

Índices GEI para el uso del agua en la vivienda en México

Banco Interamericano de Desarrollo

División de
Cambio Climático
y Sostenibilidad

NOTA TÉCNICA N°
IDB-TN-829

Índices GEI para el uso del agua en la vivienda en México

Banco Interamericano de Desarrollo

Noviembre 2014

Catalogación en la fuente proporcionada por la
Biblioteca Felipe Herrera del
Banco Interamericano de Desarrollo

Banco Interamericano de Desarrollo
Indices GEi para el uso del agua en la vivienda en Mexico I Banco Interamericano de
Desarrollo

p. cm. - (Nata tecnica del BID; 829)

Incluye referencias bibliograficas.

1. Municipal water supply-Climatic factors-Mexico. 2. Water-supply-Climatic
factors-Mexico. 3. Power resources-Climatic factors-Mexico. 4. Climate change
mitigation-Mexico. I. Banco Interamericano de Desarrollo. División de Cambio
Climatico y Sostenibilidad. II. Tftulo. III. Serie.
IDB-TN-829

Esta nota técnica fue elaborada con la orientación y dirección de Claudio Alatorre,
División Cambio Climático y Sostenibilidad, con el aporte y apoyo de otros colegas del
BID. La nota técnica fue escrita por el Grupo de Recursos y Energía y de la
Universidad de California en Berkeley y la Fundación Cantaro Azul en México, dirigido
por Fermín Reygadas Robles Gil, con el apoyo de Jessica J. Goddard y Diego Ponce
de León Barido (Uni. de California en Berkeley) y John HH Pujol (SimpleWater LLC).
JEL: 025, 054 | Palabras claves: Cambio climático, Conocimiento y aprendizaje, agua y
saneamiento, energía, emisiones, vivienda, Mexico.

<http://www.iadb.org>

Copyright © 2014 Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no-comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas.

Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID, no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional.

Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.



Hablemos de Cambio Climático y Sostenibilidad

<http://www.iadb.org/cambioclimatico> | <http://www.twitter.com/BIDcambioclima>

Acrónimos Institucionales

BID - Banco Interamericano de Desarrollo
BIER - Mesa Redonda Ambiental de la Industria de Bebidas (E.U.A.)
CMNUCC- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CONUEE - Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía
CONAGUA - Comisión Nacional del Agua
CONAPO - Consejo Nacional de Población
CONAVI - Comisión Nacional de Vivienda
CFE - Comisión Federal de Electricidad
CMM - Centro Mario Molina
CMNUCC - Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CTF-IDB – Fondo de Tecnología Limpia del Banco Interamericano de Desarrollo
DECC - Departamento de Energía y Cambio Climático (Reino Unido)
DEFRA - Departamento de Medio Ambiente, Comida y Asuntos Rurales (Reino Unido)
EPA - Agencia de Protección al Ambiente (E.U.A.)
EPRI - Instituto de Investigaciones sobre la Energía Eléctrica (E.U.A.)
GIZ - Asociación Alemana para la Cooperación Internacional (Alemania)
INEGI - Instituto Nacional de Estadística y Geografía
INFONAVIT - Instituto Nacional de la Vivienda para los Trabajadores
IPCC - Panel Intergubernamental de Cambio Climático
IT-UCD - Instituto del Transporte de la Universidad de California en Davis
NETL - Laboratorio Nacional de Tecnologías Energéticas (E.U.A.)
PECC - Programa Especial de Cambio Climático
SEMARNAT - Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SENER - Secretaría de Energía
SHF - Sociedad Federal de Hipotecas

Acrónimos Globales

CDA - Calentador Domestico de Agua
CSA – Calentador Solar de Agua
CDM - Mecanismo de Desarrollo Limpio
CH₄ - Gas Metano
CO₂eq - Emisiones Equivalentes al Bióxido de Carbono
EE - Eficiencia Energética
FE - Factores de Eficiencia
GEI - Gas de Efecto Invernadero
GLP - Gas Licuado del Petróleo
GN - Gas Natural
ICE - Índice de Consumo Energético - kWh/m³
IGEI - Índice de Gas de Efecto Invernadero - kg CO₂eq/m³
kWh - Kilo Watts hora
LCA - Análisis de Ciclo de Vida
LCI - Inventario para un Análisis Ciclo de Vida
MWh - Mega Watts hora
MDL - Mecanismos para un Desarrollo Limpio
NAMA - Acciones de Mitigación Apropriadas para la Nación
OI - Osmosis Inversa
PC – Policarbonato
PCA – Potencial de Calentamiento Atmosférico
PET - Polietileno Tereftalato
N₂O - Emisiones de Oxido Nitroso
TAV - Tratamiento del Agua en la Vivienda
TDR - Términos de Referencia
TPE – Temperatura y Presión Estándar
UV - Ultravioleta

RESUMEN EJECUTIVO

Existen proyecciones que señalan que la infraestructura urbana en México se duplicará entre los años 2005 y 2030, por lo cual es importante el desarrollo de estudios de impacto del sector residencial en torno al cambio climático. En este contexto, y a nivel vivienda, el nexo entre la energía y el agua es crítico. Este estudio desarrolla un índice ($\text{kg CO}_2\text{eq/m}^3$ agua) de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) para cada uno de los cuatro servicios relacionados al uso del agua en la vivienda con mayor intensidad energética (tomando en cuenta las emisiones directas e indirectas), siendo estos:

- 1) la distribución del agua para las vivienda (Sección 3);
- 2) el calentamiento del agua para la vivienda (Sección 4);
- 3) el tratamiento del agua para vivienda (Sección 6); y
- 4) el uso del agua embotellada en la vivienda (Sección 7).

En su totalidad, estos servicios consumen una gran cantidad de combustibles y otros materiales relacionados al bombeo, distribución, transporte, calentamiento, y tratamiento del agua para la vivienda en México.

Estos índices son el resultado de una investigación exhaustiva de los aportes ciclo de vida energéticos y materiales. Este estudio recae fuertemente en la literatura para desarrollar varios factores de conversión definidos como equivalentes de bióxido de carbón ciclo de vida (CO_2eq) por cantidad de aporte energético y/o material. Por ejemplo, los datos con los que calculamos nuestro índice de emisiones ciclo de vida relacionado a la generación de la electricidad en México ($\text{kg CO}_2\text{eq/kilowatt-hora}$) provienen de la Comisión Federal de Electricidad (2013), Santoyo-Castelazo et. Al (2011), y del Segundo Informe del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (1996). Debido a la falta de datos en México, utilizamos factores de conversión directos e indirectos para el uso de combustible ($\text{kg CO}_2\text{eq/masa o volumen de combustible}$) provenientes de los Departamentos de Energía y Cambio Climático, y de Ambiente, Comida y Asuntos Rurales del Reino Unido.

La distribución del agua para la vivienda en México tiene un valor de emisiones ciclo de vida base de $0.26 \text{ kg CO}_2\text{eq/m}^3$ (Rango Bajo: $0.13 \text{ kg CO}_2\text{eq/m}^3$; Rango Alto $0.33 \text{ kg CO}_2\text{eq/m}^3$). Aunque los sistemas de distribución de agua consisten de varias etapas, aquí solo tomamos en cuenta la captación, el acondicionamiento, la conducción y la distribución de agua, pues estas son las operaciones que son mayormente afectadas por cambios marginales en la demanda de agua en viviendas residenciales (GIZ y CONUEE 2011). Utilizamos como base para el Índice de Consumo Energético (kWh/m^3) los consumos de energía eléctrica reportados en el censo económico del 2004 y la tarifa promedio, y ponderamos estos datos con los del sistema sectorial de información eléctrica para las tarifas correspondientes. Actualizamos los datos de 2004 a 2010 utilizando una línea de tendencia dictada por el crecimiento del abastecimiento de agua publica para la vivienda dentro de las regiones hidrológico-administrativas de México. Para el cálculo del índice de gas de efecto invernadero tomamos en cuenta las emisiones de ciclo de vida ($\text{kg CO}_2\text{eq/kWh}$) de la generación de energía eléctrica en México, considerando la diversidad de producción regional y de generación que existe en el país.

Los calentadores de agua para la vivienda (CDAs) tienen un valor de emisiones ciclo de vida base de $12.80 \text{ kg CO}_2 \text{ eq/m}^3$ (Rango Bajo: $6.73 \text{ kg CO}_2 \text{ eq/m}^3$; Rango Alto: $17.72 \text{ kg CO}_2 \text{ eq/m}^3$). El 29% del gasto energético en la vivienda se debe al calentamiento de agua y por lo tanto los CDAs constituyen una porción relativamente grande pero muy poco documentada de las emisiones ciclo de vida en la vivienda. Los parámetros físicos y de uso de los CDAs afectan su rendimiento y por lo tanto también afectan la huella de

emisiones ciclo de vida de cada sistema. Nuestro modelo organiza los CDAs mas predominantes en México por 'clase', con cada una de estas siendo una combinación de la eficiencia del sistema (alta, media, baja) y el tipo de combustible que utilizan (gas LPG, gas natural, electricidad). Las clases son entonces distribuidas dependiendo del tamaño de su mercado dentro de los programas para la vivienda del INFONAVIT. Aunque existen datos acerca de los factores físicos que afectan la eficiencia de los CDAs, la información acerca del impacto del comportamiento del usuario en la eficiencia de estos es casi inexistente. Por lo tanto, utilizamos datos de otros mercados y datos obtenidos por medio de nuestros colaboradores en México para determinar los factores de eficiencia necesarios. Finalmente, combinamos los datos relacionados a la eficiencia final de los CDAs, información de los distintos combustibles, y nuestros factores de conversión para calcular un valor de emisiones ciclo de vida base relacionado al calentamiento del agua domestica en México.

Las tecnologías dentro del programa de Hipoteca Verde para el tratamiento del agua en la vivienda (TAVs) producen 0.95 kg CO₂ eq por cada metro cubico de agua tratada (Rango Bajo: 0.30 kg CO₂ eq/m³; Rango Alto: 2.6 kg CO₂ eq/m³). Este valor fue calculado enfocándose solamente en las tecnologías dentro del programa de Hipoteca Verde del INFONAVIT siendo estos: sistemas que utilizan ozono, luz ultra violeta (UV), y filtros impregnados de agentes germicidas. Sin embargo, aquí demostramos que nuestros resultados se pueden generalizar para la gran mayoría de las TAVs a excepción de las tecnologías de osmosis inversa, quienes producen cinco veces mas que la cantidad de emisiones de ciclo de vida base. Se identificaron y modelaron cuatro etapas claves dentro del ciclo de vida de una tecnología TAV: 1) la producción del sistema (emisiones embedded de los materiales); 2) el transporte entre los centros de producción, distribución, y viviendas; y su uso – 3) la cantidad de agua que el sistema trata durante su vida útil, y 4) su gasto energético. El uso de los sistemas TAV pueden remplazar totalmente el consumo de agua embotellada en la vivienda y así reducir su gasto de agua y energético, y por lo tanto sus emisiones CO₂eq.

Las emisiones ciclo de vida base de los garrafones son de 32 kg CO₂eq/m³ (Rango Bajo: 16 kg CO₂eq/m³; Rango Alto: 90 kg CO₂eq/m³). Un estudio reciente del Banco Interamericano de Desarrollo encontró que el 80% de las viviendas urbanas en México utilizan garrafones como su fuente primaria de agua para beber. Para calcular adecuadamente el ahorro de emisiones relacionado al remplazo de los garrafones por tecnologías TAV, identificamos y calculamos las emisiones ciclo de vida de los garrafones en las áreas urbana del país. Identificamos también siete etapas que contribuyen a las emisiones ciclo de vida de los garrafones: 1) la producción de resina; 2) la producción de garrafones; 3) la producción de cierres de botellas; 4) captación y extracción del agua y 5) su transporte; 6) saneamiento, limpieza, y re-uso de la botella; y 7) la distribución de los garrafones. Calculamos las emisiones ciclo de vida de los garrafones desarrollando un modelo con los requisitos energéticos para cada una de estas etapas calculando así las emisiones ciclo de vida. Algunas de las características que distinguen al garrafón de otras 'botellas de agua' y que reducen significativamente sus emisiones ciclo de vida, son su frecuencia de re-uso y el gran numero de plantas de purificación que existen en el país. Esto, sin embargo, no reduce el gran impacto ambiental que conllevan ya que sus emisiones ciclo de vida son 34 y 123 mayores que las emisiones base relacionadas al calentamiento del agua para la vivienda, y el agua de la llave en México.

Este reporte apoya la iniciativa del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) para reducir las emisiones de gas de efecto invernadero de la vivienda en México. Recientemente el BID también ha implementado el programa Ecocasa que suplementa las iniciativas del INFONAVIT para la vivienda en el país. Estos programas ofrecerán hipotecas verdes y competitivas en el mercado para fomentar el uso de eco-tecnologías y cambios infraestructurales para reducir las GEI en la vivienda.

Contenidos

1	Antecedentes	1
2	Entradas Globales	3
3	Las Emisiones de Gas de Efecto Invernadero (GEI) de La Red	4
3.1	Factores de Conversión de Combustibles Fósiles	9
4	Métrica 1: Energía y Emisiones del Agua para la Vivienda.....	11
5	Introducción	12
6	Los Componentes de un Sistema de Distribución de Agua	15
6.1	Características Físicas de un Sistema de Distribución de Agua	16
6.2	Definiciones: El Índice de Consumo Energético (IE) en Relación al Agua y el Índice de Gas de Efecto Invernadero (IGEI)	17
6.3	El Índice de Consumo Energético (ICE) del Agua en México	17
6.4	Distribución del Agua a Viviendas Particulares	17
6.5	Consumo de Energía Eléctrica en Sistemas de Agua.....	19
6.6	Consumo de Energía Eléctrica en Hogares.....	22
6.7	El Índice de Gas de Efecto Invernadero (IGEI).....	24
7	Índice de Emisión 2: Calentamiento Doméstico de Agua en México	26
7.1	Introducción.....	26
7.2	Características de las Clases de los Calentadores Domésticos de Agua.....	27
7.3	Edad del Sistema	30
7.4	Métodos	33
7.5	Construyendo un Escenario de Línea Base	37
7.6	Observaciones	38
7.7	Conclusiones.....	40
8	Índice de Emisión 3: Agua para Beber en el Sector Residencial	41
9	Índice de Emisión 3A: Tratamiento de Agua en la Vivienda.....	42
9.1	Introducción.....	42
9.2	Alcance y Límites del Sistema de Estudio	43
9.3	Método	44
9.4	Información Existente	45
9.5	Escenarios del Modelo	49
9.6	Resultados	50
10	Índice de Emisión 3b: Agua Embotellada	53
10.1	Introducción.....	53
10.2	Alcance y Límites del Sistema de Estudio	56
10.3	Unidad Funcional.....	57
10.4	Construcción del Modelo y Entradas	57
10.5	Resultados	62
10.6	Discusión	64
11	Obras Citadas.....	66
12	Apéndice.....	70

ANTECEDENTES

El Programa Especial de Cambio Climático (PECC) de México refleja un ambicioso compromiso nacional para mitigar el cambio climático, por medio de una reducción de gases de efecto de invernadero (GEI) al 50% del nivel del año 2000 ó a 340 Mt CO₂eq para el 2015¹. El Consejo Nacional de Población (CONAPO) del país estima que la infraestructura en viviendas se incrementará más del doble entre 2005 y 2030, y que se construirán más de siete millones de nuevas unidades habitacionales entre el presente y el 2020; lo que contribuirá con 33 Mt CO₂eq del total de emisiones de GEI del país². El sector de la construcción de viviendas en México contribuye con 26% del uso nacional de electricidad (14% de las emisiones de GEI), y su demanda está proyectada para crecer 5% al año. El sector residencial es, por lo tanto, un objetivo crucial para las medidas agresivas de reducción de GEI, si México va a alcanzar sus ambiciosas metas de abatimiento.

El Plan de Inversión (PI) del Fondo de Tecnología Limpia (CTF) para México fue aprobado por el Comité del Fondo del CTF el 27 de enero de 2009. La Fase I del PI del CTF de México propuso un cofinanciamiento del CTF por USD 500 millones para proyectos y programas del transporte urbano, la energía renovable y la eficiencia energética. Este PI incluyó un Programa de Eficiencia Energética del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) con dos componentes: uno para la creación de líneas verdes en bancos comerciales, a fin de financiar la eficiencia energética; y otro para apoyar a la Sociedad Hipotecaria Federal (SHF), con el fin de reducir las emisiones de GEI del sector residencial (Programa ECO CASA)³. El objetivo general del Programa ECO CASA es el de contribuir en la reducción de emisiones de GEI en el sector habitacional de México. Esto se podrá lograr proporcionando financiamiento a los desarrolladores de viviendas, para construir proyectos habitacionales que alcancen las metas de reducción de GEI establecidas por el Programa; así como también, hipotecas que sigan el criterio de sustentabilidad establecido por la Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI). Los recursos concesionarios del CTF, canalizados a través de la Sociedad Hipotecaria Federal (SHF), un banco nacional de desarrollo, dirigirán los proyectos de construcción; mientras que los recursos de la existente línea de crédito del BID para la SHF, van a financiar los instrumentos hipotecarios de la SHF para la parte de la población que atienden (trabajadores no afiliados a ningún programa de seguridad social). En una primera etapa, el Programa considera las reducciones de emisiones derivadas de las mejoras en el desempeño térmico; pero, todavía se están desarrollando las metodologías que toman en cuenta las reducciones de emisiones relacionadas con la localización (transporte), la construcción de materiales y las tecnologías para el ahorro de agua.

El Programa es el primer modelo de gran escala dentro de Vivienda NAMA (Acciones de Mitigación Apropriadas para la Nación), que fue presentado por el gobierno de México en diciembre de 2012 al COP16, y sigue un acercamiento de una vivienda completa para lograr la reducción de emisiones. El Banco Alemán de Desarrollo KfW va a proporcionar EUR 80 millones adicionales para impulsar los recursos del CTF/BID. Una propuesta de subvención del Mecanismo de Inversión para América Latina (LAIF) de la Comisión Europea ha sido aprobado por la cantidad de EUR 7 millones, para apoyar la construcción de viviendas con los estándares más altos en términos de eficiencia energética; siguiendo el acercamiento de una Vivienda Pasiva como un ejercicio de demostración y de capacidad de construcción. Por último, el Mecanismo de NAMA financiado por los gobiernos del Reino Unido y de Alemania, también va a apoyar la implementación de NAMA. Además, la Asociación Alemana para la Cooperación Internacional (GIZ) ha venido asesorando al gobierno mexicano de 2005 a 2013 sobre el desarrollo sustentable del país y, recientemente, han producido importantes índices relacionados con la energía gris (*embedded energy*) en la distribución de agua para su uso en las viviendas (kWh/m³).

El Programa de Eficiencia Energética del BID identificó al uso del agua en las viviendas en México como un área importante de análisis para evaluar las emisiones de GEI asociadas a las viviendas. El Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente (CMM) encontró, recientemente, que un ciclo completo de agua (captura, distribución, tratamiento, drenaje y descarga) usa 1.32 kWh/m³ en la ciudad de México¹. Se espera que esta demanda de energía y las emisiones asociadas de GEI aumenten para poder alcanzar la demanda de viviendas, infraestructura y energía de la población de México, que se espera alcance los 160 millones de habitantes para 2050 (SEMARNAT).

Con el fin de tratar eficazmente las áreas, para mejorar su eficiencia a través de la construcción, los materiales y las tecnologías, el Programa requiere de factores de emisiones para comprender la intensidad energética del uso de agua residencial. El uso de agua en las viviendas tiene una variedad de emisiones asociadas por bombeo, transportación, calentamiento, tratamiento y uso final. Para reducir tanto las emisiones de GEI directas como indirectas relacionadas al agua, el Programa está explorando tres áreas principales del uso de agua en las viviendas, para promover su ahorro:

- (i) Reducción del consumo de agua residencial a través de dispositivos ahorradores de agua, como regaderas con cabezales eficientes, tecnologías de captación de agua de lluvia o de reciclado de agua, que reducirán las emisiones relacionadas con el bombeo de agua y el tratamiento;
- (ii) Reducción del consumo de agua caliente y, por lo tanto, reducción del consumo de gas y electricidad; y,
- (iii) Reducción del consumo de agua embotellada mediante la promoción del uso de tratamiento de agua en las viviendas.

1 ENTRADAS GLOBALES

Los factores de conversión son necesarios para estimar las emisiones de gases de efecto de invernadero asociadas a varias entradas (*inputs*) de energía y materiales, para calcular las emisiones grises (*embedded emissions*) del consumo de electricidad, el calentamiento de agua dentro de la vivienda y, también, de las tecnologías de tratamiento de agua en la vivienda y del agua embotellada en garrafones (contenedores reusables de 18.9L). Actualmente, las emisiones estándar medidas y contabilizadas en una medición acumulativa de CO₂ equivalente (kg CO₂eq) son los siguientes gases: bióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O). La metodología para calcular el CO₂ equivalente fue estandarizada primero por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) en su Segundo Informe de Evaluación (1996) y, desde entonces, ha sido actualizada en el Cuarto Informe de Evaluación del IPCC (2007)². Estos gases se pueden convertir en unidades equivalentes para cuantificar el efecto completo del calentamiento global, usando conversiones de equivalencia llamados factores de Potencial de Calentamiento Mundial (PCM), que se “definen como la relación del forzamiento radiativo integrado durante un periodo de tiempo específico con una emisión de pulso de 1 kilogramo (kg) de una sustancia traza en comparación con 1 kg de un gas de referencia,” o bióxido de carbono, CO₂³:

Potencial de Calentamiento Atmosférico		
Gas de Efecto	PCA (1996)	PCA (2007)
Invernadero		
CO ₂	1	1
CH ₄	21	25
N ₂ O	310	298

*Índice PCA (acrónimo del inglés Global-warming potential - GWP) es una medida relativa de cuánto calor puede ser atrapado por un determinado gas de efecto invernadero, en comparación con un gas de referencia, por lo general dióxido de carbono.

Tabla 1: Potenciales de calentamiento atmosférico para metano y óxido nitroso calculados para un tiempo de referencia de 100 años. Fuente: IPCC (2007)

Los factores de conversión más disponibles calculan el efecto acumulado de las emisiones para un proceso dado, como sigue:

$$(\text{kg CO}_2) + 21 \times (\text{kg CH}_4) + 310 \times (\text{kg N}_2\text{O}) = \text{kg CO}_2 + \text{kg CO}_2\text{eq}[\text{CH}_4] + \text{kg CO}_2\text{eq}[\text{N}_2\text{O}] = \text{kg CO}_2\text{eq}$$

En tanto que en todo el país existe información sobre las emisiones mexicanas en términos de kg CO₂/kWh^{4,5}, todavía no se ha calculado de manera directa una medida de CO₂eq/kWh. La siguiente sección reporta nuestra construcción de este factor de conversión, el cual es usado en todo el estudio.

2 LAS EMISIONES DE GAS DE EFECTO INVERNADERO (GEI) DE LA RED

En México, los sectores de energía y transporte son los que mas aportan al efecto cumulativo del efecto de gas invernadero (GEI). Es decir, por cada kWh de energía que es producido por una planta generadora de energía se produce una cantidad de CO₂eq. Debido a que los sistemas de distribución de agua municipales y vivienda en México dependen en su gran mayoría de la energía eléctrica, cada metro cubico (m³) que es distribuido por un municipio tiene de tal manera un gasto energético (ICE: kWh/m³) y un gasto de gas de efecto invernadero (CO₂eq/m³). Actualmente en México las plantas generadoras carboeléctricas, duales, termoeléctricas, de ciclo combinado, de turbogas y de diesel acaparan mas del 70% de la producción energética del país, mientras que la hidroeléctrica representa alrededor del 20% y las tecnologías geo-termoeléctricas, eólica, solar y nuclear acaparan el 10% restante (Figura 1).

Recientemente han habido estudios de análisis de ciclo de vida de la generación eléctrica en México que nos permiten evaluar el impacto ambiental del consumo energético, y por ende el gasto energético relacionado al consumo del agua en viviendas⁶. Estos estudios señalan que las plantas generadores a base de los combustibles fósiles tienen ambas emisiones directas y de ciclo de vida, y las plantas de generación renovables tienen solamente emisiones relacionadas al ciclo de vida. Dentro del análisis de ciclo de vida tomamos en cuenta: la extracción de combustibles y recursos naturales; el procesamiento y transporte de combustibles; la manufactura y construcción de la infraestructura; la operación de las plantas para la generación de electricidad; y la construcción, el desmantelamiento y la eliminación de residuos (Figura 2).

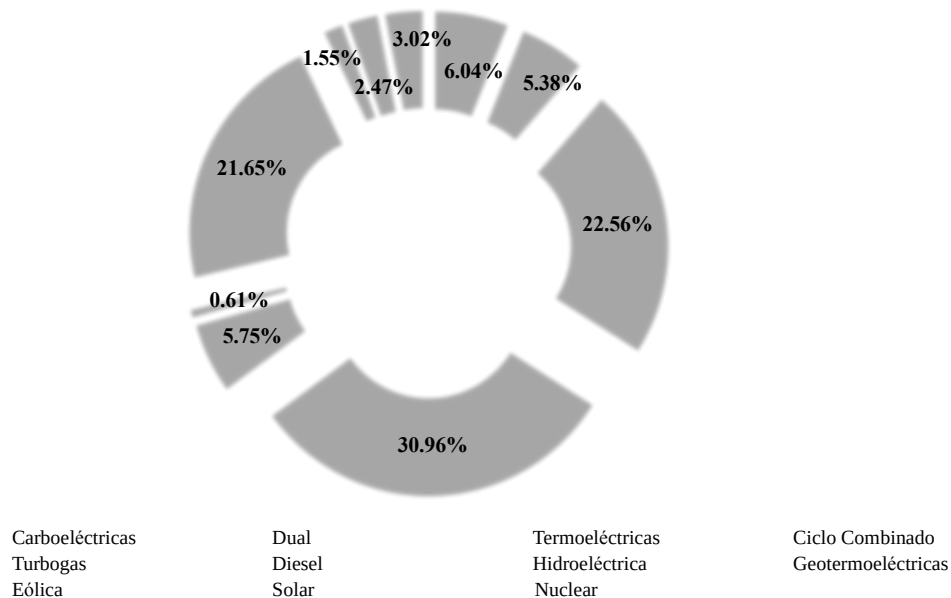


Figura 1: Generación de Electricidad en México (2013). Fuente: Datos de la CFE, Elaboración del Autor.

Asumimos⁶:

- que el fuelóleo pesado es producido dentro del país, del cual el 20% se produce en tierra y el 80% en altamar^{7,8};

Índices GEI para el Uso del Agua en la Vivienda en México

- 92% del gas natural es producido dentro del país y el resto (8%) se importa de los Estados Unidos^{9,10}, del cual, 67% se produce en la tierra y el resto (33%) se produce en altamar⁸;
- 56% del carbón es producido dentro del país y el 44% restante se importa¹¹;
- la liberación de gas (5%) y su quema (0.3%) durante la producción de petróleo y gas también han sido tomados en consideración¹⁰.

Al tomar en cuenta las emisiones directas de las plantas de generación, asumimos que:

- el promedio del contenido de sulfuro en los fuelóleos pesados es de 3.6% y en el diesel es de 0.5%; en el carbón nacional es de 1% y en el carbón importado es de 0.5%¹²;
- las turbinas de acción dual utilizan solamente carbón;
- toda la generación a base de gas es en plantas de ciclo combinado; las eficiencias termales promedio provienen de las bases de datos de la NEB (Secretaría de Energía (SENER))¹³;
- consideramos que los controles de emisiones en las plantas generadoras son mínimos, ya que esto no es obligatorio en México¹²;
- en nuestro análisis utilizamos los supuestos mencionados anteriormente pero tomando en cuenta la actual matriz de composición energética de México (Figura 1).

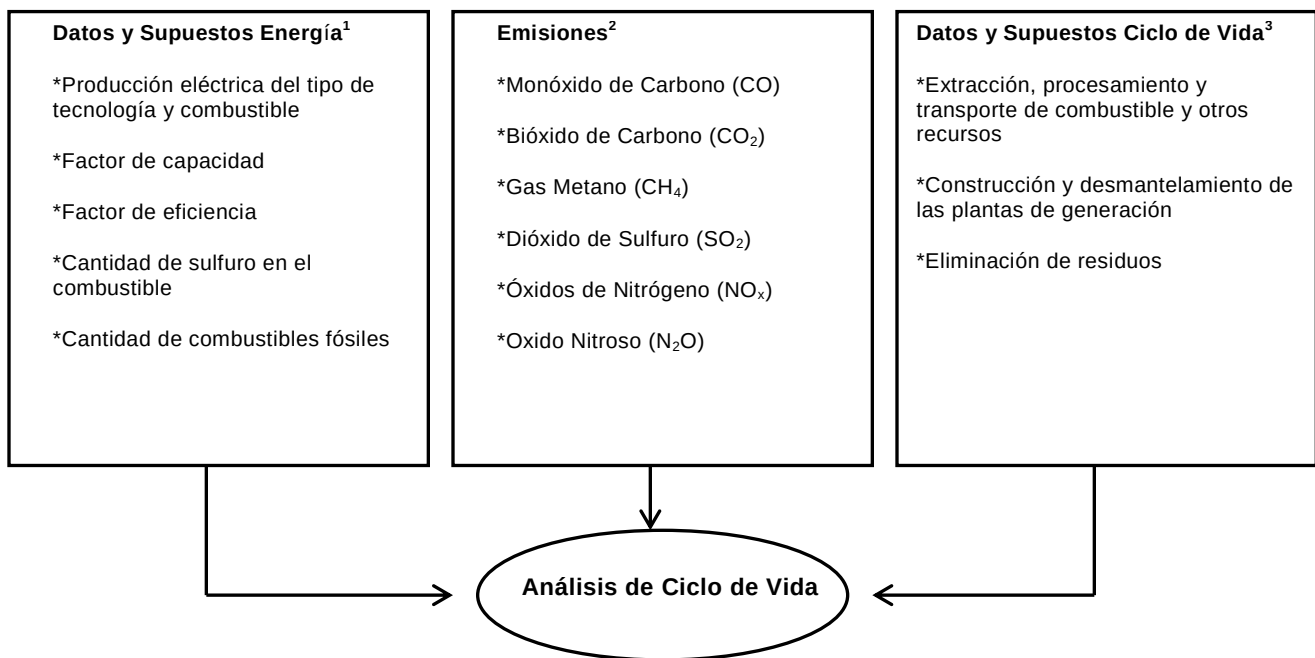


Figura 2: Metodología para Calcular el Impacto Ambiental de la Generación de Electricidad en México. Fuentes: [1] Central Federal de Electricidad, [2] Global Emissions Model for Integrated Systems (GEMIS), [3] SWISS Centre for Life Cycle Inventories, [4] Adaptado del 'Life Cycle Assessment of Electricity Generation in Mexico'⁶. Adaptación del Autor.

