



## PROGRAMA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LADRILLERAS ARTESANALES DE AMÉRICA LATINA PARA MITIGAR EL CAMBIO CLIMÁTICO – EELA

### DETERMINACIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN BASE A FACTORES DE EMISIÓN Y MONITOREOS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA COMUNIDAD LADRILLERA EL REFUGIO, LEÓN GUANAJUATO.



#### Citar como:

Márquez C., Cárdenas B., 2011. Determinación de emisiones de gases de invernadero en base a factores de emisión y monitoreos de eficiencia energética en la comunidad ladrillera El Refugio, León Guanajuato. Reporte PO 32436 del Programa de Eficiencia Energética en Ladrilleras Artesanales en América Latina para mitigar el cambio climático. México D.F. 17 pp.

Septiembre 2011

Determinación de emisiones de gases de efecto invernadero en base a factores de emisión y monitoreos de eficiencia energética en la comunidad ladrillera El Refugio, León Guanajuato.

***Elaboración de los TDR del estudio y revisión del informe.***

Dra. Beatriz Cárdenas González. Directora de Investigación en Monitoreo y Caracterización de Contaminantes Atmosféricos, DGCENICA.

***Elaboración e integración del informe.***

M. en C. Claudia Márquez Estrada. Coordinadora de proyectos, Consultoría en Ingeniería de Proyectos S de RL. ([cmarquez@cinpro.mx](mailto:cmarquez@cinpro.mx))

Los fondos para la realización de este estudio fueron del proyecto EELA en México.

***Agradecimiento.***

A COMIMSA en su calidad de Secretaria Técnica por gestionar el contrato para la elaboración de este informe.

## CONTENIDO

1. ANTECEDENTES .....	4
2. JUSTIFICACIÓN.....	5
3. OBJETIVOS .....	6
4. METODOLOGÍA.....	7
4.1. Actividad ladrillera .....	7
4.2. Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero.....	9
4.3. Escenarios de cálculo de reducción de emisiones.....	10
5. RESULTADOS .....	11
5.1. Actividad ladrillera en El Refugio, León Guanajuato. ....	11
5.2. Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero – línea base.....	12
5.3. Reducción de emisiones .....	14
6. CONCLUSIONES .....	16
7. BIBLIOGRAFÍA.....	17

**ANEXO 1.** Base de datos del inventario de GEI de las ladrilleras de El Refugio.

## 1. ANTECEDENTES

La fabricación artesanal de ladrillo es considerada una de las principales fuentes de emisión de contaminantes a la atmósfera <sup>[17]</sup>, clasificándose como fuentes de área, caracterizándose por una variedad muy amplia de tipos y cantidades de combustibles utilizados para la cocción del ladrillo. El estado de Guanajuato presenta actualmente un gran desarrollo industrial, económico y poblacional, lo cual ha acarreado problemas ambientales en algunas de sus principales ciudades <sup>[4]</sup>, entre otros los asociados a la mala calidad del aire causada por un inadecuado control de las emisiones a la atmósfera, por los diferentes tipos de fuentes de emisión. Entre las fuentes más importantes en esta entidad se encuentra la fabricación artesanal de ladrillo, presentes en 37 municipios; propiciando la exposición directa a los contaminantes generados, tanto a los productores como a las personas que viven en colonias aledañas. La fabricación de ladrillo en el Estado es una actividad de la que dependen cientos de familias, pero cuyo impacto ambiental a la salud de la población y a los ecosistemas en general no se ha estudiado a fondo.

El Estado de Guanajuato cuenta con un inventario de las ladrilleras establecidas por municipio, las cuales ascendieron en 2008 a 2,362 establecimientos y en el cual se utilizan combustibles como madera, aserrín, combustóleo, gas LP, diesel y aceites residuales. El Municipio de León Guanajuato que es donde se ubica la comunidad de El Refugio de acuerdo al Inventario estatal 2008 cuenta con 273 ladrilleras que en su mayoría utilizan como combustible principal madera; la comunidad de El Refugio cuenta con 135 ladrilleras de las cuales 128 operan regularmente <sup>[16]</sup>.

