437 – 0.538 tCO₂e/MWh), esta es una variación muy amplia debido a que se cuenta con muy pocos datos².

Los resultados muestran **al 2030** una mitigación: de 5.81 Mt CO₂e, de las cuales 1.05 Mt CO₂e corresponden a las acciones del Plan Integral de Modernización de Centrales Hidroeléctricas y 4.76 Mt CO₂e al incremento de capacidad declarado en el PIIRCE. Tanto el plan de modernización como el incremento del PIIRCE representan en términos de mitigación en 2030 el 9.3% de la meta de mitigación del sector.

Figura. Generación (PRODESEN); Generación (SIE, SENER) y escenarios de Línea Base y de Mitigación.



Fuente: Elaboración propia con datos de (SENER, 2014-2021), SIE-SENER (2022), (CFE, 2021c), (CFE, 2022), (CFE, 2021b), (CFE, 2021c), (SEMARNAT-RENE, 2014-2021)

² También es de considerarse que por ejemplo se ha repetido en 2015 y 2016 el mismo valor. La distribución de datos por intervalos es muy irregular y esta recorrida a la izquierda, por lo que no es una distribución normal. Cuando se tienen muchos más datos, la DS es menor y el utilizar el promedio suele ser más representativo que cuando se tienen pocos datos.

ALINEACIÓN CON EL PROGRAMA ESPECIAL DE CAMBIO CLIMÁTICO 2021-2024 (PECC)

Este estudio está relacionado con el sector de generación de energía eléctrica y en particular con el **objetivo prioritario 2** “Reducir las emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero a fin de generar un desarrollo con bienestar social, bajo en carbono y que proteja la capa de ozono, basado en el mejor conocimiento científico disponible”, y con la **estrategia prioritaria 2.1** “Impulsar la transición energética justa con énfasis en fuentes limpias, bajo un enfoque de derechos humanos para promover su generación y uso sustentable e incluyente”. Ya que el estudio pretende estimar la mitigación potencial del plan de modernización de centrales hidroeléctricas se alinea dentro de la **acción puntual 2.1.1** “Planificar la incorporación de energías limpias en la generación eléctrica, bajo condiciones de seguridad, calidad, continuidad y eficiencia; así como sostenibilidad económica del Sistema Eléctrico Nacional para alcanzar el 35% al año 2024” Este plan promueve el uso de energías limpias con base en dichos criterios y pretende reducir el impacto social y ambiental como es el caso de nuevas centrales. Así mismo el estudio estima la contribución del antes mencionado plan a las emisiones evitadas del sector, por lo que de acuerdo con el parámetro 1 del objetivo prioritario 2 del PECC, denominado “emisiones de CO₂e evitadas por la generación de energías limpias” contribuye al cumplimiento de la meta de generación eléctrica de 31% al 2024.

RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

A continuación, se presentan los resultados de la recopilación de información respecto de las centrales hidroeléctricas consideradas en los planes de la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

Centrales Hidroeléctricas

El 13 de julio de 2021, se aprobó el *Plan Integral de Modernización de Centrales Hidroeléctricas* mediante el Acuerdo CA-041/2021 en la Sesión 44 ordinaria del Consejo de Administración de CFE³.

De acuerdo con los anexos de información de los concursos⁴ No. CFE-0001-CASAA-0008-2021, ya concluido, y No. CFE-0001-CASAA-0001-2022, en proceso, se encontró que el Plan Integral contempla diferentes acciones de

³ Información disponible en:

<https://www.cfe.mx/consejo/Acuerdos/Sesi%C3%B3n%2044%20Ordinaria%20Numerado%20CA-041-CA-069.pdf>

⁴ Información disponible en: <https://msc.cfe.mx/Aplicaciones/NCFE/Concursos/> con búsqueda del “número de procedimiento”.

Reducción de emisiones asociadas al programa de modernización y rehabilitación de centrales hidroeléctricas en México

modernización y de repotenciación en trece centrales hidroeléctricas⁵, cuya antigüedad supera los cuarenta y cuatro años y, algunas de ellas, hasta setenta años.

De acuerdo con un boletín de CFE de 3 de diciembre de 2021 un punto sumamente importante es que dichas acciones de repotenciación y modernización permitirán incrementar tanto la vida útil de las centrales hasta en 50 años, así como mejorar la eficiencia en el consumo de agua. En siete centrales se detalla un incremento de capacidad, es decir, una repotenciación que da un total de 248 MW adicionales⁶ con una generación anual estimada de 1,754 GWh⁷; En otras publicaciones se menciona que se contempla la modernización de 14 centrales hidroeléctricas para una generación anual de 1,860 GWh⁸

Datos resumidos de las licitaciones identificadas

Tabla 1. Información documentos licitación.

Tipo de central	Nombre en documentos de licitación	Factor de planta 2012-2019	Generación media anual total (GWh)	Capacidad existente (MW)	Adición de capacidad (MW)	Unidades	Unidades nuevas	Información importante reportada
Embalse	Belisario Domínguez (Angostura)	27.72%	2,185	900	100	5 (180)	5 (200)	
Embalse	Ing. Carlos Ramírez Ulloa (El caracol)			600		3 (200)	3 (¿2?)	Cambio de generadores
Embalse	Humaya			90			1 (55.6)	Cambio de generadores
Embalse	Infiernillo		3,409	1,200	22	6(200)	2 (211)	Mejora de eficiencia (rehabilitación de 2 unidades)
Embalse	La Villita o Villita (José María Morelos)		1,381	320	24	4(80)	4(86)	Repotenciación de 4 generadores
Embalse	Malpaso	32.17%	3,642	1,080	72	6(180)	6(192)	

⁵ Centrales: i) Angostura, ii) El Caracol, iii) Humaya, iv) Infiernillo, v) La Villita, vi) Malpaso, vii) Mazatepec, viii) Peñitas, ix) Zimapán, x) Encanto, xi) Minas, xii) Portezuelo I y xiii) Portezuelo II.

⁶ Angostura se incrementa en 100 MW; Infiernillo en 22 MW, La Villita en 24 MW; Malpaso en 72 MW y Mazatepec en 24 MW, Encanto 2MW, Minas 3 MW.

⁷ Información disponible en: <https://app.cfe.mx/Aplicaciones/OTROS/Boletines/boletin?i=2397>

⁸ <https://energyandcommerce.com.mx/andritz-hydro-modernizara-hidroelectricas-cfe/>
<https://energy21.com.mx/index.php/renovables/2021/11/21/cfe-adjudica-contrato-de-893-mdd-para-modernizar-9-plantas-hidroelectricas>

Reducción de emisiones asociadas al programa de modernización y rehabilitación de centrales hidroelectricidad en México

Tipo de central	Nombre en documentos de licitación	Factor de planta 2012-2019	Generación media anual total (GWh)	Capacidad existente (MW)	Adición de capacidad (MW)	Unidades	Unidades nuevas	Información importante reportada
Hilo de agua	Mazatepec	27.72%	640	220	24	4(55)	4(61)	
Embalse	Peñitas			420	4	4 (???)		Cambio de generadores
Embalse	Ing. Fernando Hiriart Balderrama (Zimapan)			292	2	2(146)		Cambio de generadores
	Total		11,257	5,122	248			

Fuente: elaboración propia con datos de (CFE, 2022), (CFE, 2021b)

Para el análisis de la información se realizaron los siguientes cálculos:

Nueva Capacidad (MW) = Capacidad existente (MW) + Adición de capacidad (MW)

Horas totales de un año = 365*24 (h) = 8,760 h

FP = Capacidad existentes (MW) * Horas totales de un año (h)/1,000

Factor planta estimado= Generación media anual total (GWh)/ FP

Generación con capacidad existente (GWh) = Capacidad existente (MW) * Horas totales de un año * Factor planta estimado * (1/1000)

Nueva Generación (GWh) = Nueva Capacidad (MW) * Horas totales de un año * Factor planta estimado * (1/1000)

Diferencia = Nueva Generación (GWh) - Generación con capacidad existente (GWh)

Los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 2. Resultados del análisis de información documentos licitación.

Nombre de la central	Nueva Capacidad (MW)	FP=100%	1 año Factor planta estimado	8,760 Generación con capacidad existente (GWh)	h Nueva Generación (GWh)	Diferencia
Angostura (Belisario Domínguez)	1,000	7,884	28%	2,185	2,428	243
Caracol (Carlos Ramírez Ulloa)	600			0	0	0

Reducción de emisiones asociadas al programa de modernización y rehabilitación de centrales hidroeléctricas en México

Nombre de la central	Nueva Capacidad (MW)	FP=100%	1 año	8,760	h	Diferencia
			Factor planta estimado	Generación con capacidad existente (GWh)	Nueva Generación (GWh)	
Humaya	90			0	0	0
Infiernillo	1,222	10,512	32%	3,409	3,471	62
Villita (José María Morelos)	344	2,803	49%	1,381	1,485	104
Malpaso	1,152	9,461	38%	3,642	3,885	243
Mazatepec	244	1,927	33%	640	710	70
Peñitas	424	3,679		0	0	0
Zimapán (Fernando Hiriart Balderrama)	294	0		0	0	0
	5,370			11,257	11,978	721

Fuente: elaboración propia con datos de (CFE, 2022), (CFE, 2021b)

Datos de Fichas SEMARNAT

Tabla 3. Información proporcionada por SEMARNAT.