Los resultados de estos estudios demuestran que por cada kWh de energía producido en México, el carbón nacional (1045 g CO₂/kWh), el carbón importado (1046 g CO₂/kWh) y los fuelóleos pesados (898 g CO₂/kWh) producen las mayores cantidades de CO₂, seguidos de cerca por las plantas de diesel (808 g/kWh) y de gas (446 g/kWh). Los fuelóleos pesados (18.98 g/kWh) y el carbón (8.14 g/kWh) producen las mayores emisiones de SO₂. En cuestión de las energías renovables y nuclear, la mayoría de las emisiones provienen de la construcción de

Índices GEI para el Uso del Agua en la Vivienda en México

infraestructura⁶; con la excepción siendo la energía geo-termoeléctrica, de la cual la mayoría de sus emisiones CO₂ y SO₂ provienen de las emisiones directas⁶. En el caso de la hidroeléctrica, y debido a estudios recientes del IPCC que señalan que las emisiones de ciclo de vida de las hidroeléctricas dependen del tipo de proyecto, de su instalación y tamaño, y de condiciones locales, y debido a que México tiene un porcentaje relativamente alto de este tipo de generación, utilizamos un valor de 10 g CO₂eq ya que este valor es la media de emisiones de ciclo de vida de la mayoría de las hidroeléctricas en el mundo (centrales hidroeléctricas de reserva y de pasada)¹⁴.

Emisiones de Combustibles

		Emisiones (g/kWh)						
		CO ₂	CH ₄	SO ₂	NO _x	N ₂ O	NM VOC ⁵	PM ⁵
Carbón (Domestico)	Directas	980	0.02	7.58	4.3	0.04	0.02	0.62
	Ciclo de Vida	1045	1.45	8.14	5.16	0.04	0.13	2.23
Carbón (Importado)	Directas	982	0.02	3.77	4.3	0.04	0.02	0.62
	Ciclo de Vida	1046	1.44	4.32	5.15	0.04	0.13	2.22
Fuelóleo Pesado	Directas	799	0.03	18.55	2.09	0.03	0.05	2.51
	Ciclo de Vida	898	2.27	18.98	2.41	0.03	1.46	2.6
Gas	Directas	412	0.04	0.003	1.57	0.03	0.04	0.004
	Ciclo de Vida	446	0.59	0.02	1.69	0.03	0.24	0.02
Diesel	Directas	709	0.05	2.25	7.75	0.02	0.89	1.63
	Ciclo de Vida	809	2.01	2.7	8.05	0.02	2.13	1.71
Hidroeléctrica⁶	Ciclo de Vida (CO ₂ eq)	10	0	0	0	0	0	0
Nuclear	Ciclo de Vida	11	0.02	0.05	0.04	0.0005	0.009	0.03
Geotermoelectrica	Ciclo de Vida	130	0.02	2.71	0.02	0.0001	0.004	0.03
Eólica	Ciclo de Vida	17	0.05	0.05	0.04	0.0007	0.01	0.06

[1] Se asume que todo el fuelóleo es producido en México. 20% de este es producido en tierra y el resto en altamar.

[2] Se produce 92% del gas domésticamente y el resto se importa de los Estados Unidos. De este, el 67 se produce en tierra y el resto en altamar

[3] 56% del carbón se produce domésticamente y el resto se importa.

[4] Se toma en cuenta la liberación de gases (5%) y su quema (0.3%) durante la producción de fuelóleos pesados y gas.

[5] Por sus siglas en ingles distintos del metano compuestos orgánicos volátiles y materia en partículas.

[6] Debido a que México tiene un porcentaje relativamente alto de generación por parte de las hidroeléctricas se utilizo un valor de 10 gCO₂eq ya que este valor es la media de la mayoría de las hidroeléctricas en el mundo (reserva y central hidroeléctrica de pasada). Fuente: Kumar, A., T. Schei, A. Ahenkorah, R. Caceres Rodriguez, *et al.* 2011. Hydropower. In IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

[7] Fuente: E. Santoyo-Castelazo, H. Gujba, A. Azapagic. 'Life Cycle Assessment of Electricity Generation in México'. *Energy*.36 (2011)

Tabla 2: Emisiones directas y de ciclo de vida, por tipo de generación eléctrica en México.

En nuestro análisis, utilizamos los potenciales de calentamiento atmosférico de los gases metano y oxido nitroso a 100 años para determinar los equivalentes de carbono para medir la intensidad efecto gas invernadero en la actual red energética de México (Tabla 3).

Asumiendo que:

- cada estado genera todo su consumo energético, y dado caso que el estado no produzca lo suficiente, el estado obtiene su recurso energético de los estados aledaños (de igual parte);
- los estados de la zona centro de México (Distrito Federal, Estado de México, Morelos y Tlaxcala) tienen la misma composición energética;
- las emisiones de gas de efecto invernadero dentro de la red eléctrica (kg CO₂eq/kWh) para el país son el promedio ponderado las emisiones de todos los estados.

Con esto obtenemos como resultado que las emisiones de ciclo de vida de la red eléctrica Mexicana, con su actual composición energética, son de 0.57 (± 0.06) kg CO₂eq /kWh.

Índices GEI para el Uso del Agua en la Vivienda en México

Análisis Regional								
	Emisiones Directas (kg/kWh)				Emisiones Cido de Vida (kg/kWh)			
	CO ₂ /kWh	CH ₄ /kWh	N ₂ O/kWh	CO _{2eq} /kWh	CO ₂ /kWh	CH ₄ /kWh	N ₂ O/kWh	CO _{2eq} /kWh
Aguascalientes	0.49	0.000010	0.000020	0.50	0.53722	0.00098	0.00003	0.566
Baja California	0.32	0.000031	0.000017	0.33	0.41659	0.00077	0.00002	0.438
Baja California Sur	0.61	0.000015	0.000018	0.62	0.68838	0.00153	0.00003	0.728
Campeche	0.52	0.000016	0.000028	0.53	0.56945	0.00105	0.00003	0.601
Chiapas	0.00	0.000000	0.000000	0.00	0.01000	0.00000	0.00000	0.010
Chihuahua	0.85	0.000004	0.000008	0.85	0.93953	0.00201	0.00003	0.992
Coahuila de Zaragoza	0.90	0.000012	0.000024	0.91	0.95771	0.00132	0.00004	0.997
Colima	0.61	0.000011	0.000017	0.62	0.68108	0.00146	0.00003	0.721
<i>Distrito Federal</i>	0.79	0.000023	0.000035	0.80	0.84190	0.00121	0.00003	0.878
Durango	0.49	0.000016	0.000031	0.50	0.53732	0.00093	0.00003	0.566
Guanajuato	0.80	0.000000	0.000000	0.80	0.89800	0.00227	0.00003	0.955
Guerrero	0.00	0.000000	0.000000	0.00	0.01000	0.00000	0.00000	0.010
Hidalgo	0.62	0.000004	0.000008	0.62	0.69674	0.00165	0.00003	0.740
Jalisco	0.00	0.000000	0.000000	0.00	0.01250	0.00001	0.00000	0.013
México	0.41	0.000020	0.000040	0.42	0.44600	0.00059	0.00003	0.468
Michoacán de Ocampo	0.00	0.000014	0.000006	0.00	0.04305	0.00001	0.00000	0.043
<i>Morelos</i>	0.79	0.000023	0.000035	0.80	0.84121	0.00121	0.00003	0.877
Nayarit	0.00	0.000000	0.000000	0.00	0.01000	0.00000	0.00000	0.010
Nuevo León	0.41	0.000022	0.000038	0.42	0.44600	0.00059	0.00003	0.468
Oaxaca	0.22	0.000014	0.000024	0.23	0.24459	0.00032	0.00002	0.256
Puebla	0.24	0.000016	0.000025	0.25	0.27264	0.00034	0.00002	0.285
Querétaro Arteaga	0.41	0.000020	0.000040	0.42	0.44600	0.00059	0.00003	0.468
Quintana Roo	0.41	0.000030	0.000030	0.42	0.43910	0.00058	0.00003	0.460
San Luis Potosí	0.55	0.000012	0.000024	0.56	0.61182	0.00122	0.00003	0.647
Sinaloa	0.44	0.000001	0.000001	0.44	0.49425	0.00123	0.00002	0.525
Sonora	0.59	0.000008	0.000015	0.59	0.65383	0.00144	0.00003	0.693
Tabasco	0.24	0.000006	0.000010	0.24	0.27218	0.00054	0.00001	0.288
Tamaulipas	0.49	0.000016	0.000032	0.50	0.53415	0.00092	0.00003	0.563
<i>Tlaxcala</i>	0.79	0.000023	0.000035	0.80	0.84121	0.00121	0.00003	0.877
Veracruz de Ignacio de la Llave	0.44	0.000008	0.000016	0.44	0.48642	0.00101	0.00002	0.515
Yucatán	0.10	0.000038	0.000030	0.11	0.12532	0.00019	0.00001	0.131
Zacatecas	0.53	0.000010	0.000019	0.54	0.57674	0.00093	0.00003	0.604
<i>Zona Centro</i>	0.79	0.000033	0.000026	0.79	0.84190	0.00121	0.00003	0.878

[1] Se asume el contenido de sulfuro promedio es de 3.6% y en el diesel es de 0.5%. El carbon domestico tiene 1% de sulfuro y el importado tiene 0.5%.

[2] Se asume que la generacion de doble turbina (dual) utiliza solo carbon.

[3] Se asume que todas las plantas de ciclo combinado son de gas.

[4] Se asume que el Distrito Federal, Morelos, y Tlaxcala obtienen su energia de la *Zona Centro*.

[5] Para los estados de Aguascalientes, Morelos, Tabasco y Zacatecas se toma el promedio de la generacion instalada en los estados vecinos para calcular emisiones de CO₂.

[6] Fuentes:: E. Santoyo-Castelazo, H. Gujba, A. Azapagic. *Life Cycle Assessment of Electricity Generación in México*. Energy.36 (2011), CFE Estadísticas

Tabla 3: Emisiones de gas de efecto invernadero de la red eléctrica Mexicana (CO_{2eq}/kWh).

3 FACTORES DE CONVERSIÓN DE COMBUSTIBLES FÓSILES

Hay dos diferentes tipos de emisiones que son importantes para la evaluación del ciclo de vida de un producto: indirectas y directas. Las emisiones indirectas son aquellas que están asociadas con la extracción, el transporte, la refinación, la distribución y el almacenamiento de las entradas (*inputs*) de los combustibles fósiles; mientras que las emisiones directas son las asociadas con la combustión de un combustible dado. El ciclo completo de vida de emisiones de una entrada de combustible fósil es, por lo tanto, la suma de emisiones indirectas y directas. En el caso de los productos y los materiales, como el plástico o el acero, el ciclo de vida de las emisiones son las asociadas con la energía utilizada para producir y transportar el material (es decir, emisiones indirectas y directas de varios combustibles usados en la extracción y la producción de un material).

Actualmente, existe un inventario de factores de conversión para múltiples combustibles en Estados Unidos y México, en términos de kg CO₂eq/unidad de combustible, pero sólo para emisiones directas de combustión^{15,16}. En muchas de las etapas, a lo largo de la cadena de suministro de producción, los combustibles fósiles son entradas de material crudo y no están quemados; por lo tanto, se requieren factores de conversión que separen las emisiones directas e indirectas para varias de las etapas del Índice de Emisión 3.

En este estudio, las entradas de combustibles fósiles son convertidas en emisiones de gases de invernadero, usando factores de conversión del Reino Unido, del Departamento de Energía y Cambio Climático (DECC) y del Departamento de Medio Ambiente, Alimentación y Asuntos Rurales (DEFRA). DECC y DEFRA recopilan información específica del Reino Unido sobre los factores de conversión de emisiones para los combustibles, la electricidad y la transportación, bajo el Protocolo de GEI para las industrias y compañías que reportan las emisiones¹⁷. Sus datos están recabados en una calculadora de emisiones, que es el modelo de conversión de emisiones de combustibles fósiles más comprensible, claro y detallado que nosotros encontramos para englobar tanto los datos de emisiones indirectas como directas.¹ Otros factores de emisiones que de hecho no serían transferibles para México (para transportación, agua o electricidad), se calcularon por separado a partir del modelo de DECC y DEFRA para reflejar el panorama geográfico y energético de México.

No esperamos que los valores de emisiones directas calculadas en el caso del Reino Unido difieran considerablemente en el caso de México; pero, como no hay información directa para compararla con México, la información de DEFRA y DECC para varios combustibles fue comparada con otros varios estudios de LCA (Análisis de Ciclo de Vida) de los Estados Unidos^{3,18,19,20}. En el Apéndice (8.1.1) se presentan, como referencia, las principales conclusiones de los factores de conversión del ciclo de vida de los combustibles fósiles mejor estudiados.

En los Estados Unidos y el Reino Unido, el análisis de emisiones de gases de efecto de invernadero asociadas con los combustibles fósiles a través de su ciclo de vida, ha sido encabezado por el sector de la transportación^{19,21}. DECC y DEFRA calculan las emisiones indirectas con datos de un estudio europeo ampliamente usado que analiza el impacto de los combustibles típicos en el sector transporte²¹. Las emisiones indirectas calculadas en el contexto europeo tienen poca posibilidad de reflejar el caso mexicano, así como las de emisiones directas, porque las emisiones indirectas principalmente toman en cuenta la extracción, la transportación y la refinación de los combustibles. Basándose en la geografía de las fuentes

¹ El acceso a la calculadora y a sus apéndices se puede encontrar aquí: <https://www.gov.uk/government/publications/2012-greenhouse-gas-conversion-factors-for-company-reporting>. Aunque las instrucciones previenen las limitaciones del uso de la calculadora en el extranjero, la única información tomada del modelo fue para los factores de conversión de los combustibles fósiles por peso y volumen.

de combustibles y en las rutas de distribución de combustibles en México, eso parece ser muy variable. Sin embargo, en la proporción de las emisiones de combustibles fósiles, de indirectas a directas, existe una tendencia observable que sugiere que la información de DEFRA y DECC para emisiones indirectas puede ser aplicada razonablemente al problema actual, a falta de otra información. NETL (2008) encontró que la fase de emisiones directas de un combustible (es decir, la fase de uso) representa 79.6% a 83.7% del ciclo de vida de las emisiones de gases de efecto de invernadero. De manera específica, NETL (2008) encontró que las emisiones indirectas para gasolina, diesel y kerosén representan 16.3% a 20% del ciclo de vida de la emisiones. El cálculo de esta relación de emisiones indirectas y directas publicado por DEFRA y DECC revela una composición de emisiones indirectas de 16.7% a 20.4% para los mismos tres combustibles. Al incluir al gas natural y GLP, entre otros combustibles, la proporción de emisiones indirectas y directas abarca entre 11.1% a 20.4%.

Los factores de conversión de DEFRA y DECC están dentro de rangos razonables de otros estudios de LCA y siguen una tendencia similar de acuerdo a los valores de emisiones indirectas y directas. Debido a la falta de factores específicos de emisiones en México, nosotros tenemos confianza de que el usar los factores de emisiones de DEFRA y DECC es una aproximación apropiada y adecuada para los factores de conversión en México. En la Tabla 4, se proporciona un resumen de factores selectos de emisiones usados en este estudio.

Factores de Conversión para Fuentes Fósiles

Tipo de Combustible	Medida	Indirectas	Directas	Total
		kg CO ₂ eq /	kg CO ₂ eq / Media	kg CO ₂ eq / Medida
Carbón	tonelada	400.50	2183.80	2584.30
Diesel	tonelada	672.20	3188.20	3860.40
Fuelóleo Pesado	tonelada	608.80	3228.10	3836.90
Nafta	tonelada	444.90	3142.10	3587.00
Petróleo (Peso)	tonelada	630.80	3147.60	3778.40
Diesel	litro	0.56	2.68	3.24
Gasóleo	litro	0.58	3.02	3.60
Gas LPG	litro	0.19	1.53	1.72
Gas Natural	metro cubico	0.21	2.03	2.24
Petróleo (Volumen)	litro	0.46	2.31	2.78
Electricidad*	kW h	0.06	0.45	0.51

*Defra/DECC (2012) es la fuente de información para todos los factores de conversión excepto para la electricidad y el agua municipal (fuente del autor). Los factores de conversión para la electricidad y el agua municipal cambian dependiendo del escenario; los números aquí representados son del estudio de caso base.

Table 4: Emisiones Directas e Indirectas para Distintos Combustibles

4 MÉTRICA 1: ENERGÍA Y EMISIONES DEL AGUA PARA LA VIVIENDA

Objetivos

- Elaborar una revisión bibliográfica de estudios que hayan desarrollado índices que describen la intensidad energética de un sistema de distribución de agua municipal (*Índice de Consumo Energético - ICE - kWh/m³*) y su huella ambiental en términos de emisiones de gas de efecto invernadero (GEI).
- Describir los componentes y características físicas de un sistema de distribución de agua y su gasto energético.
- Obtener un índice que describa las emisiones de GEI para sistemas de distribución de agua en México (kg CO₂eq/m³), denominándolo el índice de gas de efecto invernadero (IGEI), usando datos ya existentes y publicados por entidades como la CONUEE, la CONAGUA, la SENER y la CFE.

Consideraciones y Supuestos Principales

- Solamente investigamos la captación, el acondicionamiento, la conducción y la distribución de agua, pues estas son las operaciones que son mayormente afectadas por cambios marginales en la demanda de agua en viviendas residenciales. No incluimos el tratamiento de aguas residuales en el modelo, ya que el gasto energético de este proceso esta afectado principalmente por la cantidad de solidos en el agua, la cual asumimos que no es afectada por estrategias de ahorro de agua en la vivienda. Tampoco incluimos emisiones asociadas con la infraestructura de distribución, ya que no esperamos cambios significativos en esta rama como consecuencia de cambios marginales en el consumo de agua en las viviendas.
- Utilizamos como base para el ICE los consumos de energía eléctrica reportados en el censo económico del 2004 y la tarifa promedio, y ponderamos estos datos con los del sistema sectorial de información eléctrica para las tarifas correspondientes. Actualizamos los datos de 2004 a 2010 utilizando una línea de tendencia dictada por el crecimiento del abastecimiento de agua publica para uso domestico dentro de las regiones hidrológico-administrativas de México.
- Para el cálculo del IGEI tomamos en cuenta las emisiones de ciclo de vida (kg CO₂eq/kWh) de la generación de energía eléctrica en México, considerando la diversidad de producción regional y de generación que existe en el país.

Resultados Claves

- El ICE para México es de 0.46 kWh/m³ (Rango Bajo: 0.29 kWh/m³; Rango Alto 0.67 kWh/m³).
- La intensidad Gas de Efecto Invernadero en la Generación es de 0.57 CO₂eq/kWh (Rango Bajo: 0.29 CO₂eq/kWh ; Rango Alto: 0.72 CO₂eq/kWh)
- El IGEI para México es de 0.26 kg CO₂eq/m³ (Rango Bajo: 0.13 kg CO₂eq/m³ ; Rango Alto 0.33 kg CO₂eq/m³).

5 INTRODUCCIÓN

La distribución de agua y el consumo de energía están estrechamente relacionados, tanto en los sistemas de abastecimiento de agua de pequeña escala como en los de gran escala; por esta razón, las medidas de eficiencia en el consumo de agua influyen en la intensidad de las emisiones de este sector. Las plantas de tratamiento usan energía para bombear el agua, lo que resulta en un gasto significativo de energía por cada litro de agua consumido²⁵. Las pérdidas de agua (pérdidas del sistema, desperdicio por usuarios y robo) también representan un costo energético considerable que es absorbido por los servicios operadores de agua, los municipios y los gobiernos^{25,26}.

Los sistemas de distribución de agua están siendo analizados cada vez más con el acercamiento del análisis del ciclo de vida (LCA) que, en su diseño, incluyen las dimensiones técnicas, económicas, ambientales y sociales²⁷. Varios estudios reportados en la bibliografía han desarrollado costos del ciclo de vida integrales para los sistemas de distribución de agua²⁸⁻³⁰. Un estudio en Grecia analiza alternativas del costo del ciclo de vida para diferentes proyectos de aguas residuales³¹; mientras que otros estudios combinan las técnicas convencionales de optimización con esquemas de diseños modernos de sustentabilidad para desarrollar estrategias de manejo alternativo de los recursos^{32,33}. El diseño sustentable, la operación y el manejo de los sistemas de distribución del agua han sido también investigados recientemente mediante un análisis del ciclo de vida basado en la energía; el cual cuantifica los gastos de energía incurridos en las etapas de la fabricación, el uso y el término de vida de un sistema de distribución de agua^{27,34}. Tales estudios han considerado que el gasto energético del abastecimiento de agua incluye tanto los gastos energéticos directos (por ejemplo, el bombeo) como los indirectos. Los gastos indirectos están relacionados con otros recursos y materiales usados en el proceso de abastecimiento de agua, como la distribución de materiales de construcción, la colocación de tubos y las corrientes de desechos sólidos que se están generando^{25,28}. Un reporte financiado por el Instituto de Investigaciones de Energía Eléctrica (EPRI), el cual es una de las primeras investigaciones de la relación agua-energía, estima un consumo de 0.37 kilowatt hora por metro cúbico (kWh/m³) para capturar y tratar el agua superficial y 0.48 kWh/m³ para extraer y tratar el agua subterránea³⁵. Los requisitos energéticos para el tratamiento del agua residual también son altos y varían entre 0.26 kWh/m³ y más de 0.50 kWh/m³, dependiendo del tipo de tratamiento empleado.

Los LCA de los sistemas de distribución de agua están normalmente definidos por tres límites principales: la 1) *etapa de fabricación*, que está relacionada con la extracción del material, la producción del material y la construcción de las tuberías (se excluyen el transporte de tuberías y su instalación)²⁷; la 2) *etapa de uso*, relacionada con la energía del bombeo, la recuperación de la energía a través del trabajo termodinámico (turbinas) y la energía requerida para reparar las rupturas de los tubos (se excluyen la rehabilitación, el mantenimiento y la limpieza); y 3) *etapa final de vida útil*, que está relacionada con la eliminación de los tubos y su reciclado. La Figura 3 muestra los tres límites principales del sistema que rigen el análisis del ciclo de vida de la distribución del agua.

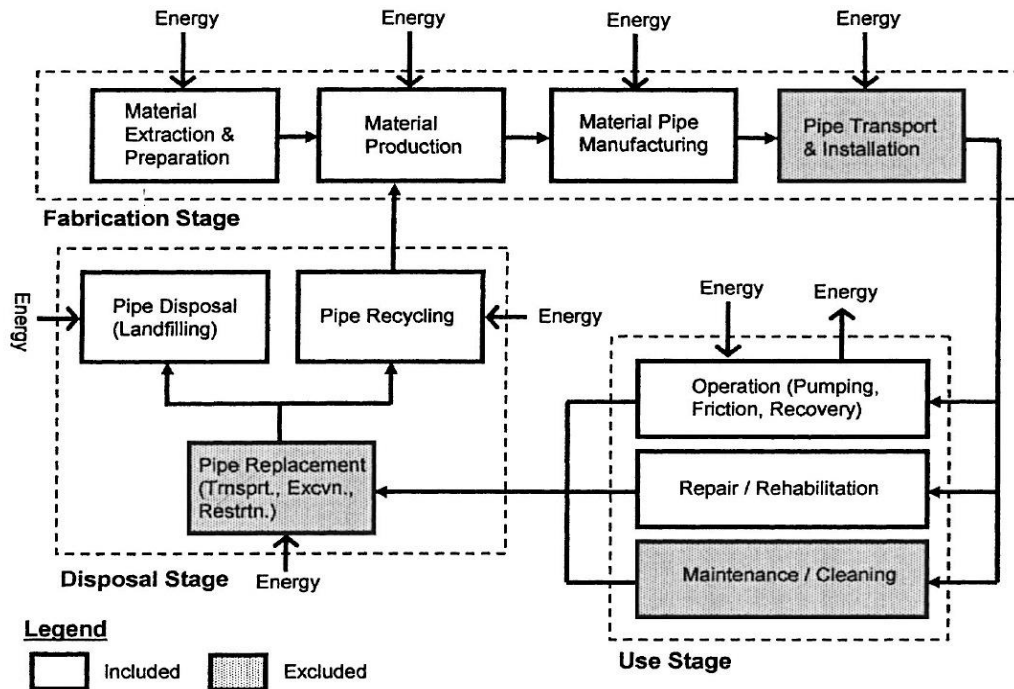


Figura 3: Límites del análisis del ciclo de vida de la energía y etapas de vida. En nuestro estudio, la etapa de uso es la más importante pues desarrolla las actividades claves de operación y mantenimiento de un sistema de distribución de agua. Fuente: Filion R. Yves, MacLean L. Heather, Karney W. Bryan (2004)²².

Dentro de los sistemas de agua, la intensidad energética de un volumen de agua está determinada, en gran medida, por factores como la calidad de la fuente de agua, el bombeo dentro del sistema de distribución, el tratamiento de agua potable, el uso final y el nivel de tratamiento del agua residual (Figura 4)³⁶. La intensidad energética de una determinada tecnología de tratamiento está relacionada con el tamaño, la concentración y la naturaleza de los contaminantes que van a ser removidos. Los requisitos en el tratamiento varían de acuerdo a la situación geográfica, el clima, la estación del año y los estándares locales de calidad del agua; y los requisitos energéticos aumentan a medida que disminuye la calidad del agua de la fuente utilizada³⁶. A pesar de que las extracciones para el abastecimiento de agua residencial son pequeñas en comparación con las de los sectores industriales y agrícolas, ellas pueden requerir más energía porque el agua debe de ser tratada para alcanzar un estándar aceptable para beber y suelen ser bombeadas a través de distancias más largas²³⁻²⁵.

Abastecer agua de alta calidad en grandes volúmenes requiere de una gran cantidad de energía para bombearla, tratarla y distribuirla a los usuarios finales; después de lo cual, el agua es recolectada y enviada a la planta de tratamiento de aguas residuales, donde es reacondicionada hasta alcanzar estándares aceptables para ser vertida en un reservorio. Dependiendo de las circunstancias locales, las regulaciones ambientales y los estándares regionales, el agua recuperada pasa por un tercer tratamiento²⁶. Sin embargo, en muchas regiones del mundo (incluyendo a México), el agua residual es tratada a un estándar aceptable para reusarse como agua no potable y no requiere un tratamiento adicional a la práctica estándar. De esta manera, los gastos de energía para el agua reciclada son principalmente para el bombeo de agua desde la planta de tratamiento del agua residual hasta su uso final^{39,40}.

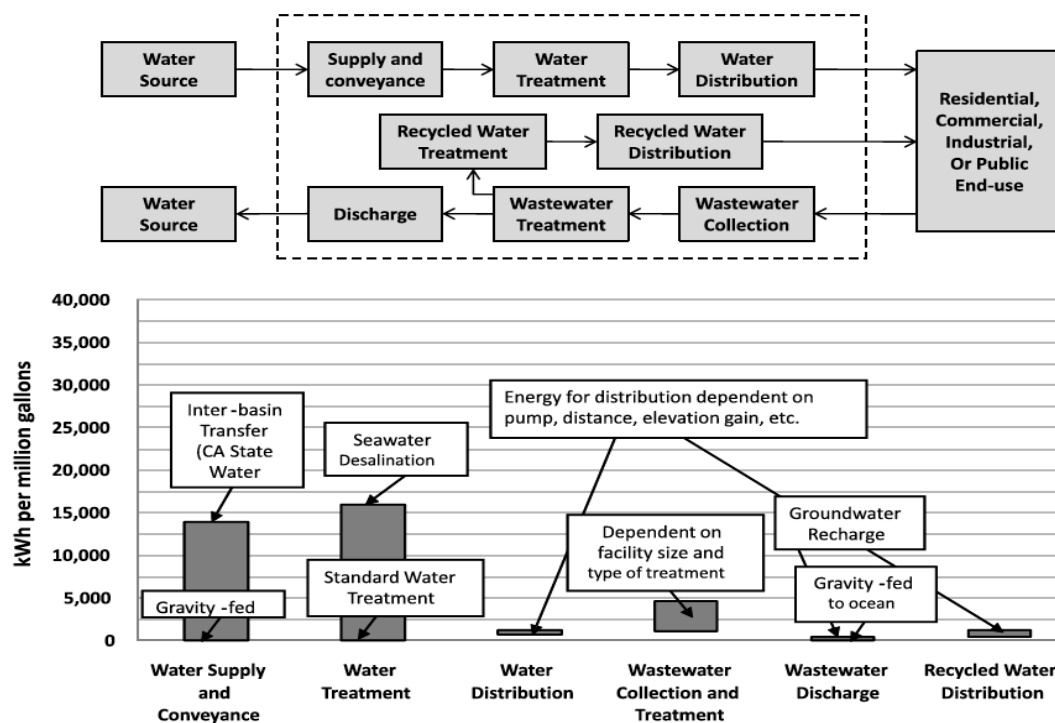


Figura 4: Intensidad energética y etapas en el ciclo de vida del abastecimiento público del agua. Se ha demostrado que la intensidad energética para cada etapa en el ciclo de vida del abastecimiento público del agua varía de acuerdo a la topografía regional, el clima y el marco de las políticas (por ejemplo, los estándares ambientales). Fuente: California Energy Commission. 2005. California's water energy relationship. Technical Report. CEC-700-2005-011-SF

En México, y dentro de este marco de referencia, la Sociedad Alemana para la Cooperación Internacional (GIZ) y la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) han desarrollado recientemente un estudio en el que investigan la energía gris (*energy embedded*) de los sistemas de distribución de agua a lo largo del país. El análisis evaluó más de 2,000 plantas municipales de distribución de agua y encontró que 95% del gasto energético estaba relacionado con el bombeo de agua. A partir de esto, desarrollaron un índice que relaciona la energía y el agua (Índice de Consumo Energético – ICE – kWh/m³) que tomó en consideración a la energía requerida para obtener, tratar y distribuir el agua a través de una red de distribución⁴¹. En México, como en muchos otros países en desarrollo que están altamente urbanizados, el abastecimiento intermitente es una práctica muy común de la distribución del agua. GIZ y CONUEE tomaron esto en cuenta, al considerar tanto los requisitos de bombeo de agua almacenada dentro de una vivienda, como también la energía gris de la distribución de agua por camiones llamados pipas⁴¹. Este estudio es el primero en su tipo en calcular la energía gris de la distribución de agua para fines domésticos^{41,42}. Mientras que algunos estudios han evaluado las emisiones grises de CO₂eq en el uso de agua en las viviendas en otros países⁴³⁻⁴⁵, en México no ha habido estudios previos que desarrollen un índice de emisiones grises de CO₂eq/m³ (en donde los kWh/m³ son convertidos a kgCO₂eq/m³ de emisiones directas e indirectas).

Aunque ya hay modelos de evaluación del ciclo de vida de la generación de electricidad en México, hasta ahora no se ha llevado a cabo un análisis que muestre la relación entre las emisiones de GEI y el agua a escala residencial. La energía requerida para bombear agua a través de un sistema de distribución proviene principalmente de las fuentes de combustible fósiles. Como la producción de electricidad en México está dominada principalmente por los combustibles fósiles (70%), con una contribución menor por hidroelectricidad (20%) y otras fuentes que no son fósiles (10%), se espera que las emisiones grises de CO₂eq en la distribución del agua reflejen de manera adecuada la matriz energética del país - dependiendo

tanto de la cantidad de agua que es bombeada como de la energía requerida para bombear el agua cada año⁹⁻⁴⁶.

En el presente estudio, llevamos a cabo un análisis de ciclo de vida tomando en cuenta datos de emisiones para fuentes de energía en México de generación de la comisión nacional de electricidad (Comisión Federal de Electricidad)⁴⁷ y de consumo de agua en viviendas de la CONAGUA, para desarrollar el primer índice de emisiones grises de CO₂eq (kg CO₂eq/m³) en la distribución de agua para viviendas en México.