Con financiamiento de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), la organización SwissContact coordina el Programa de Eficiencia Energética en Ladrilleras Artesanales de América Latina para Mitigar el Cambio Climático; entre los países que participan se encuentra México ubicando el proyecto en la comunidad de El Refugio en León, Guanajuato. El objetivo general de dicho proyecto es contribuir a mitigar el cambio climático a través de la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero de América Latina y mejorar la calidad de vida de su población. Entre los puntos del programa operativo 2011 se encuentra la determinación de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) para establecer la línea base del estudio. Diversas instituciones en México preocupadas por esta problemática llevan a cabo estudios que permitan cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por fuentes de emisión como las ladrilleras. Como parte de los estudios que el Instituto Nacional de Ecología y la Universidad Autónoma Metropolitana llevan a cabo desde el 2008, en el 2010 se determinaron las emisiones de gases de efecto invernadero por la actividad artesanal ladrillera a nivel nacional y del estado de Guanajuato <sup>[6]</sup>. Para ello se utilizaron los factores de emisión de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos <sup>[15]</sup>, los factores de emisión reportados por el IPCC <sup>[9]</sup> y los reportados por el INE a partir de mediciones experimentales <sup>[5]</sup>; por lo que la metodología aplicada durante 2010 se utilizará en el desarrollo de este proyecto.

## 2. JUSTIFICACIÓN

En el Estado de Guanajuato, de acuerdo al inventario estatal 2008 <sup>[4]</sup>, existen 2,362 ladrilleras artesanales en las cuales se utilizan principalmente combustibles como madera, aserrín, combustóleo, gas LP, diesel y aceites residuales. El Municipio de León Guanajuato, que es donde se ubica la comunidad de El Refugio, cuenta con 273 ladrilleras que en su mayoría utilizan como combustible principal madera; la comunidad de El Refugio cuenta con 135 ladrilleras de las cuales 128 operan regularmente.

La ineficiente forma en el uso de los combustibles utilizados en la cocción de ladrillos puede generar importantes emisiones de contaminantes a la atmosfera entre ellos el bióxido de carbono, gas de efecto invernadero, por lo que es de suma importancia cuantificar estas emisiones y establecer con ello una línea base de las emisiones de bióxido de carbono equivalente ( $CO_{2eq}$ ) producidas por las ladrilleras artesanales establecidas en la comunidad de El Refugio, que es el sitio en el que el proyecto piloto en México se está llevando a cabo.

Para determinar la línea base hay que realizar un inventario de emisiones de  $CO_{2eq}$  de las ladrilleras; dicha cuantificación se realiza con dos tipos de información: factores de emisión y la actividad ladrillera. En esta etapa también se deben predecir las emisiones en el futuro, lo que involucra suposiciones sobre las variaciones en la actividad y en las tecnologías utilizadas.

Es importante contar con una evaluación de emisiones con mayor detalle, dado que esto permitiría identificar los puntos de incertidumbre en la actividad ladrillera, aprovechando los resultados de las encuestas ya realizadas en la comunidad de El Refugio permitirá generar dicha información y no sólo tener datos generales. Sólo a través de una herramienta como el inventario de emisiones en el que se identifique la incertidumbre de cada componente (actividad y factores de emisión) pueden identificarse el impacto que tienen las opciones de mitigación de GEI. Otra opción, más robusta, es hacer un balance general de materia prima y producto, y calcular emisiones de  $CO_2$  por la quema de ladrillo.

### 3. OBJETIVOS

#### Objetivo General:

Complementar la elaboración de diagnósticos ambientales que apoyen la promoción de tecnologías y procesos energéticos más eficientes y el uso de combustibles menos contaminantes que contribuyan a la generación de gases de efecto invernadero, a partir de la determinación de la línea base de emisiones de bióxido de carbono equivalente ( $\text{CO}_{2\text{eq}}$ ) para las ladrilleras asentadas en la comunidad de El Refugio en León, Guanajuato.

#### Objetivos específicos:

1. Evaluar la actividad ladrillera en la comunidad de El Refugio a partir de los resultados de la encuesta realizada como línea base <sup>[16]</sup> e identificar las áreas de oportunidad para reducir la incertidumbre de la información con la que se cuenta.
2. Realizar un inventario de emisiones de gases de efecto invernadero ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  y  $\text{N}_2\text{O}$ ) generadas por la actividad ladrillera en la comunidad de El Refugio.
3. Realizar una evaluación con tres escenarios utilizando factores de emisiones de IPCC, de la EPA y los medidos por el INE.

## **4. METODOLOGÍA**

### **4.1. Actividad ladrillera**

Se determinó la actividad ladrillera en la comunidad de El Refugio a partir de los resultados de la encuesta realizada como línea base <sup>[16]</sup>; determinando la incertidumbre de la actividad ladrillera.

