

**ESTUDIO DE ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA COMPARATIVO  
ENTRE LADRILLOS ARTESANALES Y LADRILLOS  
MECANIZADOS**

**SAN JERÓNIMO - CUZCO**

LIMA, MARZO 2012

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

**RED PERUANA DE CICLO DE VIDA**

AV. UNIVERSITARIA N°1801, SAN MIGUEL

LIMA, PERÚ

TELÉFONO: (511) 626 2000 – 4760

MAIL: [RED.AC.V@PUCP.EDU.PE](mailto:RED.AC.V@PUCP.EDU.PE)

WEB: [WWW.RED.PUCP.EDU.PE/CICLODEVIDA/](http://WWW.RED.PUCP.EDU.PE/CICLODEVIDA/)



**RED  
PERUANA  
CICLO  
DE VIDA**

## Tabla de Contenidos

<b>Acrónimos, siglas y símbolos.....</b>	<b>iv</b>
<b>1.0 Introducción .....</b>	<b>1</b>
<b>2.0 Metodología Análisis de Ciclo de vida (ACV).....</b>	<b>2</b>
<b>3.0 Objetivos y alcance .....</b>	<b>3</b>
3.1 Objetivo del estudio.....	3
3.2 Alcance del estudio .....	3
3.2.1 Unidad Funcional.....	3
3.2.2 Sistemas en estudio .....	3
3.2.3 Límites del sistema .....	4
3.2.4 Límites geográficos .....	6
3.2.5 Límites temporales .....	6
3.3 Calidad de los datos.....	7
<b>4.0 Metodología de Evaluación de Impactos .....</b>	<b>8</b>
4.1 Simapro 7.1.....	8
4.1.1 ECOINVENT.....	8
4.2 Gases de Efecto Invernadero (GEI) - IPCC 2007 .....	9
<b>5.0 Inventario.....</b>	<b>10</b>
5.1 Generación Eléctrica en Perú - Mix Eléctrico.....	10
5.2 Inventario del Ladrillo Artesanal (King Kong).....	12
5.2.1 Obtención de materia prima .....	12
5.2.2 Producción.....	13
5.2.3 Distribución.....	15
5.2.4 Uso de los ladrillos artesanales en construcción .....	15
5.3 Inventario del Ladrillo Mecanizado.....	16

5.3.1	Obtención de materia prima .....	16
5.3.2	Producción.....	17
5.3.3	Distribución.....	20
5.3.4	Uso de los ladrillos mecanizados en construcción .....	20
<b>6.0</b>	<b>Evaluación de impacto .....</b>	<b>22</b>
6.1	Asignación de impactos (emisiones al aire) .....	22
6.2	Comparación de sistemas.....	23
	Fase de producción de Ladrillo .....	23
	Fase de uso (m <sup>2</sup> de pared construida) .....	24
<b>7.0</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>27</b>
<b>8.0</b>	<b>Recomendaciones .....</b>	<b>27</b>
	<b>Bibliografía .....</b>	<b>28</b>

## TABLAS

Tabla 5-1:	Vínculo de las fuentes de energía con los procesos de ECOINVENT .....	11
Tabla 5-2:	Parámetros de los procesos de transmisión eléctrica .....	11
Tabla 5-3:	Características del ladrillo artesanal KK.....	12
Tabla 5-4:	Parámetros de producción del ladrillo artesanal KK (por horno).....	12
Tabla 5-5:	Materia prima para la fabricación de 1 ladrillo artesanal .....	13
Tabla 5-6:	Combustible de los hornos de cocción.....	14
Tabla 5-7:	Transporte de combustible.....	14
Tabla 5-8:	Materiales para la construcción de 1 m <sup>2</sup> de pared con ladrillo KK.....	15
Tabla 5-9:	Características del ladrillo mecanizado tipo bloqueta .....	16
Tabla 5-10:	Parámetros de producción del ladrillo mecanizado (por horno) .....	16
Tabla 5-11:	Materia prima para la fabricación de 1 ladrillo mecanizado .....	17
Tabla 5-12:	Combustible de los hornos de cocción.....	19

Tabla 5-13: Transporte de combustible..... 20

Tabla 5-14: Materiales para la construcción de 1 m<sup>2</sup> de pared ..... 21

Tabla 6-1: Emisiones al aire por la producción de ladrillos artesanales y mecanizados ..... 23

**FIGURAS**

Figura 3-1: Límites del Sistema - Ladrillo Artesanal ..... 5

Figura 3-2: Límites del Sistema - Ladrillo Mecanizado..... 6

Figura 5-1: Mezcla para la generación de electricidad en el Perú..... 10

Figura 5-2: Pozo subterráneo y Mezcla para producción de ladrillo mecanizado ..... 17