6 LOS COMPONENTES DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA

El consumo de energía eléctrica se encuentra presente durante todo el transcurso de un organismo operador de agua para extraer, acondicionar, y conducir el agua potable hasta los usuarios. En México, el consumo del gasto eléctrico en la distribución del agua no es el único gasto energético, sino que también existe el gasto energético con respecto al transporte del agua en pipas (a causa de ineficiencias en el sistema de distribución) y los sistemas de bombeo y electromotrices en las actividades relacionadas al saneamiento del agua²⁶.

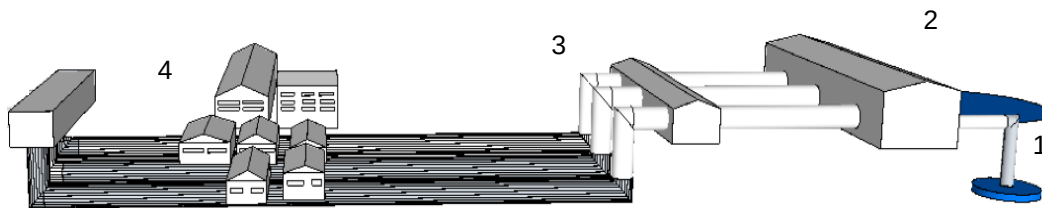


Figura 5: Uso de la Electricidad en los Procesos de Distribución y Saneamiento de Agua en México: 1) Captación, 2) Acondicionamiento, 3) Conducción, y 4) Distribución. Elaboración del autor.

En general hay seis diferentes etapas que determinan el consumo energético en el ciclo de agua en México: 1) la captación del agua (extracción de pozo profundo y/o captación de fuente superficial); 2) el acondicionamiento (desinfección y potabilización); 3) la conducción (bombeo y envío del agua potable a la red de distribución); 4) distribución (almacenamiento, re-bombeo, transporte por pipas); 5) saneamiento y manejo de agua pluvial; y 6) operaciones administrativas de telemetría y control²⁶.

A pesar de que hay seis diferentes etapas que determinan este consumo energético, aquí solamente investigamos la captación, el acondicionamiento, la conducción y la distribución de agua, pues estas son las operaciones que son mayormente afectadas por los cambios en la demanda de agua en hogares residenciales. Aunque el tratamiento de aguas residuales es también un componente con un gasto energético alto, aquí no lo tomamos en cuenta debido a que asumimos que la cantidad de residuos sólidos es la misma independientemente de la cantidad de agua que se usa en el hogar y debido a que el gasto energético está relacionado principalmente con la cantidad de sólidos (el bombeo de agua en una planta de tratamiento es aproximadamente 15% del total)^{27,28,29,30}.

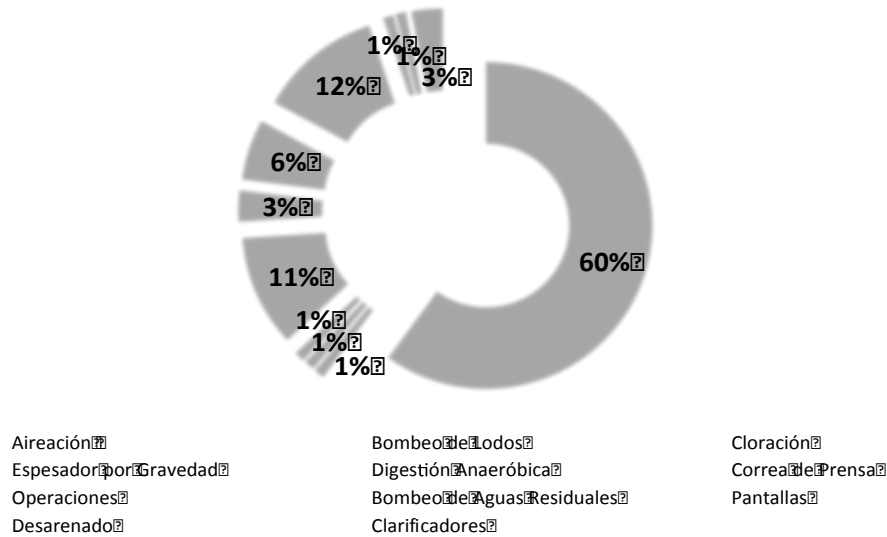


Figura 6: El Uso de la Energía en una Planta de Tratamiento. Los sistemas de aeración, seguidos por el bombeo de aguas residuales, y la digestión anaeróbica son los procesos que mas gasto energético tienen dentro de una planta de tratamiento de aguas negras. Fuente: Black and Veatch (2011)²⁷. Elaboración del Autor.

6.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA

La potencia requerida para un equipo depende del gasto suministrado (Q : m³/s), la carga total del bombeo (H : m), la densidad del fluido a bombear (ρ : N/m³) y la eficiencia electromecánica del equipo de bombeo (η):

$$P_e = \frac{Q \times H \times \rho}{\eta_e}$$

Donde la carga total del equipo también depende de la carga total de bombeo (H : columna de agua); la presión en la descarga reflejando las perdidas por fricción en las tuberías de descarga y la magnitud de la altura topográfica a donde se debe bombear el agua durante la operación (Pm : m); el nivel dinámico (ND : m); las perdidas por fricción (h_{fr}); y la carga de velocidad en las tuberías (h_v):

$$H = Pm + ND + h_{fr} + h_v$$

$$\text{donde: } h_v = \frac{v^2}{2g}$$

y v es la velocidad dentro de la tubería.

La cantidad de agua bombeada (Q : m³/s) depende del tamaño y el tipo de la población a la que se le suministra (residencial, comercial o industrial) y su peso específico dentro de la población; el clima (dotaciones mayores en climas calientes y/o áridos); el nivel de perdidas de agua en el sistema de distribución (dotaciones mayores en sistemas con perdidas grandes de agua); el numero de horas de operación de los sistemas de bombeo; la eficiencia en la operación hidráulica y control de presiones; los niveles de atomización del sistema; y los niveles de cobertura (agua potable y recolección de aguas residuales)²⁶.

Cada etapa en el sistema de distribución y saneamiento es también parte de una cadena energética, donde parte de la energía se utiliza y otra se pierde dependiendo de las características del sistema, incluyendo: la calidad de la energía (instalaciones eléctricas, factor de potencia; perdidas por sobrecalentamientos, y conductores); la

eficiencia de los equipos de bombeo; y la eficiencia de los motores en los sistemas de bombeo²⁶. Así, el consumo energético de un equipo de bombeo (kWh) depende de la potencia promedio requerida (W) y el tiempo de operación en horas al año ($h/año$):

$$C_{eb} = \frac{P_e \times t}{1000}$$

El consumo de energía total del sistema de agua y saneamiento es la suma del consumo de energía en los sistemas de bombeo (C_{eb}) y el consumo de energía en el resto de los componentes del sistema (C_{ers})²⁶:

$$C_{es} = C_{eb} + C_{ers}$$

6.2 DEFINICIONES: EL ÍNDICE DE CONSUMO ENERGÉTICO (IE) EN RELACIÓN AL AGUA Y EL ÍNDICE DE GAS DE EFECTO INVERNADERO (IGEI)

El índice de consumo energético (IE) es el dato mas importante para la determinación de un índice de gas de efecto invernadero (IGEI), proporcionándonos la información necesaria para crear un índice que se puede traducir de kWh/m^3 a CO_{2eq}/m^3 . El ICE describe la relación entre la energía utilizada por un sistema de bombeo de agua potable y la energía requerida para su tratamiento después de uso²⁶:

$$ICE = \frac{\text{Energía Requerida} \frac{kWh}{año}}{\text{Volumen de Agua} \frac{m^3}{año}} = \frac{kWh}{m^3}$$

El ICE es calculado dependiendo del peso energético que tiene cada una de las etapas descritas en la Figura 5 y con base a esos datos uno puede caracterizar la intensidad energética de un sistema de distribución. De la misma manera, si uno conoce las características de generación eléctrica dentro de una región, o un país, uno puede calcular las emisiones de gas de efecto invernadero relacionados a la generación eléctrica y por lo tanto calcular un índice de gas de efecto invernadero (IGEI):

$$IGEI = \frac{\text{Energía Requerida} \frac{kWh}{año} * \text{Intensidad de Carbono} \frac{kg CO_{2eq}}{kWh}}{\text{Volumen de Agua} \frac{m^3}{año}} = \frac{kg CO_{2eq}}{m^3}$$

6.3 EL ÍNDICE DE CONSUMO ENERGÉTICO (ICE) DEL AGUA EN MÉXICO

La organización Alemana GIZ y la CONUEE hicieron el primer estudio en busca de detallar el índice de consumo energético, relacionando al suministro de agua municipal en México²⁶. Este estudio agrupa la distribución de agua para usuarios domésticos junto a las diversas industrias y servicios conectados a la red de distribución dentro de un municipio³¹. Aquí nosotros modificamos el análisis de GIZ y CONUEE para tomar en cuenta solamente el gasto energético relacionado a la distribución de agua potable para uso domestico (específicamente, para la población que vive en viviendas particulares).

6.4 DISTRIBUCIÓN DEL AGUA A VIVIENDAS PARTICULARES

La CONAGUA detalla en su reporte de la 'Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento 2010' la población total y la población en viviendas particulares, al igual que el agua potable suministrada por los servicios de agua municipales. Para poder calcular un ICE y IGEI para el uso domestico aquí tomaremos en cuenta solamente la población en viviendas particulares (Tabla 5). Es decir, utilizamos datos de la CONAGUA³² y la fracción de la población que vive en viviendas particulares con respecto a la población total para determinar la

Índices GEI para el Uso del Agua en la Vivienda en México

cantidad de agua suministrada (litros/segundo) y dotación (litros/habitante/día) por entidad federativa. Comparando estos datos con aquellos desarrollados por la GIZ y CONUEE, y de acuerdo a los datos mas actualizados de la CONAGUA, la producción de agua (litros/segundo) ha disminuido en la gran mayoría de los estados del país mientras que la población ha seguido incrementando. Esto significa que en la gran mayoría de los estados la dotación de agua por persona (l/h/d) a disminuido³².

Producción de Agua Por Entidad Federativa (2011) ¹							
Estado	No. de Municipios	Población Total	Pob. Viviendas Particulares	Fraccion	Agua Suministrada (l/s) ²	Agua Suministrada (l/s) ²	Dotación (l/h/d) ²
Aguascalientes	11	1,196,629	1,189,266	0.994	3,920	3,896	283
Baja California	5	3,192,425	3,110,796	0.974	8,637	8,416	234
Baja California Sur	5	645,008	628,331	0.974	2,800	2,728	375
Campeche	11	829,622	821,191	0.990	2,918	2,888	304
Chiapas	118	4,836,232	4,768,847	0.986	6,305	6,217	113
Chihuahua	67	3,430,580	3,313,999	0.966	13,215	12,766	333
Coahuila de Zaragoza	38	2,767,792	2,723,221	0.984	11,651	11,463	364
Colima	10	656,106	644,334	0.982	3,751	3,684	494
Distrito Federal	1	8,866,463	8,599,597	0.970	32,088	31,122	313
Durango	39	1,640,023	1,606,589	0.980	7,940	7,778	418
Guanajuato	46	5,523,966	5,482,532	0.992	13,689	13,586	214
Guerrero	81	3,407,971	3,383,125	0.993	7,752	7,695	197
Hidalgo	84	2,684,434	2,658,724	0.990	4,279	4,238	138
Jalisco	124	7,401,882	7,279,876	0.984	20,694	20,353	242
México	125	15,309,864	15,083,392	0.985	35,476	34,951	200
Michoacán de Ocampo	113	4,371,108	4,308,392	0.986	14,683	14,472	290
Morelos	33	1,791,781	1,757,729	0.981	9,941	9,752	479
Nayarit	20	1,091,487	1,076,877	0.987	3,124	3,082	247
Nuevo León	51	4,692,326	4,620,130	0.985	12,638	12,444	233
Oaxaca	570	3,821,522	3,791,026	0.992	4,936	4,897	112
Puebla	217	5,821,172	5,750,405	0.988	9,823	9,704	146
Querétaro Arteaga	18	1,847,355	1,829,120	0.990	5,049	4,999	236
Quintana Roo	8	1,346,386	1,322,822	0.982	4,204	4,130	270
San Luis Potosí	58	2,600,076	2,570,831	0.989	5,476	5,414	182
Sinaloa	18	2,781,854	2,761,774	0.993	10,174	10,101	316
Sonora	72	2,683,452	2,636,432	0.982	13,030	12,802	420
Tabasco	17	2,257,024	2,226,259	0.986	10,949	10,800	419
Tamaulipas	43	3,924,028	3,181,100	0.811	11,591	9,397	255
Tlaxcala	60	1,180,152	1,173,162	0.994	2,312	2,298	169
Veracruz de Ignacio de la Llave	212	7,678,568	7,567,686	0.986	22,871	22,541	257
Yucatán	106	1,970,393	1,952,788	0.991	6,887	6,825	302
Zacatecas	58	1,496,027	1,480,281	0.989	6,503	6,435	376

[1] Situación del Subsector de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento CONAGUA (2011)

[2] Esta es la fracción del agua que es suministrada a viviendas particulares.

Tabla 5: Producción de Agua por Entidad Federativa. Fuente: CONAGUA (2011)³². Elaboración del autor.

Cabe notar que la Zona Central del país (Distrito Federal, México, Veracruz, Hidalgo, Tlaxcala, Puebla, Guerrero y Morelos) tiene el suministro de agua mas alto del país, seguido por la Zona Norte (Baja California, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Durango, y Sinaloa), el México Occidental y el Bajío (Guanajuato, Zacatecas, Jalisco, San Luis Potosí, Nayarit, Colima, Michoacán, Aguascalientes, Querétaro), la Península de Yucatán y el Sur de México (Tabla 6). Cabe resaltar, sin embargo, que las regiones con mayor dotación por habitante son las de la Zona Norte del país, seguido por el México Occidental y el Bajío y México Central.

Distribución del Agua por Zonas en México

	Agua Suministrada (l/s)	Dotación (l/h/d)
Zona Norte	12,360	316
México Occidental y	8,436	285
México Central	15,288	237
México Sur	7,305	214
Península del Yucatá	4,615	292

Tabla 6: Promedio de Agua Suministrada y Dotación de Agua por Región. Fuente: CONAGUA (2011)³². Elaboración del autor.

6.5 CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS DE AGUA

En esta sección determinamos el consumo de energía eléctrica relacionado a la distribución de agua para viviendas particulares. La CFE reporta en la Tarifa 6 '*Bombeo de Agua Potable y Alcantarillado de Servicio Público*' del sistema de información energética, que en el año 2010 hubieron un promedio de 32,970 usuarios con un gasto energético anual (nacional) de 2,962,515 MWh/año. Debido a que los datos de la CFE para la Tarifa 6 no están regionalizados (no son proporcionados por estado), y para poder regionalizarlos, tomamos en cuenta la fracción del gasto regional en materia energética (MWh) frente al total nacional, al igual que la fracción de agua que se distribuye para la vivienda residencial frente al agua total distribuida a un municipio (la fracción de la población que habita en viviendas residenciales).

Sin embargo y de acuerdo al análisis ya elaborado por la GIZ y CONUEE, no todos los sistemas de bombeo de agua municipal se encuentran registrados en contratos de la Tarifa 6 de la CFE²⁶. En vez, el estudio de la GIZ y CONUEE tomó como base los consumos de energía eléctrica reportados en el censo económico del 2004 y la tarifa promedio, y ponderando estos datos con los del sistema sectorial de información eléctrica para las tarifas correspondientes, el estudio estimó con mayor precisión los consumos de energía eléctrica por entidad federativa²⁶. Para actualizar los datos del censo 2004 (a 2010) desarrollamos una línea de tendencia utilizando el porcentaje de crecimiento anual en las diferentes divisiones hidrológicas administrativas en México (2001-2008). Debido a que los datos de abastecimiento de agua pública reportados por CONAGUA son solamente para regiones administrativas hidrológicas, extrapolamos los datos para cada estado dependiendo de la región hidrológico-administrativa del cual son parte. Utilizamos el índice de cambio anual (%) del abastecimiento de agua pública en vez del poblacional o del de la demanda energética porque no es tan claro como estos dos últimos están ligados al crecimiento de la demanda de agua en hogares residenciales. En cambio, esperamos que el cambio en la demanda de agua para viviendas residenciales resulte en un gasto energético proporcional.

Gasto Energético y Bombeo de Agua por Estado

Estado	Proporción del Gasto Total	Bombeo de Agua Potable y Negras
	Nacional Energético¹	de Servicio Público (kWh)²
Aguascalientes	1.18%	34,806,834
Baja California	4.79%	138,414,060
Baja California Sur	0.97%	27,932,191
Campeche	0.59%	17,198,778
Chiapas	1.37%	40,060,075
Chihuahua	5.16%	147,569,429
Coahuila de Zaragoza	4.95%	144,379,360
Colima	0.80%	23,329,638
Distrito Federal	7.12%	204,560,624
Durango	1.51%	43,694,924
Guanajuato	5.08%	149,489,103
Guerrero	1.44%	42,219,971
Hidalgo	1.67%	48,945,538
Jalisco	6.07%	176,770,974
México	8.62%	251,611,343
Michoacán de Ocampo	3.68%	107,571,483
Morelos	1.29%	37,390,679
Nayarit	0.67%	19,583,769
Nuevo León	8.31%	242,447,123
Oaxaca	1.24%	36,329,173
Puebla	3.83%	112,179,152
Querétaro Arteaga	2.12%	62,125,382
Quintana Roo	1.94%	56,528,049
San Luis Potosí	2.60%	76,131,232
Sinaloa	2.95%	86,813,886
Sonora	4.92%	143,078,305
Tabasco	1.52%	44,370,918
Tamaulipas	4.46%	107,194,289
Tlaxcala	0.89%	26,204,947
Veracruz de Ignacio de la Llave	5.37%	156,709,443
Yucatán	1.52%	44,729,297
Zacatecas	1.37%	40,298,116

[1] Datos del Sistema de Información Energética con información de CFE, incluye información de la extinta LyFC. Proporción del gasto total energético nacional (Mph).

[2] Se utiliza la fracción del gasto total regional para calcular gasto energético (kWh) por cada entidad federativa. Se usan datos de la Tarifa 6 de la SENER 'Bombeo de Agua Potable y Negras del Servicio Público' 2010.

Tabla 7: El Gasto Energético de Agua Potable y Negras del Servicio Público (kWh).

Fuente: 'Sistema de Información Energética', Elaboración del autor.

De estos datos podemos observar que la entidad federativa con mayor consumo de energía eléctrica es el Distrito Federal, seguido por los estados de Jalisco, Nuevo León y de México. Las discrepancias que existen entre estos datos y aquellos detallados por el SIE son grandes, señalando la gran necesidad que existe por tener datos certeros y específicos de las autoridades locales – que registren toda la producción energética de todas las plantas municipales – para poder realizar un análisis más detallado de la situación y relación de la producción de agua contra el consumo de energía de los sistemas de bombeo municipales.

Gasto Energético Relacionado al Bombeo Municipal

Estado	No. de Municipios	Población Total	Datos del Censo 2004	Estimado de consumo	Estimado de consumo
			(kWh/año)	EE en (kWh/año) ^{1,2}	EE en (kWh/año) ^{1,2}
Aguascalientes	11	1,196,629	89,738,316	96,633,381	96,038,784
Baja California	5	3,192,425	96,491,288	19,196,320	18,705,478
Baja California Sur	5	645,008	41,873,718	8,330,506	8,115,117
Campeche	11	829,622	31,082,723	32,093,780	31,767,629
Chiapas	118	4,836,232	60,045,351	67,748,773	66,804,804
Chihuahua	67	3,430,580	197,018,482	366,319,146	353,870,566
Coahuila de Zaragoza	38	2,767,792	162,025,810	301,256,795	296,405,521
Colima	10	656,106	36,634,343	50,609,254	49,701,212
Distrito Federal	1	8,866,463	549,431,526	592,592,782	574,756,711
Durango	39	1,640,023	77,898,388	83,755,169	82,047,711
Guanajuato	46	5,523,966	183,614,151	197,722,188	196,239,119
Guerrero	81	3,407,971	117,716,577	162,621,947	161,436,343
Hidalgo	84	2,684,434	66,257,450	87,578,008	86,739,235
Jalisco	124	7,401,882	296,130,516	318,883,774	313,627,579
México	125	15,309,864	226,067,904	243,437,885	239,836,816
Michoacán de Ocampo	113	4,371,108	75,547,549	81,352,263	80,185,033
Morelos	33	1,791,781	67,447,158	93,176,241	91,405,468
Nayarit	20	1,091,487	16,279,108	17,529,917	17,295,272
Nuevo León	51	4,692,326	251,571,487	467,750,291	460,553,498
Oaxaca	570	3,821,522	40,253,216	51,613,131	51,201,255
Puebla	217	5,821,172	129,077,023	178,316,065	176,148,307
Querétaro Arteaga	18	1,847,355	111,096,971	119,633,133	118,452,250
Quintana Roo	8	1,346,386	92,085,979	95,081,347	93,417,265
San Luis Potosí	58	2,600,076	105,920,046	113,883,632	112,602,698
Sinaloa	18	2,781,854	100,213,890	132,925,956	131,966,469
Sonora	72	2,683,452	146,254,763	149,636,842	147,014,874
Tabasco	17	2,257,024	65,471,014	73,870,513	72,863,600
Tamaulipas	43	3,924,028	118,551,702	156,699,690	127,032,066
Tlaxcala	60	1,180,152	33,736,281	46,605,668	46,329,624
Veracruz de Ignacio de la Llave	212	7,678,568	90,921,674	92,759,325	91,419,839
Yucatán	106	1,970,393	35,223,416	36,369,162	36,044,212
Zacatecas	58	1,496,027	59,830,484	64,328,832	63,651,757

[1] Datos del Censo 2004 cruzado con datos del sistema de información energética y el documento 'Estudio Integral de Sistemas de Bombeo y Agua Municipal' GIZ y CONUEE.

[2] Se utilizó una línea de tendencia lineal para calcular el crecimiento del consumo energético anual entre 2004 y 2010 para el bombeo de agua municipal (utilizando datos de demanda energética por estado). De igual manera se utilizó un factor derivado de la tabla 1 (población total/población viviendas particulares) para calcular la fracción de energía que se utiliza específicamente para el bombeo de agua para la vivienda residencial.

Tabla 8: Consumo de Energía Eléctrica dedicado al Bombeo de Agua Potable para Viviendas Residenciales. Fuentes: 'Sistema de Información Energética', 'Estudio Integral de Sistemas de Bombeo y Agua Municipal' GIZ y CONUEE, 'CENSO 2004', Elaboración del autor.

6.6 CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN HOGARES

Al índice de consumo energético o ICE (kWh/m^3) que hemos calculado anteriormente para representar la relación exacta entre la energía utilizada por un sistema de bombeo de agua potable le añadimos el bombeo de agua dentro de la misma vivienda tomando en cuenta los sistemas cisterna-tinaco:

- Según el Censo 2010 del INEGI cada casa habitación tiene cuatro personas por vivienda. Adicionalmente, en el documento 'Estudio Integral de Sistemas de Bombeo y Agua Municipal' la GIZ y CONUEE se estima que el 35% de las viviendas con conexión a la red municipal de agua potable tienen un sistema de cisterna-tinaco para el abastecimiento de su vivienda.
- Asumimos que en promedio, en una casa de cuatro personas, se consumen alrededor de 800 litros/día, y estimamos que las bombas domesticas tendrían que elevar el agua a una altura promedio de 10 metros. Tomando en cuenta la eficiencia de las bombas centrifugas (55% máximo), podemos estimar que al año cada sistema de bombeo de casa habitación consume un promedio de 15 kWh/año.
- Asumimos un flujo de volumen constante en la distribución de agua para cada estado del país.
- Para calcular el ICE para México se tomo en cuenta un promedio ponderado usando como peso la cantidad de agua que se consume en cada estado con respecto al total.

Índices GEI para el Uso del Agua en la Vivienda en México

Índice de Consumo Energético (kWh/m ³)					
Estado	Bombeo Municipal	Bombeo Residencial			
	kWh/año	kWh/año	l/s	m ³ /año	ICE Bombeo de Agua (kWh/m ³)
Aguascalientes	96,038,784	1,536,924	3,896	122,860,465	0.79
Baja California	18,705,478	3,915,875	8,416	265,411,878	0.09
Baja California Sur	8,115,117	757,488	2,728	86,017,739	0.10
Campeche	31,767,629	971,342	2,888	91,086,878	0.36
Chiapas	66,804,804	4,878,011	6,217	196,064,046	0.37
Chihuahua	353,870,566	4,143,101	12,766	402,585,933	0.89
Coahuila de Zaragoza	296,405,521	3,521,221	11,463	361,509,111	0.83
Colima	49,701,212	831,701	3,684	116,169,123	0.43
Distrito Federal	574,756,711	11,049,351	31,122	981,469,819	0.60
Durango	82,047,711	2,001,834	7,778	245,291,195	0.34
Guanajuato	196,239,119	6,780,827	13,586	428,458,249	0.47
Guerrero	161,436,343	3,155,679	7,695	242,684,771	0.68
Hidalgo	86,739,235	3,193,768	4,238	133,650,140	0.67
Jalisco	313,627,579	9,146,431	20,353	641,849,011	0.50
México	239,836,816	18,519,917	34,951	1,102,221,653	0.23
Michoacán de Ocampo	80,185,033	5,197,441	14,472	456,399,415	0.19
Morelos	91,405,468	2,118,202	9,752	307,541,460	0.30
Nayarit	17,295,272	1,315,575	3,082	97,199,754	0.19
Nuevo León	460,553,498	5,870,420	12,444	392,419,858	1.19
Oaxaca	51,201,255	3,831,862	4,897	154,419,505	0.36
Puebla	176,148,307	6,565,993	9,704	306,012,208	0.60
Querétaro Arteaga	118,452,250	2,278,467	4,999	157,653,572	0.77
Quintana Roo	93,417,265	1,598,584	4,130	130,257,019	0.73
San Luis Potosí	112,602,698	2,927,378	5,414	170,748,750	0.68
Sinaloa	131,966,469	3,439,465	10,101	318,531,322	0.43
Sonora	147,014,874	3,337,796	12,802	403,713,959	0.37
Tabasco	72,863,600	2,408,658	10,800	340,581,123	0.22
Tamaulipas	127,032,066	4,009,907	9,397	296,328,032	0.44
Tlaxcala	46,329,624	1,505,411	2,298	72,479,381	0.66
Veracruz de Ignacio de la Llave	91,419,839	8,023,525	22,541	710,844,537	0.14
Yucatán	36,044,212	2,518,134	6,825	215,247,904	0.18
Zacatecas	63,651,757	1,845,019	6,435	202,920,112	0.32

<i>Promedio ICE México</i>	0.47
<i>Promedio Ponderado</i>	0.46

[1] Datos del Censo 2004 cruzado con datos del sistema de información energética (SIE) y el documento 'Estudio Integral de Sistemas de Bombeo y Agua Municipal' GIZ y CONUEE.

[2] Se utilizó una línea de tendencia lineal para calcular el crecimiento del consumo energético anual entre 2004 y 2010 para el bombeo de agua municipal. De igual manera se utilizó un factor derivado de la tabla 1 para calcular la fracción de energía que se utiliza específicamente para el bombeo de agua para la vivienda residencial.

[3] Según el Censo 2004 de la inegi cada casa habitación tiene 4 personas por vivienda. Adicionalmente, en el documento 'Estudio Integral de Sistemas de Bombeo y Agua Municipal' la GIZ y CONUEE se estima que el 35% de las viviendas con conexión a la red municipal de agua potable tienen un sistema de cisterna-tinaco para el abastecimiento de su vivienda.

[4] Se asume que en promedio, en una casa de 4 personas, se consumen alrededor de 800 litros/día, y se estima que las bombas domésticas tendrían que elevar el agua a una altura promedio de 10 metros. Si se toma en cuenta la eficiencia de las bombas centrífugas (55% máximo), se puede estimar que al año cada sistema de bombeo de casa habitación consumiría un promedio de 15 kWh/año.

[5] Se asume un flujo de volumen constante para cada estado del país.

[6] Se calcula un promedio ponderado usando como peso la cantidad de agua que consume cada estado con respecto al total.

Tabla 9: El Índice de Consumo Energético en México (ICE – kWh/m³).

6.7 EL ÍNDICE DE GAS DE EFECTO INVERNADERO (IGEI)

Como hemos descrito anteriormente en la introducción, nuestro análisis utiliza los potenciales de calentamiento atmosférico de los gases metano ($\text{kg CO}_2\text{eq} = 21 \times \text{kg CH}_4$) y óxido nítrico ($\text{kg CO}_2\text{eq} = 310 \times \text{kg N}_2\text{O}$) a 100 años para determinar los equivalentes de carbono para medir la intensidad efecto gas invernadero en la actual red energética de México ($\text{kg CO}_2 + \text{kg CO}_2\text{eq}[\text{CH}_4] + \text{kg CO}_2\text{eq}[\text{N}_2\text{O}]$), asumiendo que:

- cada estado genera todo su consumo energético, y dado caso que el estado no produzca lo suficiente, el estado obtiene su recurso energético de los estados aledaños (de igual parte);
- los estados de la Zona Centro de México (Distrito Federal, México, Morelos y Tlaxcala) tienen la misma composición energética;
- debido a que México tiene un porcentaje relativamente alto de generación por parte de las hidroeléctricas, utilizamos un valor de 10 gCO₂eq, ya que este valor es la media de la mayoría de las hidroeléctricas en el mundo (reserva y central hidroeléctrica de pasada);
- el valor de kg CO₂eq /kWh para el país es el promedio ponderado de todos los estados; y
- el IGEI se determina multiplicando el valor del ICE (kWh/m³) con la intensidad energética de carbono (kg CO₂eq /kWh), así obteniendo (kg CO₂eq /m³).

Debido a que México es un país con una gran diversidad regional de producción energética y debido a que diferentes estados de la república mexicana producen más energía que otros tomamos en cuenta un promedio ponderado para calcular el valor de la intensidad energética kg CO₂eq /m³. Es decir, para el cálculo de la intensidad de gas de efecto de la generación eléctrica, calculamos un promedio ponderado tomando en cuenta los pesos de generación eléctrica (capacidad instalada) para cada estado en México. Esto quiere decir que los estados con más capacidad de generación tienen un peso de emisiones de gas de efecto invernadero mayor que otros estados. Para tomar en cuenta ambas la diversidad que existe en capacidad instalada y el consumo de agua en el país se utilizó el rango intercuartil del ICE, de la intensidad Gas de Efecto Invernadero en la Generación, y del IGEI para determinar así un rango bajo alto y un alto dentro de nuestros resultados. Con

esto determinamos que el ICE para México es de 0.46 kWh/m³ (Rango Bajo: 0.29 kWh/m³; Rango Alto 0.67 kWh/m³) y el IGEI es de 0.26 kg CO₂eq/m³ (Rango Bajo: 0.13 kg CO₂eq/m³ ; Rango Alto 0.33 kg CO₂eq/m³).

Índices de Gas de Efecto Invernadero (kg CO₂eq/m³)

Índice de Consumo Energético ICE	Intensidad Gas de Efecto Invernadero de la Generación	Índice Gas de Efecto Invernadero IGEI
kWh/m ³ (IQR)	kg CO ₂ eq/kWh (IQR)	kg CO ₂ eq/m ³ (IQR)
	Emisiones LCA Ponderado	Emisiones LCA Ponderado
0.46 (0.29 - 0.67)	0.57 (0.29 - 0.72)	0.26 (0.13 - 0.33)

[1] Cada estado genera todo su consumo energético, y dado caso que el estado no produzca lo suficiente, el estado obtiene su recurso energético de los estados aledaños (de igual parte).