Se revisó la encuesta número 1 denominada “El Refugio, León Guanajuato México, preguntas sobre el volumen de producción en ladrilleras para encuestas de unidades productivas”, la cual está enfocada a determinar el tipo de productos fabricados y sus características, el uso de combustibles y frecuencia de quemas, así como también el tipo y estructura de hornos utilizados. La encuesta en general es muy extensa y descriptiva, en ocasiones redundante ya que se repiten preguntas de forma distinta dentro del mismo cuestionario y al mismo tiempo su aplicación es poco ágil; observándose en el resultado faltas de información e inconsistencias en lo reportado por los productores, por tratarse de preguntas abiertas, por lo que las áreas de oportunidad en esta son realizar preguntas acotadas con respuestas cerradas, tanto en la caracterización de la actividad como en el consumo de energía, y en el costo de la misma. Dicha encuesta es la utilizada para determinar la actividad ladrillera.

#### **4.1.1 Tratamiento de los datos de la encuesta**

El análisis de la información conto de tres etapas:

1. Revisión general de la información: número de casos.
2. Selección de las variables correspondientes al dato de actividad para el cálculo de la emisión, análisis descriptivo exploratorio por variable.
3. Determinación de datos faltantes, por medio de asociación/similitud de una o varias variables por medio de Cluster.

Análisis Descriptivo exploratorio:

En este análisis y con el fin de obtener el dato de actividad que sirva para el cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero producto de la actividad ladrillera en la comunidad de El Refugio, León Guanajuato, solo se realizó a la primera parte de la encuesta, en la Tabla 1 se describe para cada hoja del libro en Excel “Resumen de la encuesta 1.xls”, las características generales de los parámetros encuestados:

**Tabla 1.** Contenido de la primera parte de la encuesta a las ladrilleras en León Guanajuato

Hoja	Descripción
<b>Hoja. Datos ficha principal</b>	Contiene un listado de todas las unidades productivas o ladrilleras de una zona cuyos dueños han sido encuestados.
<b>Hoja A. Hornos y productos</b>	Contiene los resultados sobre la primera parte de la encuesta que es información general sobre el tamaño de la ladrillera.
<b>Hoja B. Quemados y producción</b>	Contiene toda la información sobre el tamaño de producción de la unidad productiva.
<b>Hoja C. Combustibles</b>	Contiene toda la información sobre los combustibles utilizadas en la unidad productiva.
<b>Hoja D. Seguridad ocupacional</b>	Contiene toda la información sobre la percepción de la seguridad en el trabajo y el uso de elementos de protección (información complementaria y no directamente de uso para los indicadores).
<b>Hoja E. Datos generales</b>	Contiene información adicional sobre temas como formalización o mecanismos de venta etc. (información complementaria y no directamente de uso para los indicadores).
<b>Hoja F. Horno y productos</b>	Contiene respuestas a preguntas para ser absueltas y valorados por los encuestadores.

Lo primero que se revisó fue la cantidad de productores (casos) encuestados, en la Tabla 2 se observa por hoja el número encuestado.

**Tabla 2.** Casos encuestados por hoja

Hoja	Número de casos encuestados
<b>Hoja Datos ficha principal</b>	126
<b>Hoja A. Hornos y productos</b>	126
<b>Hoja B. Quemados y producción</b>	128
<b>Hoja C. Combustibles</b>	128
<b>Hoja D. Seguridad ocupacional</b>	128
<b>Hoja E. Datos generales</b>	128
<b>Hoja F. Horno y productos</b>	128

El análisis descriptivo exploratorio mostró lo siguiente:

1. El 58.3% de los casos tienen un horno, el 37% tienen dos hornos y el 4.7% tienen 3 y 8 hornos.
2. Las capacidades de un horno van de 5 a 33 millares de unidades
3. El 96 % de la producción es ladrillo tipo A.
4. Las quemados semanales van de 0.16 a 0.75 veces.
5. Las quemados mensuales van de .5 a 3 veces.
6. Las quemados anuales van de 6 a 36 veces.
7. Las quemados totales en temporada de producción alta van de 3 a 36 veces.
8. Las quemados totales en temporada de producción baja van de 1.5 a 20 veces.
9. La cantidad de ladrillos producidos al mes en temporada alta va de 7,000 a 416,000.
10. La cantidad de ladrillos producidos al mes en temporada baja va de 0 a 125,000.



11. El combustible que más se utiliza para el encendido es la tarima con un 38.28%, seguido del encino con el 20%.
12. El combustible que más se ocupa para la quema es el encino con un 50%, seguido de la tarima con el 10%.

Las variables que se consideraron para la obtención del dato de actividad son:

1. Cantidad de hornos
2. Capacidad del horno (Núm. de ladrillos)
3. Carga realizada por quema
4. Número de quemas al año
5. Masa del ladrillo (Kg)
6. Cantidad de ladrillos producidos al año
7. Cantidad de combustible utilizado por quema

Existe en la encuesta datos faltantes para las variables antes mencionadas para la obtención de estos datos se utilizó el análisis Cluster (con excepción de la masa del ladrillo), que es un método multivariable para encontrar asociaciones/similitudes entre variables y casos. Para de la masa del ladrillo, en los datos faltantes se colocó la masa media del ladrillo, el cual se obtuvo quitando datos extremos superiores e inferiores que afectan o sesgan a las medidas de tendencia central (media, mediana, moda), estos datos están por encima del percentil90 y por debajo del percentil10, teniendo cuidado de no quitar más del 20% de la información para no agregar error (un grado de libertad).