Figura 5-3: Producción de Ladrillos Mecanizados..... 18

Figura 5-4: Máquina Ventiladora usada para la cocción de ladrillos. .... 19

Figura 6-1: Asignación de impactos ..... 22

Figura 6-2: Impacto Generado en la Fase de Producción (en kg de CO<sub>2</sub> equivalente/ladrillo producido) ..... 24

Figura 6-3: Distribución de impactos por m<sup>2</sup> de pared construida (en kg de CO<sub>2</sub> equivalente/m<sup>2</sup> de pared construida) ..... 25

Figura 6-4: Impactos generados en cada etapa del ciclo de vida (en kg de CO<sub>2</sub> equivalente/m<sup>2</sup> de pared construida) ..... 26

---

## ACRÓNIMOS, SIGLAS Y SÍMBOLOS

ACV	Análisis de Ciclo de Vida
GEI	Gases de Efecto Invernadero
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
RPCV	Red Peruana de Ciclo de Vida

## 1.0 INTRODUCCIÓN

En San Jerónimo-Cusco, se localizan productores de ladrillos que utilizan técnicas artesanales y mecanizadas, ambos procesos productivos y el uso de los ladrillos en la construcción de viviendas, generan impactos al medio ambiente.

El presente estudio de investigación, desarrolla del Análisis de Ciclo de Vida comparativo de los ladrillos artesanales y mecanizados, producidos en el distrito de San Jerónimo, departamento de Cusco. El Análisis del Ciclo de Vida (ACV), denominado en inglés Life Cycle Analysis (LCA), es una herramienta que cuantifica el impacto ambiental de un producto, tomando en cuenta las etapas desde la obtención de materia prima, producción, distribución, uso hasta su disposición final.

El objetivo general de la investigación es cuantificar y evaluar los impactos ambientales generados durante el ciclo de vida de los ladrillos artesanales y mecanizados con la finalidad de que los resultados obtenidos puedan contribuir a la toma de decisiones de las asociaciones productoras y entes gubernamentales.

Para el estudio, se empleó la metodología del ACV bajo los estándares de la norma ISO 14040, para modelar los procesos se hizo uso de la base de datos de ECOINVENT. La consolidación del inventario y análisis de impactos se desarrolló con el soporte del software de Pre-Consultant, SIMAPRO 6.0. La revisión crítica del estudio estuvo a cargo de expertos en ACV del EMPA.

## 2.0 METODOLOGÍA ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA (ACV)

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es una metodología que permite registrar y evaluar los efectos ambientales de las actividades humanas al producir un producto o servicio desde la extracción y adquisición de la materia prima, la producción y consumo de energía, hasta la disposición final.

El ACV se utiliza para proveer un marco sistemático que dé soporte en la identificación, cuantificación, interpretación y evaluación de los impactos ambientales.

Los resultados del ACV son útiles para:

- Comparar productos y servicios existentes.
- Contar con un apoyo para la toma de decisiones.
- Registrar los principales impactos ambientales.
- Analizar los potenciales de optimización dentro de la planificación estratégica
- Investigar los factores que brindan una mayor contribución a los impactos ambientales.
- Evaluar las regulaciones.

De acuerdo a la norma internacional ISO 14040, un ACV es un ciclo interactivo de conocimiento y optimización que comprende las siguientes etapas:

- Determinar el objetivo y alcance del proyecto definiendo el sistema objetivo y las condiciones, así como el campo de aplicación del estudio.
- Realizar el inventario de ciclo de vida abarcando los distintos flujos de entrada y salida para los distintos procesos mediante la elaboración de un modelo del ciclo de vida del producto.
- Determinar los impactos ambientales de manera tal que se entienda la relevancia ambiental de todos los flujos descritos en el modelo.
- Interpretar los impactos ambientales.

## 3.0 OBJETIVOS Y ALCANCE

### 3.1 Objetivo del estudio

El objetivo del estudio es evaluar y cuantificar los impactos ambientales de los ladrillos producidos de manera artesanal y mecanizada en la localidad de San Jerónimo – Cusco, utilizando el Análisis de Ciclo de Vida como herramienta de gestión.

Los objetivos específicos son:

- Analizar, evaluar y comparar las emisiones de GEI producidos por los ladrillos, con dos tipos diferentes de tecnologías, a lo largo de su ciclo de vida.
- Cuantificar las emisiones producidas por la construcción de 1m<sup>2</sup> de pared usando ladrillos artesanales y mecanizados.
- Identificar las etapas de mayor impacto ambiental, durante la producción de los ladrillos artesanales y mecanizados, con el fin de evaluar las oportunidades para mitigar dichos impactos.

### 3.2 Alcance del estudio

#### 3.2.1 Unidad Funcional

La unidad funcional representa la medida de la función del sistema en análisis que permite la comparación del producto entre sistemas y es la base de normalización de las entradas y salidas del mismo. En el estudio se define como unidad funcional **1 m<sup>2</sup> (metro cuadrado) de pared construida.**

#### 3.2.2 Sistemas en estudio

El estudio contempla el análisis y evaluación del ciclo de vida de dos sistemas:

- Sistema N°1: Ladrillos producidos de manera artesanal utilizados en el sector de construcción en Cusco.