[2] En nuestro análisis utilizamos los potenciales de calentamiento atmosférico de los gases metano (CO₂eq = CH₄ *25) y óxido nítrico (CO₂eq = N₂O *298) a 100 años para determinar los equivalentes de carbono para medir la intensidad efecto gas invernadero en la actual red energética de México (CO₂eq + CO₂eq,CH₄ + CO₂eq,N₂O).

[3] El valor de CO₂eq para el país es el promedio obtenido de todos los estados.

[4] El IGEI se determina como mencionando anteriormente en la sección 1.1 multiplicando el valor del ICE (kWh/m³) con la intensidad energética de carbono (CO₂eq/kWh) así determinando el IGEI (CO₂eq/m³).

[5] Para el cálculo de la intensidad de gas de efecto de la generación eléctrica se tomó un promedio ponderado tomando en cuenta los pesos de generación eléctrica (capacidad instalada) para cada estado en México. Esto quiere decir que los estados con más capacidad de generación tienen un peso de emisiones de gas de efecto invernadero mayor que otros estados.

Tabla 10: Resultados del Índice de Consumo Energético, la Intensidad de Gas de Efecto Invernadero de la Generación Eléctrica y el Índice de Gas de Efecto Invernadero del Agua.

7 ÍNDICE DE EMISIÓN 2: CALENTAMIENTO DOMÉSTICO DE AGUA EN MÉXICO

Objetivos

- Los calentadores domésticos de agua (CDA) constituyen una parte significativa y poco documentada del uso de energía y de las emisiones de gases de efecto de invernadero (GEI) dentro del sector residencial en México. El desarrollo de tecnologías sustentables, como son los calentadores solares y los aparatos eficientes en las viviendas, requieren una mayor investigación del estado de la línea base de las emisiones de los CDA. El objetivo de esta parte del estudio es el de estimar las emisiones de GEI en el sector residencial mexicano de calentadores, calculadas en bióxido de carbono equivalente por metro cúbico ($\text{CO}_2\text{eq/m}^3$).

Principales Consideraciones y Supuestos

- Parámetros físicos que afectan a los calentadores de agua determinan el desempeño y, en última instancia, la huella de las emisiones de un calentador de agua.
- Las tecnologías dominantes de CDA están organizadas por “clase”; cada clase es una combinación de un sistema de nivel de eficiencia (alto, medio, baja) y de un sistema por tipo de combustible (gas licuado del petróleo (GLP), gas natural (GN), electricidad y leña). Subsecuentemente, las clases están distribuidas de acuerdo a su probabilidad de participación en el mercado.
- Leña – aunque es importante en áreas rurales – no se considera importante en esta investigación porque es poco probable que los derechohabientes del INFONAVIT usen este combustible.
- Aunque el comportamiento influye en la eficiencia final, no hay información disponible para caracterizar las prácticas del comportamiento mexicano con respecto a los CDA. Por lo tanto, para estimar lo mejor posible los valores de eficiencia que son resultado del comportamiento, se usa una consulta con colaboradores mexicanos y la información sobre otros países.
- La combinación de características físicas, variables externas y factores de comportamiento, se combinan para estimar la línea de base de las emisiones de CDA en el área urbana de México.

Resultados clave

- La línea base resultante de las emisiones del uso doméstico de los calentadores de agua está estimada en $12.80 \text{ kg CO}_2\text{eq/m}^3$ de agua calentada (Baja: $6.73 \text{ kg CO}_2\text{eq/m}^3$; Alta: $17.72 \text{ kg CO}_2\text{eq/m}^3$).
- El GLP juega un papel importante como fuente primaria de combustible para los CDA mexicanos y, por lo tanto, determina la mayoría de todos los cálculos de emisiones de los calentadores de agua. Las variables importantes que afectan las emisiones de los CDA, también incluyen el promedio del “aumento de temperatura” del agua caliente y la participación en el mercado de las diversas tecnologías CDA.

7.1 INTRODUCCIÓN

El calentamiento de agua para actividades domésticas constituye una porción importante del consumo operativo de energía en el sector residencial⁵². Del 16% del consumo mexicano de energía, que es usado por el sector residencial⁵³, un 29% es para el calentamiento de agua^{54,55}. En México, aproximadamente 30% del gas doméstico (GLP y GN) es usado para los calentadores de agua⁵⁶; por lo que constituye una porción significativa de las emisiones de GEI residenciales. En 1996, se estimó que 49% de las viviendas mexicanas tenían calentadores de agua y que identificó un ahorro potencial de energía de 30-70% como resultado de un aumento en la eficiencia promedio de calentadores del 50% al 86%⁵⁷. En 2006, una investigación más actualizada indicó

que un mayor número de viviendas mexicanas habían adquirido calentadores de agua y que el gas natural había empezado a contribuir más como combustible⁵⁸. El gobierno mexicano continúa estableciendo estándares ambiciosos para mejorar la eficiencia de los aparatos para las viviendas⁵⁹, y muchas instituciones están poniendo su mirada en tecnologías sustentables (como los calentadores solares de agua) como parte de un futuro más verde⁵⁶.

Un análisis sobre el uso de energía y de emisiones de los CDA requiere una perspectiva basada en el sistema, integrando información de las características del combustible (incluyendo fases de exploración, producción, refinación, procesamiento, comercialización y distribución) e información de los atributos del comportamiento del usuario final. Aunque es escasa la investigación detallada sobre los calentadores de agua en México, hay estudios similares del ciclo de vida y desempeño en Europa, Norte América y Australia que pueden dar una idea respecto a las modalidades del sector: consumo de combustible, infraestructura física, aspectos de comportamiento y huella de emisiones^{52,60-62}. Guiados por nuestros expertos en los sectores de agua y energía en México, intentamos desarrollar una representación lo más precisa posible e incluir escenarios altos y bajos, además de un cálculo final de línea base de emisiones.

Esta sección empieza por describir las características importantes de los calentadores de agua y el papel que éstas juegan en términos de la eficiencia total de un CDA. La siguiente sección de Métodos describe cómo un cálculo agregado de un índice de emisiones de GEI para el calentamiento residencial del agua en México es derivado a partir de la información y la investigación disponibles. Después, calculamos un índice de emisiones en términos de $\text{CO}_2\text{eq/m}^3$ de agua caliente y comparamos nuestros resultados con los valores de las referencias bibliográficas.

7.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS CLASES DE LOS CALENTADORES DOMÉSTICOS DE AGUA

Los calentadores domésticos de agua se pueden caracterizar mejor cuando se analiza primero cada sistema en sus tres partes básicas. La primera parte es el calentador de agua mismo; la segunda es el sistema de distribución de agua caliente dentro del inmueble; y la tercera parte son los componentes fijos de uso final, como los cabezales de la regadera, las llaves y las lavadoras. Estas tres partes del sistema de agua caliente se deben de tomar en cuenta en tanto afecten la eficiencia total y la opción de combustible de las tecnologías concernientes.

Las eficiencias térmicas y efectivas de los CDA están sujetas tanto a los estándares del gobierno como al comportamiento del usuario. La eficiencia no tiene un significado único, pues la industria y el gobierno usan una variedad de definiciones e interpretaciones. La eficiencia térmica a menudo representa la proporción termodinámica de energía entrante y saliente; los factores de eficiencia (FE) prescritos por la industria y los gobiernos incorporan algunos comportamientos de uso en el cálculo de un valor más apropiado de eficiencia; y, por último, existen valores de eficiencia “en el campo” que toman en cuenta todos los matices de comportamiento del usuario final. En la siguiente sección, presentamos una variedad de tipos de sistemas de CDA y sus características. Después, organizamos un inventario de CDA para México en tres categorías de eficiencia: Alta, Media y Baja; y cuatro categorías de tipos de combustible: GLP, GN, Electricidad y Leña. Los resultados de nuestra línea base reflejan una distribución de estas eficiencias y tipos de combustible tal y como se encuentran en las viviendas urbana mexicanas.

En un intento de visualizar el amplio mercado de los tipos de calentadores de agua y sus eficiencias, recopilamos una lista de más de 3,000 calentadores de agua disponibles comercialmente y los organizamos por su información de eficiencia más fácilmente disponible; descontamos los Factores de Eficiencia etiquetados con el

10%, para permitir una comparación aproximada con los sistemas que indican eficiencias actuales en la vivienda (incorporando el comportamiento de uso del consumidor). Este factor de ajuste de 10% reflejó de manera general la disparidad esperada entre la eficiencia etiquetada y la eficiencia actual de uso^{45,63,64}.

7.2.1 ALMACENAMIENTO DE LOS CALENTADORES DE AGUA

Los calentadores con depósito de agua llevan agua fría desde una fuente hasta un tanque grande (por lo general, entre 40L y 240L para una vivienda) y calientan el agua con la quema de un combustible. Muchas veces un termostato controla la temperatura máxima. El agua caliente sale del tanque y es mezclada con agua más fresca antes de llegar a la instalación final. Existen pérdidas térmicas significativas y bien documentadas asociadas con los calentadores de agua de depósito, debidas principalmente al tiempo de almacenamiento del agua en los tanques de escaso aislamiento y, en el caso de los sistemas de combustión de gas, por la flama del piloto que está encendida constantemente^{65,66}. Más aún, hay investigaciones que demuestran que ciertas configuraciones de tanques y tecnologías de ventilación pueden tener eficiencias sumamente diferentes⁶⁴⁻⁶⁶. De manera interesante, no se ha encontrado que los tanques más grandes o más pequeños tengan diferentes eficiencias demostradas, excepto cuando se usa energía eléctrica para los sistemas basados en tanques grandes^{45,62-65,67}.

Por lo general, consideramos que las eficiencias de los sistemas basados en tanques varían ampliamente. Las unidades mal aisladas, viejas y eléctricas de gran almacenamiento tienen comúnmente una eficiencia baja generalizada y, por lo tanto, caen en el rango de sistemas de eficiencia baja (<55%) y, en conjunto, están representadas por un valor de eficiencia de 50%, para efecto de este modelo. La línea predominante de los CDA con una arquitectura de tanque y con diseños más novedosos, por lo general, cae en un rango de eficiencia media (55% a 80%) y está representada por un valor medio de eficiencia de 65%. Los sistemas de tanque de mejor clase, bien aislados y de encendido eléctrico caen en el rango de eficiencia alta (>80%) y están asignados por un valor de eficiencia de 80%.

7.2.2 CALENTADORES INSTANTÁNEOS DE AGUA

Los calentadores de agua que carecen de tanque son relativamente nuevos en la mayoría de los mercados domésticos, incluyendo en México. Éstos usan, por lo general, espirales que rápidamente calientan el agua deseada por el usuario final. La ventaja comercial más grande que tienen estos diseños es que pueden tener eficiencias de combustible más altas y que nunca se les termina el agua caliente, como les sucede a los modelos con tanque de almacenamiento. En el lenguaje de calentadores de agua, al incremento deseado en la temperatura del agua a partir de la temperatura de la fuente hasta la temperatura que se va calentar, se le conoce como “aumento de temperatura”. Los calentadores de agua instantáneos están clasificados por su habilidad para producir un cierto aumento de temperatura, a una determinada tasa de flujo. Los calentadores de agua instantáneos típicos para viviendas pueden producir, por lo menos, 10 litros por minuto (LPM) de flujo a una determinada temperatura caliente⁶⁸; cualquier demanda adicional, trae en consecuencia una temperatura promedio del agua más baja. Las mejoras en las eficiencias de los sistemas instantáneos dependen también en gran medida de la longitud de las tuberías del sistema de distribución; los sistemas de tuberías más largos, en general, demuestran menores eficiencias^{41,64,69}.

Distribución de los CDA por Clase

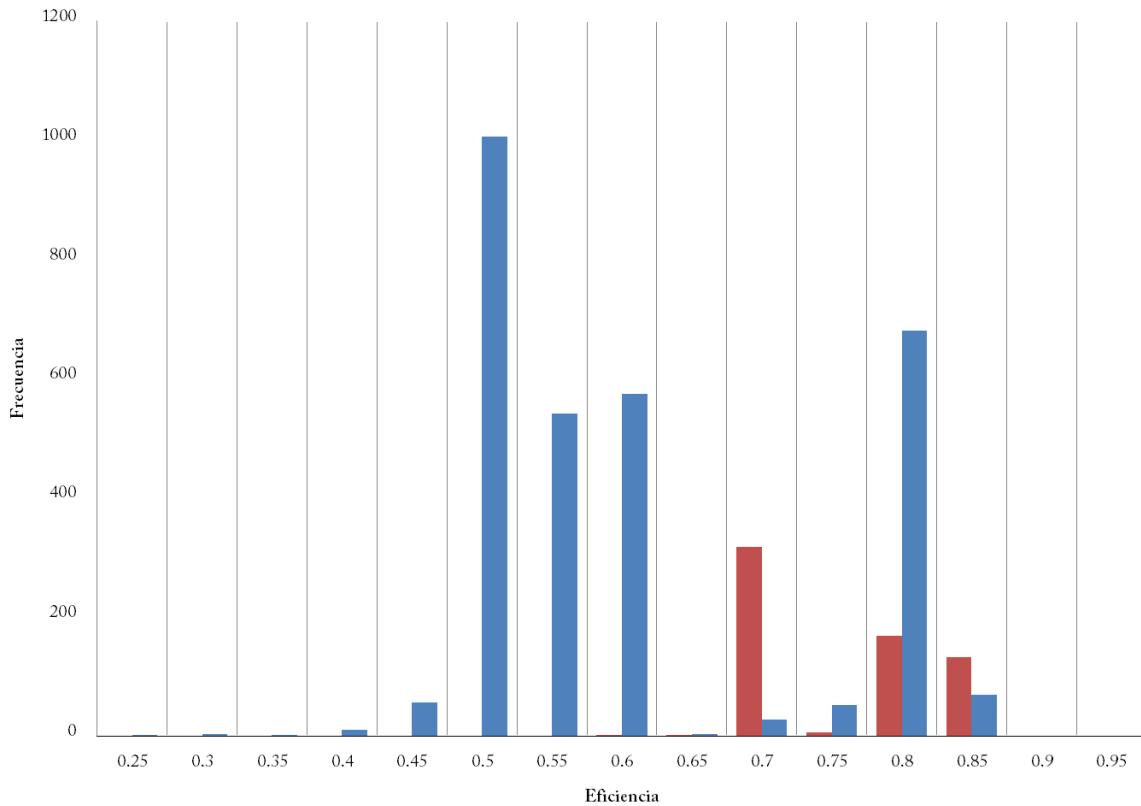


Figura 7: Distribución de los CDA por tipo y eficiencia.

7.2.3 AISLAMIENTO

El Laboratorio Nacional de Lawrence-Berkeley en Estados Unidos publicó un reporte en el 2011 en el cual presentan las distintas opciones de diseño que afectan la eficiencia energética de los CDA. Según dicho reporte, un incremento en el grosor del aislante (definido como la longitud entre la parte externa de la tubería y la externa del material aislante) de los CDA de gas y eléctricos, contribuye en el aumento de la clasificación del Factor de Eficiencia (FE) de un sistema. En igualdad de circunstancias, se ha demostrado que el aislamiento de los CDA puede añadir 1-5 puntos porcentuales al total del FE de un sistema^{61,67}. La Tabla 11 resume los resultados de un estudio de varios tipos de calentadores de agua que muestra los efectos de aislamiento en el desempeño total del sistema⁶¹.

Rendimiento del Modelo Derivado Experimentalmente

Sistema	Perdidas (kWh/día)	Costo Marginal (kWh/L)	R²	No. Observaciones	Eficiencia 100L/día
Gas 'Combi' Boiler (1)	0.06	0.045	0.99	10	76%
Gas 'Combi' Boiler (2)	0.39	0.04	0.94	11	79%
Gas convencional, control simple	2.53	0.061	0.81	7	40%
Gas convencional, control mejorado	1.58	0.061	0.93	13	45%
Calor y potencia, control simple	5.26	0.035	0.94	8	40%
Calor y potencia, control Mejorado	3.19	0.047	0.96	8	47%
Calentador de Inmersión	1.36	0.03	0.9	7	80%
Bomba de Calor (1)	1.37	0.039	0.65	10	67%
Bomba de Calor (2)	3.88	0.005	0.59	9	79%

Fuente: Boait, 2010

*Tabla 11: Comparación del desempeño de los sistemas CDA.
"Mejorados" significa "aislamiento añadido"*

Por lo general, en este estudio, los sistemas CDA que tienen aislantes caen en un nivel de eficiencia alto sólo si cumplen también con otros parámetros. El aislamiento por sí sólo, aunque es importante, no es una medida suficiente para que todos los sistemas merezcan estar en una eficiencia alta o media.

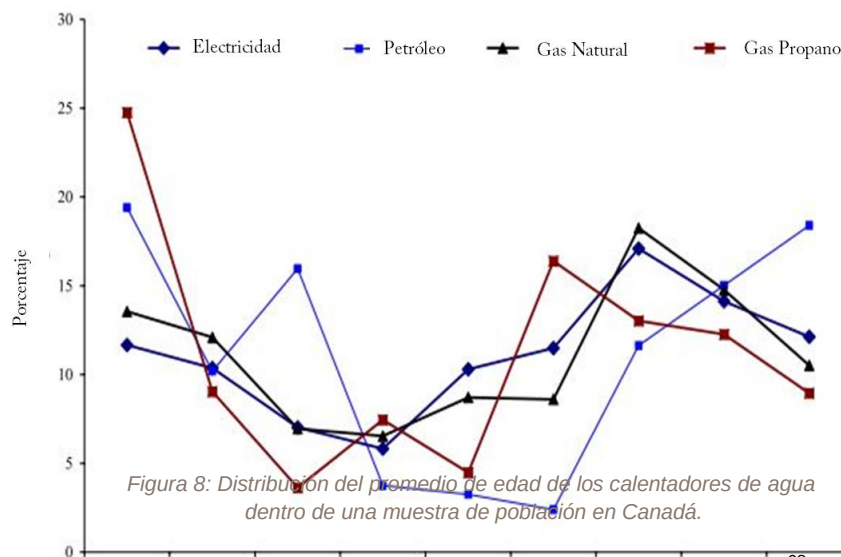
7.2.4 ENCENDIDO

Muchos de los CDA con tanques de almacenamiento se encienden por medio de un piloto con una flama que quema pequeñas cantidades de combustible todo el tiempo (por lo general, 2% de la salida máxima del gas), manteniendo el sistema listo para su uso. Cuando un usuario demanda agua caliente de un sistema con piloto (por lo general, sistemas de almacenamiento), el nivel del gas aumenta y una mayor cantidad de calor es enviada al tanque. Datos publicados sobre este tipo de CDA indican que el encendido con piloto afecta entre 10%-20% del total de la eficiencia del sistema. Sin embargo, investigaciones en campo sobre el uso de dichos CDA han demostrado que el consumo de energía del piloto puede representar hasta más de 40% del uso total de energía^{65,66}. Es por esta razón que muchos residentes de viviendas en México con CDA de encendido con piloto mantienen apagada la flama mientras no necesitan agua caliente. Este manejo del encendido del piloto ahorra energía y aumenta la eficiencia general del sistema. En respuesta a esto, la industria de CDA ha cambiado una gran parte de la tecnología de calentadores a sistemas de encendido electrónico que no requieren dejar la flama del piloto encendida. Estos sistemas tienen la ventaja de que no gastan energía durante periodos en los que no se requiere agua caliente. Aguilar et al. (2005) usaron un factor relativamente alto, 0.84, para representar todos los calentadores de gas natural dentro su ámbito⁶⁸.

En este estudio, sólo los sistemas con encendido electrónico califican para el escenario de eficiencia alta. La mayoría de los sistemas con encendido de piloto manejados por el consumidor caen en el rango de eficiencia media.

7.3 EDAD DEL SISTEMA

Con el paso del tiempo, la corrosión de tuberías, el óxido y la acumulación de químicos reducen la eficiencia de todos los sistemas CDA.



La Figura 8 es de un estudio de 1993 de la vida promedio de los CDA en Canadá⁶⁸. Dicho estudio muestra que muchas viviendas cuentan con calentadores que tienen más de 10 años. El efecto de la edad en el desempeño de un CDA es una pregunta interesante y relevante para el estudio mexicano. Usando la información disponible de diferentes países alrededor del mundo y diversos datos demográficos, el supuesto usado en nuestro modelo es que la mayoría de los equipos CDA no son nuevos y, por lo tanto, cuentan con tres razones integradas para tener eficiencias relativamente bajas. En primer lugar, los aparatos más nuevos para calentar agua incorporan una tecnología energética más eficiente. En segundo, el gobierno mexicano aumenta, por lo general, los estándares de la eficiencia por lo menos una vez por década⁶⁹. Tercero, la eficiencia de los equipos más viejos ha disminuido debido a su deterioro. Por estas razones, en el presente estudio tomamos en general una estimación conservadora sobre las eficiencias promedio de CDA para las viviendas mexicanas.

7.4 TIPOS DE COMBUSTIBLE

Las fuentes predominantes de combustible residencial en México son GLP, GN, leña y electricidad^{57,70,71}.

7.4.1 GLP Y GN

El GLP es el combustible predominante en el sector residencial en México⁷⁰. En 2006, el total del calentamiento de agua residencial en México por GLP se estimó en 84 petajulios (PJ), mientras que el GN fue de 9.1 PJ⁷⁰. En México, se ha reportado una proporción de unidades de GLP a GN dentro de un rango de 4:1 a 9:1, dependiendo de la fuente y del año de análisis^{57,71,72}. Las proyecciones de SENER señalan que la demanda *total* residencial de GLP y GN está dentro de un rango aproximado de 7:1 en 2013. Sin embargo, la información disponible no toma en cuenta el tipo de uso final del combustible³³.

SENER y GIZ consideran en un reporte de investigación, “Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México”, que 50% del consumo residencial de combustible es para los calentadores de agua; pero, esta aseveración no está confirmada con información detallada⁷³. Rosas (2010) estimó el consumo residencial de energía en México por sector y uso final. En 2006, los CDA demandaban 84 PJ de combustible GLP y 9.1 PJ de GN, una proporción de 9:1 aproximadamente. En la comparación, no se incluyeron ni la electricidad ni la leña⁷⁰.

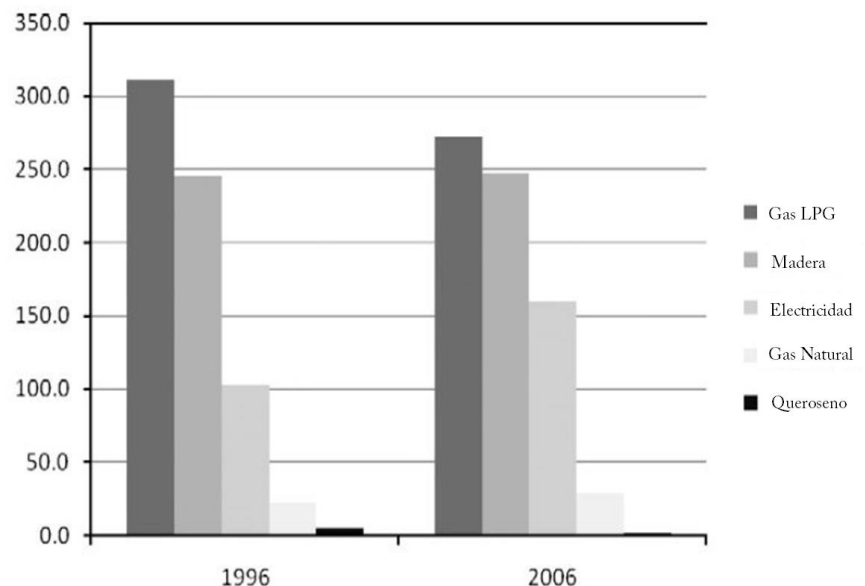
Rosas, Sheinbaum y Morillón (2010) investigaron el uso de combustibles en el sector residencial mexicano por clase de ingresos e incluso estudiaron directamente los calentadores. Ellos observaron que, de 1996 a 2006, en todos los deciles de ingresos en México aumentó el uso de calentadores de agua con combustible de gas. Desafortunadamente, los datos presentados no distinguen entre el GLP y el GN⁷⁰.

7.4.2 ELECTRICIDAD

La electricidad representa una porción muy pequeña del calentamiento de agua en el sector residencial en México, aunque no hay suficiente información disponible para demostrar esto de manera cuantitativa⁷¹. Los informes personales de familias mexicanas y trabajadores profesionales corroboran que es poco usual que una vivienda tenga suministro de agua caliente mediante un calentador eléctrico, en particular en las viviendas urbanas o en los derechohabientes del INFONAVIT.

7.4.3 CALENTADORES SOLARES DE AGUA

Aunque la participación actual de los calentadores solares de agua (CSA) en el mercado mexicano es baja, su aumento en un futuro próximo es prometedor y ofrece beneficios significativos en el ahorro de energía y emisiones⁵⁸. En 2008, en México, había una capacidad de 145 GW de calentadores solares de agua, incluyendo una participación sustancial atribuida a operaciones industriales y comerciales⁷³. En 2011, había cerca de 2 millones de metros cuadrados de CSA instalados con un crecimiento anual de 18.8%⁷⁴. La mayoría de los CSA no requieren combustible adicional para operar y en los climas adecuados pueden proporcionar agua tan caliente como la de un CDA de combustible tradicional. Los principales beneficios son un costo más bajo de operación y la reducción de emisiones. Procasol estima que cada año se abaten 250 kg de CO₂ por metro cuadrado de CSA⁵⁸.



Consumo Energetico Domestico por Combustible en Mexico.

Fuente: Balance Nacional (SENER <1977a,b,2007)

Sheinbaum, 2010²¹

Figura 9: Uso de combustible en México residencial. Imagen tomada de Sheinbaum (2008).

7.4.4 LEÑA

En las áreas rurales, la leña es la principal fuente de energía para calentar el agua para bañarse⁷¹. Sin embargo, este estudio no considera las áreas rurales como parte de la línea base de los CDA de las áreas urbanas relevantes a los derechohabientes del INFONAVIT.

7.5 MÉTODOS

Para calcular las emisiones totales de agua caliente en las viviendas de México que son relevantes al INFONAVIT y al caso urbano, desarrollamos un modelo basado en el programa Excel de Microsoft para reflejar las características importantes de los CDA y de su distribución dentro del sector residencial.

7.5.1 REQUISITOS ENERGÉTICOS

La función básica de un CDA es la de usar una fuente de energía para aumentar la temperatura del agua entrante. Un cálculo simple (antes de tomar en cuenta la eficiencia) estima la energía teórica necesaria para aumentar la temperatura de 1L de agua de 20°C a 45°C (valores de línea base). C_{h2o} representa la capacidad del calor específico del agua, T_f y T_i son las temperaturas final e inicial, ρ es la densidad del fluido (agua) y V es un volumen arbitrario de agua (no esencial para el cálculo de “por m³” de este estudio).

$$V * \rho * (T_f - T_i) * C_{h2o} \quad \text{Eq. 4.1}$$

7.5.2 TEMPERATURA ALTA Y BAJA DEL AGUA

El aumento deseado de temperatura por un usuario final determina la energía requerida por el sistema CDA. El aumento de temperatura usado para los cálculos de la línea base en este estudio es de 25°C. Escogimos esta temperatura porque, dentro de una gran selección de estudios, ésta refleja los patrones normales de uso de las personas. También, para estar seguros de que el aumento de temperatura sea relevante en los números de eficiencia publicados. Esta diferencia es también igual al aumento mínimo requerido por la ley mexicana en la prueba de desempeño de los CDA (25°C)⁵⁹. Además, la temperatura de 25°C es suficiente para llevar al promedio de la temperatura del agua subterránea (entre 17°C y 27°C) a temperaturas razonablemente calientes por encima de 40°C y tan altas como 47°C⁷⁵.

Se debe de mencionar que los cálculos de las líneas de base en la metodología usada por el Mecanismo de Desarrollo Limpio de las Naciones Unidas (CDM o *Clean Development Mechanism*), ponen como tope de temperatura del agua caliente a 40°C para el cálculo de reducción de emisiones (ver Apéndice 8.1.5)⁷⁶. El Estándar de Oro (GS o *Gold Standard*) es una herramienta en la que muchos gobiernos internacionales y ONGs han estado de acuerdo para asegurar la veracidad de los proyectos CDM en cuanto los derechos de reducción de emisiones. El GS ha publicado un documento con la tarea específica de demostrar la metodología de la línea base para evaluar la aceptabilidad de los proyectos de distribución de los aparatos energéticamente eficientes para viviendas. El documento especifica la línea base de las ecuaciones de emisiones de aparatos ahorradores de agua caliente de fuentes de energía fósiles, y sugiere que cada proyecto doméstico de eficiencia de agua caliente evalúe, proyecto por proyecto, las temperaturas altas y bajas usadas para el agua de la regadera en la región⁷⁷.

7.5.3 DENSIDAD ENERGÉTICA

Los valores de densidad energética, de los diferentes tipos de combustibles usados para proporcionar energía a los CDA, se encuentran reunidos en varias fuentes y convertidos en unidades de megajulios (MJ) por kg de combustible. El gas natural fue convertido mediante medidas volumétricas a medidas de masa, a través de un cálculo con condiciones de temperatura y presión estándar.

Densidad Energética de Combustibles para Calentar Agua

Combustible	MJ/ Medida
Gas (por kg)	53
Electricidad (por kwh)	3.6
Gas LPG (por kg)	49
Madera (por kg)	15.5

Tabla 12: Densidad energética de combustibles usados para calentar agua.

7.5.4 FACTORES DE EMISIONES

Recopilamos factores de emisiones de varias fuentes y los convertimos en unidades de kg CO₂eq por kg de combustible. Usamos la intensidad de las emisiones para electricidad que se presentan en la Sección 2.2.

Factores de Emisión

Combustible	Factores de Emisión	Medida
Gas Natural	3.00	kg CO ₂ eq / m ³
Electricidad	0.51	kg CO ₂ eq/ kWh
Gas LPG	3.30	kg CO ₂ eq / m ³
Madera	1.83	kg CO ₂ eq / m ³

Tabla 13: Factores de emisiones para combustibles usados en calentadores domésticos de agua en México.

7.5.5 NIVELES DE EFICIENCIA

Como mencionamos anteriormente, la eficiencia de un calentador de agua está determinada por un gran número de factores: tipo de tecnología, arquitectura del sistema y forma de uso. Como resultado, existen muchas maneras para definir los cálculos de eficiencia. La eficiencia total térmica está definida por el gobierno mexicano⁶⁹ de la siguiente manera:

$$Ef = \frac{Ma * Cpa * (T2a - T1a)}{Vc * Fp * Ft * PCI} \quad Eq. 2$$

Además, el gobierno mexicano rige los estándares mínimos térmicos de eficiencia dependiendo de la tecnología y el tamaño del sistema. Para demostrar conformidad, los fabricantes tienen que seguir las directrices prescritas para evaluar la eficiencia de sus equipos⁶⁹.