Los resultados de los Cluster, así como de la masa media del ladrillo, dieron como resultado que se obtuvieran 127 productores de ladrillos (casos), con las variables antes mencionadas, solo un productor no se le asignó ningún valor ya que solo tenía el nombre.

#### **4.2. Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero**

Se realizó el inventario de emisiones de gases de efecto invernadero (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O) generadas por la producción artesanal de ladrillos en la comunidad de El Refugio, a partir de la actividad ladrillera determinada, considerando todos y cada uno de los hornos que operan regularmente los cuales ascienden a 128; y considerando los factores de emisión medidos por el INE en 2009 <sup>[5]</sup>, los reportados en IPCC por consumo de energía para la cocción de un kilogramo de ladrillo <sup>[9]</sup> y los reportados por la US-EPA para producción industrializada de ladrillos <sup>[15]</sup>.

Los factores de emisión medidos durante el estudio realizado por el INE en 2009 y los reportados por la EPA están en kilogramos del gas por tonelada de ladrillo cocido, mismos que se muestran en la Tabla 3. Los factores de emisión de IPCC están dados en toneladas de gas emitido por cantidad de energía necesaria para la cocción de ladrillos, por lo que se consideró la cantidad de combustible que reportan por quema, en todos los casos utilizan diferentes derivados de la madera, y el calor de combustión de la madera; además es

importante considerar la energía (calor de combustión) que viene de la materia prima ya sea aserrín y/o abono que de acuerdo al INE <sup>[6]</sup> es de aproximadamente el 6% de la materia prima.

**Tabla 3.** Factores de emisión de Gases de Efecto Invernadero

<sup>15</sup> Factores de Emisión EPA: Proceso industria, manufactura de ladrillo (Kg/Ton Ladrillo producido)			
Tecnología	FE CO <sub>2</sub>	FE CH <sub>4</sub>	FE N <sub>2</sub> O
Curado y disparo: Horno de túnel dispersión de aserrín	222.26	0.017	---
Curado y disparo: Horno de túnel combustión con gas	181.44	0.017	---
Curado y disparo: Horno de túnel combustión con carbón	136.08	0.017	---
Secador de Ladrillo: calienta con residuos y quemadores de gas suplementario	32.21	0.050	---
<sup>5</sup> Factores de Emisión Medidos en México (Kg/Ton ladrillo cocido)			
Combustible	FE CO <sub>2</sub>	FE CH <sub>4</sub>	FE N <sub>2</sub> O
Combustóleo	376.12	0.13	---
Madera	291.85	0.92	---
<sup>9</sup> Factores de Emisión IPCC, 2006			
Combustible	FE (Ton CO <sub>2</sub> /TJ)	FE (Kg CH <sub>4</sub> /GJ)	FE (Kg N <sub>2</sub> O/GJ)
Combustóleo	76.59	10	2
Coque de petróleo	99.83	2	0.6
Carbón bituminoso	92.71	1	1.4
Madera	109.63	100	15

Para determinar el bióxido de carbono equivalente (CO<sub>2eq</sub>), se utilizó la conversión del metano y el óxido nitroso a su valor de CO<sub>2eq</sub>; multiplicando la masa del gas en cuestión por su potencial de calentamiento global (Tabla 4), estableciendo así la línea base.

**Tabla 4.** Equivalencia de GEI en CO<sub>2eq</sub>

Gases de Efecto Invernadero	Equivalencia en CO <sub>2</sub> de una medida de gas (CO <sub>2eq</sub> ) <sup>11</sup>
Bióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	1
Metano (CH <sub>4</sub> )	21
Óxido Nitroso (N <sub>2</sub> O)	310

#### 4.3. Escenarios de cálculo de reducción de emisiones

Se realizó una evaluación de dos escenarios de cálculo de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero con mejoras en eficiencia energética:

1. Considerando una reducción en consumo energético ante un cambio en la tecnología de cocción, implementando hornos MK2, y utilizando el mismo combustible (madera).
2. Una reducción en consumo energético considerando un cambio en tecnología utilizando otro combustible, gas ó carbón.