Nombre de la Hidroeléctrica	Año de la puesta en servicio (2.)	Antigüedad	¿adiciona capacidad?	Capacidad adicionada (MW)	Factor de planta	Generación media anual (GWh)	Cap. Anterior (MW)	Cap. Nueva (MW)	Incremento en capacidad (MW)
Central Hidroeléctrica Belisario Domínguez (Angostura). RM Angostura	1975	44	Si	20	27.72%	2,185	900	1,000	100
Caracol. Repotenciación CH Caracol	1985								
Humaya. Mantenimiento CH Humaya									
Infiernillo. Mejora de eficiencia Infiernillo	1964		No	(1.)					22
La Villita. Repotenciación CH La Villita		47							24
Central Hidroeléctrica Malpaso. RM Malpaso	1969	51	Sí		32.17%	3642.17	1,080	1,152	72

Reducción de emisiones asociadas al programa de modernización y rehabilitación de centrales hidroelectricidad en México

Nombre de la Hidroeléctrica	Año de la puesta en servicio (2.)	Antigüedad	¿adiciona capacidad?	Capacidad adicionada (MW)	Factor de planta	Generación media anual (GWh)	Cap. Anterior (MW)	Cap. Nueva (MW)	Incremento en capacidad (MW)
Central Hidroeléctrica Mazatepec. RM Mazatepec	1962	57	Sí		27.72%	640	220	244	24
Peñitas. (Central Hidroeléctrica Ángel Albino Corzo.). RM Peñitas									
Zimapán. Repotenciación CH Zimapán									
Central Hidroeléctrica Encanto	1951	70	Sí	6	71.95%	63.0	10	12	2
Central Hidroeléctrica MINAS	1951	70		.	68.19%	89.607	15	18	3
Portezuelo I			No especifica						
Portezuelo II			No especifica						
TOTAL							2,225	2,426	247

Notas: (1.) El cumplimiento del valor de potencia de 200 MW, medidos en las terminales del generador; (2.) Documentos licitación

Fuente: elaboración propia con datos de SEMARNAT (2022) y (CFE, 2022)

Capacidad y generación de acuerdo con los PRODESEN

Tabla 4. Capacidad instalada en el SEN de 2014-a 2021

	Fuente:	PRODESEN 2015	PRODESEN 2016	PRODESEN 2017	PRODESEN 2018	PRODESEN 2019	PRODESEN 2020 PRODESEN 2021	PRODESEN 2020 PRODESEN 2021 PRODESEN 2022	PRODESEN 2020	PRODESEN 2021	PRODESEN 2021	PRODESEN 2022	PRODESEN 2022
	Año	2014	2015	2016	2017	2018	2018	2019	2020	2020	2021	2020	2021
	Unidades	(MW)											
Energía Convencional (Combustibles Fósiles)	Ciclo combinado	23,456	24,043	27,274	28,084	28,391	27,393	30,402	35,030	31,948	35,060	31,948	33,640
	Termoeléctrica convencional	12,657	12,711	12,594	12,546	12,546	12,315	11,831	11,831	11,809	11,809	11,809	11,793
	Lecho fluidizado	580	580	580	580	580							
	Turbogas	4,214	4,904	5,052	5,136	5,136	2,960	2,960	2,960	3,545	3,781	3,545	3,744
	Combustión interna	1,152	1,163	1,453	1,634	1,770	880	891	891	850	734	850	701
	Carboeléctrica	5,378	5,378	5,378	5,378	5,378	5,463	5,463	5,463	5,463	5,463	5,463	5,463
Energías Limpias	Hidroeléctrica	12,458	12,489	12,589	12,642	12,642	12,612	12,612	12,614	12,612	12,614	12,612	12,614
	Geotermia	813	884	909	926	926	899	899	951	951	976	951	976
	Eólica	2,036	2,805	3,735	4,199	5,141	4,866	6,050	7,076	6,504	7,691	6,504	6,977
	Solar	56	56	145	214	1,530	1,878	3,646	6,065	5,149	7,026	5,149	5,955
	Bioenergía	685	760	889	1,007	1,102	375	375	408	378	408	378	378
	FIRCO	0.3	13	14	40	40							
	Generación Distribuida		118	248	434	474							
	Frenos Regenerativos	7.0	7.0	6.6	6.6	6.6							
	Nucleoeléctrica	1,400	1,510	1,608	1,608	1,608	1,608	1,608	1,608	1,608	1,608	1,608	1,608
Cogeneración eficiente	559	583	1,036	1,251	1,592	1,709	1,710	2,106	2,305	2,309	2,305	2,305	

Reducción de emisiones asociadas al programa de modernización y rehabilitación de centrales hidroelectricidad en México

	Fuente:	PRODESEN 2015	PRODESEN 2016	PRODESEN 2017	PRODESEN 2018	PRODESEN 2019	PRODESEN 2020 PRODESEN 2021	PRODESEN 2020 PRODESEN 2021 PRODESEN 2022	PRODESEN 2020	PRODESEN 2021	PRODESEN 2021	PRODESEN 2022	PRODESEN 2022
	Año	2014	2015	2016	2017	2018	2018	2019	2020	2020	2021	2020	2021
	Unidades	(MW)											
Porcentajes	Convencional	47,437	48,779	52,331	53,358	53,801	49,011	51,547	56,175	53,615	56,847	53,615	55,341
	Limpia	18,014	19,225	21,180	22,328	25,062	23,947	26,900	30,828	29,507	32,632	29,507	30,813
	Limpia Renovable	16,048	17,125	18,529	19,462	21,855	20,630	23,582	27,114	25,594	28,715	25,594	26,900
	Limpia No Renovable	1,959	2,093	2,644	2,859	3,200	3,317	3,318	3,714	3,913	3,917	3,913	3,913
	Total	65,451	68,004	73,511	75,686	78,863	72,958	78,447	87,003	83,122	89,479	83,122	86,154
	Porcentaje Convencional	72.5%	71.7%	71.2%	70.5%	68.2%	67.2%	65.7%	64.6%	64.5%	63.5%	64.5%	64.2%
	Porcentaje Limpia	27.5%	28.3%	28.8%	29.5%	31.8%	32.8%	34.3%	35.4%	35.5%	36.5%	35.5%	35.8%

Fuente: Elaboración propia con datos de SENER (2014) a SENER (2021)

Tabla 5. Generación (bruta o neta) reportada en el SEN de 2014-a 2021

Tipo:	Bruta	Bruta	Bruta	Bruta	Bruta	Bruta	Neta								
Fuente:	PRODESEN 2015	PRODESEN 2016	PRODESEN 2017	PRODESEN 2018	CRE	PRODESEN 2019	PRODESEN 2020	PRODESEN 2021	PRODESEN 2020	PRODESEN 2022	PRODESEN 2020	PRODESEN 2021	PRODESEN 2021	PRODESEN 2022	
Año	2014	2015	2016	2017	2018	2018	2018	2018	2019	2019	2020	2020	2021	2020	
Generación Convencional	(GWh)														
Ciclo combinado	149,490	155,185	160,378	165,245	164,051	161,973	161,693	161,693	171,811	175,506	153,636	180,864	54,400	185,637.84	186,715.14
Termoeléctrica convencional	37,219	39,232	40,343	42,780	43,656	41,730	39,345	39,345	38,020	38,020	19,178	22,405	7,602	22,405.49	22,196.16
Turbogas	9,126	11,648	12,600	12,849	15,944	8,565	7,815	7,815	9,090	10,904	5,579	7,147	3,447	8,663.92	11,149.51
Combustión interna	2,308	2,651	2,651	4,006	4,016	2,127	2,138	2,138	2,719	3,187	2,142	2,418	462	2,841	2,120.55
Carboeléctrica	33,613	33,599	34,208	30,557	28,880	29,345	27,347	28,665	21,611	21,611	10,742	12,525	3,340	12,525	8,704.11

Reducción de emisiones asociadas al programa de modernización y rehabilitación de centrales hidroelectricidad en México

Tipo:	Bruta	Bruta	Bruta	Bruta	Bruta	Bruta	Neta								
Fuente:	PRODESEN 2015	PRODESEN 2016	PRODESEN 2017	PRODESEN 2018	CRE	PRODESEN 2019	PRODESEN 2020	PRODESEN 2021	PRODESEN 2020	PRODESEN 2022	PRODESEN 2020	PRODESEN 2021	PRODESEN 2021	PRODESEN 2022	PRODESEN 2022
Año	2014	2015	2016	2017	2018	2018	2018	2018	2019	2019	2020	2020	2021	2020	2021
Lecho fluidizado	4,347	4,286	3,826	4,329	4,093										
Generación Limpia	(GWh)														
Hidroeléctrica	38,893	30,892	30,909	31,848	32,526	32,436	32,234	32,234	23,602	23,602.0	23,184	26,817	8,827	26,817.01	34,717.16
Geotermia	6,000	6,331	6,148	6,041	5,375	5,375	5,065	5,065	5,061	5,060.66	3,881	4,575	1,434	4,574.61	4,242.90
Eólica	6,426	8,745	10,463	10,620	12,877	12,434	12,435	12,435	16,727	16,726.91	15,549	19,702	7,600	19,702.89	21,074.87
Solar	85	78	160	344	1,363	2,175	2,176	2,176	8,394	8,393.66	11,360	13,528	5,610	13,527.68	17,068.97
Bioenergía	1,387	1,369	1,471	1,884	1,958	599	600	600	669	1,866.49	480	600	353	2,206.51	1,595.58
FIRCO	0.4	161	92.1	842						1,476.32				2,303.56	3,110.32
Generación Distribuida										4.37				4.37	15.62
Frenos Regenerativos	0.0	4.0	4.0	4.0	4					3.6				3.6	3.6
Nucleoeléctrica	9,677	11,577	10,567	10,883	13,675	13,555	13,200	13,200	10,881	10,881	9,604	10,864	3,250	10,864	11,606
Cogeneración eficiente	2,892	3,795	5,053	6,932	9,034	6,964	6,636	6,636	9,237	3,378	8,710	10,903	2,772	4,295	3,416
Importación					4,062.7										
Convencional	236,103	246,601	254,006	259,766	260,640	243,740	238,338	239,656	243,251	250,101	191,277	225,359	69,251	232,969	231,748
Limpia	65,360	62,952	64,867	69,398	76,812	73,538	72,346	72,346	74,571	71,393	72,768	86,989	29,846	84,300	96,850
Renovable	52,791	47,580	49,247	51,583	54,103	53,019	52,510	52,510	54,453	57,130	54,454	65,222	23,824	69,137	81,825
No Renovable	12,569	15,372	15,620	17,815	22,709	20,519	19,836	19,836	20,118	14,263	18,314	21,767	6,022	15,163	15,025
Generación (GWh) Total	301,463	309,553	318,873	329,164	337,452	317,278	310,684	312,002	317,822	321,494	264,045	312,348	99,097	317,269	328,598
% Convencional	78.3%	79.7%	79.7%	78.9%	77.2%	76.8%	76.7%	76.8%	76.5%	77.8%	72.4%	72.1%	69.9%	73.4%	70.5%
% Limpia	21.7%	20.3%	20.3%	21.1%	22.8%	23.2%	23.3%	23.2%	23.5%	22.2%	27.6%	27.9%	30.1%	26.6%	29.5%

Fuente: Elaboración propia con datos de SENER (2014) a SENER (2021)

Capacidad Efectiva por tecnología y Generación Bruta de CFE y PIE's por tecnología

Se recopiló la información del Sistema de Información Energética (SIE)⁹ de SENER respecto de la Capacidad en MW y para la Generación en MWh, de CFE y de los Productores Independientes de Energía (PIE's) en el SEN (centrales limpias y convencionales) para el periodo de 2002 a 2020. A continuación, se muestra un extracto de los datos para el periodo de 2010 a 2020.