Sin embargo, la eficiencia efectiva de un CDA es a menudo muy diferente que el cálculo de la eficiencia térmica. Las discrepancias se atribuyen a muchas razones, incluyendo: 1) pérdida de calor del agua almacenada en un tanque; 2) pérdida de calor del agua almacenada en tuberías; 3) arquitectura ineficiente del sistema; 4)

desperdicio del combustible por el piloto encendido; 5) envejecimiento del sistema; 6) calidad y dureza del agua; 7) características de comportamiento de los usuarios finales; y 8) otros factores externos a la operación en laboratorio^{53,61,66,67,78,79}. Como resultado, las instituciones alrededor del mundo usan a menudo un segundo índice de eficiencia para evaluar estas heterogeneidades; permitiendo distinguir a los reguladores y los consumidores entre las eficiencias reales de varios productos. Aunque la Sociedad Alemana para la Cooperación Internacional (GIZ) y SENER estiman que la eficiencia promedio de los CDA por todo México es de 60%, no existe una manera clara de reproducir los cálculos y las suposiciones detrás de este resultado⁷³.

Debido a las diversas complicaciones asociadas con el cálculo de las eficiencias del sistema y la estimación de una línea de base, la Junta Directiva del CDM proporciona varias herramientas metodológicas para ayudar a los aspirantes de proyectos. Cada herramienta incluye varias opciones para que los directores de proyecto escojan: emplear la función de carga energética de los fabricantes; establecer funciones de carga energética mediante análisis de regresión; usar información histórica; emplear los valores de eficiencia de los fabricantes; usar los valores medidos; y utilizar los valores fijos establecidos por la Junta Directiva del CDM⁸⁰. En consideración de los muchos métodos para evaluar una línea base, el método de eficiencia utilizado en este artículo es una combinación del uso de datos de eficiencia de los fabricantes, las medidas de campo y los valores históricos.

En los Estados Unidos, el Departamento de Energía establece Factores de Energía (FE) para caracterizar las eficiencias efectivas de los calentadores de agua y utiliza los FE para poner en vigor estándares a través del Acta Nacional de Conservación de Energía para Aparatos (NAECA por sus siglas en inglés)⁶⁸. El FE es un cálculo de eficiencia que sigue un criterio específico de una prueba de 24 horas, en la que se vacía agua en un determinado tiempo dentro de un tanque, calentándolo, dejándolo que se estabilice y evaluando el tipo de combustible, la tubería y las condiciones ambientales⁸¹.

Internacionalmente, existen varios estudios sobre las eficiencias de los calentadores de agua. Hay muchas variables que se necesitan tomar en cuenta para comparar cada estudio. La larga lista de variables ambientales, de equipo y comportamiento son a menudo demasiado complejas para compararse cuantitativamente de manera satisfactoria. Como existen pocos reportes sobre los CDA que se encuentran actualmente en uso en México y los parámetros que describen dichos estudios en sus cálculos de eficiencia son complejos y carecen de claridad, tuvimos que desarrollar una estrategia propia para estimar la eficiencia “media” de los CDA existentes en el México urbano. Dicha estrategia consiste en implementar un método de asignación y distribución de tres niveles de eficiencia en los calentadores de agua: Alto, Medio y Baja.

Niveles de Eficiencia	
Factor Energético	Eficiencia Efectiva
Alto	80%
Medio	65%
Bajo	50%

Tabla 14: Valores de eficiencia seleccionados para niveles de eficiencia Alto, Medio y Baja.

Para corroborar esta serie de eficiencias, evaluamos la información disponible de una amplia variedad de tipos de sistemas CDA y de sus eficiencias. Pigg y Mendyk (2010) observaron que los calentadores de agua sin tanque siempre tenían las eficiencias más altas en comparación con las unidades de almacenamiento con ventilación generada y las unidades de almacenamiento con ventilación natural. Su estudio ilustra tres niveles de eficiencia de entrada/salida (*input/output*): 1) las unidades de almacenamiento con ventilación natural registraron eficiencias totales cercanas a 60%; 2) las unidades de almacenamiento más avanzadas con ventilación generada

rondaron cerca de una eficiencia de 75%; y 3) las unidades más avanzadas, eléctricas y sin tanques, alcanzaron una eficiencia de 90%⁶⁵. Las eficiencias efectivas (Factores de Energía) investigadas en Canadá, ofrecen algo más de corroboración de los valores de eficiencia del tipo de sistema, a pesar de las diferencias obvias del clima y de tipo de uso. La investigación realizada por el *Canadian Building Energy End-Use Data and Analysis Centre* (CBEDAC) muestra que los calentadores convencionales de gas natural tenían un FE de 0.49 antes de 1990 y después de 1990 su promedio estaba entre 0.48 a 0.56. En 2004, las tasas de FE para los calentadores convencionales de GN estaban entre 0.54 a 0.63. Los sistemas instantáneos de encendido eléctrico alcanzaron tasas de FE entre 0.8 y los CDA de condensación de gas contaban con una tasa de FE de 0.89⁶⁸. Los sistemas convencionales de propano tuvieron tasas de FE entre 0.54 y 0.63. Los sistemas convencionales eléctricos se desempeñaron entre 0.86 a 0.95 y los sistemas “energéticamente eficientes” de 0.92 a 0.94³⁴.

Al usar información disponible del ingreso de los mexicanos y de los calentadores de agua, así como también información adicional sobre la eficiencia de los calentadores de agua en los Estados Unidos y Australia, nosotros estamos proponiendo tres niveles efectivos de eficiencia (baja, medio, alto) para el sector residencial en México.

7.5.6 DETERMINACIÓN DE UNA EFICIENCIA BAJA DE CDA

La clasificación de una eficiencia baja abarca a los calentadores de agua que queman menos de 55% de eficiencia efectiva. Para este nivel, consideramos un valor representativo de 50%. Los candidatos más probables para este nivel de “eficiencia baja” son los sistemas viejos, no eléctricos, sin aislamiento y los basados en almacenamiento. Estos sistemas son más comunes en viviendas de mayor antigüedad y de familias con bajos ingresos.

7.5.7 DETERMINACIÓN DE UNA EFICIENCIA MEDIA DE CDA

La clasificación de una eficiencia media comprende una gran variedad de tipos de calentadores de agua que alcanzan niveles de eficiencia superiores a 55% e inferiores a 75%. La lista de sistemas que entran en el rango medio es evaluada con una eficiencia de 65%. El nivel medio de eficiencia incluye una gran diversidad de tipos de sistemas. Por lo general, estos sistemas son los que no son muy viejos y que tienen cierta tecnología contemporánea de ahorro energético incorporada en su arquitectura global. A diferencia del nivel de eficiencia baja, algunos sistemas eléctricos o con tanques de almacenamiento sí entran dentro del nivel medio. El nivel medio de eficiencia comprende el requerimiento mínimo de los estándares de CDA del gobierno de México, presentados en la Norma Oficial Mexicana NOM-003-ener-2011⁵⁹.

Características del Sistema por Nivel de Eficiencia

Alta (80%- 99%)	Media (55%- 80%)	Baja (<55%)
Nuevo, eléctrico, tanque, bien insulado	Gas natural, tanque, igas naturalición eléctrica	GAS LPG, tanque, piloto malo
Eléctrico, instantáneo, bien insulado	GAS LPG, tanque, igas naturalición eléctrica	Gas natural, tanque, piloto malo
Nuevo, gas natural, condensación, tanque	Gas natural, tanque, insulado	Viejo, gas natural, tanque
Nuevo, GAS LPG, condensación, tanque	GAS LPG, tanque, insulado	Viejo, GAS LPG, tanque
Gas natural, condensación, Instantáneo, insulado	Gas natural, Instantáneo	Gas natural, tanque, sin insulacion
GAS LPG, condensación, Instantáneo, insulado	GAS LPG, Instantáneo	GAS LPG, tanque, sin insulacion
	Gas natural, tanque, piloto	Madera
	GAS LPG, tanque, piloto	
	Eléctrico, tanque	

Tabla 15: Descripciones de muestras de tipos de calentadores de agua que ocupan los tres niveles de eficiencia.

7.5.8 DETERMINACIÓN DE UNA EFICIENCIA ALTA DE CDA

El nivel de eficiencia alto de los calentadores de agua incluye la tecnología más novedosa disponible en el mercado. De manera comparativa, muy pocos modelos pueden alcanzar niveles totales de eficiencia de 90%, así que mientras los niveles de eficiencia alta van de 80% a 99%, nosotros consideramos a los CDA de eficiencia alta con 80%. La clase incluye: tecnologías nuevas eléctricas y de gas; sistemas instantáneos (sin tanque) bien diseñados; y CDA de condensación de gas, que capturan y reciclan su propio calor residual. Tales dispositivos son más comunes en viviendas nuevas y de familias con mayores ingresos. Los CDA de esta categoría tienen niveles térmicos de eficiencia considerablemente más altos (10% a 20%) que los estándares requeridos por el gobierno mexicano.

7.6 CONSTRUYENDO UN ESCENARIO DE LÍNEA BASE

El escenario de línea base está determinado por la asignación de un porcentaje de participación en el mercado a cada clase (combinación de tipo de combustible y nivel de eficiencia) de CDA. Tal y como se ilustra en las tablas del Apéndice 8.1.4., existen dos pasos que se toman para determinar la participación de cada clase en el mercado total. Primero, se decide sobre la participación de una distribución de CDA por tipo de combustible para el mercado urbano (relevante para los derechohabientes del INFONAVIT); y segundo, se asigna una distribución de los niveles de eficiencia para cada tipo de combustible. Por ejemplo, una distribución de todos los CDA de

energía eléctrica está constituida por 75% de los equipos con una eficiencia media, 25% de los equipos con eficiencia alta y 0% de eficiencia baja. Mientras que los CDA con combustible de leña tienen 75% del tiempo una eficiencia baja, 25% de las veces una eficiencia media y 0% una eficiencia alta.

Todos los porcentajes de participación en el mercado fueron determinados a partir de la información publicada sobre el calentamiento de agua en el sector residencial de México (cuando ésta estuvo disponible), de la adaptación de la información internacional y de nuestro propio conocimiento sobre el tema.

7.7 OBSERVACIONES

7.7.1 ESTIMACIONES DE ENERGÍA Y EMISIONES NO CONSIDERADAS

Para cada clase de CDA calculamos una huella de emisiones en unidades de $\text{kg CO}_2\text{eq/m}^3$, tomando en cuenta la línea base supuesta de un rango de temperatura de 25°C y las emisiones por electricidad de $0.57 \text{ kg CO}_2\text{eq/kWh}$. Estos resultados, los mostramos en la Tabla 16, antes de hacer las distribuciones de emisiones por clase de participación en el mercado urbano (Tabla 17).

A pesar de cualquier otro factor o probabilidad, los CDA de gas con una eficiencia alta tienen la huella de emisiones más baja ($7.40 \text{ kg CO}_2\text{eq/m}^3$), mientras que los CDA eléctricos con una eficiencia baja tienen la huella de emisiones más alta ($33.14 \text{ kg CO}_2\text{eq/m}^3$). Cabe mencionar que en nuestro modelo la participación de los CDA eléctricos con eficiencia baja es nula.

En comparación, Rosas (2011) publicó un cálculo en 2006 de emisiones de carbono para los CDA del sector residencial en México. El artículo determinó 5.2 Tg de emisiones de CO_2 relacionadas con el combustible GLP de los CDA y 0.5 Tg de emisiones atribuidas al gas natural. Considerando el valor de la población de ese artículo de 104.5 millones de mexicanos, 45% eran dueños de CDA y de regaderas con 60 litros de agua caliente por día por persona; nosotros usamos los números de Rosas para obtener un factor de $5.5 \text{ kg CO}_2/\text{m}^3$, excluyendo otras emisiones de CO_2 equivalentes⁷⁰.

De acuerdo a un reporte del INEGI, el sector residencial de México contribuyó en 2006 con 20 Tg CO_2eq y los calentadores de agua fueron responsables de cerca de 2 Tg CO_2eq de los emitidos y 31.2 PJ de la energía consumida. Usando los propios supuestos del estudio, nuestro modelo da como resultado un aproximado de 10 Tg CO_2eq emitidos y 81 PJ de energía consumida para el año⁸².

Huellas GEI por Nivel de Eficiencia

Tipo (Combustible - Eficiencia)	Energía (MJ)	Acrónimo	EF	Combustible (medida)	CO₂eq (kg/m³)
Gas Baja	104.65	GB	0.50	3.95	11.85
Gas Media	104.65	GM	0.65	3.04	9.11
Gas Alta	104.65	GA	0.80	2.47	7.40
Eléctrica Baja	104.65	EB	0.50	58.14	33.14
Eléctrica Media	104.65	EM	0.65	44.72	25.49
Eléctrica Alta	104.65	EA	0.80	36.34	20.71
Gas LPG Baja	104.65	LB	0.50	4.27	14.10
Gas LPG Media	104.65	LB	0.65	3.29	10.84
Gas LPG Alta	104.65	LA	0.80	2.67	8.81
Madera Baja	104.65	MB	0.50	13.50	24.71
Madera Media	104.65	MM	0.65	10.39	19.01
Madera Alta	104.65	MA	0.80	8.44	15.44

Tabla 16: Modelo de salida que muestra la huella de emisiones no consideradas, para cada Clase (combinación de tipo de combustible y nivel de eficiencia).

7.7.2 ESTIMACIONES DE LAS EMISIONES CONSIDERADAS EN LA PARTICIPACIÓN DEL MERCADO

Los valores de la sección previa no toman en cuenta la distribución de las clases de calentadores de agua a través de México. Esta sección muestra el efecto que tiene la distribución de ocurrencia de las diferentes clases de CDA en la huella de las emisiones totales.

La columna llamada “CO₂eq” de la Tabla 17 refleja las contribuciones de cada una de las clases de los CDA en México. Como era de esperarse, predomina la tecnología de GLP. La suma de los valores de la columna de la extrema derecha da como resultado una línea base de emisiones de todos los calentadores de agua en el sector residencial en México de 12.80 kg CO₂eq/m³.

Como en nuestro estudio realizamos muchas estimaciones, es importante considerar un rango de posibles valores de emisiones. La Tabla 18 describe una serie de estimaciones: Bajo, Línea Base y Alto, calculadas al examinar algunas variables importantes: la participación en el mercado de varias clases de CDA (valores del más bajo probable y del más alto probable); el rango del aumento de temperatura; y el factor de emisiones por electricidad (1^{er} cuartil y 3^{er} cuartil del rango presentado en la Sección 2).

Huellas GEI por Nivel de Eficiencia y Tamaño del Mercado

Tipo (Combustible - Eficiencia)	Fuel	Eficiencia	Cuota de Mercado	CO ₂ eq (kg/m ³)
Gas Baja	Gas	Baja	6%	0.71
Gas Media	Gas	Media	8%	0.72
Gas Alta	Gas	Alta	1%	0.08
Eléctrica Baja	Elec.	Baja	0%	0.00
Eléctrica Media	Elec.	Media	5%	1.34
Eléctrica Alta	Elec.	Alta	2%	0.36
Gas LPG Baja	LPG	Baja	30%	4.29
Gas LPG Media	LPG	Media	40%	4.37
Gas LPG Alta	LPG	Alta	5%	0.47
Madera Baja	Madera	Baja	2%	0.37
Madera Media	Madera	Media	1%	0.10
Madera Alta	Madera	Alta	0%	0.00
Total			100%	12.80

Tabla 17: Modelo de salida de la eficiencia de todas las participaciones consideradas en el mercado, de cada Clase de CDA analizada.

Rango de las Emisiones Relacionadas al CDA

	Energía	Electricidad	Incremento Temperatura	Emisiones
	MJ/ Litro	kg CO ₂ eq/ kWh	°C	kg CO ₂ eq/ m ³
Baja	0.063	0.290	15.0	6.73
Base	0.105	0.570	25.0	12.80
Alta	0.126	0.720	30.0	17.72

Tabla 18: Modelo de salida de estimaciones: Bajo, Línea Base y Alto para el índice de emisiones finales de CDA.

7.8 CONCLUSIONES

Hay varias implicaciones de nuestro estudio que ayudan a informar la estimación del índice de emisiones de los CDA y que también deben de tomarse en cuenta en las discusiones sobre los estándares futuros de la industria.

7.8.1 FACTOR DE EMISIONES DE ELECTRICIDAD

El factor relativamente alto de las emisiones de los CDA de energía eléctrica sugiere que, hasta que la producción de electricidad en México sea más limpia, la promoción de los CDA eléctricos a nivel nacional no es

un medio eficiente para reducir el total de emisiones de la industria. Este prospecto cambia si la promoción de los CDA eléctricos se hace tomando en cuenta la intensidad de emisiones del sector eléctrico en cada región. Por ejemplo, las emisiones de los CDA eléctricos se reducen considerablemente en regiones donde hay un alto porcentaje de energía hidroeléctrica.

7.8.2 PARTICIPACIÓN DE GLP EN EL MERCADO

La participación dominante del GLP como combustible en el mercado de calentadores de agua hace que nuestro modelo sea poco sensible a los cambios de penetración de otras tecnologías. Las emisiones de una eficiencia media de GLP ($10.84 \text{ kg CO}_2\text{eq/m}^3$) son estimadas aquí como ligeramente mayores que las del gas natural ($9.11 \text{ kg CO}_2\text{eq/m}^3$), pero mucho menores comparadas con las de electricidad ($25.49 \text{ kg CO}_2\text{eq/m}^3$) y leña ($19.01 \text{ kg CO}_2\text{eq/m}^3$).

7.8.3 DATOS DE CAMPO

Debido a la actual carencia de información, es imperativo que se realicen estudios amplios sobre el sector de CDA en México. La mayoría de las versiones de metodologías del CDM de las Naciones Unidas requieren pruebas locales para evaluar y verificar los supuestos de líneas de base. De acuerdo a la investigación en otras partes del mundo, parece probable que haya considerables diferencias entre las regiones y los grupos económicos en términos de patrones de eficiencia y comportamiento de uso, asociados a la tecnología CDA.

8 ÍNDICE DE EMISIÓN 3: AGUA PARA BEBER EN EL SECTOR RESIDENCIAL

El objetivo de esta sección es el de establecer la línea base de las emisiones de gases de efecto de invernadero (GEI) asociadas con el tratamiento de agua en la vivienda (TAV) y el consumo de agua purificada embotellada en contenedores reusables (garrafrones) de 18.9L. Estos resultados van a permitir al Programa de Eficiencia Energética del BID, Fondo de Tecnología Limpia (CTF-BID) calcular las reducciones de emisiones de GEI alcanzadas (por m^3 de agua para beber) al introducir en la vivienda sistemas de tratamiento de agua que desplacen el consumo de agua embotellada.

El índice de emisiones de tratamiento de agua en la vivienda (3A) es calculado específicamente para los derechohabientes de los programas de INFONAVIT. Sin embargo, como referencia, también incluimos varios sistemas de TAV que aún no se encuentran disponibles a través de programas del INFONAVIT. El índice de emisiones del agua en garrafón (3B) es calculado para el contexto urbano en México.

La mayoría de las personas que habitan en zonas urbanas en México no usan el agua del sistema de distribución municipal para beber. Un estudio reciente del BID encontró que las personas en aproximadamente 80% de las viviendas urbanas consumen agua embotellada, principalmente de garrafrones; mientras que un porcentaje mucho menor bebe agua filtrada (8%) o agua desinfectada (2%) en la vivienda⁸³. Existen varias razones por las cuales gran parte de la población considera que el agua del sistema de distribución no es segura para el consumo humano, incluyendo: cloración inconsistente; deterioro de la infraestructura; necesidad de almacenar agua en la vivienda debido al servicio intermitente; aumento en la salinidad o la dureza debido a la sobreexplotación de los acuíferos; y campañas constantes de mercadeo que presentan al agua embotellada como un producto de calidad superior⁸⁴. Aunque México ha llegado a ser el principal consumidor de agua embotellada en el mundo, los impactos de este sector en el ambiente todavía no han sido bien estudiados^{85,86}.

La metodología de evaluación del ciclo de vida (LCA) es una estrategia flexible y de amplio alcance que permite estimar efectivamente los impactos de un sistema en el medio ambiente, a través de un análisis, y de comparación de tecnologías, procesos y productos, a través de sus “fases de vida”. El marco de alcance de un LCA identifica las entradas (*inputs*), los procesos y las salidas (*outputs*) específicos de un estudio y desarrolla un inventario del ciclo de vida (LCI) dentro de los límites designados. Este inventario sigue las entradas de energía a través de la vida de un producto o servicio que después pueden ser convertidas en emisiones de gases de invernadero mediante el uso de factores de conversión de emisiones.

Para evaluar adecuadamente el ahorro de las emisiones de gases de efecto de invernadero asociadas con las alternativas de agua para beber en el México urbano, nosotros desarrollamos dos LCA independientes y establecimos una línea base del ciclo de vida de las emisiones para los sistemas de TAD (Sección 6, Índice de Emisión 3A) y Agua Embotellada en Garrafón (Sección 7, Índice de Emisión 3B).

9 ÍNDICE DE EMISIÓN 3A: TRATAMIENTO DE AGUA EN LA VIVIENDA

Objetivos

- Llevar a cabo una revisión bibliográfica de los estudios existentes que evalúan las emisiones de gases de efecto invernadero de las tecnologías de tratamiento de agua en la vivienda para fortalecer y contextualizar nuestro estudio.
- Usar información secundaria para desarrollar una evaluación del ciclo de vida de las emisiones de CO₂ equivalente de sistemas de TAV que cumplan los requisitos del programa Hipoteca Verde del INFONAVIT (por ejemplo: tratamiento ultravioleta (UV), ozono y filtros con capacidad germicida que cumplan con el estándar de México de la NOM-244-SSA1-2008).
- Calcular un índice para las emisiones de gases de efecto de invernadero asociadas con el uso de tecnologías de TAV en el México urbano (kg CO₂eq/m³).

Principales Consideraciones y Supuestos

- Calculamos los kg CO₂eq/m³ para agua procesada por una tecnología TAV dentro de su ciclo de vida con un modelo de entrada-salida (*input-output*).
- Identificamos y calculamos las emisiones de cuatro segmentos principales del ciclo de vida de un sistema TAV: producción del sistema y transporte al sitio de distribución; transporte entre el sitio de distribución y las viviendas; agua tratada durante la vida útil del sistema; y electricidad consumida durante la vida útil del sistema.

Conclusiones Clave

- La línea base de las emisiones para las tecnologías de tratamiento de agua en la vivienda ofrecidas a través de Hipoteca Verde, y consideradas como representativas de los sistemas TAV en general, son 0.95 kg CO₂eq/m³ (Bajo: 0.30 kg CO₂eq/m³; Alto: 2.6 kg CO₂eq/m³).

9.1 INTRODUCCIÓN

Las tecnologías de tratamiento de agua en la vivienda (TAV) pueden ser usadas para eliminar contaminantes físicos, químicos y biológicos. Históricamente, hervir el agua es el método de TAV más ampliamente conocido. Sin embargo, los requisitos altos de energía (con un mínimo teórico de 300 MJ/L) y

los costos de los combustibles son dos de los factores importantes que han limitado el uso continuo de dicha práctica. Las tecnologías de TAV que son más comúnmente usadas en el sector residencial de México, incluyen filtros de membrana que remueven partículas (mayores de 1-20 μm , dependiendo del tipo de filtro) y los filtros de carbón activado que reducen la concentración de cloro y de algunos compuestos que afectan el sabor del agua suministrada por los sistemas de distribución. Un porcentaje menor de viviendas también usa suavizantes para reducir la dureza del agua y osmosis inversa (OR) para disminuir la salinidad del agua. A excepción de la OR, estos tipos de tecnologías de filtración no son efectivas para remover los microorganismos patógenos, particularmente los virus y las bacterias⁸⁷. Las tecnologías de TAV que eliminan o inactivan los microorganismos comenzaron a ganar más atención a mediados de la década de 1990, después de una pandemia de cólera que afectó a varios países de América Latina, pero la adopción de éstos todavía es baja en México^{88,89}.

En 2000, México promulgó dos estándares para regular las tecnologías y las sustancias usadas para tratar el agua a nivel doméstico (NOM-180-SSA1-1998 y NOM-181-SSA1-1998). Estos estándares fueron remplazados en 2009 por un nuevo estándar (NOM-244-SSA1-2008: Equipos y sustancias germicidas para tratamiento doméstico de agua. Requisitos sanitarios), el cual establece que las tecnologías de TAV necesitan remover el 99.99% de los coliformes totales⁹⁰.

En 2010, el INFONAVIT creó el programa Hipoteca Verde para incentivar el ahorro de agua, electricidad y gas. Como parte del programa, INFONAVIT proporciona créditos para tecnologías que alcanzan los estándares mexicanos de TAV (NOM-244-SSA1-2008)⁹¹. El motivo detrás de la inclusión de incentivos para tecnologías de TAV, es que su uso puede sustituir el consumo de agua embotellada y así contribuir en las reducciones del consumo de energía, de las emisiones de CO_2eq y del uso del agua. Para disminuir el consumo de agua embotellada, las tecnologías de TAV necesitan tratar todos los contaminantes físicos, químicos y biológicos que puedan estar presentes en el sistema de distribución de agua. Es importante mencionar que cabe la posibilidad de que una tecnología de TAV que cumple con los estándares de la NOM-244-SSA1-2008, no elimine todos los contaminantes presentes en el agua proveniente de un sistema de distribución (por ejemplo: alta salinidad, arsénico, pesticidas y ciertos patógenos que no se inactivan con las tecnologías que sólo remueven coliformes totales). En este caso, los ahorros de la tecnología de TAV son irrelevantes, dado que el sistema no es capaz de producir agua apta para el consumo humano.

En las siguientes secciones, presentamos el alcance y los límites de nuestro análisis del ciclo de vida, nuestro método para estimar las emisiones asociadas con los sistemas de TAV, la información que está disponible y nuestras suposiciones, así como los resultados finales en $\text{kg CO}_2/\text{m}^3$.

9.2 ALCANCE Y LÍMITES DEL SISTEMA DE ESTUDIO

El alcance del sistema de estudio consiste en las tecnologías de TAV (ozono, luz ultravioleta y filtros impregnados con agentes germicidas, tales como plata coloidal y grupos de nano-metales) que se venden actualmente en México y que están aprobadas por el programa Hipoteca Verde. Para evaluar si ésta es una representación adecuada o no de la línea base actual en México, calculamos también el ciclo de vida de las emisiones asociadas con varios productos y tecnologías alternativas, incluyendo la osmosis inversa. Para evaluar las emisiones de gases efecto de invernadero por metro cúbico de agua tratada por cada producto, calculamos las emisiones directas e indirectas de los materiales que las componen, así como las emisiones de su distribución y uso.

Los siguientes elementos fueron excluidos en la evaluación del ciclo de vida de las tecnologías de TAV:

- Eliminación y desechos de los productos de TAV. La eliminación y los desechos pueden tener verdaderos impactos en el ambiente, pero las emisiones de gases de efecto invernadero son consideradas como mínimas en comparación con un sistema de emisiones grises y de la fase de uso.

- Las emisiones grises (*embedded emissions*) de la infraestructura o de la maquinaria utilizada en las fases de la producción de la tecnología de TAV. Dicha infraestructura o maquinaria es usada durante varios años o décadas y está asociada con la producción y el transporte de miles de unidades, llevando una contribución mínima al total de emisiones de un sistema de TAV.
- Recipientes usados para beber agua. Estos recipientes también son usados para beber agua proveniente de sistemas de distribución o de agua embotellada en garrafones; por lo tanto, no es un componente relevante para una comparación entre distintas fuentes de agua para beber.
- Actividades indirectas del personal involucrado en la cadena de abastecimiento, tal como el desplazamiento entre sus hogares y el sitio de trabajo. Como muchos otros estudios de LCA, consideramos que estas actividades deben ser atribuidas a las personas y no al producto evaluado.

Tecnologías de Tratamiento de Agua para la Vivienda (TAV)

Hipoteca Verde	Tipo	Marca
Purificador Sobre/Bajo Tarja	Filtración	Rotoplas
Vitapurex	Filtración	Materiales Sustentables
Purificador Domestico	UV	Instapura
Aqu-100G	Ozono	Aquwell
Productos Alternativos	Tipo	Marca
Mesita Azul	UV	Cántaro Azul
Flozone	Ozone	Ozotech
Purificador Osmosis Inversa	RO	Rotoplas

Tabla 19: Tecnologías de tratamiento de agua para viviendas, analizadas para emisiones grises y directas. Las tecnologías adicionales están siendo investigadas para su comparación con las tecnologías de Hipoteca Verde, en la construcción del producto final.

9.3 MÉTODO

Para calcular los kg CO₂eq/m³ del agua procesada por una tecnología de TAV, identificamos cuatro segmentos principales durante su ciclo de vida con un modelo de entrada-salida (*input-output*):

- Producción del sistema y transporte al sitio de distribución,
- Transporte entre el sitio de distribución y las viviendas,
- Agua tratada durante la vida útil del sistema,
- Electricidad consumida durante la vida útil del sistema.

El modelo resultante es una evaluación del ciclo de vida que calcula los requisitos específicos de energía y las salidas (*outputs*) de emisiones para las tecnologías escogidas. Elaboramos escenarios de emisiones de: línea base, baja y alta, para reflejar los posibles rangos de los datos de entrada (*input*). Estos cálculos están

basados en información del fabricante; factores de emisiones de materiales, energía y agua; y de supuestos acerca del transporte y la distribución.

9.4 INFORMACIÓN EXISTENTE

El sector de TAV es relativamente nuevo y sus tecnologías son bastante diversas, por esta razón no ha habido estudios rigurosos (hasta donde tenemos conocimiento) que documenten su uso de energía o sus emisiones del ciclo de vida. Como parte de nuestro estudio, recopilamos información secundaria sobre las emisiones grises de materiales usados en la producción de sistemas de TAV y sobre el consumo de energía de las tecnologías de tratamiento usadas por sistemas de TAV. Gran parte de la información sobre el consumo de energía proviene de investigaciones que se han hecho sobre sistemas de mayor escala, como el tratamiento de agua en plantas embotelladoras y en redes de distribución pequeñas^{35,92-101}. También usamos los factores de conversión que identificamos y desarrollamos en las Secciones 2 y 3 sobre la de energía, electricidad y agua del sistema de distribución.

9.4.1 FACTORES DE EMISIONES DE MATERIALES

Para estimar las emisiones grises (*embedded emissions*) de cada sistema, multiplicamos el peso de sus materiales por los factores de conversión de gases de efecto de invernadero para varios materiales encontrados en la bibliografía. Obtuvimos los tipos de materiales y los pesos consultando las especificaciones de los productos, las cuales estaban disponibles a partir de los fabricantes y distribuidores de los sistemas de TAV. Debido a la falta de información desagregada sobre estos componentes, nuestra aproximación no incluye las emisiones grises o cautivas para el etiquetado, el cableado y otras pequeñas partes que pueden ser parte de un producto de TAV.

Muchos estudios de la industria de construcción, transportación y materiales, han analizado el impacto ambiental del ciclo de vida de una variedad de materiales. DEpra y DECC (2012) proporcionan factores de emisiones para materiales sobre un ciclo de vida completo (*cradle-to-site*), incluyendo emisiones de extracción, procesamiento, fabricación y transportación de los materiales¹⁰². El Inventario de Carbón y Energía (ICE), generado por la Universidad de Bath, mantiene un registro de miles de estudios que varían en su alcance desde “la cuna a la tumba” (*cradle-to-grave*) hasta “la cuna a la puerta” (*cradle-to-gate*), evaluando el carbón cautivo de varios materiales. La versión ICE 1.6a contiene actualmente más de 1,700 estudios¹⁰³. Debido a limitantes de información en estos estudios, el ICE reporta la energía gris y el carbón cautivo de “la cuna a la puerta”; así como el promedio de energía gris por fuente de energía de algunos materiales. Además, un estudio sobre las emisiones cautivas de bióxido de carbono equivalente, preparado por el Instituto del Transporte de la Universidad de California en Davis (IT-UCD), reporta tanto la energía gris como la proporción de diferentes fuentes de combustible que aportan al costo energético de distintos materiales¹⁰⁴.