## 5. RESULTADOS

### 5.1. Actividad ladrillera en El Refugio, León Guanajuato.

De la encuesta línea base <sup>[16]</sup>, se obtuvo que el 100% de la actividad ladrillera es artesanal y los hornos ladrilleros presentes son de tipo campaña. Para el dato de actividad se consideró la información de número de hornos, capacidad de los hornos (Núm. de ladrillos), número de quemas anuales, masa del ladrillo y cantidad de combustible utilizado por quema. A continuación se presenta una descripción de la información que se obtuvo:

- Número de propietarios a considerarse en el análisis: 127 ladrilleros de 128.
  - o No todos reportaron toda la información requerida por lo que alguna se infirió como se describe en la metodología.
- Número total de hornos ladrilleros a considerar: 191 hornos.
- Número de ladrillos producidos en 2010: 49,011,000 ladrillos
  - o Se estimó a partir de la capacidad del horno por el número de quemas anuales.
- Masa promedio del ladrillo: 3.95 Kilogramos.
- Se consideró como combustible en todas las ladrilleras la madera, ya que utiliza derivados de la misma, además que no se cuenta con FE y calores de combustión específicos para cada derivado de la madera.

#### 5.1.1. Incertidumbre asociada con los datos de actividad

La incertidumbre estimada en un inventario de emisiones, es la propagación de la incertidumbre de sus componentes como el dato de actividad y el factor de emisión; estos dos parámetros dependen de datos de entrada con los cuales se calculan.

El dato de actividad por lo general tiene asociaciones con la economía y por tanto tienden a tener menores incertidumbres asociadas.

Para el caso de medir el grado de incertidumbre generado por el dato de actividad del sector ladrillero en la comunidad de El Refugio, León Guanajuato, se consideraron las variables siguientes:

1. Cantidad de hornos
2. Capacidad del horno
3. Número de quemas al año
4. Masa del ladrillo
5. Cantidad de ladrillos al año
6. Cantidad de combustible utilizado

Para cada variable se calculó los estadísticos que describen la distribución de cada una, mostrando el grado de dispersión y la media. La Tabla 5, muestra para cada variable sus estadísticos descriptivos, así como el coeficiente de incertidumbre.

**Tabla 5.** Estadísticos descriptivos y coeficiente de incertidumbre

Variable	N de ladrilleros	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar	Varianza	Coeficiente de incertidumbre
Cantidad de hornos	127	1	8	1.50	0.82	0.67	0.299
Capacidad del horno1	127	5	33	11.09	5.20	27.05	0.681
Capacidad del horno2	53	5	30	12.77	5.41	29.22	0.780
Capacidad del horno3	7	10	16	13.57	2.30	5.29	0.862
Cantidad de ladrillos al año	127	48,000	4,576,000	632,320	8.02E+05	6.43E+11	0.918
Masa del ladrillo	127	3.4	4.67	3.95	0.26	0.07	0.844
Número de quemas	127	4	40	19.38	8.75	76.51	0.767
Cantidad de combustible en TON*	127	0.75	10.5	3.63	1.51	2.27	0.823

\*La cantidad de combustible utilizado se determinó en base a lo reportado por el productor (cantidad y tipo de leña en camionetas, cantidad de tarimas, etc.) , y asumiendo que la cantidad reportada esta linealmente relacionada con la unidad de compra del combustible reportada en la Sistematización de las encuestas de línea base.

El coeficiente de incertidumbre (CI) es el porcentaje de reducción de la incertidumbre en la predicción de la variable dependiente basada en el conocimiento de la variable independiente. Cuando el CI es 0, la variable independiente es de ninguna ayuda en la predicción de la variable dependiente. Es una medida de asociación que indica la reducción proporcional del error cuando los valores de una variable se emplean para pronosticar los valores de la otra variable. Por ejemplo, un valor de 0,83 indica que el conocimiento de una variable reduce en un 83% el error al pronosticar los valores de la otra variable. Se calculó el coeficiente de incertidumbre compuesto obteniendo un valor de 0.793, lo que significa que el dato de actividad obtenido tiene un 79% de asertividad con un grado de confianza de 95%.

## 5.2. Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero – línea base

Los factores de emisión de la producción artesanal de ladrillos son usualmente expresados en términos de masa del gas por masa del ladrillo producido, por lo que el total de ladrillos estimados en la comunidad de El Refugio durante 2010, tiene que ser expresado en términos de masa de ladrillo; para lo cual se multiplico la masa del ladrillo por el número de ladrillos producidos dando como resultado 196,461 Ton de ladrillo cocido (49,011,000 ladrillos).