Tabla 6. Generación CFE y PIE's reportada en el SIE de SENER de 2010-a 2020

Año	I/2010	I/2011	I/2012	I/2013	I/2014	I/2015	I/2016	I/2017	I/2018	I/2019	I/2020
Unidades	(MWh)										
Total	241,490,895	257,883,545	260,497,832	257,860,107	258,255,774	261,066,828	263,152,828	257,416,682	258,684,792	250,394,572	224,573,500
Termoeléctrica	160,025,506	171,580,248	178,890,729	179,091,285	168,731,530	177,148,878	180,732,357	177,792,629	177,839,949	186,563,625	167,756,154
Vapor	40,569,622	47,868,928	53,917,756	47,166,777	33,480,817	35,673,222	36,834,000	41,547,155	37,963,924	36,278,865	19,969,171
Ciclo combinado	114,817,553	118,454,542	117,606,004	126,583,376	130,907,363	134,486,622	136,123,691	128,407,415	131,077,788	140,143,435	140,662,917
CFE	36,375,561	34,448,790	37,431,017	43,114,953	47,057,366	47,513,325	49,962,822	44,259,217	46,315,216	48,397,526	43,488,954
PIE 1	78,441,992	84,005,751	80,174,988	83,468,423	83,849,997	86,973,296	86,160,869	84,148,198	84,762,573	91,745,909	97,173,963
Turbogas	3,396,012	4,125,470	6,216,616	3,842,145	2,877,626	5,281,092	5,893,068	5,990,095	6,852,144	8,463,654	5,399,172
Combustión interna	1,242,319	1,131,308	1,150,353	1,498,988	1,465,724	1,707,942	1,881,598	1,847,964	1,946,093	1,677,672	1,724,893
Dual	15,577,758	15,395,879	16,233,964	15,583,718	16,166,990	3,475,167	0	0	0	0	0
Carboeléctrica	16,485,076	18,158,431	17,724,103	16,044,400	17,445,927	30,124,021	34,208,205	30,751,593	29,345,046	23,233,223	13,472,065
Geo termoeléctrica	6,618,460	6,506,614	5,816,642	6,069,717	5,999,651	6,291,154	6,032,801	5,924,537	5,248,378	5,244,908	4,718,228
Nucleoeléctrica	5,879,241	10,089,195	8,769,599	11,799,870	9,677,208	11,577,138	10,567,174	10,882,862	13,554,877	11,189,830	11,177,935
Eólica	166,392	357,283	1,744,144	1,813,890	2,077,000	2,386,946	2,461,542	1,976,434	2,141,743	1,916,029	1,900,048
CFE	166,392	105,681	187,956	189,611	212,649	202,924	187,041	104,784	121,716	73,369	63,731
PIE 1	0	251,602	1,556,188	1,624,278	1,864,351	2,184,022	2,274,501	1,871,650	2,020,026	1,842,661	1,836,317
Hidroeléctrica	36,738,462	35,795,896	31,316,574	27,444,133	38,144,774	30,050,768	29,138,396	30,077,738	30,544,539	22,237,001	25,539,849
Fotovoltaica	0	0	2,076	13,094	12,694	12,757	12,353	10,888	10,261	9,956	9,222

Fuente: Elaboración propia con datos de SIE SENER (2022)

⁹ Ver: <https://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=temas>

Tabla 7. Capacidad instalada CFE y PIE´s reportada en el SIE de SENER de 2010-a 2020

Año	1/2010	1/2011	1/2012	1/2013	1/2014	1/2015	1/2016	1/2017	1/2018	1/2019	1/2020	1/2021
Unidades	(MW)											
Total	630,248	627,224	628,221	632,819	648,598	660,088	661,466	510,211	N/D	N/D	N/D	N/D
Termoeléctrica	400,610	396,867	391,979	396,278	405,326	412,035	413,576	269,503	N/D	N/D	N/D	N/D
Vapor	154,483	149,601	143,008	140,383	136,783	136,783	136,549	135,379	N/D	N/D	N/D	N/D
Ciclo combinado	213,117	216,309	216,351	224,519	238,576	238,925	240,353	98,283	N/D	N/D	N/D	N/D
CFE	73,385	73,427	73,469	81,203	90,497	90,846	92,274	98,283	N/D	N/D	N/D	N/D
PIE ¹	139,733	142,883	142,883	143,316	148,079	148,079	148,079	0	N/D	N/D	N/D	N/D
Turbogas	30,441	28,393	30,006	28,302	26,601	32,642	32,865	31,566	N/D	N/D	N/D	N/D
Combustión interna	2,569	2,563	2,613	3,074	3,366	3,685	3,809	4,275	N/D	N/D	N/D	N/D
Dual	31,984	33,340	33,340	33,340	33,340	8,335	0	0	N/D	N/D	N/D	N/D
Carboeléctrica	31,200	31,200	31,200	31,200	31,200	56,205	64,540	64,540	N/D	N/D	N/D	N/D
Nucleoeléctrica	16,379	16,379	19,075	16,800	16,800	18,120	19,296	19,296	N/D	N/D	N/D	N/D
Geotérmica	11,574	10,639	9,889	9,881	9,761	10,256	10,483	10,483	N/D	N/D	N/D	N/D
Eólica	1,023	1,032	5,124	7,168	7,170	7,880	8,390	1,036	N/D	N/D	N/D	N/D
CFE	1,023	1,032	1,041	1,038	1,040	1,036	1,036	1,036	N/D	N/D	N/D	N/D
PIE ¹	0	0	4,083	6,130	6,130	6,844	7,354	0	N/D	N/D	N/D	N/D
Hidroeléctrica	137,479	137,767	137,609	138,105	144,929	147,185	145,108	145,281	N/D	N/D	N/D	N/D
Fotovoltaica	N/D	N/D	6	47	72	72	72	72	N/D	N/D	N/D	N/D

Fuente: Elaboración propia con datos de SIE SENER (2022)

Adiciones de capacidad del PIIRCE

Tabla 8. Adiciones de Capacidad para el periodo de 2019-a 2030 del PIIRCE

Nombre	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	Total general
Amata	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15
Amp. Cecilio Del Valle	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	7
Amuchiltite	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	8
Angostura	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	10
Aprovechamiento Cutzamala	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3
Central Hidroeléctrica Solís	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15
Cerro de Oro Presa	0	0	0	0	15	15	0	0	0	0	0	0	30
Complemento Novillo U1+U2+U3	0	0	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0	15
Equipamiento Josefa Ortiz De Domínguez	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	10
Eustaquí Buelna	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	15
Francisco Zarco	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	10
Juan Sabines	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	10
Las Adjuntas	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	15
Luis L. León (El Granero)	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	30
Optimización	0	719	854	712	151	0	2,436						
Presa Picachos Presa CONAGUA	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	15
RM Angostura U1+U2+Us 3y 4 y U5	0	0	20	20	40	20	0	0	0	0	0	0	100
RM Camilo Arriaga U1 + U2	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2
RM Colina	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
RM Comedero U1+U2	0	0	0	8	8	0	0	0	0	0	0	0	16
RM Electroquímica	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
RM Malapaso U1+U2+U6+U5+3 y 4	0	0	12	12	24	12	12	0	0	0	0	0	72
RM Mazantepec U1+U2+U3+U4	0	0	6	6	6	6	0	0	0	0	0	0	24
RM Micos	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
RM Minas	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
RM Mocuzari	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
RM Oviachic U1+U2	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	4
RM Platanal	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3

Reducción de emisiones asociadas al programa de modernización y rehabilitación de centrales hidroelectricidad en México

Nombre	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	Total general
RM Portezuelos I y II (1898) U2+U1	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	4
RM Sanaloa U1+U2	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	4
RM Zimapán U1+U2	0	0	0	11	11	0	0	0	0	0	0	0	22
Rosetilla	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3
U-3 La Amistad	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	12
Vicente Guerrero	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	10
Total anual PIIRCE (mismo cálculo que enero 2022)	15	0	60	116	204	82	12	719	854	712	151	0	2,925
(-) Presas del Plan Integral de Hidroeléctricas	0	0	40	51	81	39	12	0	0	0	0	0	223
NUEVO total anual (recálculo 25 abril 2022)	15	0	20	65	123	43	0	719	854	712	151	0	2,702

Fuente: Elaboración propia con datos de SENER (2022) del PRODESEN (2019)

TABLA 7.5 RESUMEN DEL PROGRAMA INDICATIVO PARA LA INSTALACIÓN DE CENTRALES ELÉCTRICAS POR AÑO Y TECNOLOGÍA DE GENERACIÓN 2019 – 2033 (MW)

Tecnología	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	Total
Ciclo Combinado	5,168	4,038	500	2,497	2,325		956		950	1,758	1,771	2,386	2,205	2,243	2,498	29,294
Turbogás	189	550	200	200											48	1,187
Combustión Interna	44	8			42	44		44	44		44	44		44		357
Hidroeléctrica	15		60	114	203	82	12	719	854	712	151					2,922
Carboeléctrica	129															129
Cogeneración eficiente	380	320				870	812									2,382
Eoloeléctrica	2,051	2,277	887	520	175	1,276	100	250	202	586	975	1,193	779	990	1,028	13,288
Fotovoltaica	4,573	3,430	522		562	790	750	678	594	870	1,443	1,235	1,740	1,740	1,713	20,641
Geotérmica	52				25											77
Bioenergía	37															37
Total:	12,637	10,623	2,169	3,331	3,332	3,061	2,630	1,691	2,644	3,926	4,383	4,858	4,724	5,017	5,286	70,313
Energía Limpia:	7,108	6,027	1,469	634	965	3,017	1,674	1,647	1,650	2,168	2,569	2,428	2,519	2,730	2,741	39,346

Ver: <https://www.gob.mx/sener/articulos/prodesen-2019-2033-221654?tab=>

Reducción de emisiones asociadas al programa de modernización y rehabilitación de centrales hidroelectricidad en México