Partiendo de las propiedades de los combustibles y de los factores de conversión de las emisiones de ciclo de vida, usamos los valores de energía gris provenientes del ICE de Bath y del IT-UCD para calcular las emisiones de bióxido de carbono equivalente. En un siguiente paso añadimos un factor conservador de emisiones relacionadas con el transporte (distancias más largas) a aquellos factores de emisiones que no incluyen el transporte entre el sitio de fabricación del producto y la tienda. En el caso de materiales plásticos, utilizamos como referencia un vasto estudio preparado por Franklin Associates (2010) que incluye tres bases de datos de emisiones de la producción de resinas.

En el Apéndice 8.1.1, incluimos una comparación de factores de conversión entre los valores de ICE de Bath, IT-UCD, Franklin, DEpra y DECC. Seleccionamos valores de estas fuentes, priorizando aquellos que estaban disponibles (directamente o través de una conversión) en bióxido de carbono equivalente, que provenían de un análisis de ciclo de vida con métodos claros y que fueran lo más relevante posible para el contexto de México. En aquellos casos en donde ninguno de nuestros criterios se cumplió, escogimos el

valor más alto para lograr una estimación conservadora de emisiones de materiales de “la cuna al sitio” (*cradle-to-site*).

Factores de Conversión de Materiales

Material	kgCO ₂ eq/kg material	Fuente
Polipropileno	3.25	Defra/DECC (2012)
Plástico	3.18	Defra/DECC (2012)
Cerámica ¹	1.23	ICE (2008)
Acero	2.71	Defra/DECC (2012)
Acero Inoxidable ^{1,2}	6.30	ICE (2008)
Electrónicos	1.76	Defra/DECC (2012)

[1] Inicialmente, los datos para el acero inoxidable y la cerámica no incluían emisiones relacionadas al transporte; aquí utilizamos 3,000 km de transporte y añadimos 0.15 kgCO₂eq/garrafón a estos datos. Este resultado se divide eventualmente durante el transcurso de la vida y uso de la TAV.

[2] Los datos para el acero inoxidable no distinguían las emisiones de CH₄ y NO₂, por lo tanto este valor representa kgCO₂/kg material

Tabla 20: Emisiones grises de materiales usados en tecnologías de tratamiento de agua en viviendas. El carbón activado se estima como plástico debido a la falta de datos de emisiones para este material y la alta proporción de plástico en este tipo de filtros.

9.4.2 EMISIONES DEL TRATAMIENTO DE AGUA (USO DE ELECTRICIDAD)

Algunas tecnologías de tratamiento de agua en la vivienda evaluadas en este estudio requieren de electricidad como su entrada (*input*) de energía primaria. Una revisión bibliográfica de cada uno de los tipos de tratamiento considerados (filtración, ozono, UV y osmosis inversa) contextualiza los datos que usamos para calcular las emisiones directas de Hipoteca Verde y productos alternativos. Dadas las diferentes escalas de tratamiento en la revisión bibliográfica, recopilamos la información de la mayoría de los estudios para producir un rango de uso de energía por volumen de agua tratada. También usamos la información del consumo de energía y de la tasa de flujo de los fabricantes de los productos de TAV para calcular el uso de energía por volumen de agua tratada. En ambos casos, convertimos los kWh/m³ a kg CO₂eq/m³ usando el factor de línea base de las emisiones para electricidad en México, calculado en la Sección 2.1 de este estudio. Además, calculamos valores bajos y altos de la bibliografía usando los valores del primer y del tercer cuartil para todos los datos recolectados de la bibliografía.

9.4.2.1 FILTRACIÓN

Los dispositivos de filtración actúan como barreras físicas para las partículas y los objetos presentes en el agua entrante. La mayoría de los dispositivos de filtración funcionan por gravedad y no requieren electricidad. Por lo tanto, no se presentan emisiones en el uso de los dispositivos de filtración.

9.4.2.2 OZONO

El tratamiento de ozono es un proceso de oxidación que desinfecta un amplio espectro de bacterias, virus y protozoarios. En la escala doméstica, el ozono debe de ser producido en el sitio y pasado como un gas a través del agua entrante para desinfectarla adecuadamente. Como tal, se requiere electricidad para generar y operar el sistema. Los estándares de tratamiento de agua de la Agencia de Protección Ambiental (EPA por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos requieren un tiempo de contacto del ozono con el agua de cuatro a cinco minutos, con una concentración de 1.6 a 2 g/m³ para agua con baja turbidez, para alcanzar los valores mínimos de Ct (concentración x tiempo) e inactivar de manera efectiva a los microorganismos patógenos⁹⁷. Utilizando información de varias fuentes, tomamos los datos requeridos de energía para la ozonización al nivel marcado por la EPA y los convertimos en kg CO₂eq por volumen de agua tratada^{92-94,96-98,101}. Para el tratamiento con ozono, obtuvimos un valor medio de emisiones de 0.0062 kg CO₂eq/m³ (1.18E-4 kg CO₂eq/garrafón) y un rango que va de 0.0044 kg CO₂eq/m³ (8.30E-5 kg CO₂eq/garrafón) para el cuartil inferior, a 0.0197 kg CO₂eq/m³ (3.72E-4 kg CO₂eq/garrafón) para el cuartil superior.

9.4.2.3 LUZ ULTRAVIOLETA

Los sistemas de luz ultravioleta (UV) inactivan los patógenos presentes en el agua dañando su ADN y ARN con energía electromagnética de longitud de onda corta (254nm). La luz UV es producida (dentro de una cámara de desinfección) por lámparas de mercurio sumergidas o suspendidas por encima del agua, dependiendo del diseño del sistema. Consultamos varios estudios que reportan el consumo de energía y la capacidad de flujo de sistemas de desinfección de agua con luz UV que usan lámparas de mercurio de baja presión (las cuales son relevantes para el tratamiento de agua a una escala doméstica), para así poder calcular las emisiones por volumen de agua tratada^{35,92-96}. A partir de estos cálculos obtuvimos un valor medio de las emisiones de tratamiento con luz UV de 0.0086 kg CO₂eq/m³ (1.62E-4 kg CO₂eq/garrafón) y un rango que va de 0.0057 kg CO₂eq/m³ (1.08E-4 kg CO₂eq/garrafón) para el cuartil inferior, a 0.012 kg CO₂eq/m³ (2.19E-4 kg CO₂eq/garrafón) para el cuartil superior.

9.4.2.4 OSMOSIS INVERSA

La Osmosis Inversa (OI) es un tipo de filtración en el que el agua pasa a través de una membrana a alta presión; como resultado, el agua atraviesa la membrana libre de la mayoría de contaminantes y un flujo de agua de desecho, rico en iones y partículas (salmuera), es rechazado. El consumo de energía de la OI es significativamente más alto que el de la filtración, el ozono y luz UV. Además, el consumo de energía y el rendimiento del producto de agua tratada con respecto al agua entrante, depende de la concentración de los sólidos totales disueltos en la fuente de agua. Por lo general, un aumento en la concentración de iones en la fuente de agua incrementa el uso de energía del sistema y requiere una mayor proporción de agua entrante con respecto a la producida. Presentamos las emisiones por volumen de agua tratada con OI (convertidos a kg CO₂eq/m³) desagregadas por niveles de concentración de iones (en ppm) en la Tabla 21, junto con los otros procesos de tratamiento de agua. Reproducimos los valores encontrados en Gleick (2010) porque las concentraciones de iones representadas son relevantes para el TAV y los requisitos de energía reportados están dentro de los rangos de otros valores encontrados en la bibliografía^{35,92,93,100}.

Emisiones Relacionadas al Tratamiento de Agua			
Proceso	Rango	Emisiones Directas (kg CO ₂ eq/m ³)	Fuentes
Ozono	Baja	0.004	Gottschalk (2010); AWWA (2005);
	Media	0.006	Masschelein (1992); Gleick (2010); Franklin
	Alta	0.020	(2010); EPA (1999); PG&E (2006)
Ultravioleta	Baja	0.006	Masschelein (1992, 2002); Cooley (2012);
	Media	0.009	Franklin (2009); Gleick (2009); PG&E (2006)
	Alta	0.012	
Osmosis Reversa	500 ppm	0.376	Gleick (2010)
	1,000 ppm	0.450	
	2,000 ppm	0.604	

Tabla 21: Procesos de tratamiento de agua relevantes para las tecnologías de TAV³⁵⁻⁴³. Las medias son calculadas a partir de múltiples fuentes, excepto para el caso de osmosis inversa en que reportamos el rango de valores de Gleick (2010).

9.4.3 TRANSPORTE Y DISTRIBUCIÓN

No hay información (hasta donde tenemos conocimiento) de la distribución y el transporte de tecnologías de tratamiento doméstico del agua para las viviendas; sin embargo, este factor contribuye de manera significativa al total de la energía gris (*embedded energy*) del uso de una tecnología de TAV. Tomando en cuenta el peso de cada producto de TAV, elaboramos un aproximado de emisiones asociadas con el transporte desde la planta hasta la tienda y desde la tienda hasta la vivienda. En nuestro cálculo de emisiones de línea de base contemplamos una distancia de la planta a la tienda de 1,500 km. Además usamos un factor de emisiones por kg CO₂eq/tonelada-km de producto transportado, basado en los datos publicados por el Laboratorio Tecnológico Nacional de Energía (2008) y en los factores de emisiones de DEpra y DECC (2012)^{22,102}. El valor que calculamos de 0.53 kg CO₂eq/tonelada-km para camiones estándar coincide con un estudio de Schipper (2001), que reporta emisiones promedio de 0.50 CO₂eq/tonelada-km para camiones de carga de unidad simple y doble remolque en los Estados Unidos¹⁰⁵. Estos valores de transportación fueron sumados a aquellos materiales (cerámica y acero inoxidable) que no contaban con información de emisiones de transporte en su análisis de “la cuna al sitio” (*cradle-to-site*). Realizamos un análisis de sensibilidad y encontramos que aumentando la distancia hasta 10,000 km, no resulta en cambios significativos en el total de emisiones de LCA de los productos de TAV.

Para el transporte de productos de TAV desde las tiendas hasta las viviendas, estimamos una línea base de 6 km por viaje redondo tomando en cuenta mapas de varias ciudades de México, en los cuales identificamos la ubicación de tiendas en donde se venden productos aprobados por Hipoteca Verde. Asumimos una eficiencia vehicular de 11.8 km/L¹⁰⁶.

Al trayecto del consumidor a la tienda, le asignamos un factor de atribución de emisiones de 75% para reflejar que la primera compra de un sistema de TAV requiere recopilar información y que seguramente es una compra planeada. En el caso del transporte para el remplazo de cartuchos del sistema de filtración, le asignamos un

factor de 50%. Esta asignación menor refleja el supuesto de que los consumidores saben exactamente lo que van a comprar (un filtro específico) y seguramente incluirán otros mandados en su compra bianual de remplazo de filtros. También exploramos escenarios de emisiones bajas y altas al manipular la distancia de transportación, la eficiencia del vehículo y el factor de atribución de emisiones^{105,106}.

9.4.4 CONSUMO DE AGUA Y VIDA ÚTIL DEL PRODUCTO

Para la línea base de consumo de agua, estimamos el tratamiento de 0.5 garrafones (9.45L) por vivienda por día, basándonos en una estimación conservadora de dos litros de agua consumidos al día por persona en una vivienda de cuatro a cinco personas. El agua que entra a la vivienda, en sitios urbanos, proviene del sistema de distribución de agua y por eso usamos el factor de emisiones calculado en el primer índice de emisiones presentado en este estudio (Sección 3.3).

Estimamos la vida útil del sistema de TAV basándonos en las características de los productos y las especificaciones de los fabricantes. Usamos una línea base de vida útil de ocho a cuatro años para una resistencia alta y media de los materiales, respectivamente. Para los filtros de repuesto, usamos la vida útil indicada por los fabricantes en referencia al total de litros tratados. Al combinar el consumo de agua y las emisiones de la fuente de agua con la vida útil de los productos, generamos una “vida de uso” en términos del agua tratada por cada producto. Dividimos las emisiones grises o cautivas de la producción y la distribución sobre esta vida de uso efectiva, para calcular las emisiones grises por metro cúbico de agua tratada por cada producto de TAV. Variamos el consumo diario de agua, el factor de emisiones de la fuente de agua y los valores de la vida útil del producto para simular escenarios bajos y altos de emisiones con el objetivo de detectar la variabilidad en el mercado mexicano y el sector residencial.

Variando los valores de la vida útil del producto también se consigue una característica de propiedad del sistema de TAV que no se explora aquí: los consumidores pueden o no usar un producto durante toda su vida útil. Si un consumidor deja de usar un producto antes de la vida útil presentada aquí, entonces el índice calculado subestimarán las emisiones por metro cúbico de agua tratada en ese caso específico. Al explorar los rangos de vida útil, estamos implícitamente explorando la posibilidad de que el producto sea subutilizado, lo cual puede reflejar un comportamiento más realista del usuario.

9.5 ESCENARIOS DEL MODELO

Los siguientes escenarios representan los diferentes supuestos explorados en el modelo de tratamiento de agua en la vivienda.

Escenarios para el Tratamiento del Agua en la Vivienda

Factores	Datos de Entrada	Base	Bajo	Alto
Producto	Tiempo de Vida: Durabilidad Larga (años)	8	12	2
	Tiempo de Vida: Durabilidad Media (años)	4	6	4
Electricidad	Emisiones (kg CO ₂ e/kWh)	0.57	0.29	0.72
Agua	Emisiones Relacionadas al Bombeo (kgCO ₂ e/m ³)	0.27	0.07	0.44
	Consumo Diario (garrafones)	0.5	1	0.25
Transporte	Distancia entre la Vivienda y la Tienda (km)	6	3	10
	Importancia del Viaje: primera compra	75%	25%	95%
	Importancia del Viaje: compras para obtener repuestos/partes	50%	5%	75%
	Eficiencia vehicular (km/l)	11.8	13.0	8.0

Tabla 22: Escenarios de modelos de sistemas de tratamiento de agua en viviendas.

9.6 RESULTADOS

El escenario de línea base de emisiones para la tecnología de tratamiento de agua en la vivienda (presentado en la Tabla 23) tiene como resultado un factor de emisiones promedio del ciclo de vida de 0.95 kg CO₂eq/m³ para UV, ozono y dispositivos de filtración germicida (Vitapurex y Purificador Sobre/Bajo Tarja) ofrecidos por Hipoteca Verde. Los escenarios de emisiones: bajo y alto, producen un rango de 0.30 kg CO₂eq/m³ a 2.6 kg CO₂eq/m³. Encontramos que las emisiones de productos alternativos disponibles para el tratamiento de agua en viviendas (ozono y UV) caen dentro de este rango; sugiriendo que es apropiado utilizar el índice de emisiones promedio de los productos de Hipoteca Verde para caracterizar las emisiones de otros sistemas de TAV que cumplen con la norma mexicana (NOM-244-SSA1-2008).

Sistemas TAV y sus Emisiones GEI

Hipoteca Verde	kg CO₂eq/m³	kg CO₂eq/garrafón
Vitapurex	0.80	0.015
Purificador Sobre/Bajo Tarja	1.06	0.020
Aqu-100G	0.41	0.008
Purificador Domestico	1.52	0.029
Promedio	0.95	0.018

Productos Alternativos	kg CO₂eq/m³	kg CO₂eq/garrafón
Mesita Azul	1.82	0.034
Flozone	1.17	0.022
Purificador Osmosis Inversa	4.99	0.094

Tabla 23: Emisiones de gases de efecto de invernadero por metro cúbico de agua tratada por varias tecnologías de tratamiento de agua en viviendas.

Sin embargo, debido a la diferencia significativa en sus emisiones por volumen de agua tratada, consideramos que no es adecuado agrupar la osmosis inversa con el resto de las tecnologías de TAV. La OI tiene una intensidad energética mucho mayor que los productos de Hipoteca Verde y que las opciones de tratamiento alternativo con luz UV y ozono. El producto de la OI que investigamos obtuvo un resultado de 5.4 veces más emisiones que el producto típico de Hipoteca Verde. Por lo tanto no incluimos la OI en el índice de emisiones promedio para productos de TAV, pero sugerimos el uso de un índice independiente para OI que pueda ser utilizado en regiones donde el agua de los sistemas de distribución sea de alta salinidad.

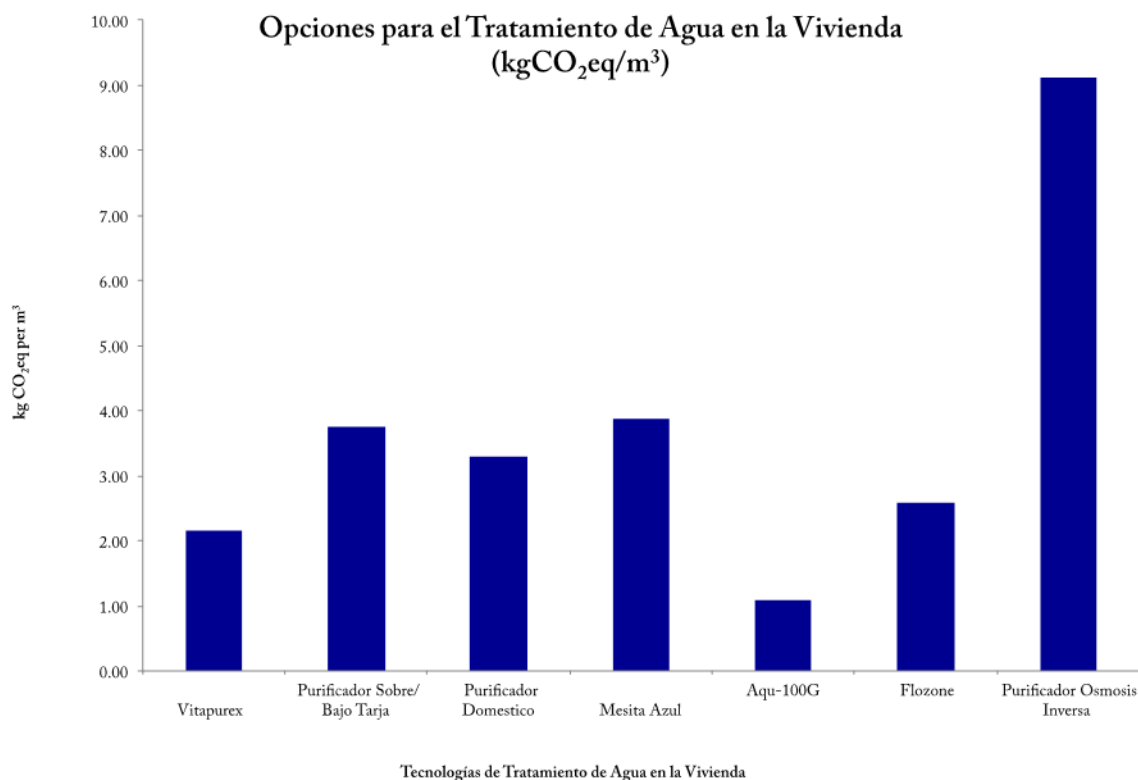


Figura 10: Ciclo de vida de las emisiones de gases de efecto de invernadero para tecnologías seleccionadas de tratamiento de agua en viviendas.

El índice calculado para el escenario de emisiones altas es cuatro veces mayor al del escenario de emisiones bajas, reflejando la variabilidad causada por diferencias en: emisiones de electricidad y fuentes de agua; distancias de transportación, eficiencias vehiculares y factores de atribución de viajes en vehículo; y la vida útil de los productos.

Emisiones TAV		
Escenario	kg CO ₂ eq/m ³	kg CO ₂ eq/garrafón
Bajo	0.30	0.01
Base	0.95	0.02
Alto	2.57	0.05

Tabla 24: Emisiones del tratamiento de agua en viviendas, con base en escenarios bajo, línea base y altos, reflejando diferencias en emisiones, vida útil del producto y distribución.

10 ÍNDICE DE EMISIÓN 3B: AGUA EMBOTELLADA

Objetivos

- Realizar una reseña bibliográfica de los estudios existentes sobre las emisiones de ciclo de vida de gases de efecto invernadero del sector de agua embotellada.
- Usar información secundaria para definir el alcance y los límites del presente estudio y realizar una evaluación del ciclo de vida (LCA) de agua embotellada en garrafones de 18.9L en México.
- Calcular el índice de emisiones de gases de efecto de invernadero asociadas al agua embotellada en garrafones ($\text{kg CO}_2\text{eq/m}^3$), usando una variedad de escenarios representativos del mercado mexicano.

Principales Consideraciones y Supuestos

- Nuestro estudio se enfoca en las emisiones grises (*embedded emissions*) del agua embotellada en garrafón, tomando en cuenta las emisiones asociadas con: la producción de resinas plásticas; la fabricación del garrafón; la fabricación de los tapones de plástico; la extracción y el transporte de agua; el tratamiento de agua en una planta purificadora; la limpieza y el relleno del garrafón; y la distribución del agua embotellada.
- Usamos información relevante para México en todos los casos posibles. Cuando no existe información sobre México, entonces usamos los mejores datos disponibles de otros países y los adaptamos al contexto mexicano utilizando nuestra amplia experiencia en el tema.

Conclusiones Clave

- Nuestro modelo de emisiones asociadas con el ciclo de vida del agua embotellada en garrafón resultó en un índice de emisiones de $32 \text{ kg CO}_2\text{eq/m}^3$ (Bajo: $16 \text{ kg CO}_2\text{eq/m}^3$; Alto: $90 \text{ kg CO}_2\text{eq/m}^3$).
- La combinación de información recopilada directamente de plantas purificadoras de agua y de distribuidores de agua embotellada, con las emisiones de la producción de plásticos calculadas en nuestro modelo, resultó en un índice de emisiones de $30 \text{ kg CO}_2\text{eq/m}^3$ (Bajo: $16 \text{ kg CO}_2\text{eq/m}^3$; Alto: $47 \text{ kg CO}_2\text{eq/m}^3$).

10.1 INTRODUCCIÓN

Aunque el agua embotellada en garrafón de 18.9L es una de las fuentes más comunes de agua para consumo humano en México, su impacto ambiental no ha sido evaluado previamente. Solo existe un análisis de ciclo de vida (LCA) de la entrega a domicilio y oficina de agua embotellada en garrafón (18.9L) en Estados Unidos y una serie de LCA sobre botellas de agua desechables más pequeñas que han sido realizados en Estados Unidos y Europa^{92,93,107-109}. A pesar de la gran variabilidad de condiciones entre dichos LCA, las estimaciones finales de emisiones se encuentran dentro de un mismo orden de magnitud que varía entre $127 \text{ kg CO}_2\text{eq/m}^3$ y $425 \text{ kg CO}_2\text{eq/m}^3$.

Estudios 'Ciclo de Vida' para el Agua Embotellada

Fuente	Caso Base ¹	Unidad de Análisis ¹ (l)	Equivalentes de CO ₂ ¹ (kg/m ³)	Equivalentes Enérgicos ¹ (MJ/l)
BIER Europa	De 'Cuna-a-la-tumba'; 3%	1.5	108.5	
BIER US	Asumiendo reciclaje	0.5	165.6	No disponible
Gleick & Cooley	“Solo una vida”; Sin reciclaje	1	No disponible	5.6-10.2
Quantis para Nestlé	Cuna-a-la-tumba; sin-reúso	0.5L Desechable	274	No disponible
	Cuna-a-la-tumba; 100 usos	3L Botella	350	No disponible
Nessi et. al	Botella PET Rellenable 1L (15 usos)	152.1	163	No disponible
	“Solo una vida”; Botella PET			
Jungbluth	Sin-reúso 1L	1	178-425 ²	4.23-8.34
	Cuna-a-la-tumba; Botella 1L			
	PET desechable	1	161.6	~4.18
Franklin & Associates	Cuna-a-la-tumba; Jarras con Reúso (40 usos)	18.9	126.7	~1.96

[1] En nuestro análisis convertimos los datos en la literatura a Litros de agua, g CO₂eq, o MJ/l.

[2] Escenario con transporte alto.

Tabla 25: Reseña bibliográfica de la Botella de Agua PET con índices de emisiones de gases de efecto de invernadero. Los escenarios de línea base tienen una gran gama de supuestos que difieren de un estudio a otro; esta tabla resume algunos de ellos.

En la bibliografía se indican varias etapas de producción del agua embotellada que son importantes de considerar para la adaptación de la información existente y el desarrollo de una evaluación modificada del ciclo de vida de los garrafones:

- Producción de resina plástica y fabricación de la botella,
- Abastecimiento de agua, tratamiento y embotellado,
- Distribución,
- Recolección, reutilización, reciclado y desecho.

Las referencias bibliográficas indican una variedad de factores que influyen en el total de emisiones de gases de efecto de invernadero por metro cúbico de agua embotellada consumida (kg CO₂eq/m³). Sin embargo, una de las principales contribuciones a las emisiones totales proviene de la fase de producción de la botella de plástico^{38,44,45}. Por ejemplo, BIER (2012) describe las huellas de una botella de 1.5 litros en Europa y una botella de 500 mililitros en Norte América. En ambos casos, la producción de la botella PET abarca cerca de 38% del total de las emisiones¹¹⁰. Gleick y Cooley (2009) reportaron que la fabricación de

las botellas comprende de 39% a 71% de la intensidad total de energía, dependiendo de las condiciones asumidas en la fase de transporte⁹³. Estas tendencias están confirmadas en el análisis de Franklin Associates (2009), el cual cubre 48 escenarios de agua para beber en el estado de Oregón, Estados Unidos (agua embotellada, agua de la llave, entrega a casa y oficina). Franklin Associates reporta que la producción de la botella es el proceso energético más intensivo de las botellas de tamaño pequeño, a excepción del escenario con largas distancias de transportación. La información más relevante de este estudio para el sector de México son las entradas (*inputs*) de energía requeridas para la producción de botellas de agua de 18.9L (5 galones, equivalente a los garrafones) de entrega a domicilio y oficinas¹¹¹. En nuestro estudio encontramos que la alta tasa de reutilización del garrafón en México, resulta en una contribución más pequeña del proceso de producción de la botella en el total de las emisiones.

Existe muy poca información sobre la distribución de las fuentes de abastecimiento de agua (por ejemplo: los sistemas municipales, los pozos particulares y las pipas de agua) usadas por las plantas embotelladoras en México. Sin embargo, el rango de operaciones de tratamiento en el sector de agua embotellada en México coincide con aquéllos usados en la mayoría de las regiones del mundo en donde las plantas embotelladoras de agua proporcionan un tratamiento adicional al agua municipal, de pozo o de pipa (filtración, ultravioleta, ozono y/o osmosis inversa)^{93,111}.

Los estudios publicados sobre el sector del agua embotellada reportan distancias de transporte que van de 80-3,000 km para calcular los escenarios de distribución local e internacional^{93,107,110,111}. Los supuestos en la transportación y el peso de la botella conllevan a valores más altos en el estudio de Quantis para el agua Nestlé, en donde la línea base de transportación fue de una distancia de 400 km, y el estudio Jungbluth, en donde los supuestos altos de transportación fueron de 1,000 km^{107,108}. La información sobre el transporte y las rutas de distribución en México para el agua embotellada no se encuentran disponibles publicamente. Sin embargo, con más de 85% del agua embotellada producida por compañías consideradas dentro de una escala “pequeña” o “micro” –un estimado de 6,000 plantas embotelladoras de agua-, las distancias de transporte en México son mucho menores que las de los escenarios presentados arriba¹¹².

Como reflejo al crecimiento de la industria de material reciclado, cada vez es más común que los análisis de ciclo de vida contemplen un módulo de reciclaje. Frecuentemente, el producto reciclado se distingue del producto virgen por ser un proceso de “segunda vida”. Una estrategia consiste en no atribuir las emisiones posteriores al uso al material que será reciclado, otra consiste en asignar un crédito de reciclaje al producto virgen^{109,113}. Un reporte de la Mesa Redonda Ambiental de la Industria de Bebidas (BIER por sus siglas en inglés) asignó un crédito de 3% en el contenido de reciclado para Europa y Norte América; mientras que Franklin Associates asignó créditos específicos de energía de reciclaje que difieren por escenario, pero que son similares en magnitud a los de BIER^{110,111}. En el caso de México es muy poco probable que el reciclaje tenga un impacto en las emisiones totales del agua embotellada. Aunque no hay fuentes bibliográficas sobre los niveles de reciclado, una compañía dedicada a este sector en México afirma que la tasa de reciclado en todo el país es de aproximadamente 3%, limitando significativamente la cantidad de material reciclado que puede ser incorporado a la producción de nuevos garrafones de plástico¹⁴⁴.

Existen muchas variables sobre el agua embotellada en México que no se encuentran documentados. Entre éstas se encuentran: el consumo de energía en el tratamiento de las plantas purificadoras, el perfil de participación de mercado de distintos tipos de embotelladoras, las rutas de distribución, las tasas de reutilización de botellas y las opciones de reciclado. Éstas variables pueden influir de manera importante en los resultados de los índices de emisión. Por lo tanto, tuvimos que realizar una investigación adicional a partir de fuentes primarias para obtener un mejor conocimiento sobre la fuente de abastecimiento de agua, el consumo de electricidad de las plantas embotelladoras, las distancias de distribución y la frecuencia en la reutilización de los garrafones. Anticipamos que las emisiones de gases de efecto invernadero por metro cúbico de agua embotellada en garrafón en México, estaría por debajo del rango más bajo de los valores

mostrados en la Tabla 24, debido a la mayor frecuencia en la reutilización de cada botella y las menores distancias de transportación que los casos de Europa y Estados Unidos.

10.2 ALCANCE Y LÍMITES DEL SISTEMA DE ESTUDIO

El sistema estudiado en este reporte es el ciclo de vida del agua embotellada en garrafón, una botella reusable de agua de 18.9L de plástico. Hay muchos pasos y procesos que caracterizan el ciclo de vida del agua embotellada. Nuestro estudio se enfoca en las emisiones grises (*embedded emissions*) asociadas a los procesos de:

- Producción de resinas plásticas,
- Fabricación del garrafón,
- Fabricación de los tapones de plástico,
- Extracción y transporte del agua (municipal, pozo o agua de pipa),
- Tratamiento de agua en una planta purificadora,
- Limpieza y llenado del garrafón,
- Distribución del agua embotellada.