Para el cálculo de las emisiones se realizaron tres escenarios cada uno con diferentes tipos de factores de emisión, mismos que se presentan en el **Anexo 1** en Excel: (1) utilizando los factores de emisión medidos por el INE <sup>[5]</sup>, la capacidad de cada uno de los hornos (en

número de ladrillos), el número de quemas anuales y la masa del ladrillo (Kg); (2) utilizando los factores de emisión de la EPA <sup>[15]</sup>, la capacidad de cada uno de los hornos (en número de ladrillos), el número de quemas anuales y la masa del ladrillo (Kg); y (3) utilizando los factores de emisión de IPCC <sup>[9]</sup>, la capacidad de cada uno de los hornos (en número de ladrillos), el número de quemas anuales, la cantidad de combustible por quema (incluyendo el 6% del aserrín contenido en la materia prima del ladrillo), y el calor de combustión de la leña de 14,486 MJ/ton <sup>[12]</sup>. En la Tabla 6 se presenta los resultados de la estimación de emisiones de GEI de las ladrilleras artesanales de la comunidad de El Refugio para los 3 distintos escenarios.

**Tabla 6.** Emisiones de GEI por la producción artesanal de ladrillos

Escenario	Producción anual de ladrillos	Producción anual (Ton ladrillo cocido)	Emisiones CO <sub>2</sub> (Ton)	Emisiones CH <sub>4</sub> (Ton)	Emisiones N <sub>2</sub> O (Ton)
1. FE Medidos	49,011,000	196,461	57,336	180.744	---
2. FE EPA	49,011,000	196,461	43,665	3.340	---
3. FE IPCC	49,011,000	196,461	42,828	39.075	5.860

Los resultados de GEI en la comunidad de El Refugio a considerarse para establecer la línea base, muestran que la estimación con el uso de los tres tipos de factores de emisión son comparables:

1. En el primer escenario los factores de emisión utilizados son los determinados por mediciones en hornos ladrilleros artesanales en la misma comunidad de El Refugio en 2009 <sup>[5]</sup>, por lo que se considera el valor de línea base más adecuado, obteniendo 57,336 toneladas de CO<sub>2</sub> y 180.744 toneladas de CH<sub>4</sub>.
2. En el segundo escenario los factores de emisión reportados por la EPA son muy parecidos a los medidos en magnitud, pero se trata de ladrilleras industrializadas, considerando el valor de "Curado y disparo: Horno de túnel dispersión de aserrín".
3. En el tercer escenario con los factores de emisión de IPCC, las emisiones de GEI son muy similares, dado que se consideró la cantidad de energía utilizada para la cocción del ladrillo por la quema del combustible (madera) y por el contenido de materia orgánica en los ladrillos (6% de la masa del ladrillo).

Se estableció la línea base con las emisiones totales de GEI en las ladrilleras de la comunidad de El Refugio utilizando los resultados del escenario uno para CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>, y del escenario tres para N<sub>2</sub>O, se determinó el bióxido de carbono equivalente (CO<sub>2eq</sub>), convirtiendo al metano y al óxido nitroso a su valor de CO<sub>2eq</sub>; multiplicando la masa del gas en cuestión por su potencial de calentamiento global como se muestra en la Tabla 7; obteniendo un valor de CO<sub>2eq</sub> total de 62,948.379 toneladas.

**Tabla 7.** Resultado de la equivalencia de GEI en CO<sub>2eq</sub>

Gases de Efecto Invernadero	Equivalencia en CO <sub>2</sub> de una medida de gas (CO <sub>2eq</sub> ) <sup>11</sup>	Emisiones de GEI (Ton)	CO <sub>2eq</sub>
Bióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	1	57,336.156	57,336.156
Metano (CH <sub>4</sub> )	21	180.744	3,795.623
Óxido Nitroso (N <sub>2</sub> O)	310	5.860	1,816.600
<b>Total CO<sub>2eq</sub></b>			<b>62,948.379</b>

Comparando los resultados de CO<sub>2eq</sub> del Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 2006 <sup>[11]</sup>, las cuales ascienden a 709 millones de toneladas de CO<sub>2eq</sub> y las emisiones por las ladrilleras de El Refugio de 62.9 mil toneladas de CO<sub>2eq</sub>, equivalen a 0.009% de las emisiones a nivel nacional. De acuerdo al inventario nacional de ladrilleras <sup>[6]</sup> las emisiones de CO<sub>2eq</sub> ascienden a 6.62 millones de toneladas, equivalen a 1.09% de las emisiones a nivel nacional. Y en el caso de El Refugio las emisiones de CO<sub>2eq</sub> equivalen al 0.95% de las emisiones a nivel nacional generadas por las ladrilleras.