Factores de emisión de la red

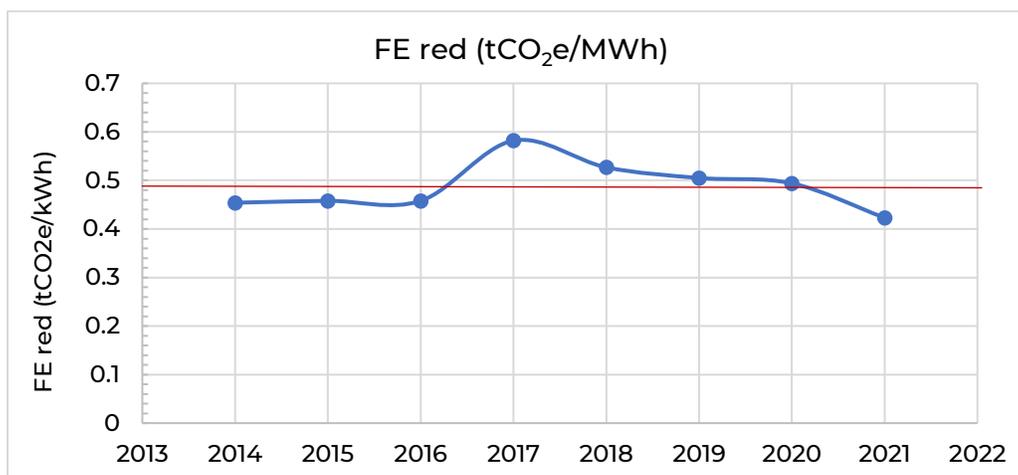
Se recopilaron los factores de emisión de la red (FE_R) publicados por SEMARNAT¹⁰ en el marco del RENE que se empezaron a publicar en 2014. Se recopilaron los publicados de 2014 a 2021.

Tabla 9. Factores de Emisión eléctricos FE_R en el periodo 2014-2021, su promedio y DS.

Año	2014	2015	2016	2017	Promedio	DS
	(tCO _{2e} /MWh)					
FE red	0.454	0.458	0.458	0.582		
Año	2018	2019	2020	2021		
FE red	0.527	0.505	0.494	0.423	0.487625	0.05051432

Fuente: Elaboración propia con datos de (SEMARNAT-RENE, 2014-2021))

Figura 1. Factores de Emisión eléctricos FE_R en el periodo 2014-2021



Fuente: Elaboración propia con datos de (SEMARNAT-RENE, 2014-2021)

Factor de planta

Para el factor de planta se siguió una doble estrategia, por una parte, se recopiló esta información por ejemplo de CFE, a partir de los documentos de las licitaciones públicas y por otra parte a partir de datos de capacidad y generación

¹⁰ Ver: <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/registro-nacional-de-emisiones-rene>

Reducción de emisiones asociadas al programa de modernización y rehabilitación de centrales hidroeléctricas en México

publicados para esta tecnología se realizaron estimaciones de factores de planta “teóricos” anuales, esto se realizó así debido a las diferencias identificadas para los factores de planta de las centrales de distintas fuentes de información, esto se observa en las siguientes tablas y figuras.

Tabla 10. Factores de Planta Hidroeléctricas consideradas.

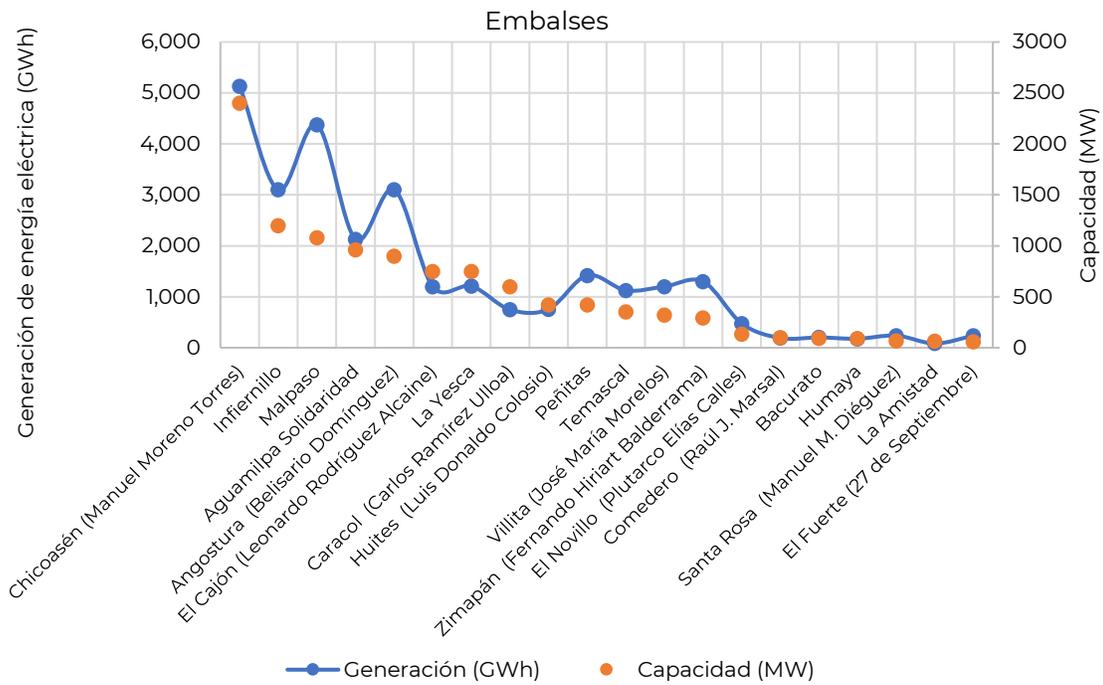
Embalse o filo de agua	Central hidroeléctrica	Municipio	Estado	Cuenca o río	UCEI/	Capacidad (MW)	Generación (GWh)	Factor de planta (%)
Embalse	Chicoasén (Manuel Moreno Torres)	Chicoasén	Chiapas	Grijalva	8	2400	5134	24%
	Infiernillo	La Unión	Guerrero	Balsas	6	1200	3100	30%
	Malpaso	Tecpatán	Chiapas	Grijalva	6	1080	4375	46%
	Aguamilpa Solidaridad	Tepic	Nayarit	Santiago	3	960	2131	25%
	Angostura (Belisario Domínguez)	V. Carranza	Chiapas	Grijalva	5	900	3104	39%
	El Cajón (Leonardo Rodríguez Alcaine)	Santa María del Oro	Nayarit	Santiago	2	750	1200	18%
	La Yesca	Hostotipaquillo	Jalisco	Santiago	2	750	1210	18%
	Caracol (Carlos Ramírez Ulloa)	Apaxtla	Guerrero	Balsas	3	600	747	14%
	Huites (Luis Donaldo Colosio)	Choix	Sinaloa	El Fuerte	2	422	758	21%
	Peñitas	Ostuacán	Chiapas	Grijalva	4	420	1420	39%
	Temascal	San Miguel	Oaxaca	Papaloapan	6	354	1126	36%
	Villita (José María Morelos)	Lázaro Cárdenas	Mich.	Balsas	4	320	1200	43%
	Zimapán (Fernando Hiriart Balderrama)	Zimapán	Hidalgo	Moctezuma	2	292	1300	51%
	El Novillo (Plutarco Elías Calles)	Soyopa	Sonora	Yaqui	3	135	476	40%
	Comedero (Raúl J. Marsal)	Cosalá	Sinaloa	San Lorenzo	2	100	191	22%
	Bacurato	Sinaloa de Leyva	Sinaloa	Sinaloa	2	92	203	25%
	Humaya	Badiraguato	Sinaloa	Humaya	2	90	177	23%
	Santa Rosa (Manuel M. Diéguez)	Amatitán	Jalisco	Santiago	2	70	239	39%
La Amistad	Acuña	Coahuila	Bravo	2	66	84	15%	
El Fuerte (27 de septiembre)	El Fuerte	Sinaloa	El Fuerte	3	59	235	45%	
Hilo de agua	Agua Prieta (Valentín Gómez Farías)	Zapopan	Jalisco	Santiago	2	240	224	11%
	Mazatepec	Tlatlauquitepec	Puebla	Tecolutla	4	220	615	32%
	Cupatitzio	Uruapan	Mich.	Cupatitzio	2	80	380	54%
	Cócano	G. Zamora	Mich.	Atuto	2	60	274	52%

Reducción de emisiones asociadas al programa de modernización y rehabilitación de centrales hidroeléctricas en México

Embalse o filo de agua	Central hidroeléctrica	Municipio	Estado	Cuenca o río	UCEI/	Capacidad (MW)	Generación (GWh)	Factor de planta (%)
	Colimilla	Tonalá	Jalisco	Santiago	4	51	48	11%
	Nota: En amarillo las centrales consideradas en la licitación		Promedio de todas					31%
		Promedio incluidas						35%

Fuente: Elaboración propia con datos de (CEMIE-Hidro, 2017), (SINA-CONAGUA, 2022)

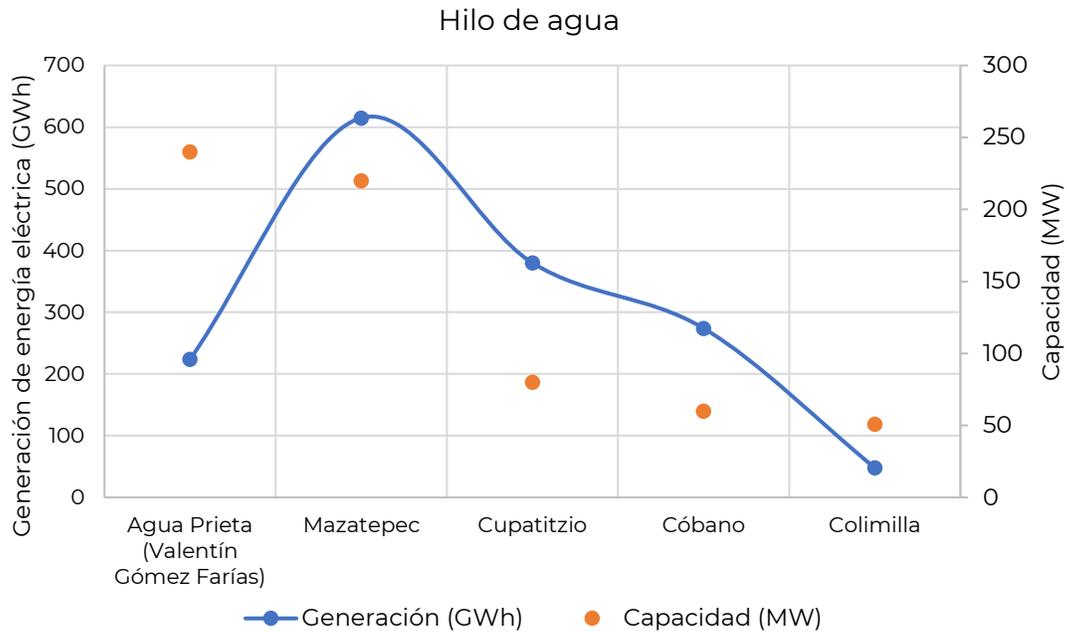
Figura 2. Factores de planta de hidroeléctricas (embalses)