No incluimos las emisiones asociadas con algunos procesos, ya que asumimos que su contribución a las emisiones totales del ciclo de vida es mínima o ya que no son relevantes en el contexto mexicano:

- En la bibliografía, se encontró que las emisiones asociadas con el etiquetado y los sellos son mínimas y por lo tanto no están incluidas en este estudio. Gleick y Cooley (2009) reportan un etiquetado y sellado de menos de 0.01 MJ/L, ó 0.01% a 0.18% del total de la intensidad de energía del agua embotellada⁹³.
- Las emisiones grises de la infraestructura o maquinaria en todas las etapas de producción del garrafón no están incluidas. Las emisiones del equipo están distribuidas entre los miles o cientos de miles de metros cúbicos de agua producidas a lo largo de su vida útil, por lo que se anticipa que las emisiones por garrafón son mínimas.
- Limitamos nuestro análisis al agua embotellada en garrafones. Aunque parte del consumo de agua embotellada en envases desechables (que varían entre 200ml a 10L) puede ser sustituida por los sistemas de TAV, esperamos que esto sea mínimo comparado al desplazamiento de agua embotellada en garrafones reusables. Como las botellas más pequeñas que el garrafón son más portátiles y más usadas fuera de la vivienda, la adopción de un sistema de TAV no se espera que sustituya completamente la demanda de este tipo de botellas. La exclusión de botellas más pequeñas (que tienen un factor de emisión más alto que el del garrafón) lleva a una estimación más conservadora en la reducción potencial de emisiones que resultan del remplazo de agua embotellada con sistemas de TAV.
- El uso de aire acondicionado en inmuebles es relevante en sólo una parte del mercado de agua embotellada en garrafón (por ejemplo, los garrafones que se venden en tiendas de conveniencia). Además, estos espacios almacenan y venden muchos productos adicionales al garrafón y, por lo tanto, se anticipa que el factor de atribución de emisiones para el garrafón sea mínimo.
- Refrigerar o enfriar el garrafón es poco común en México, pues la mayoría se venden a temperatura ambiente. Varios estudios en los Estados Unidos, incluyen el refrigerado o enfriado debido a las diferentes condiciones del mercado^{38,45-47}.
- No incluimos el lavado en la vivienda ya que en la mayoría de los casos el lavado del garrafón se realiza en las plantas embotelladoras, en donde los garrafones son rellenados.
- A diferencia del agua embotellada en presentaciones más pequeñas, los garrafones no requieren un empaque adicional de cartón y plástico durante su transporte, por lo que no incluimos estos componentes adicionales.

- Los recipientes usados para beber agua de garrafón también serán usados para beber el agua de la llave o agua tratada en la vivienda; por lo tanto, éstos no son un componente relevante en una comparación entre garrafones y otras fuentes de agua para beber.
- Las actividades de los empleados, tales como el desplazamiento entre su hogar y lugar de trabajo, no están incluidas en el alcance de este análisis.

10.3 UNIDAD FUNCIONAL

El garrafón se vende por lo general en un envase de 18.9L. Para el manejo de información, las principales unidades usadas a través del análisis son una tonelada para entradas (*inputs*) de materiales y un metro cúbico (m³) para las entradas de agua. La unidad funcional para el sistema es de un metro cúbico de agua embotellada en garrafón.

10.4 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO Y ENTRADAS

El reto del análisis del ciclo de vida de un producto radica en la calidad y la cantidad de la información existente y las muchas etapas interrelacionadas de producción. Como respuesta a este reto, decidimos construir un modelo que nos permite evaluar distintos supuestos y rangos de datos. Esto fortalece la validez de nuestro producto final y nos permite reproducir diversos escenarios que definen el ciclo de vida del agua embotellada en garrafón.

Usando el programa Excel de Microsoft, construimos un modelo exhaustivo basado en un archivo de entrada-salida de un ciclo de vida (un inventario de ciclo de vida). El archivo calcula las emisiones de gases de efecto de invernadero para cada paso de la producción del garrafón, basadas en factores del usuario, el modelo y las emisiones determinadas externamente. La interface del usuario en el modelo permite la manipulación de varias entradas clave, concretamente: fuente de agua, peso de la botella, tipo de plástico, distancia de la distribución, tipos de vehículo y valores de reutilización de la botella. En cada caso, la información de la participación del mercado es usada para estimar las proporciones de varias entradas en todo el sector de agua embotellada en garrafón. Finalmente, corrimos el modelo basado en escenarios de emisiones, bajo, línea base y alta, por garrafón para caracterizar mejor la diversidad de posibilidades (ver el Apéndice 8.1.3). Al construir estos escenarios, usamos los valores inferiores y superiores del cuartil de los datos de entrada, en los casos que tenemos un rango de datos (por ejemplo, los factores de conversión para emisiones de fuentes de agua y de electricidad). Esto nos permite proporcionar escenarios bajos y altos de datos de entrada, que se usan para desarrollar escenarios probables de emisiones bajas y altas del agua embotellada en garrafones en México.

10.4.1 DATOS

Como mencionamos en la reseña bibliográfica, existe muy poca información sobre el sector de agua embotellada en garrafón en México. Por lo tanto, desarrollamos el análisis de ciclo de vida de dicho producto complementando los datos sobre México que pudimos obtener o generar, con información de estudios internacionales adaptada al contexto mexicano.

Muchas de las características del mercado del agua embotellada en garrafón no están bien documentadas; por ejemplo, hay muy poca o ninguna información publicada sobre el tamaño de las plantas embotelladoras, los volúmenes de producción o las rutas de distribución. Por eso, nos salimos del alcance original de los términos de referencia para recolectar y generar datos suplementarios de primera mano. De manera específica, consultamos con expertos a nivel nacional sobre la inyección de plásticos y proveedores de plantas de purificación de agua. También entrevistamos a once dueños de plantas embotelladoras y seis distribuidores de garrafones en los estados de Baja California Sur y Chiapas. Baja California Sur tiene una disponibilidad de agua más baja y niveles totales de sólidos (TDS) más altos que Chiapas, lo cual nos permitió obtener una mejor representación de datos de entrada de fuentes de agua y de procesos

requeridos de tratamiento. El mercado de agua embotellada es más maduro en Baja California Sur que en Chiapas. Los patrones de distribución y los volúmenes de producción (de 20 a 2,300 garrafones por día) también difieren de un estado a otro, dándonos una mejor idea de la variabilidad del mercado. Usamos información recabada a partir de entrevistas y nos basamos en nuestra experiencia en el sector de agua en México para establecer y explorar múltiples escenarios del modelo que desarrollamos.

10.4.1.1 FUENTES DE INFORMACIÓN SOBRE LOS GARRAFONES

La única fuente secundaria disponible de información para la construcción de un modelo de entrada-salida (*input-output*) para los principales procesos de fabricación del garrafón, proviene de un reporte sobre el estado de Oregón, Estados Unidos, por Franklin Associates (2009). La empresa consultora presenta los requisitos de energía para cada etapa de la producción para la entrega a domicilio y oficina de una botella de tamaño de cinco galones (18.9L) a través del ciclo de vida del producto. Este es el reporte más detallado del ciclo de vida e incluye los requisitos de energía para casi todos los procesos, incluyendo los requisitos energéticos para: consumo de combustible, entrega del agua para beber, producción del material para los envases de agua para beber, procesos de fabricación, tratamiento del agua para beber, operaciones de embotellamiento de agua, distribución del agua embotellada, procesos de enfriamiento del agua para beber, lavado de envases y control de desechos⁹². Con base en la información de que México importa gran parte del PET y PC de los Estados Unidos¹¹⁵, consideramos que el uso de estos datos sobre la producción de plástico y la fabricación de botellas es apropiado y relevante.

Los datos de energía de México y las entrevistas con compañías embotelladoras reportan estimaciones de: participación en el mercado de los tipos de plástico, eficiencias de los vehículos, patrones de distribución, fuentes de agua, tratamiento de agua y factores de conversión de electricidad. Las siguientes fuentes proporcionan información para la construcción de escenarios y supuestos presentados en el Apéndice 8.1.3.

10.4.1.2 PARTICIPACIÓN EN EL MERCADO DE LA PRODUCCIÓN DE BOTELLAS

Un estudio por LGA Consulting concluyó, a través de entrevistas e información de mercado, que existen “10 consorcios grandes, 150 compañías grandes, 300 compañías medianas, 600 compañías pequeñas y 5,000 micro-compañías en la “mezcla” de mercado de agua embotellada¹¹². Aunque esta información es de 2009, nos sirve para estimar la distribución embotelladoras grandes, medianas, pequeñas y micro para la línea de base. Usando esta información de participación de mercado para crear categorías de escala grande y pequeña, pudimos estimar y sopesar la proporción de emisiones de una planta de gran escala con relación a una planta de pequeña escala. Por ejemplo, las compañías más grandes usan camiones de combinación que distribuyen garrafones a través de distancias más largas y, por lo tanto, las emisiones asociadas con estas actividades se sopesan de manera relativa a la participación de sus mercados en el cálculo de un garrafón representativo de todo el sector.

10.4.1.3 GRAN ESCALA

Nos basamos en Nestlé, BIER, Franklin Associates y el Instituto del Pacífico para establecer los escenarios de línea base para la intensidad de energía de la purificación del agua y las rutas de distribución (o llenado de botellas) para las operaciones de plantas de purificación de gran escala^{93,107,110,111}.

10.4.1.4 PEQUEÑA-MEDIANA ESCALA

Realizamos varias entrevistas con los dueños de plantas purificadoras de agua y distribuidores de garrafones en los estados de Chiapas y Baja California Sur, para recopilar información sobre los requisitos de energía en el tratamiento de agua, las distancias de distribución, las entregas de garrafones y las eficiencias de vehículos.

10.4.1.5 DISTRIBUCIÓN DEL MERCADO DEL MATERIAL DE PRODUCCIÓN

Los garrafones están hechos de PET, PC, PVC o vidrio. Las botellas de PET son más baratas y más durables que las botellas de PC, y el PET es el tipo de plástico más usado en la producción de garrafones. Para los embotelladores entrevistados, las botellas de PVC y de vidrio abarcan menos de 2% de la producción acumulada y no están incluidas en este reporte. Las entrevistas proporcionaron información más concreta sobre las botellas de agua de PET con relación al PC, por lo que simulamos múltiples escenarios para evaluar la sensibilidad del modelo con respecto a la selección del tipo de resina.

10.4.1.6 FUENTES DE AGUA

Usamos los resultados de la Sección 3 de este estudio para asignar los factores de emisión por volumen de agua de los sistemas municipales de distribución que usan las plantas purificadoras. Las compañías de purificación también se abastecen de agua de pozos particulares y de pipas de reparto agua. Las emisiones del bombeo de los pozos fueron calculadas con base a las entradas de electricidad de Franklin Associates (2009). Los números presentados en Franklin Associates coinciden con la información recopilada de las entrevistas para el bombeo de agua de los pozos. Las entrevistas con dueños de embotelladoras y choferes de las pipas de agua nos proporcionaron información sobre el consumo de combustible para el reparto de agua por pipas y por lo tanto para su factor de emisión, al cual le añadimos el componente relacionado con el bombeo del pozo a la pipa.

Emisiones Relacionadas al Agua Municipal		
Tipo	Emisiones Directas (kg CO ₂ eq/m ³)	Fuente
Pipa	2.07	Entrevistas
Municipal	0.36	Elaboración del Autor
Pozo	0.31	Franklin Associates (2009)

Tabla 26: Emisiones directas de la fuente de agua.

10.4.1.7 PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUA

Las tecnologías de purificación de agua más comúnmente usadas en las plantas embotelladoras son la filtración, la osmosis inversa, la desinfección ultravioleta y el tratamiento de ozono. De la bibliografía revisada, analizamos las cuatro tecnologías por su consumo de electricidad y reportamos estos rangos en la Sección 6.4.2. Los valores de filtración representan los procesos básicos del tratamiento primario del agua, incluyendo las bombas que conducen el agua a través de cribas y filtros. Escogimos incluir la escala más baja para estos procesos (menos de 1 millón de galones producidos por día) reportados por Cooley et al.³⁵, ya que es la que más se aproxima a la producción de una embotelladora (aunque todavía la sobrepasa por un par de ordenes de magnitud).

Además, incluimos un factor de eficiencia de agua en nuestro modelo para tomar en cuenta la producción de la salmuera en los procesos de osmosis inversa. Con base en varias entrevistas, encontramos rangos de eficiencia de 40% a 100%¹¹⁵. La tabla de abajo resume las emisiones directas de cada proceso de tratamiento de agua para los supuestos de nuestra línea de base, usando el factor de emisiones de electricidad para México de 0.57 kg CO₂eq/kWh.

Emisiones Directas TAV

Proceso	Emisiones Directas (kg CO₂eq/m³)
Filtración y Electricidad de la Planta	0.43
OR	0.57
UV	0.01
Ozono	0.10

Tabla 27: Emisiones directas del proceso de tratamiento. Fuente: Varios.

10.4.1.8 REUTILIZACIÓN DE BOTELLAS

Una característica importante del mercado mexicano de botellas de agua es la reutilización de los garrafones. Los garrafones vacíos son regresados a las plantas embotelladoras, donde son lavados y rellenados. Para reflejar las emisiones efectivas del ciclo de vida del garrafón, el valor de las emisiones de la producción de un garrafón se divide entre el número de veces en que una botella es reusada. De las entrevistas personales con las compañías embotelladoras, encontramos que los garrafones se reutilizan entre 30 a 300 veces¹¹⁵. Con base en nuestras entrevistas, usamos los siguientes valores de reutilización para construir un escenario de línea base: 100 reutilizaciones por botella de PET y 80 reutilizaciones por botella de PC antes de que sean desechadas. El llenado y el lavado de las botellas para los garrafones retornados contribuye con una proporción mínima de las emisiones dentro de todo el proceso; pero se incluyen con base a la información de Franklin Associates (2009).

10.4.1.9 DISTRIBUCIÓN

La distribución es un componente clave dentro de un estudio exhaustivo del ciclo de vida de los garrafones. Nosotros identificamos tres enlaces de distribución específicos que conectan: la producción de resinas plásticas con las compañías que producen los garrafones; las compañías que producen los garrafones con las plantas de tratamiento y llenado de los garrafones; y las plantas de tratamiento y llenado con las viviendas (mediante una o dos paradas intermedias). No existe información para la ruta de distribución internacional y de importación del plástico; sin embargo, la mayor parte de la resina usada en México es importada de plantas en Estados Unidos¹¹⁵. Para estimar el efecto del transporte de resina de un proveedor común internacional, los Estados Unidos, a México, estimamos un escenario de línea base y exploramos su efecto en el modelo a través de escenarios de emisiones bajas y altas. Usamos una distancia aproximada de traslado de 3,000 km en combinación con el factor de emisiones por un valor de tonelada-km (0.053 kg CO₂eq/tonelada-km^{19,48,49}) para simular una distancia de rango medio de traslado entre los Estados Unidos y México. Usamos una línea de base estimada de 100 km para calcular las emisiones de transportación entre la fabricación de botellas y las plantas de tratamiento y llenado en México. Como los garrafones ocupan un volumen relativamente grande, su transporte es caro y la mayoría de las plantas purificadoras obtienen sus envases de fabricantes de botellas cercanos. Si el traslado internacional está limitado a viajes por tierra dentro de México y Norteamérica, entonces los escenarios bajos y altos que desarrollamos capturan gran parte del rango de emisiones posibles. Los supuestos del escenario alto de emisiones aumenta las emisiones de los garrafones en sólo 1.3% con respecto a la línea de base, esto sucede a pesar de las grandes diferencias en distancias.

La información sobre la distribución de los garrafones no se encuentra publicada, pero varias entrevistas con los dueños de las plantas embotelladoras y sus choferes, nos proporcionaron un sólido contexto para desarrollar

múltiples escenarios que configuran el sistema de distribución. La Figura 11 muestra la combinación de las rutas consideradas como representativas para la mayor parte de la distribución de los garrafones y las opciones de vehículos. Como se mencionó anteriormente, los escenarios de distribución de escala pequeña y grande se estimaron a partir de las entrevistas y de varias referencias. Las distancias de traslado y los tipos de vehículos están basados principalmente en la información de las entrevistas; pero las rutas de distribución de gran escala están estimadas con base en la información de las compañías embotelladoras de Estados Unidos y otros factores que asumimos tomando en cuenta nuestra experiencia en el sector del agua en México. Después, aplicamos la información sobre la participación del mercado en el tamaño de la compañía embotelladora para estimar la proporción probable de cada ruta de distribución, y variamos estos supuestos para explorar los escenarios de emisiones bajo, línea de base y alto.

La eficiencia de combustible del vehículo y su tamaño determinan la proporción de combustible y las emisiones por la distribución que es atribuida a cada garrafón. Por ejemplo, la entrega de 500 garrafones en un viaje tendría menores emisiones que la entrega de 2 garrafones dentro de la misma distancia. Además, dos vehículos que se desplazan una distancia igual con la misma cantidad de garrafones, tendrán diferentes emisiones atribuidas a cada garrafón debido a la eficiencia del vehículo. También consideramos que las emisiones asociadas con la producción, el mantenimiento y el desecho de los vehículos contribuyen con 10% del total de las emisiones de la etapa de distribución¹¹⁶. En la Tabla 27, enlistamos varios camiones grandes usados en las diferentes rutas de distribución con sus eficiencias de combustible.

En el caso, donde un consumidor se traslada a una tienda para abastecerse de garrafones, las emisiones de su viaje se manejan de manera diferente. Cuando un consumidor compra un garrafón en una tienda, las emisiones de su viaje no se pueden atribuir totalmente a la compra del garrafón. No existe una práctica estándar para evaluar este escenario tan variable; sin embargo, algunos estudios escogen dividir las emisiones de un viaje en el total de los productos comprados. En el LCA por Nestlé, se atribuye un promedio de 5% del viaje a la compra de la botella de agua de plástico (es decir, 20 compras en total) y Nessi et al. atribuyen 1.67% del viaje a la compra de la botella de agua (es decir, un viaje eficiente de 60 compras). Nosotros encontramos que este método es inadecuado para evaluar el factor de atribución para los garrafones y por eso usamos en la línea de base un factor de atribución de 50% al viaje del consumidor. Construimos este factor tomando en cuenta las siguientes consideraciones sobre el objetivo original del viaje del consumidor: compra planeada de un garrafón y otros abarrotes (50% de atribución); compra planeada de abarrotes y aprovecha para llevar un garrafón (5%); o compra planeada de un garrafón y aprovecha llevar otros productos (95%). En los casos en los que los consumidores compran garrafones directamente de la planta embotelladora, el 100% del viaje es atribuido a la compra de agua embotellada. Exploramos estos escenarios en los modelos de emisiones bajo y alto.

Transporte de Garrafones y su Eficiencia

Vehículo (Combustible)	# Garrafones por Vehículo	Eficiencia Vehicular (km/l)
Camioneta (Gasolina)	40	10.05
Camión (Diesel)	200	3.14
Camión Combinación (Diesel)	750	1.5
Coche (Gasolina)	2	11.8

Tabla 28: Capacidades de carga de combustible y eficiencias de combustible.

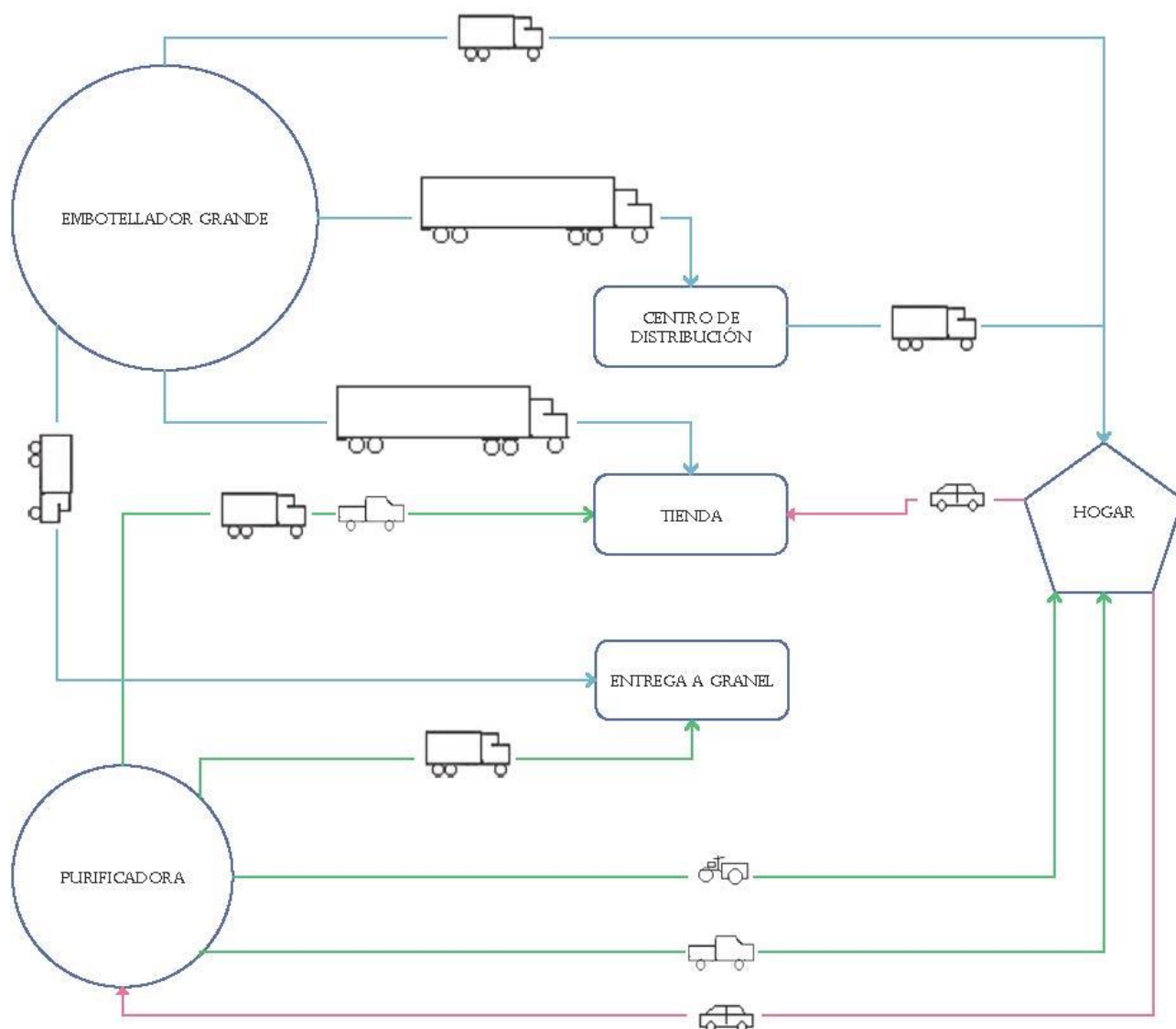


Figura 11: Rutas de distribución de las operaciones de embotellamiento grandes y pequeñas consideradas en el modelo.

10.5 RESULTADOS

Usamos nuestro modelo para generar tres escenarios de emisiones del sector de agua embotellada en garrafón en México: línea base, bajo y alto. Además, calculamos escenarios de emisiones de línea base, bajo y alto, basados en los datos que recopilamos de primera mano y complementamos con los valores bibliográficos en donde la información no estuvo disponible (o sea, emisiones de producción de plásticos). La Tabla 29 y la Figura 12 representan los resultados de la línea base usando el modelo.

El escenario de línea base que generamos con el modelo da como resultado emisiones de $32 \text{ kg CO}_2\text{eq/m}^3$ de agua embotellada en garrafones. Usando distintas condiciones para estimar un escenario de emisiones bajo y un escenario de emisiones alto (Apéndice 8.1.3), encontramos un rango de $16 \text{ kg CO}_2\text{eq/m}^3$ a $90 \text{ kg CO}_2\text{eq/m}^3$. En la Tabla 30, presentamos los resultados finales de los escenarios bajo, línea base y alto para el modelo en comparación con los valores bajo, promedio y alto de los datos recopilados de primera mano.

Emisiones Ciclo de Vida: Garrafones

Etapas	Emisiones
	kg CO₂eq/m³
Producción de la resina	1.36
Fabricación	0.39
Fabricación de la capa	1.80
Fuente de agua	0.97
Tratamiento de agua	0.79
Lavado y llenado de la botella	0.46
Distribución	26.65
Total	32.42

Tabla 29: Resultados de línea base para las emisiones de gases de efecto de invernadero atribuibles a los garrafones desglosados por etapa de ciclo de vida.

Contribución de Cada Etapa de Producción a las Emisiones Ciclo de Vida

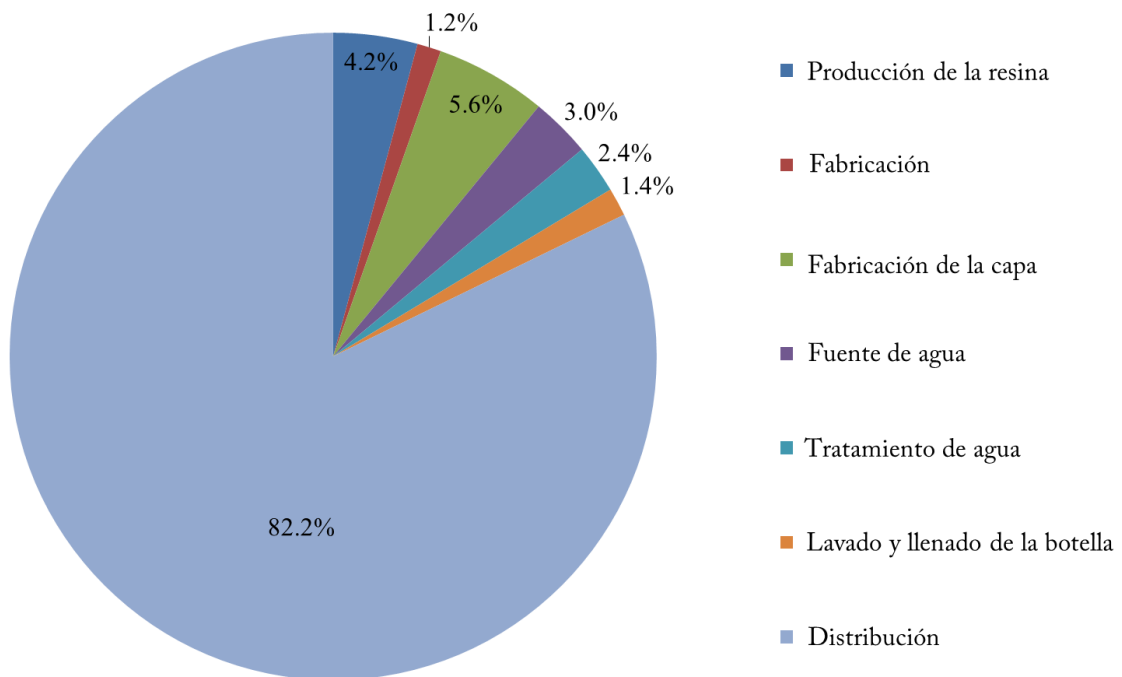


Figura 12: Porcentaje de contribución al total de emisiones para cada etapa del ciclo de vida del garrafón.

Emisiones Ciclo de Vida: Garrafrones

	Rango	Total	Fabricación del Garrafón	Abastecimiento de Agua	Tratamiento y Embotellado	Distribución
		(kg CO ₂ eq/m ³)	(kg CO ₂ eq/m ³)	(kg CO ₂ eq/m ³)	(kg CO ₂ eq/m ³)	(kg CO ₂ eq/m ³)
Datos Recogidos en México	Bajo	15.94	3.55	0.27	1.86	10.26
	Promedio Ponderado	29.17	3.55	1.15	2.61	21.85
	Alto	45.28	3.55	1.71	4.41	35.62
Elaboración del Autor	Bajo	16.06	1.49	0.46	0.58	13.36
	Promedio Ponderado	32.42	3.55	0.97	1.24	26.65
	Alto	90.02	8.75	2.32	1.81	77.14

Tabla 30: Datos y resultados del modelo de emisiones para el agua embotellada en México.

10.6 DISCUSIÓN

La línea base para las emisiones de ciclo de vida de agua embotellada en garrafrones es de 32 kg CO₂eq/m³. Este valor es casi 34 veces mayor que las emisiones de línea de base calculadas para las tecnologías de tratamiento de agua en viviendas (0.95 kg CO₂eq/m³). El total de emisiones de ciclo de vida calculado a partir de la información recopilada de primera mano y complementada con las emisiones de producción del garrafón fue calculada en 29 kg CO₂eq/m³.

De manera notable, la transportación abarca 82% del total de las emisiones del agua embotellada en garrafrones. Dadas la falta de información y la alta variabilidad en las rutas de distribución, nosotros comparamos los supuestos del modelo con la información de transporte obtenida de varias plantas embotelladoras. La fase de distribución de garrafrones contribuye con 26.65 kg CO₂eq/m³ en el modelo, mientras que los datos recopilados muestran una contribución del transporte de 21.85 kg CO₂eq/m³. Aunque el resultado de los datos recolectados es ligeramente menor al del modelo para un escenario de línea de base, está definitivamente dentro del rango creado por los escenarios del modelo bajo y alto en que varía la contribución del transporte desde 13.36 kg CO₂eq/m³ a 77.14 kg CO₂eq/m³ respectivamente. La distribución contribuye entre 82% y 86% del total de emisiones del ciclo de vida de las emisiones. Es útil considerar que los resultados de BIER encontraron que la distribución comprendió 26% a 64% de las emisiones de botellas en Europa y 18% a 53% de las emisiones de botellas en Norteamérica, para las botellas de 1.5L y 500mL¹¹⁰. La alta variabilidad de la distribución en estos reportes refleja que las emisiones están originadas tanto por el transporte como por la producción de botellas (resina, fabricación y tapas). En contraste, el alto nivel de reutilización en México deja a la distribución de los garrafrones como el principal contribuyente de emisiones en los tres escenarios.

Las emisiones por la producción de resinas plásticas, la producción de botellas y la producción de tapas contribuyen de manera acumulada con 3.55 kg CO₂eq/m³ (Bajo: 1.49 kg CO₂eq/m³; Alto: 8.75 kg CO₂eq/m³). Las tapas de polipropileno contribuyen con un alto porcentaje con relación al peso sustancial de la botella porque éstas no se reutilizan y por lo tanto 100% de la producción final de las emisiones está atribuida a cada garrafón.

Los procesos de tratamiento de agua y llenado de la botella contribuyen con 3.8% del total de las emisiones del garrafón, o aproximadamente con 1.24 kg CO₂eq/m³ (Bajo: 0.58 kg CO₂eq/m³; Alto: 1.81 kg CO₂eq/m³). Es importante mencionar, que encontramos que este valor es una contribución menor al consumo de energía reportado por las plantas de embotellamiento, cuyas emisiones por el tratamiento de agua están calculadas en

2.61 kg CO₂eq/m³ (Bajo: 1.86 kg CO₂eq/m³; Alto: 4.41 kg CO₂eq/m³). Una razón por la cual nuestro modelo puede resultar en menores emisiones es porque los valores de la bibliografía para el tratamiento de agua provienen de sistemas de distribución de agua, que (aun en su menor escala) tienen una capacidad de producción mucho mayor a la de las plantas embotelladoras. Esperamos que la eficiencia de tratamiento y embotellamiento de agua disminuya con el tamaño de la operación, lo cual logramos corroborar observando un mayor uso de electricidad por unidad de agua producida por los embotelladores pequeños que entrevistamos.

El promedio ponderado (por volumen de producción de garrafón) en la información recopilada en campo fundamenta la fortaleza de nuestro modelo. La falta de información, hizo que adoptáramos una estrategia adaptativa en el desarrollo de nuestro modelo, donde las consideraciones para un escenario bajo, de línea base y alto fueron revisadas con relación a los datos que recopilamos a través de las entrevistas. Construimos nuestro modelo integrando una revisión bibliográfica extensa enfocada en los escenarios relevantes para México y consultando más de 20 profesionistas del sector para recopilar información de primera mano y poder mejorar nuestras consideraciones. Este acercamiento nos permitió detectar los matices del sector de agua embotellada en garrafón en México. Las emisiones de línea de base estimadas por nuestro modelo se encuentran dentro de un 10% de las emisiones calculadas con la información que recabamos de primera mano. Esta corroboración nos da confianza en la validez de las estimaciones que realizamos con el modelo.