Se calculó la emisión de bióxido de carbono equivalente en tonelada por cada tonelada de ladrillo producido, para lo cual se dividieron las 62,948 toneladas de CO<sub>2eq</sub> entre las 196,461 toneladas de ladrillo producido; dando como resultado un factor de 0.320 Ton CO<sub>2eq</sub>/Ton ladrillo producido para El Refugio; el cual es comparable con el determinado a nivel nacional de 0.350 Ton CO<sub>2eq</sub>/Ton ladrillo producido <sup>[6]</sup>.

En cuanto a la eficiencia energética en los hornos ladrilleros se determinó dividiendo la energía necesaria para la cocción de ladrillo en GJ entre cada tonelada de ladrillo producido; para lo cual se dividió 390,651 GJ de energía utilizada en El Refugio por el uso de madera e incluyendo el 6% de materia orgánica contenida en los ladrillos como aserrín, entre las 196,461 toneladas de ladrillo producido; dando como resultado 1.99 GJ/Ton ladrillo producido.

### 5.3. Reducción de emisiones

Actualmente en México para la fabricación de ladrillos se utilizan mayormente hornos tradicionales los cuales tienen distintas desventajas respecto a otro tipo de hornos. Entre estas se encuentra la mala eficiencia de los hornos, la obtención de ladrillos de baja calidad, el alto consumo energético, el fuerte gradiente de temperatura dentro del horno, el uso de combustibles contaminantes (combustóleo, aceites gastados, residuos, llantas, etc.), entre otros. Se sabe que en promedio el consumo energético es aproximadamente el 60% del costo del ladrillo, además de que una mejora en las formulaciones de los ladrillos (mezcla de arcillas, abonos, aserrín y aditivos) ayudaría a obtener mejor calidad en estos <sup>[5,8,13,14]</sup>; aunque la encuesta de la línea base no permitió determinar el costo del combustible respecto a los costos de producción del ladrillo.

### 5.3.1. Escenarios de reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero

Se evaluaron dos escenarios posibles para el cálculo de reducción de emisiones de GEI considerando cambios respecto a los procesos tradicionales, uno planteando el uso de un horno más eficiente (MK2), y otro escenario por uso de combustibles con menor impacto (gas o carbón).

#### Escenario 1.

En la comunidad de El Refugio se plantea la instalación de hornos MK2, el cual además de operar de una forma más eficiente, tiene la característica de poder utilizar diversos combustibles, dependiendo del tipo de modificaciones a los que haya sido impuesto el horno, sobre todo en la parte de la alimentación de combustibles <sup>[1,5,8]</sup>. Además de poder tener una capacidad de producción promedio a los hornos artesanales de El Refugio de once mil ladrillos por lote; estos hornos reportan tener una reducción de emisiones a la atmosfera del 80% respecto a los hornos tradicionales y una reducción del 50% en el consumo de combustible.

Si la producción anual de ladrillos en la comunidad de El Refugio es aproximadamente 49 millones de piezas, con 191 hornos ladrilleros realizando en promedio 19 quemas al año, teniendo una capacidad de los hornos de 11 mil ladrillos por lote. Para esta producción se emitieron 62,948 toneladas de CO<sub>2eq</sub> (línea base), con el uso de hornos MK2 en el Estado de Guanajuato se estima que al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero al 50%, por la reducción en el consumo de combustible, se estarán emitiendo 31,474 toneladas de CO<sub>2eq</sub>.

#### Escenario 2.

Para estimar el segundo escenario se utilizaron los factores de emisión de la EPA <sup>[15]</sup> para gas y carbón, tomando como base las 196,461 toneladas de ladrillo cocido estimadas en la comunidad de El Refugio León, Guanajuato (Tabla 8), donde la reducción de emisiones en porcentajes con el uso de combustibles más limpios es importante, con el uso de gas habría una reducción de 18% de las emisiones de GEI, y con el uso de carbón de 38.8%.

**Tabla 8.** Emisiones de GEI con diferentes combustibles

Combustible	Emisiones CO <sub>2</sub> (Ton)	Emisiones CH <sub>4</sub> (Ton)	Emisiones N <sub>2</sub> O (Ton)	% Reducción
Madera (aserrín)	43,665	3.340	---	---
Gas	35,646	3.340	---	18.4
Carbón	26,734	3.340	---	38.8

Es importante mencionar que este cálculo, por falta de factores de emisión medidos en ladrilleras tradicionales, se utilizó los FE de ladrilleras industrializadas los cuales son comparables a los medidos en México para madera.

## 6. CONCLUSIONES

A partir de los resultados de la encuesta de línea base de El Refugio en León Guanajuato, México se estableció una línea base de emisiones de bióxido de carbono equivalente de 62,948 toneladas por la actividad ladrillera utilizando los factores de emisión medidos.