Fuente: Elaboración propia con datos de (CEMIE-Hidro, 2017), (SINA-CONAGUA, 2022)

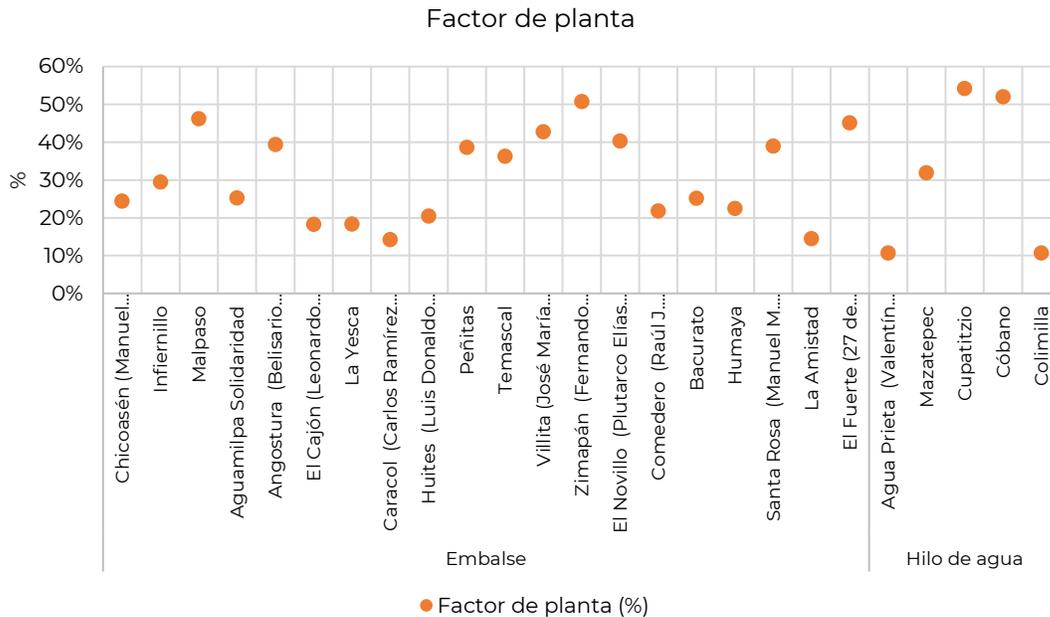
Reducción de emisiones asociadas al programa de modernización y rehabilitación de centrales hidroeléctricas en México

Figura 3. Factores de planta de hidroeléctricas (hilo del agua)



Fuente: Elaboración propia con datos de (CEMIE-Hidro, 2017), (SINA-CONAGUA, 2022)

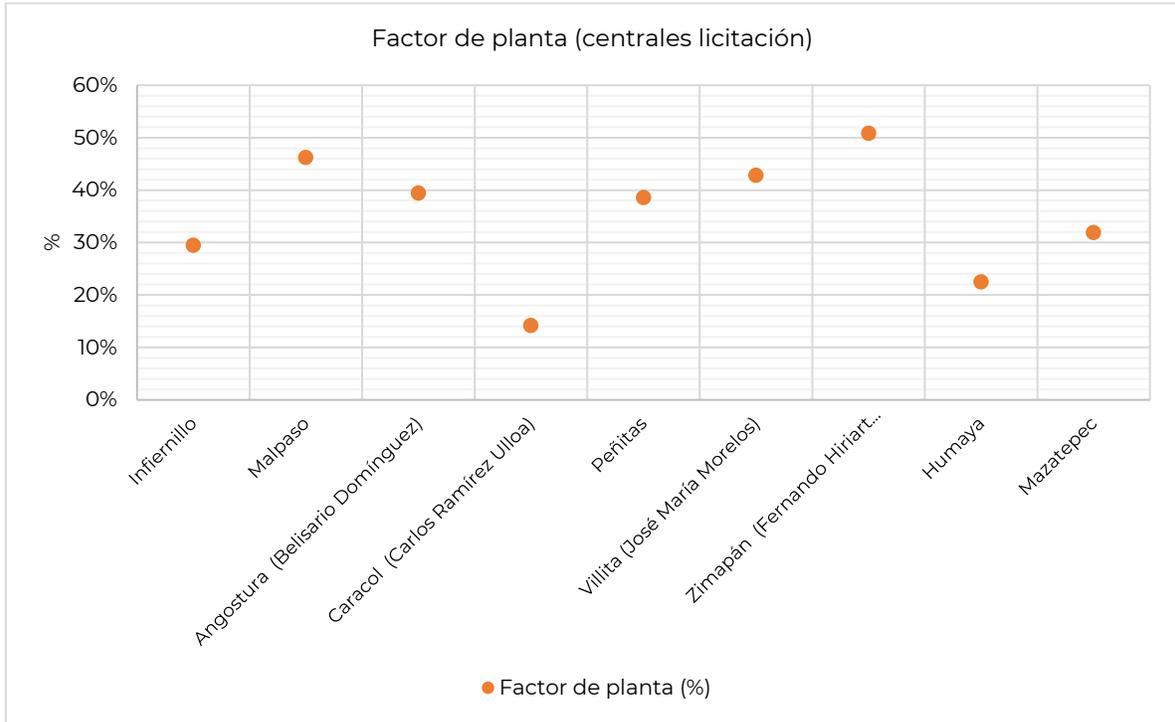
Figura 4. Factores de planta de hidroeléctricas (embalses e hilo del agua)



Fuente: Elaboración propia con datos de (CEMIE-Hidro, 2017), (SINA-CONAGUA, 2022)

Reducción de emisiones asociadas al programa de modernización y rehabilitación de centrales hidroeléctricas en México

Figura 5. Factores de planta de hidroeléctricas (en licitaciones)



Fuente: Elaboración propia con datos de (CEMIE-Hidro, 2017), (SINA-CONAGUA, 2022)

Información de permisos de la CRE

Tabla 11. Información de permisos de la CRE y su análisis.

Nombre de la central	Puesta en servicio	Año de puesta en servicio	Años operando	Configuración actual	Configuración nueva	Capacidad anterior (MW) (producción estimada anual de energía eléctrica en GWh)	Capacidad nueva (MW)	Incremento en capacidad (MW)	Capacidad anterior (MW)	Generación estimada anual de energía eléctrica (GWh)	Horas de operación implícitas	Factor de planta implícito	Nueva Capacidad (MW)	Generación estimada con mismo factor de planta que del permiso	Diferencia en generación
Infiernillo (E/1631/GEN/2015)	jueves, 19 de noviembre de 1964	1964	58	Unidad 1. 200 MW Unidad 2. 200 MW Unidad 3. 200 MW Unidad 4. 200 MW Unidad 5. 200 MW Unidad 6. 200 MW	<i>sin información</i>	1,200 (3,100 GWh)	1,222	22	1,200	3,100	2,583	29%	1,222	3,157	57
La Villita (E/1612/GEN/2015)	miércoles, 10 de enero de 1973	1973	49	Unidad 1. 80 MW Unidad 2. 80 MW Unidad 3. 80 MW Unidad 4. 80 MW	<i>sin información</i>	320(1,200 GWh)	344	24	320	1,200	3,750	43%	344	1,290	90
Malpaso (E/1632/GEN/2015)	domingo, 26 de enero de 1969	1969	53	Unidad 1. 180 MW Unidad 2. 180 MW Unidad 3. 180 MW Unidad 4. 180 MW Unidad 5. 180 MW Unidad 6. 180 MW	Unidad 1. 192 MW Unidad 2. 192 MW Unidad 3. 192 MW Unidad 4. 192 MW Unidad 5. 192 MW Unidad 6. 192 MW	1,080 (4,374.82 GWh)	1,152	72	1,080	4,375	4,051	46%	1,152	4,666	292

Reducción de emisiones asociadas al programa de modernización y rehabilitación de centrales hidroelectricidad en
México

Nombre de la central	Puesta en servicio	Año de puesta en servicio	Años operando	Configuración actual	Configuración nueva	Capacidad anterior (MW) (producción estimada anual de energía eléctrica en GWh)	Capacidad nueva (MW)	Incremento en capacidad (MW)	Capacidad anterior (MW)	Generación estimada anual de energía eléctrica (GWh)	Horas de operación implícitas	Factor de planta implícito	Nueva Capacidad (MW)	Generación estimada con mismo factor de planta que del permiso	Diferencia en generación
Mazatepec (E/1615/GEN/2015)	martes, 18 de septiembre de 1962	1962	60	Unidad 1. 55 MW Unidad 2. 55 MW Unidad 3. 55 MW Unidad 4. 55 MW	Unidad 1. 61 MW Unidad 2. 61 MW Unidad 3. 61 MW Unidad 4. 61 MW	220	244	24	220	615	2,795	32%	244	682	67
Encanto (E/1590/GEN/2015)	viernes, 19 de octubre de 1951	1951	71	Unidad 1. 5 MW Unidad 2. 5 MW Unidad 3. -----	Unidad 1. --- - MW Unidad 2. 6 MW Unidad 3. 6MW	10 (55 GWh)	12	2	10	55	5,500	63%	12	66	11
Minas (E/1597/GEN/2015)	8 de marzo 1951	1951	71	Unidad 1. 5 MW Unidad 2. 5 MW Unidad 3. 5 MW	Unidad 1. 6 MW Unidad 2. 6 MW Unidad 3. 6MW	15 (80 GWh)	18	3	15	80	5,333	61%	18	96	16
Angostura (E/1629/GEN/2015)	domingo, 2 de noviembre de 1975	1975	47	Unidad 1. 180 MW Unidad 2. 180 MW Unidad 3. 180 MW Unidad 4. 180 MW Unidad 5. 180 MW	Unidad 1. 200 MW Unidad 2. 200 MW Unidad 3. 200 MW Unidad 4. 200 MW Unidad 5. 200 MW	900 (3,104.087 GWh)	1,000	100	900	3,104	3,449	39%	1,000	3,449	345
Capacidad total						3,745 MW	3,992	247	3,745.00	12,528.907	27,462		3,992	13,406.4	877
Producción estimada anual de energía eléctrica						12,528.907 GWh	<i>sin información</i>	<i>sin información</i>	<i>sin información</i>						
Porterzuelo (E/1567/GEN/2015)	05/04/1898	1898	124	Unidad 1. 0.6 MW Unidad 2. 0.6 MW	no se reporta incremento de capacidad	2.8 (13.73 GWh)	2.8		2.8	13.73	4,904	56%			