11 OBRAS CITADAS

1. Comisión Intersecretarial de Cambio Climático. *Programa Especial de Cambio Climático 2009-2012*. 118 (2009).
2. SEMARNAT. *Housing NAMA Summary*. 1–3
3. Inter-American Development Bank. *Development Bank CTF – IDB “ECOCASA” Program, Mexico Energy Efficiency Program, Part II, IDB PUBLIC SECTOR*. 1–37 (2012).
4. Centro Mario Molina. *Evaluación Energética de los Actuales Sistemas de Aguas Urbanas Y Propuestas de Manejo de los Recursos Hídricos en la Ciudad de México*. 1–3 (2011).
5. Parry, M. ., Canziani, O. F., Palutikof, J. P. & Linden, P. J. van der. in *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Hanson, C. E.) (Cambridge University Press, 2007).
6. US EPA. *Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990–2011*. **4**, 1–26 (2011).
7. Programa GEI México. Estimación del factor de emisión eléctrico para inventarios de emisiones corporativas de GEI para el Programa GEI México. *GEI México 2008–2010* (2009). at http://www.geimexico.org/downloads/documentos/Factor_emision_elect_2008_Prog_GEI_Mexico.pdf
8. International Energy Agency. *CO2 Emissions From Fuel Combustion Highlights*. 138 (2012).
9. Santoyo-Castelazo, E., Gujba, H. & Azapagic, a. Life-cycle assesment of electricity generation in Mexico. *Energy* **36**, 1488–1499 (2011).
10. Villaseñor, R. et al. An air quality emission inventory of offshore operations for the exploration and production of petroleum by the Mexican oil industry. *Atmospheric Environment* **37**, 3713–3729 (2003).
11. U.S. Energy Information Administration (EIA). *Country Analysis: Mexico*. 16 (2012). at <http://www.eia.gov/countries/analysisbriefs/Mexico/Mexico.pdf>
12. Secretaría de Energía (SENER). *Prospectiva del gas natural 2007-2016*. (2006). at <http://www.sener.gob.mx/portal/Default.aspx?id.1433>
13. Petróleos Mexicanos (PEMEX). *Informe de labores 2006*. (2006). at <http://www.pemex.com/index.cfm?action.content§ionID.1&catid.237&contentID.650>
14. Secretaría de Energía. *Prospectiva del Sector Eléctrico 2007-2016*. 1–189 (2007).
15. Vijay, S., Molina, L. T. & Molina, M. J. E STIMATING A IR P OLLUTION E MISSIONS FROM F OSSIL. (2004).
16. Secretaría de Energía (SENER). *Balance Nacional de Energía 2006*. (2006). at <http://www.sener.gob.mx/portal/Default.aspx?id.1433>
17. Caceres, R., El, R., France, J. D. & Brazil, M. F. Chapter 5 5. 437–496 (2011).
18. US EPA. *Emission Factors for Greenhouse Gas Inventories*. **1605**, 56409–56410 (2011).
19. Pardo, C. S., Morales, G. R. & Mar, E. *Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 2006 Informe final*. (2008).
20. Hill, N. et al. *2013 Government GHG Conversion Factors for Company Reporting: Methodology Paper for Emission Factors*. 111 (2013).
21. Roundtable on Sustainable Biofuels. *RSB Fossil Fuel Baseline Calculation Methodology*. 1–35 (2011).
22. National Energy Technology Laboratory (NETL). *Development of Baseline Data and Analysis of Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Petroleum-Based Fuels*. 1–310 (2008).
23. Jaramillo, P., Griffin, W. M. & Matthews, H. S. Comparative life-cycle air emissions of coal, domestic natural gas, LNG, and SNG for electricity generation. *Environmental science & technology* **41**, 6290–6 (2007).
24. European Commission Joint Research Centre Institute for Energy, CONCAWE & Renault/EUCAR. *Well-to-Wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context: Well-to Tank Report Version 3c*. 182 (2011). doi:10.2788/79018
25. Alianza para el Ahorro de Energía – USAID. in *Alliance to Save Energy* (2012).
26. Goldstein, R. & Smith, W. *Water & Sustainability (Volume 4): U.S. Electricity Consumption for Water Supply & Treatment - The Next Half Century*. **4**, 93 (2004).
27. Yves, F. R., Heather, M. L. & Karney, B. W. Life-Cycle Energy Analysis of a Water Distribution System. *Journal of Infrastructure Systems* **2**, (2004).
28. Skipworth, P., Engelhardt, M. & Cashmen, et al. *Whole life cost for water distribution network management*. (Thomas Telford, 2002).
29. Hocking, M. B. *Measures of environmental performance and ecosystem condition*. 312 (National Academy Press, 1999).
30. Lundin, M. & Morrison, G. M. A life cycle assesment based procedure for development of environmental sustainability indicators for urban water systems. *Urban Water* **4**, 145–152 (2002).
31. Tsagarakis, K. P., Mara, D. D. & Angelakis, A. Application fo cost criteria for selection of municipal wastewater treatment systems. *Water Air and Soil Pollution* **142**, (2003).
32. Savic, D. A. & Walters, G. A. Evolving sustainable water networks. *Hydrological Sciences Journal* **42**, (1997).
33. Racoviceanu, A. I., Karney, B. W., Asce, M., Kennedy, C. A. & Colombo, A. F. Life-Cycle Energy Use and Greenhouse Gas Emissions Inventory for Water Treatment Systems. 261–270 (2007).
34. Fredrich, E. Life-cycle assessment as an environmental management tool in the production of potable water. *Water Science and Technology: A Journal of the International Association on Water Pollution Research* **46**, 29–36 (2002).

35. Cooley, H. & Wilkinson, R. *Implications of Future Water Supply Sources for Energy Demands*. 82 (WaterReuse Research Foundation, 2012).
36. Sanders, K. T. & Webber, M. E. Evaluating the energy consumed for water use in the United States. *Environmental Research Letters* **7**, 034034 (2012).
37. Environmental Protection Agency. *Environmental Protection Agency: National Primary Drinking Water Regulations. Technical Report EPA 816-F-09-004*.
38. Robertson, J. A. What's Next after 40 Years of Drinking Water Regulations? *Environmental science & technology* **45**, 154–160 (2011).
39. Stillwell, A. S. *et al.* An integrated energy, carbon, water, and economic analysis of reclaimed water use in urban settings: a case study of Austin, Texas. *Journal of Water Reuse and Desalination* **1**, 208–223 (2011).
40. California Energy Commission. *California's water energy relationship. Technical Report CEC-700-2005-011-SF*. (2005).
41. Estudio Integral de Sistemas de Bombeo de Agua Potable Municipal. (2011).
42. Comisión Nacional de Agua. *Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento - Edición 2011*. 1–224 (2011).
43. Hackett, M. & Gray, N. F. Carbon Dioxide Emission Savings Potential of Household Water Use Reduction in the UK. *Journal of Sustainable Development* **2**, 36–43 (2009).
44. Shimizu, Y. & Dejima, S. The CO₂ Emissions Factor of Water in Japan. *Water* **4**, 759–769 (2012).
45. Kenjay, S. J. *et al.* *Energy use in the provision and consumption of urban water in Australia and New Zealand*. 61 (2008).
46. Güereca, L. P., Torres, N., Noyola, A. & Guereca, L. Carbon footprint as a basis for a cleaner research institute in Mexico. *Journal of Cleaner Production* **23**, 396–403 (2013).
47. Comisión Federal de Electricidad (CFE). at http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/1_AcercadeCFE/Estadisticas/Paginas/Centrales-generadoras.aspx
48. Menendez, M. R. HOW WE USE ENERGY AT WASTEWATER PLANTS ... AND HOW WE CAN USE LESS.
49. Daw, J. & Hallett, K. Energy Efficiency Strategies for Municipal Wastewater Treatment Facilities Energy Efficiency Strategies for Municipal Wastewater Treatment Facilities. (2012).
50. Area, S. Energy Index Development for Benchmarking Water and Wastewater Utilities.
51. Comisión Nacional del Agua. *Estadísticas del agua en México, Edición 2011*. 1–185 (2011).
52. Olonscheck, M., Holsten, A. & Kropp, J. P. Heating and cooling energy demand and related emissions of the German residential building stock under climate change. *Energy Policy* **39**, 4795–4806 (2011).
53. Griego, D., Krarti, M. & Hernández-Guerrero, A. Optimization of energy efficiency and thermal comfort measures for residential buildings in Salamanca, Mexico. *Energy & Buildings* **54**, 540–549 (2012).
54. IDB. *CTF - IDB "ECOCASA" PROGRAM*. 37 (2012).
55. Rosas-Flores, J. A., Rosas-Flores, D. & Morillón, D. Saturation, energy consumption, CO₂ emission and energy efficiency from urban and rural households appliances in Mexico. *Energy & Buildings* **43**, 10–18 (2011).
56. Rodríguez-Kuri, S. Sustainable Energy in the Mexican Building Sector Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit. 1–58 (2011).
57. Sheinbaum, C. & Universitaria, C. Trends and Prospects in Mexican Residential Energy Use. **21**, 493–504 (1996).
58. Procasol, GTZ, C. A. *Programa para la Promoción de Calentadores Solares de Agua en México*. 100 (2007).
59. Norma Oficial Mexicana NOM-003-ENER-2013. (2013).
60. Crawford, R. H., Treloar, G. J., Ilozor, B. D. & Love, P. E. D. Comparative greenhouse emissions analysis of domestic solar hot water systems. *Building Research & Information* **31**, 34–47 (2003).
61. Boait, P. J., Dixon, D., Fan, D. & Stafford, a. Production efficiency of hot water for domestic use. *Energy and Buildings* **54**, 160–168 (2012).
62. Evarts, J. C. & Swan, L. G. Domestic hot water consumption estimates for solar thermal system sizing. *Energy and Buildings* **58**, 58–65 (2013).
63. AHRI Directory of Water Heaters. (2013).
64. Lutz, J. *Water Heaters and Hot Water Distribution Systems*. 473 (2008).
65. Pigg, S., Andy Mendyk, D. C. *Energy Use by Residential Gas Water Heaters*. (2010).
66. Hoeschele, M., Springer, D., German, A., Staller, J. & Zhang, Y. Strategy Guideline : Proper Water Heater Selection. (2012).
67. Lekov, A. B., Franco, V. H., Meyers, S. & Thompson, L. *Energy Efficiency Design Options for Residential Water Heater: Economic Impacts on Consumers*. (2011).
68. Aguilar, C., White, D. J. & Ryan, D. L. *Domestic Water Heating and Water Heater Energy Consumption in Canada*. 74 (Secretaría de Energía, 2005).
69. Hinojosa, E. P. *NORMA Oficial Mexicana: Eficiencia termica de calentadores de agua para uso domestico y comercial. limites, metodo de prueba y etiquetado*. 1–19 (2011).
70. Rosas, J., Sheinbaum, C. & Morillon, D. Energy for Sustainable Development The structure of household energy consumption and related CO₂ emissions by income group in Mexico. *ESD* **14**, 127–133 (2010).
71. Rosas-Flores, J. A. & Gálvez, D. M. What goes up: Recent trends in Mexican residential energy use. *Energy* **35**, 2596–2602 (2010).
72. Sheinbaum, C. & Robles, G. *Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 2006 Informe final*. (2008).
73. Frenk, C. A. *Renewable Energies for Sustainable Development in Mexico*. 67 (2009).

74. Flores, J. hernan H., Trejo, V. I., Bolivar, I. M. & Mariscal, M. de la L. R. *Balance Nacional de Energía*. 159 (2012).
75. Lesser y Associates. Capítulo 5: Hidrogeoquímica 5.1: Temperatura Del Agua Subterránea. (1999).
76. *CLEAN DEVELOPMENT MECHANISM CDM METHODOLOGY*. **2012**, 264 (2012).
77. John Major & Maher, G. Indicative Program, Baseline and Monitoring Methodology for Large Scale Supply and Distribution of Efficient Lightbulbs, Showerheads, and other Water Saving products to Households. **6550**, 121 (2010).
78. Colon, C. J. & Parker, D. S. *Side-by-Side Testing of Water Heating Systems : Energy Efficiency Results from the 2009-2010 Evaluation Effectiveness Tests for Residential Code Update Processes*. 52 (2010).
79. Moeini Sedeh, M. & Khodadadi, J. M. Energy efficiency improvement and fuel savings in water heaters using baffles. *Applied Energy* **102**, 520–533 (2013).
80. UNFCCC. *Tool to determine the baseline efficiency of thermal or electric generating systems*. 1–7 (2009).
81. Logee, T. *Energy Conservation Program for Consumer Products: Test Procedure for Water Heaters*. **63**, 25996–26016 (1998).
82. INEGI. *Inventario de Emisiones de 3 Gases de Efecto Invernadero*.
83. Banco Interamericano de Desarrollo. *Determinantes de consumo de agua embotellada en México*. 135 (2010).
84. Erickson, J. *Moving Mexico Back to Tap Water: Strategies to Restore Confidence in the Water System*. (UC Berkeley, 2012).
85. Pacific Institute. *Per-Capita Bottled Water Consumption by Top Countries, 1999 – 2010 (Liters per Person per Year)*. **2010**, 2 (2010).
86. Malkin, E. Bottled-Water Habit Keeps Tight Grip on Mexicans. *The New York Times* 16–18 (2012).
87. Maier, R. M., Pepper, I. L. & Gerba, C. P. *Environmental microbiology*. (Academic Press, 2000).
88. Mintz, E., Bartram, J., Lochery, P. & Wegelin, M. Not Just a Drop in the Bucket: Expanding Access to Point-of-Use Water Treatment Systems. *Am J Public Health* **91**, 1565–1570 (2001).
89. Lang, M., Kaser, F., Reygadas, F., Nelson, K. & Kammen, D. M. Meeting the Need for Safe Drinking Water in Rural Mexico through Point-of-Use Treatment. (2006).
90. Secretaría de Salud, México. NORMA Oficial Mexicana NOM-244-SSA1-2008, Equipos y sustancias germicidas para tratamiento doméstico de agua. Requisitos sanitarios.
91. INFONAVIT México. Hipoteca Verde: Ahorro y cuidado el medio ambiente.
92. Franklin Associates. *Appendix: Life Cycle Assessment of Drinking Water Systems: Bottle Water, Tap Water, and Home/Office Delivery Water*. 293 (2009).
93. Gleick, P. H. & Cooley, H. S. Energy implications of bottled water. *Environmental Research Letters* **4**, 014009 (2009).
94. SBW Consulting Inc. for PG&E. *Municipal Water Treatment Plant Energy Baseline Study*. 62 (2006).
95. Masschelein, W. *Ultraviolet Light in Water and Wastewater Sanitation*. 192 (2002).
96. Masschelein, W. J. *Unit Processes in Drinking Water Treatment*. (Marcel Dekker, 1992).
97. US EPA. in *EPA Guidance Manual: Alternative Disinfectants and Oxidants* 1–52 (1999).
98. Gottschalk, C., Libra, J. A. & Saupe, A. *Ozonation of Water and Waste Water: A practical Guide to Understanding Ozone and its Applications*. 378 (Wiley-VCH, 2010).
99. Awwa Research Foundation. *Evaluation of Dynamic Energy Consumption of Advanced Water and Wastewater Treatment Technologies*. 262 (2008).
100. Mayer, P. W. & DeOreo, W. B. *Residential End Uses of Water*. (AWWA Research Foundation and American Water Works Association, 1999).
101. Rakness, K. L. *Ozone in Drinking Water Treatment*. 318 (American Water Works Association (AWWA), 2005).
102. AEA for DECC and Defra. *2012 Guidelines to Defra/DECC's GHG Conversion Factors for Company Reporting*. 1–54 (2012).
103. Hammond, G. & Jones, C. *Inventory of Carbon & Energy (ICE) Version 1.6a*. 64 (2008). at <www.bath.ac.uk/mech-eng/sert/embodied/>
104. Delucchi, M. A *Lifecycle Emissions Model (LEM): APPENDIX H: The Lifecycle of Materials and Motor Vehicles*. 114 (2003).
105. Schipper, L., Saenger, C. & Sudarshan, A. Transport and Carbon Emissions in the United States: The Long View. *energies* 1–19 (2010). doi:10.3390/en30x000x
106. Global Fuel Economy Initiative & UNEP. *The Mexican Developing Automotive Fuel Economy Policy. Cleaner More Efficient Vehicles 7* (2010). at <http://www.unep.org/transport/gfei/autotool/case_studies/samerica/mexico/MEXICO_CASE_STUDY.pdf>
107. Quantis. *Nestlé Waters North America: Environmental Life Cycle Assessment of Drinking Water Alternatives and Consumer Beverage Consumption in North America*. **7152**, 92 (2010).
108. Jungbluth, N. *Comparison of the Environmental Impact of Drinking Water vs. Bottled Mineral Water*. 11 (2005).
109. Shen, L., Worrell, E. & Patel, M. K. Open-loop recycling: A LCA case study of PET bottle-to-fibre recycling. *Resources, Conservation and Recycling* **55**, 34–52 (2010).
110. Beverage Industry Environmental Roundtable. *Carbon Footprint of Bottled Water*. 22 (2012).
111. Franklin Associates. *Life Cycle Assessment of Drinking Water Systems: Bottle Water, Tap Water, and Home/Office Delivery Water*. 271 (2009).
112. Carranza, C. & Vega, A. *Mexico Water Report*. (2011).
113. Frischknecht, R. et al. *Overview and Methodology. Ecoinvent report no. 1*. (2007).
114. Cernansky, R. Reusa, Reduce, Recicla: YoReciclo Brings Recycling to Mexico. *Treehugger* (2011). at <<http://www.treehugger.com/green-jobs/reusa-reduce-recicla-yoreciclo-brings-recycling-to-mexico.html>>
115. Owners from water bottling & water bottle treatment plant companies. Private Interviews. (2013).

116. Hill, N. *et al.* *EU Transport GHG: Routes to 2010 II Final Report Appendix 2: The role of GHG emissions from infrastructure construction, vehicle manufacturing, and ELVs in overall transport sector emissions.* 162 (2012).
117. UNFCCC. *Indicative simplified baseline and monitoring methodologies for selected small-scale CDM project activity categories.* 1–9 (2012).
118. Kentaro TAKAHASHI, A. K. IGES CDM Project Database. (2013).

12 APÉNDICE

12.1.1 FACTORES DE CONVERSIÓN DE EMISIONES: FUENTES DE COMPARACIÓN

Datos Utilizados y Fuentes - Emisiones Ciclo de Vida: Garrafones

Combustible	Rango	Emisiones	Emisiones	Total	Medida	Fuente
Gasolina/Petróleo	Bajo	0.42	2.4	2.88	kg CO ₂ eq/litro	RSB (2011)*
	Promedio	0.56	2.41	2.97	kg CO ₂ eq/litro	RSB (2011)*
	Alto	0.69	2.42	3.05	kg CO ₂ eq/litro	RSB (2011)*
	--	0.61	2.39	3	kg CO ₂ eq/litro	NETL (2008)
	--	--	2.33	--	kg CO ₂ eq/litro	EPA (2011)
		0.46	2.31	2.78	kg CO ₂ eq/litro	Defra/DECC (2012)
Diésel	Bajo	0.46	2.63	3.15	kg CO ₂ eq/litro	RSB (2011)*
	Promedio	0.61	2.64	3.25	kg CO ₂ eq/litro	RSB (2011)*
	Alto	0.76	2.65	3.34	kg CO ₂ eq/litro	RSB (2011)*
	--	0.63	2.62	3.25	kg CO ₂ eq/litro	NETL (2008)
	--	0.56	2.68	3.24	kg CO ₂ eq/litro	Defra/DECC (2012)
Queroseno	Bajo	0.4	2.27	2.72	kg CO ₂ eq/litro	RSB (2011)*
	Promedio	0.53	2.28	2.8	kg CO ₂ eq/litro	RSB (2011)*
	Alto	0.65	2.29	2.88	kg CO ₂ eq/litro	RSB (2011)*
	--	0.45	2.26	2.74	kg CO ₂ eq/litro	NETL (2008)
	--	--	2.58	--	kg CO ₂ eq/litro	EPA (2011)
	--	0.53	2.55	3.08	kg CO ₂ eq/litro	Defra/DECC (2012)
Gas Natural	--	0.27	--	--	kg CO ₂ eq/m ³	Spath & Mann (2000)
	--	0.3	--	--	kg CO ₂ eq/m ³	Jaramillo et al. (2007)
	--	0.56	--	--	kg CO ₂ eq/m ³	NETL Screening (2011)
	--	0.43	--	--	kg CO ₂ eq/m ³	NETL Comprehensive (2011)
	--	--	1.93	--	kg CO ₂ eq/m ³	EPA (2011)
	--	0.21	2.03	2.24	kg CO ₂ eq/m ³	Defra/DECC (2012)
Carbón Mezclado (Sector de Energía Eléctrica)	--	131.73	2195.46	2327.18	kg CO ₂ eq/tonelada	Jaramillo et al. (2007)
	--	--	2069	--	kg CO ₂ eq/tonelada	EPA (2011)
	--	369.3	2258.2	2627.5	kg CO ₂ eq/tonelada	Defra/DECC (2012)
Carbón Mezclado (Industrial)	--	--	2332.36	--	kg CO ₂ eq/tonelada	EPA (2011)
	--	400.5	2183.8	2584.3	kg CO ₂ eq/tonelada	Defra/DECC (2012)
Gas Licuado de Petróleo (GLP)	--	--	1.54	--	kg CO ₂ eq/litro	EPA (2011)
	--	0.19	1.53	1.72	kg CO ₂ eq/litro	Defra/DECC (2012)
Nafta	--	--	2.25	--	kg CO ₂ eq/litro	EPA (2011)
	--	0.3	2.13	2.43	kg CO ₂ eq/litro	Defra/DECC (2012)
Aceite Combustible Destilado	--	--	2.71	--	kg CO ₂ eq/litro	EPA (2011)
Aceite Combustible	--	0.6	3.18	3.78	kg CO ₂ eq/litro	Defra/DECC (2012)

[1] Se convirtieron los datos a equivalentes de GEI utilizando notas del apéndice (Fuel Properties).

[2] Consumo energético base. RSB utilizó datos de NETL (2008), BP, dentro de otros supuestos. Los rangos bajo, promedio, y alto representan la incertidumbre en los datos.

[3] EPA (2011). Las emisiones de CO₂ se calcularon utilizando los factores de emisiones dentro de la "EPA's Emisión Factors Hub", Noviembre 2011 (<http://www.epa.gov/climateleaders/guidance/ghg-emissions.html>).

[4] Defra/DECC (2012). Destilado de Fuelóleo Pesado se reporta como "Fuelóleo Pesado".

[5] De acuerdo a la metodología de la UNFCCC, y ambos los documentos de la EPA y Defra/DECC, se utilizan los Potenciales de Calentamiento Atmosférico del Segundo Reporte de Valoración del Panel Intergubernamental de Cambio Climático a pesar de que estos números cambiaron en el 2007.

12.1.2 TRATAMIENTO DE AGUA EN VIVIENDAS: FACTORES DE CONVERSIÓN DE MATERIALES

Índice de Consumo Energético y Fuentes de Información

Material	ICE kgCO ₂ /kg material	ICE kgCO ₂ eq/kg material	Franklin (2010) ¹ kgCO ₂ eq/kg material	Delucchi (2008) kgCO ₂ eq/kg material	Defra and DECC (2012) kgCO ₂ eq/kg material
Polipropileno	3.90	--	1.95	--	3.25
Plástico	2.53	--	2.7	--	3.18
Cerámica ²	0.65	1.23	--	--	--
Acero ²	1.77	--	--	1.89	2.71
Acero Inoxidable	6.30	--	--	3.9	--
Electrónicos	--	--	--	--	1.76

[1] Franklin (2010) utiliza el promedio de tres números en su revisión bibliográfica (de la l

[2] Los datos para el acero inoxidable y la cerámica no incluían emisiones relacionadas al transporte inicialmente; aquí utilizamos 3,000 km de transporte y añadimos 0.15 kgCO₂eq/garrafón a estos datos. Este resultado se divide eventualmente durante el transcurso de la vida y uso de la TAV.

[3] En azul se señalan los datos utilizados en nuestro análisis.

12.1.3 ESCENARIOS DE MODELOS DE AGUA EMBOTELLADA

Supuestos dentro de los Escenarios de Agua Embotellada

Tipo	Datos de Entrada	Base	Bajo	Alto
Factor de Electricidad	Índice de Consumo Energético (kWh/m ³)	0.57	0.29	0.72
Fuente y Distribución del Agua	% Pípa	25	15	45
	% Distribución Municipal	50	60	30
	% Pozo	25	25	25
	Factor de Emisiones GEI, Distribución Municipal (kg)	0.27	0.07	0.44
	% Eficiencia	75	85	50
	% OR	50	20	80
	% Ozono	60	30	80
	% UV	90	70	100
	% Filtración y Electricidad	100	100	100
Distribución del Agua Embotellada y Factores	Peso (toneladas)	0.00075	0.0006	0.0009
	% Tereftalato de polietileno (PET)	68	90	55
	% Policarbonato (PC)	32	10	45
Parámetros del Mercado de Agua	# Reúso PET	100	300	40
	# Reúso PC	80	160	30
	% Embotelladora grande	15	10	70
	% Embotelladora pequeña	85	90	30
	% Asignación de los consumidores	50	5	95
Distribución de los Materiales	Transporte (plástico a embotelladora)	3,000	1,500	5,000
	Transporte (embotelladora a fábrica de purificación)	100	30	400
Distribución a Gran Escala	Embotelladora grande (DC) a distribuidor (CD)	10%	5%	20%
	Embotelladora grande (DC) a tienda (C) a casa	50%	20%	60%
	Embotelladora grande (CD) a casa	20%	35%	15%
	Embotelladora grande -en bulto -a oficina (CD)	20%	40%	5%
Distribución	Embotelladora pequeña (CG) a tienda (PC) a casa	20%	20%	30%
	Embotelladora pequeña a casa (CG)	40%	25%	30%
	Embotelladora pequeña a casa (C)	15%	10%	30%
	Embotelladora pequeña -a casa (T)	15%	25%	5%
	Embotelladora pequeña -en bulto -a oficina (CD)	5%	10%	2%
	Embotelladora pequeña -en bulto -a oficina (CG)	5%	10%	3%

Acronimos de Distribución: CD=Camión (Diesel), CG=Camioneta (Gasolina), DC=Camión Combinación (Diesel), C=Coche (Gasolina), T=Triciclo

12.1.4 VARIABLES DE USUARIOS PARA DETERMINACIÓN DE PARTICIPACIÓN DE MERCADO DE CDA.**Cuota de Mercado por Combustible**

Tipo	Caso Base
Gas	15%
Electricidad	7%
Gas LPG	76%
Madera	2%
<i>Total</i>	<i>100%</i>

Cuota de Mercado: Combustible y Eficiencia

Clase	Porcentaje (%)
Gas Baja	40%
Gas Media	53%
Gas Alta	7%
<i>Eff Total</i>	<i>100%</i>
Electricidad Baja	0%
Electricidad Media	75%
Electricidad Alta	25%
<i>Eff Total</i>	<i>100%</i>
Gas LPG Baja	40%
Gas LPG Media	53%
Gas LPG Alta	7%
<i>Eff Total</i>	<i>100%</i>
Madera Baja	75%
Madera Media	25%
Madera Alta	0%
<i>Eff Total</i>	<i>100%</i>
<i>Total Total</i>	<i>Ok</i>

12.1.5 MECANISMO PARA UN DESARROLLO LIMPIO DE CMNUCC

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) publicó el Libreto Metodológico del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) en 2012. El MDL proporciona un resumen específico de cómo la inversión en varias tecnologías que reducen las emisiones, puede y debe de ser articulada para calcular y recibir Reducciones Certificadas de Emisiones (RCE) del MDL. Dentro de más de 250 páginas, contiene varios ejemplos de las condiciones bajo las cuales aparatos de ahorro energético residencial para calentamiento de agua y dispositivos de agua caliente merecerían una aprobación de MDL.

12.1.5.1 AMS-I.J.

Dirigidos a los sistemas de calentamiento solar de agua de pequeña escala (CSA), la metodología AMS-I.J. se refiere de manera específica a muchas de las tecnologías de este reporte como tecnologías de línea de base. AMS-I.J. es aplicable a la “Instalación de sistemas residenciales y comerciales de calentamiento solar de agua (CSA) para la producción de agua caliente.” Además, el objetivo es el “Desplazamiento de la electricidad o los combustibles fósiles que de otra manera se usarían para producir agua caliente.” En la validación de la metodología para el CSA, describe los siguientes parámetros importantes^{76,117}:

- 1) Factor de emisiones de la línea base de combustible y/o energía eléctrica.
- 2) La eficiencia de la unidad de línea de base que está consumiendo combustibles fósiles o electricidad, en donde sea aplicable.

Este reporte toma en consideración ambos factores de manera explícita al evaluar el estatus quo de los CDA en México.

12.1.5.2 AMS-II.M.

AMS-II.M. está dirigido a las actividades de eficiencia de energía de los consumidores para la instalación de dispositivos ahorradores de agua caliente de bajo flujo. En tanto que no se refiere directamente a los CDA, muchos de los parámetros son básicos para establecer la línea base del MDL de las Naciones Unidas⁷⁶.

La metodología para II.M (y otras páginas del manual) se refiere a la temperatura máxima de agua caliente de 40°C, para cálculos de ahorro de emisiones.

12.1.5.3 AMS-I.C.

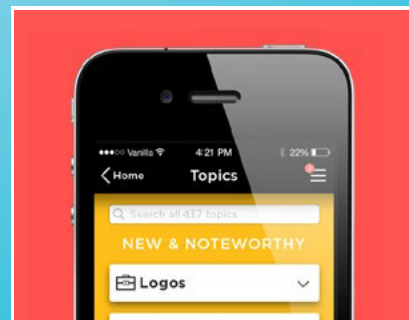
Para el 26 de abril de 2013, cada una de las cinco actividades de los proyectos MDL clasificadas como proveedoras de alternativas de baja emisión para el calentamiento del agua han demostrado su eficiencia bajo la metodología AMS-I.C. para proyectos de pequeña escala. La clasificación I.C. es una opción para los participantes de proyecto. Está dirigida a la “Energía Térmica con o sin electricidad” y abarca una amplia variedad de proyectos que tienen como objetivo el establecer una guía de especificaciones en temperatura, eficiencia y mediciones en las viviendas⁸⁰. Cada uno de los cinco proyectos de calentamiento de agua archivados por IGES describe el uso de energía renovable concerniente a las viviendas y edificios. Hay tres proyectos en India, uno en México y otro en la República de Corea. Cuatro de los cinco proyectos usan calentamiento solar de agua y uno de los proyectos (el proyecto de México) usa biodigestores de agua residual para reciclar el calor. Las descripciones de los proyectos, sin embargo, no hacen mención alguna sobre el cambio de aparatos o de calentadores de agua domésticos¹¹⁸.

¿CUÁL ES TU NIVEL DE **INTELIGENCIA CLIMÁTICA?**



Hablemos de cambio climático y sostenibilidad en
el blog del Banco Interamericano de Desarrollo:

<http://blogs.iadb.org/cambioclimatico>



 **BID** +  **QuizUp**

promoviendo un mayor conocimiento
cambio climático con un nuevo juego

www.quizup.com