El coeficiente de incertidumbre compuesto de la actividad ladrillera evaluada fue de 0.793 con un grado de confianza de 95%.

Se estimó que la actividad ladrillera en la zona de estudio contribuye con aproximadamente el 0.95% de las emisiones de bióxido de carbono equivalente por las ladrilleras a nivel nacional en México; y con el 0.009% de las emisiones globales a nivel nacional. Comparando las emisiones de CO<sub>2eq</sub> de las ladrilleras a nivel nacional con las emisiones por procesos industriales representan el 9.5%. Es importante mencionar que el inventario de emisiones del Estado de Guanajuato está en proceso, y en cuanto sea publicado se podrán comparar los resultados obtenidos en este proyecto a nivel estatal y municipal.

Se observó que las emisiones de GEI obtenido con los factores de emisión medidos (62,948 Ton CO<sub>2eq</sub>), son mayores comparados con las emisiones obtenidas por factores de emisión de IPCC (45,465 Ton CO<sub>2eq</sub>) y de la EPA (45,552 Ton CO<sub>2eq</sub>) en un 28%.

La emisión de bióxido de carbono equivalente determinada fue de 0.320 Ton CO<sub>2eq</sub>/Ton ladrillo producido, la cual es comparable con lo obtenido a nivel nacional de 0.350 Ton CO<sub>2eq</sub>/Ton ladrillo producido.

La eficiencia energética promedio en los hornos ladrilleros de la comunidad de El Refugio en León Guanajuato fue de 1.99 GJ/Ton ladrillo producido.

El uso de hornos mejorados como es el caso del horno MK2 puede reducir teóricamente hasta en un 50% el consumo de combustibles y con ello la mitigación de emisiones a la atmósfera.

Se puede obtener una reducción de emisiones de GEI con el uso de combustibles más limpios como gas o carbón hasta de un 38.8%.

Se encontraron áreas de oportunidad en las encuestas a desarrollar para caracterizar adecuadamente la actividad ladrillera en México.



## 7. BIBLIOGRAFÍA

1. Bruce C.W., A.Y. Corral, A.S. Lara, 2007. Development of Cleaner-Burning Brick Kilns in Ciudad Juarez, Chihuahua, Mexico. J. Air & Waste Manage. Assoc. Vol. 57: 444-456.
2. Corporación Mexicana de Investigación en Materiales S.A. DE C.V. (COMIMSA), <http://www.comimsa.com.mx/> Página consultada 12 de agosto de 2011.
3. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (Siglas en inglés: IPCC). Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Versión en Español. Programa del IPCC sobre inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. 2000. [http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/spanish/gpgaum\\_es.h](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/spanish/gpgaum_es.h)
4. IEE, 2010. Inventario de Emisiones del Estado de Guanajuato 2008.
5. Cárdenas B., Aréchiga, U., Munguía J.L., Márquez C., Campos, A. 2009. Evaluación preliminar del impacto ambiental por la producción artesanal de ladrillo: cambio climático, eficiencia energética y calidad del aire. Informe Final del Convenio de Colaboración INE/ADA-013/2009. México D.F. 44 pp.
6. Cárdenas B., Aréchiga, U., Munguía J.L., Márquez C., Campos, A. 2010. Evaluación preliminar del impacto ambiental por la producción artesanal de ladrillo: cambio climático, eficiencia energética y calidad del aire: segunda etapa. Informe Final del Convenio de Colaboración INE/ADA-110071. México D.F. 54 pp.
7. PRAL, 2010. Estudio Diagnóstico Sobre las Ladrilleras Artesanales en el Perú.
8. Red de Información para Productores de Ladrillo <http://www.redladrilleras.net/>
9. SEMARNAT -INE, 2006. INEGEI 1990-2002 y Factores de emisión IPCC, 2006.
10. SEMARNAT-INE, 2007. Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero México: 1990-2002. Tercera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
11. SEMARNAT-INE, 2009. Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero México: 1990-2006. Cuarta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
12. SENER 2010. Balance Nacional de Energía, 2009.
13. SwissContact, 2008. Making traditional industries sustainable – the herculean task of cleaning up the Asian brick industry. Switzerland: [www.poverty.ch/bricks](http://www.poverty.ch/bricks)
14. SwissContact, 2010. Programa de Eficiencia Energética en Ladrilleras Artesanales de América Latina para Mitigar el Cambio Climático.
15. U.S. EPA, 1995. Emission Factors (AP-42). <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/>
16. SwissContact, 2011. Sistematización de las encuestas de línea base: León Gto. México.
17. SEMARNAT-INE-CEC-USEPA-WGA, 2006. Inventario nacional de emisiones de México, 1999. DF, septiembre 2006.