Reducción de emisiones asociadas al programa de modernización y rehabilitación de centrales hidroelectricidad en México

Nombre de la central	Puesta en servicio	Año de puesta en servicio	Años operando	Configuración actual	Configuración nueva	Capacidad anterior (MW) (producción estimada anual de energía eléctrica en GWh)	Capacidad nueva (MW)	Incremento en capacidad (MW)	Capacidad anterior (MW)	Generación estimada anual de energía eléctrica (GWh)	Horas de operación implícitas	Factor de planta implícito	Nueva Capacidad (MW)	Generación estimada con mismo factor de planta que del permiso	Diferencia en generación
				Unidad 3. 0.8 MW Unidad 4. 0.8 MW											
Portezuelo II (E/1568/GEN/2015)	viernes, 15 de mayo de 1908	1908	114	Unidad 1. 1.06 MW Unidad 2. 1.06 MW	no se reporta incremento de capacidad	2.12 (5.97GWh)	2.12		2.12	5.97	2,816	32%			
Peñitas (E/1628/GEN/2015)	sábado, 24 de enero de 1987	1987	35	Unidad 1. 1.05 MW Unidad 2. 1.05 MW Unidad 3. 1.05 MW Unidad 4. 1.05 MW	no se reporta incremento de capacidad	420 (1,420 GWh)	420		420	1,420	3,381	39%			
Zimapán (E/1606/GEN/2015)	viernes, 27 de septiembre de 1996	1996	26	Unidad 1. 1.146 MW Unidad 2. 1.146 MW	no se reporta incremento de capacidad	292 (1,300 GWh)	292		292	1,300	4,452	51%			
Caracol (E/1605/GEN/2015)	martes, 16 de diciembre de 1986	1986	36	Unidad 1. 2.00 MW Unidad 2. 2.00 MW Unidad 3. 2.00 MW	no se reporta incremento de capacidad	600 (747.25 GWh)	600		600	747.25	1,245	14%			
Humaya (E/1620/GEN/2015)	jueves, 27 de noviembre de 1975	1975	47	Unidad 1. 45 MW Unidad 2. 45 MW	no se reporta incremento de capacidad	(177 GWh)	90		90	177	1,967	22%			
				Capacidad total		1,406.92 MW	1,406.92		1,406.92	3,663.95	18,765				

Fuente: Elaboración propia con datos de CRE (2022), consulta en <https://www.cre.gob.mx/Permisos/index.html>

METODOLOGÍA

La metodología considera la estimación de un escenario de línea base para las hidroeléctricas como centrales de energía renovable existentes, y un escenario de mitigación donde están consideradas las adiciones de capacidad, la repotenciación (retrofit) o reemplazo (equipamiento) de equipos existentes en analogía con la metodología “Large-scale Consolidated Methodology. Grid-connected electricity generation from renewable sources ACM0002” (MDL-UNFCCC, 2022).

Esta estimación es preliminar y no considera, por ejemplo, las posibles emisiones del cuerpo de agua, una degradación de los equipos con el paso del tiempo o autoconsumo por lo que es necesario un estudio detallado de campo para establecer a detalle la capacidad definitiva en cada una de las centrales hidroeléctricas. No se deja de mencionar que podrán existir variaciones debido a que cada año existe distinta disponibilidad de agua para turbinarse, aquí se asumen una vida útil de 50 años, que se invierten los suficientes recursos en mantenimiento de los equipos para lograr que sean operativos de forma óptima, y que la generación promedio después de 2030 es constante hasta 2050. Este último supuesto implica que las variaciones naturales anuales de generación que ocurren por la cambiante disponibilidad de agua u otros factores climáticos o sociales no están incluidas. Por ello hay aquí un rango de incertidumbre asociada que a priori no puede estimarse, ya que no conocemos como será la influencia de esos factores sobre la generación.

1. Con base en los datos capacidad instalada y generación de los PRODESENEs 2013 a 2020 (SENER, 2014-2021) para hidroeléctricas, se ha estimado un factor de planta de hidroeléctricas.

$$FP_{i,t} = \frac{G_{hidro,i}}{C_{hidro,i} * H_{tot,a}} \quad \mathbf{A-1}$$

Donde:

$FP_{i,t}$	Factor de planta teórico con base en generación y capacidad reportadas en los PRODESEN por año i
$G_{hidro,i}$	Generación reportada en los PRODESEN por año i en (GWh)
$C_{hidro,i}$	Capacidad reportada en los PRODESEN por año i en (GW)
$H_{tot,a}$	Horas totales al año = 24*365

A partir de esta estimación y eliminando el valor de 2016 que esta 21% por arriba (valor atípico) de los demás valores de la serie se obtiene un promedio de 28%.

Reducción de emisiones asociadas al programa de modernización y rehabilitación de centrales hidroelectricidad en México

2. Se ha extraído la matriz de generación de diferentes PRODESEN para el periodo 2013 a 2020 para todas las tecnologías. De tal forma que se tiene los datos de hidroeléctricas para ese periodo.

3. Se obtiene así la capacidad instalada existente entre 2013 a 2018 para las hidroeléctricas, capacidades que van de 11.7 (GW) en 2013 a 12.6 (GW) en 2018. Así mismo con la información del PIIRCE se ha obtienen las adiciones de capacidad de hidroeléctricas para el periodo que va de 2019 a 2030 y transformado a GW, las adiciones ocurridas en el periodo 2013 a 2018 se obtienen como la diferencia de los datos reportados en ese periodo como $\Delta C_i = C_i - C_{i-1}$. Así mismo se estima el acumulado de la capacidad prevista el PIIRCE para cada año hasta 2030.

4. La información de generación para hidroeléctricas del SIE para el periodo de 2002 a 2020 se ha considerado también para compararla con la del PRODESEN y obtener una serie de 2002 a 2030.

5. Con este factor de planta teórico del SEN para hidroeléctricas se ha obtenido la generación por año en (GWh) con la ecuación siguiente.

$$G_{hidro,i} = C_{hidro,a,i} * H_{tot,a} * FP_{i,t} \quad \mathbf{A-2}$$

$$C_{hidro,a,i} = C_{hidro,a,i-1} + \frac{C_{hidro,add,i}}{1,000} \quad \mathbf{A-3}$$

Donde:

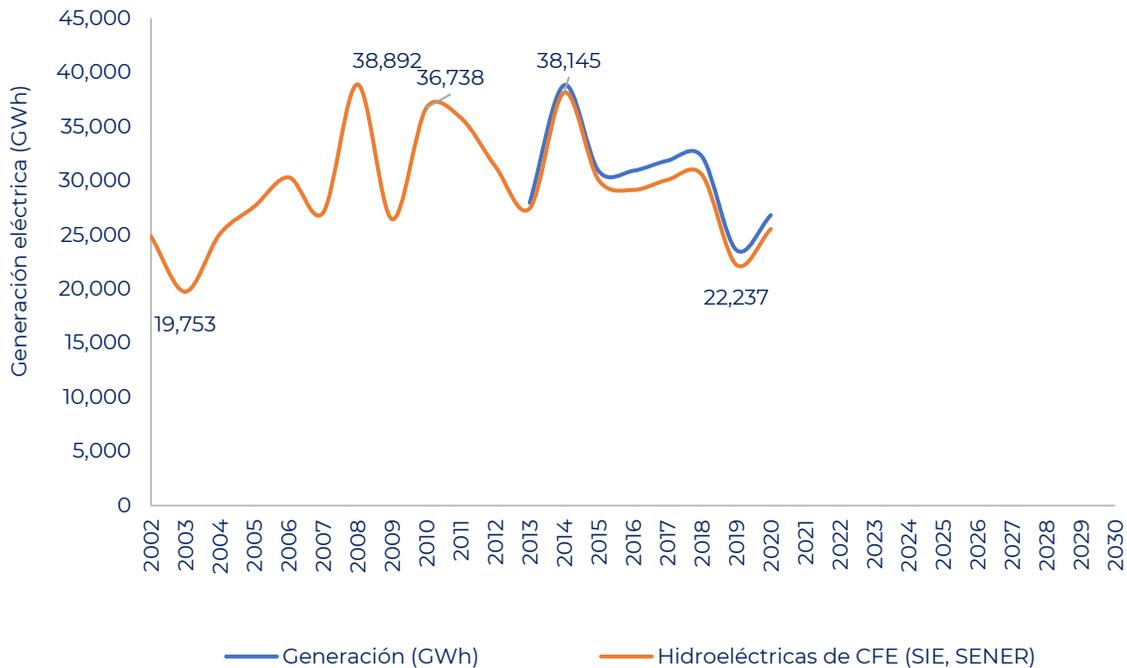
$G_{hidro,i}$	Generación reportada en los PRODESEN por año i en (GWh)
$C_{hidro,a,i}$	Capacidad instalada por año i considerando la capacidad previa más la capacidad prevista a instalarse en ese año en el PIIRCE en (GW)
$FP_{i,t}$	Factor de planta teórico con base en generación y capacidad reportadas en los PRODESEN por año i
$H_{tot,a}$	Horas totales al año = 24*365
$C_{hidro,a,i-1}$	Capacidad instalada por año i-1 considerando la capacidad previa más la capacidad prevista a instalarse en ese año en el PIIRCE en (GW)
$C_{hidro,add,i}$	Capacidad prevista a adicionarse en el año i en el PIIRCE en (MW)

6. Se ha estimado cual sería la generación de los 248 MW previstos a adicionar a través de la repotenciación aplicando el factor de planta teórico estimado. Esto da como resultado una generación de 615 GWh en el año inicial.

7. Para la estimación de la línea base se tomado como base la generación existente en 2013 y se ha calculado para cada año de la serie hasta 2030 la generación con la ecuación A-2, lo que nos da una generación de 28,960 GWh/a.

Reducción de emisiones asociadas al programa de modernización y rehabilitación de centrales hidroeléctricas en México

Figura 6. Generación (PRODESEN); Generación (SIE, SENER)



Fuente: Elaboración propia con datos de (SENER, 2014-2021), SIE-SENER (2022)

8. Para la estimación del escenario de mitigación se suman la capacidad instalada a partir de 2013 más las adiciones acumuladas de capacidad del PIIRCE de tal manera que en 2013 se tienen 11.68 GW y en 2030 se cuenta con 15.56 GW (el acumulado de capacidad adicionada es de 2.92 GW.)

9.- Se ha considerado la estimación de la generación por capacidad instalada más la generación por la capacidad acumulada debida a adiciones del PIIRCE.

La generación total (instalada más adiciones PIIRCE) se estima con la ecuación A-2, bajo el supuesto de aplicar el factor de planta de 28%. Como ya se ha estimado la generación por capacidad instalada se hace la sustracción para obtener la generación por las adiciones del PIIRCE. Por ejemplo, para el año 2024 se estima una generación total ($G_{Tot,i}$) de 32,527 GWh, una generación por capacidad instalada $G_{inst,i}$ de 28,960 GWh y la generación debida a adiciones del PIIRCE $G_{PIIRCE,a,i}$ de 3,567.

10. Se consideró que la adición de capacidad por repotenciación se da en 2024 y a partir de ese año se genera. Debido a que se tienen distintas fuentes de información acerca de la generación, la repotenciación o la repotenciación más el equipamiento que se realizará se ha separado en 3 componentes de esa

Reducción de emisiones asociadas al programa de modernización y rehabilitación de centrales hidroelectricidad en México

generación. Una generación base por repotenciación de 1,754 GWh/a ($G_{CFE,base,i}$) más una diferencia de 46 GWh para dar una generación de 1,800 GWh/a ($G_{A,CFE,i}$) más una generación por equipamiento de 330,7 GWh/a ($G_{equip,CFE,i}$) esto para poder aplicar un factor de planta de 81% que se desprendería de estimar dicho factor con los datos disponibles de CFE. Este es un valor típico para hidroeléctricas “nuevas” a nivel mundial. De esta manera se obtiene a partir de 2024 con una generación de 1,754 GWh y a partir de 2025 de 2,130,7 GWh adicionales por la repotenciación y el equipamiento de 13 centrales hidroeléctricas, eso suponiendo que el equipamiento entra en operación un año después.

Por lo que la generación total para el escenario de mitigación se estima como:

$$G_{Tot,,m,i} = G_{Tot,i} + G_{CFE,base,i} + G_{equip,CFE,i}$$

Donde:

$G_{Tot,,m,i}$	Generación total en el escenario de mitigación (GWh/año)
$G_{Tot,i}$	Generación total por capacidad instalada (GWh/año)
$G_{CFE,base,i}$	Generación base por repotenciación de CFE (GWh/año)
$G_{equip,CFE,i}$	Generación por reequipamiento (GWh/año)

11. Como base para estimar la mitigación del escenario de línea base y del de mitigación se consideró el factor de emisión de 2020.

La mitigación del escenario de la línea base se estima como:

$$M_{LB,i} = G_{hidro,LB,i} * FE_{2020,R}$$

Donde:

$M_{LB,i}$	Mitigación en el escenario de la Línea Base (tCO ₂ e/año)
$G_{hidro,LB,i}$	Generación de las centrales hidroeléctricas en el escenario de la línea base en el año i (GWh/año)
$FE_{2020,R}$	Factor de Emisión de la Red en 2020 (tCO ₂ e/kWh)

En el escenario de mitigación se estima la reducción de emisión debida a la capacidad instalada existente ya en 2013 más la mitigación debida a la repotenciación de 248 MW y la mitigación debida al equipamiento cada una de ellas como el producto de generación y factor de emisión de la red.

$$M_{m,proy,i} = M_{m,inst,i} + M_{m,rep,i} + M_{m,equip,i}$$

Reducción de emisiones asociadas al programa de modernización y rehabilitación de centrales hidroelectricidad en México

12. El incremento de la mitigación debido al PIIRCE, la repotenciación y el equipamiento es la diferencia entre ambos escenarios.

$$IM_i = M_{LB,i} - M_{m,proy,i}$$

Donde:

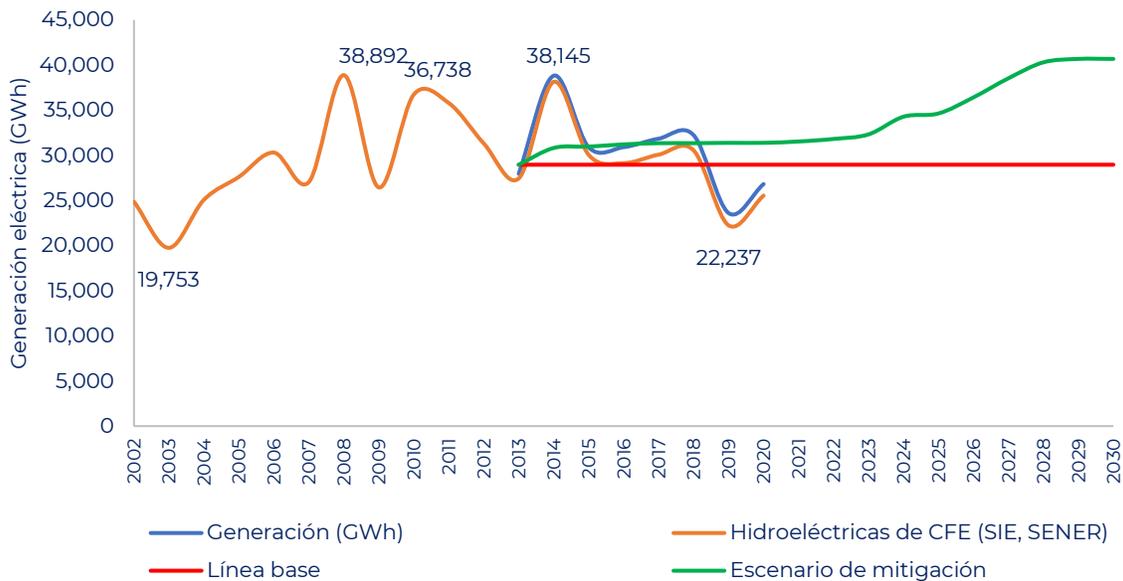
$M_{m,proy,i}$	Mitigación en el escenario de mitigación debida al proyecto de repotenciación y reequipamiento (tCO ₂ e/año)
$M_{m,inst,i}$	Mitigación debida a la capacidad instalada ya en 2013 (tCO ₂ e/año)
$M_{m,rep,i}$	Mitigación debida a la repotenciación (tCO ₂ e/año)
$M_{m,equip,i}$	Mitigación debida al reequipamiento (tCO ₂ e/año)
IM_i	Incremento de la mitigación (tCO ₂ e/año)

Para estimar la mitigación a lo largo de la vida útil se consideró la generación del periodo 2024 a 2030 (7 años) y con ello se estimó la mitigación y luego se consideró la generación para el periodo 2031 a 2050 como constante para los 43 años, la mitigación por año y acumulada para este periodo es igual cada año.

PRINCIPALES RESULTADOS Y HALLAZGOS

Se estima que la generación de centrales hidroeléctricas, tanto de las acciones del Programa Indicativo para la Instalación y Retiro de Centrales Eléctricas (PIIRCE) del PRODESEN 2019-2033 como las acciones del Plan Integral de Modernización de Centrales Hidroeléctricas evitará la emisión¹¹ de:

Figura 7. Generación (PRODESEN); Generación (SIE, SENER) y escenarios de Línea Base y de Mitigación.



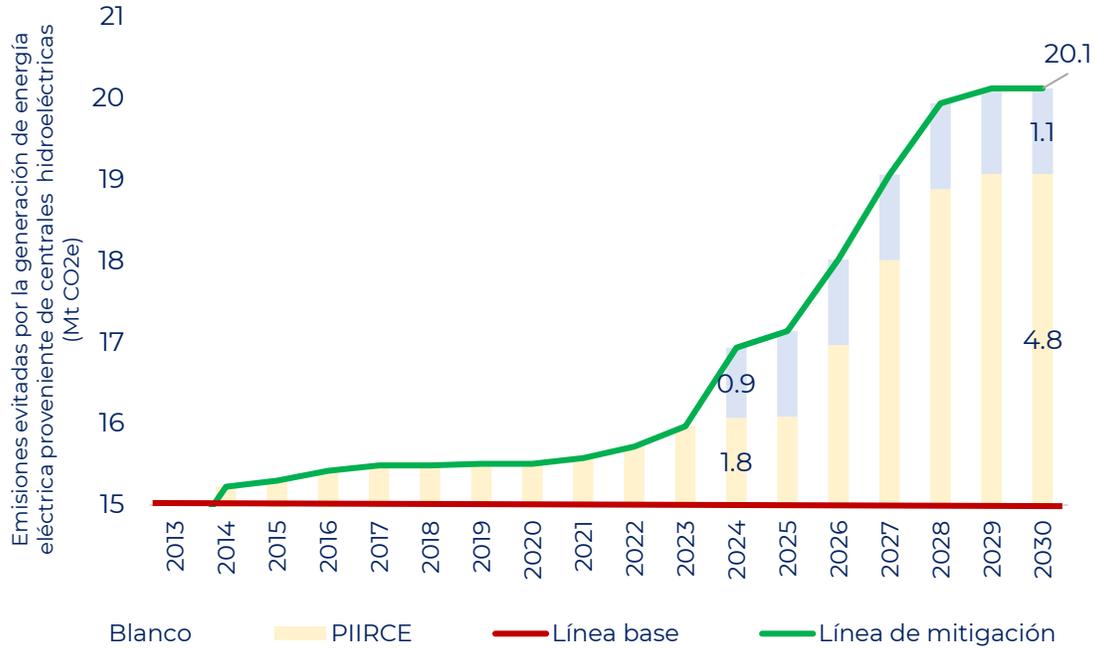
Fuente: Elaboración propia con datos de (SENER, 2014-2021), SIE-SENER (2022), (CFE, 2021c), (CFE, 2022), (CFE, 2021b), (CFE, 2021c), (SEMARNAT-RENE, 2014-2021)

- Al 2024: 2.63 Mt CO₂e, de las cuales 0.87 Mt CO₂e corresponden a las acciones del Plan Integral de Modernización de Centrales Hidroeléctricas y 1.76 Mt CO₂e al incremento de capacidad declarado en el PIIRCE.
- Al 2030, 5.81 Mt CO₂e, de las cuales 1.05 Mt CO₂e corresponden a las acciones del Plan Integral de Modernización de Centrales Hidroeléctricas y 4.76 Mt CO₂e al incremento de capacidad declarado en el PIIRCE.

¹¹ Considera: un factor de planta de 28% para la estimación de la generación eléctrica por las acciones del PIIRCE lo que da como resultado una generación eléctrica de 9,637 GWh al 2030; por la repotenciación de hidroeléctricas se considera una generación eléctrica de 1,754 GWh y que se generará dicha energía a partir del 2024; un factor de emisión de 0.494 Mt CO₂e/TWh. Este factor corresponde a un valor de 2020 y que es muy semejante al promedio de datos de FE disponibles. Esto bajo el supuesto que la energía eléctrica producida por la repotenciación y equipamiento y las adiciones del PIIRCE reemplaza el mix de tecnologías (limpias y convencionales) que representa el factor de emisión de la red.

Reducción de emisiones asociadas al programa de modernización y rehabilitación de centrales hidroeléctricas en México

Figura 8. Escenarios de Línea Base y de Mitigación separado por repotenciación y PIIRCE.



Fuente: Elaboración propia con datos de (SENER, 2014-2021), SIE-SENER (2022), (CFE, 2021c), (CFE, 2022), (CFE, 2021b), (CFE, 2021c), (SEMARNAT-RENE, 2014-2021)

Tabla 12. Mitigación por PIIRCE, repotenciación/equipamiento.

	En 2030			Acumuladas a 2030 (MtCO ₂ e)
	PIIRCE	Repotenciación + equipamiento	Total	
Mitigación al 2030 (Mt CO₂e) con FE de 2020	4.76	1.05	5.81	7.18

Fuente: Elaboración propia con datos de (SENER, 2014-2021), SIE-SENER (2022), (CFE, 2021c), (CFE, 2022), (CFE, 2021b), (CFE, 2021c), (SEMARNAT-RENE, 2014-2021)

Al 2030, las acciones de adición de capacidad en hidroeléctricas declaradas en el PIIRCE contribuyen con el 7.6 % de la meta de reducción de emisiones del sector de generación de energía eléctrica y la repotenciación/equipamiento de hidroeléctricas con el 1.7 %; en conjunto aportarían 9.3 % de la meta.

CONCLUSIONES

El plan de modernización aporta resulta en un aumento de mitigación en el corto plazo a 2030. El factor de planta teórico en el periodo histórico ronda el 28%, la capacidad de repotenciamiento o reequipamiento puede ser de 81%, coincidiendo esto con estándares internacionales. Estos factores junto con el factor de emisión tienen una influencia clave en las estimaciones efectuadas. La planeación del PIIRCE se lleva a cabo en el horizonte de planeación a 2030.

Las repotenciaci3nes permiten un incremento de capacidad en nueve centrales (repotenciación) de 248 MW adicionales con una generaci3n anual estimada de 1,754 GWh. Y en conjunto con el reequipamiento en otras cuatro centrales hasta alcanzar una generaci3n de 2,130 GWh/a.

La generaci3n hist3rica con datos de los PRODESEN permite estimar la l3nea base de emisiones, la planeaci3n del PIIRCE permite estimar las adiciones de capacidad de centrales hidroel3ctricas que podr3an ocurrir hasta 2030, y con ello la posible l3nea base de mitigaci3n.

Se ha utilizado el factor de emisi3n (FE) de 2020 de 0.494 (tCO₂e/MWh) para todo el periodo de estimaci3n hasta 2030. Se ha tomado este supuesto por representar adecuadamente los datos disponibles. Es de mencionarse que este factor de emisi3n es un poco m3s alto que el promedio de los datos 0.488 (tCO₂e/MWh). La diferencia es de 1.3%.

Los resultados muestran una mitigaci3n al 2024: 2.63 Mt CO₂e, de las cuales 0.87 Mt CO₂e corresponden a las acciones del Plan Integral de Modernizaci3n de Centrales Hidroel3ctricas y 1.76 Mt CO₂e al incremento de capacidad declarado en el PIIRCE.

Al 2030, la mitigaci3n es de 5.81 Mt CO₂e, de las cuales 1.05 Mt CO₂e corresponden a las acciones del Plan Integral de Modernizaci3n de Centrales Hidroel3ctricas y 4.76 Mt CO₂e al incremento de capacidad declarado en el PIIRCE.

Esta mitigaci3n representa 9.3% de la meta del sector que se ubica en 63 MtCO₂e (-7.8% debido a las adiciones del PIIRCE y -1.7% debido a la repotenciaci3n y reequipamiento de centrales hidroel3ctricas).

La informaci3n disponible p3blica no permite con certeza identificar la evoluci3n de la generaci3n, las emisiones y el factor de planta de las centrales hidroel3ctricas, las distintas fuentes de informaci3n disponibles llevan a una estimaci3n que puede variar.

Es por ello por lo que las estimaciones realizadas son de considerarse a la luz de los supuestos empleados. Este es un tema que queda pendiente de investigar a m3s detalle, es de mencionarse que fuentes de informaci3n como el SIE o las bases de datos de CONAGUA no permiten un seguimiento de un tema t3cnico como lo es el factor de planta, solo m3s recientemente la CRE pone a disposici3n del INECC datos detallados de generaci3n que permiten solo en los 3ltimos a3os

Reducción de emisiones asociadas al programa de modernización y rehabilitación de centrales hidroelectricidad en México

(incluye el periodo atípico de la pandemia de COVID-19) tener una mejor idea de esta temática.

REFERENCIAS

- CEMIE-Hidro. (2017). *Infraestructura Hidroeléctrica Actual. 1a parte*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, IMTA. Bases para un Centro Mexicano en Innovación de Energía Hidroeléctrica. Recuperado el 25 de enero de 2022, de <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2019/07/Potencial-Hidroelectrico-Mexico.pdf>
- CFE. (2021A). *Acuerdo CA-049/2021*. Acuerdo de la 44 sesión ordinaria de 13 de julio de 2021 de la Comisión Federal de Electricidad. Recuperado el 25 de enero de 2022, de <https://www.cfe.mx/consejo/Acuerdos/Sesi%C3%B3n%2044%20Ordinaria%20Numerado%20CA-041-CA-069.pdf>
- CFE. (2021b). *Procedimiento No. CFE-0001-CASAA-0008-2021*. Comisión Federal de Electricidad (CFE), Sistema Electrónico de Contrataciones. Recuperado el 25 de enero de 2022, de <https://msc.cfe.mx/Aplicaciones/NCFE/Concursos/Procedure/Details>
- CFE. (2021c). *Boletín: CFE celebra contrato para repotenciar y modernizar centrales hidroeléctricas*. Comisión Federal de Electricidad (CFE). Recuperado el 25 de enero de 2022, de <https://app.cfe.mx/Aplicaciones/OTROS/Boletines/boletin?i=2397>
- CFE. (2021d). *Documento Técnico Unificado, Modalidad B Regional, Proyecto Central Fotovoltaica Puerto Peñasco Fase I (120+300 MW)*. Comisión Federal de Electricidad (CFE), Dirección Corporativa de Operaciones, Gerencia de Proyectos Geotermoelectricos.
- CFE. (2022). *Diagnosticos Impacto social y ambiental de 6 presas*. Proporcionado por Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Autor CFE, No publicado.
- CFE. (2022). *Procedimiento No. CFE-0001-CASAA-0001-2022*. Comisión Federal de Electricidad (CFE) Sistema Electrónico de Contrataciones. Recuperado el 25 de enero de 2022, de <https://msc.cfe.mx/Aplicaciones/NCFE/Concursos/Procedure/Details>
- Energy & Commerce. (2021a). *CFE actualiza proyecto fotovoltaico en Sonora*. Energy & Commerce de fecha 6 de diciembre 2021. Recuperado el 25 de enero de 2022, de <https://energyandcommerce.com.mx/cfe-actualiza-proyecto-fotovoltaico-en-sonora/>
- Energy & Commerce. (2021b). *Andritz Hydro modernizará 9 hidroeléctricas de CFE*. Energy & Commerce. Recuperado el 25 de enero de 2022, de <https://energyandcommerce.com.mx/andritz-hydro-modernizara-hidroelectricas-cfe/>
- ENERGY21. (2021). *CFE adjudica contrato de 893 mdd para modernizar 9 plantas hidroeléctricas*. ENERGY21 artículo de 21 de noviembre de 2021. Recuperado el 25 de enero de 2022, de

Reducción de emisiones asociadas al programa de modernización y rehabilitación de centrales hidroelectricidad en México

<https://energy21.com.mx/index.php/renovables/2021/11/21/cfe-adjudica-contrato-de-893-mdd-para-modernizar-9-plantas-hidroelectricas>

- MDL-UNFCCC. (2022). *“Large-scale Consolidated Methodology. Grid-connected electricity generation from renewable sources ACM0002”*. MDL- UNFCCC metodo ACMM0002, version 21.0. Recuperado el 25 de enero-abril de 2022, de <https://cdm.unfccc.int/methodologies/DB/HF3LP6O41YY0JIP1DK6ZRJO9RSCX3S>
- SEMARNAT-RENE. (2014-2021). *Avisos sobre el factor de emision electrico para el reporte de 2014-2021*. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Recuperado el 30 de marzo de 2022, de <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/registro-nacional-de-emisiones-rene>
- SENER. (2014-2021). *PRODESEN de 2014 a 2021*. Secretaria de Energia (SENER) Programas de desarrollo del Sistem Eléctrico Nacional de los años 2014 a 2021. Recuperado el 6 de junio de 2022, de <https://www.gob.mx/sener/acciones-y-programas/programa-de-desarrollo-del-sistema-electrico-nacional-33462>
- SINA-CONAGUA. (2022). *Consulta al SINA de CONAGUA, Monitoreo de las principales presas de México*. Comision Nacional del Agua (CONAGUA). Recuperado el 25 de enero-abril de 2022, de <http://sina.conagua.gob.mx/sina/almacenamientoPresas.php>



MEDIO AMBIENTE

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



INECC

INSTITUTO NACIONAL
DE ECOLOGÍA Y
CAMBIO CLIMÁTICO