- Sistema N°2: Ladrillos producidos de manera mecanizada utilizados en el sector de construcción en Cusco.

### 3.2.3 Límites del sistema

Los límites del sistema definen los procesos unitarios a ser incluidos en el sistema, el sistema del producto se modela de tal manera que las entradas y salidas sean flujos elementales (ISO 14040).

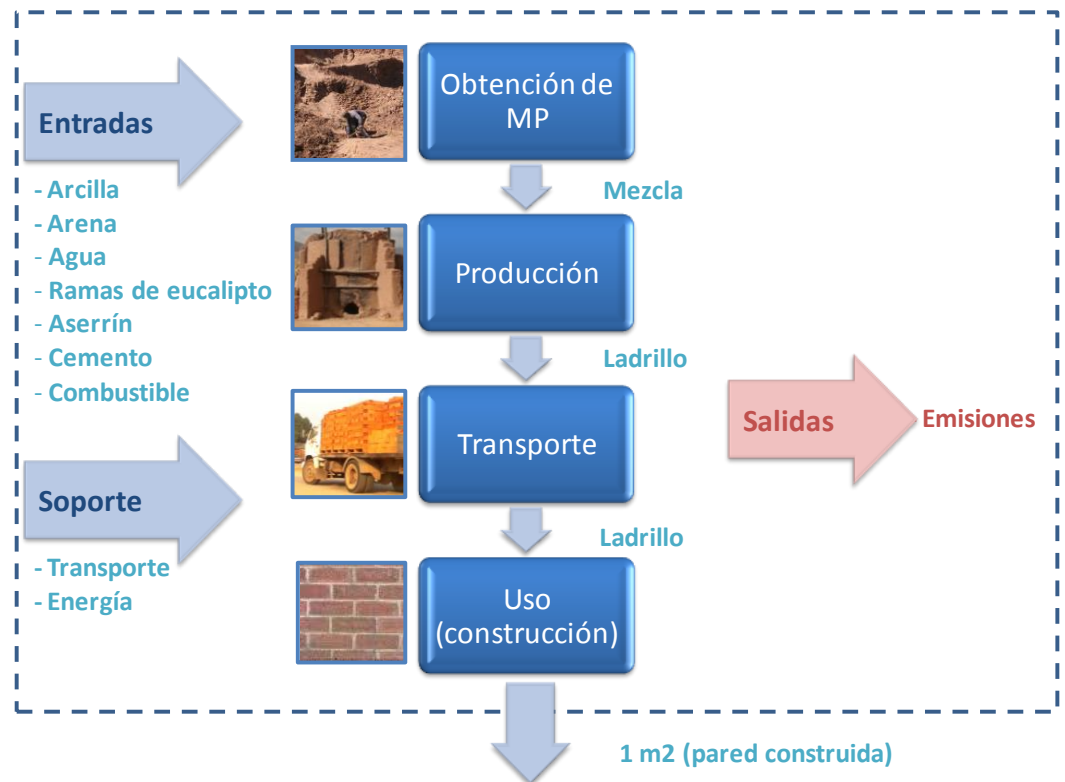
El estudio abarca el análisis desde la obtención de la materia prima hasta su uso final, es decir, de la cuna a la puerta o “*cradle to gate*”. Se tomarán en cuenta los flujos principales de recursos, descartando los sistemas menos representativos.

- Límites para el Sistema N°1 (Ladrillo artesanal):

El sistema para el ladrillo artesanal abarca desde la obtención de la materia prima, la producción del ladrillo tipo King Kong (KK), hasta su uso final en un 1 m<sup>2</sup> de pared construida. En el sistema también se incluyen los procesos de soporte tales como energía, el transporte de insumos, y la distribución de los ladrillos para su uso final en la construcción de una pared.

Vale destacar, que el estudio se limita a un m<sup>2</sup> de pared lateral construida con ladrillos KK, sin tarrajear y sin columnas.

En la figura 3-1 se presenta de forma gráfica el límite del sistema para el ladrillo artesanal.



**Figura 3-1: Límites del Sistema - Ladrillo Artesanal**

- Límites para el Sistema N°2 (Ladrillo Mecanizado):

El sistema abarca la extracción de materia prima, la producción del ladrillo tipo bloqueta, y la fase de uso en un 1m<sup>2</sup> de pared construida. Se incluyen los procesos de soporte tales como la energía, el transporte de insumos, y la distribución de productos para el uso final.

Vale destacar, que el estudio se limita a un m<sup>2</sup> de pared lateral construida con ladrillos tipo bloquetas, sin tarrajear y sin columnas.

En la figura 3-2 se observan los límites del sistema para el ladrillo mecanizado.

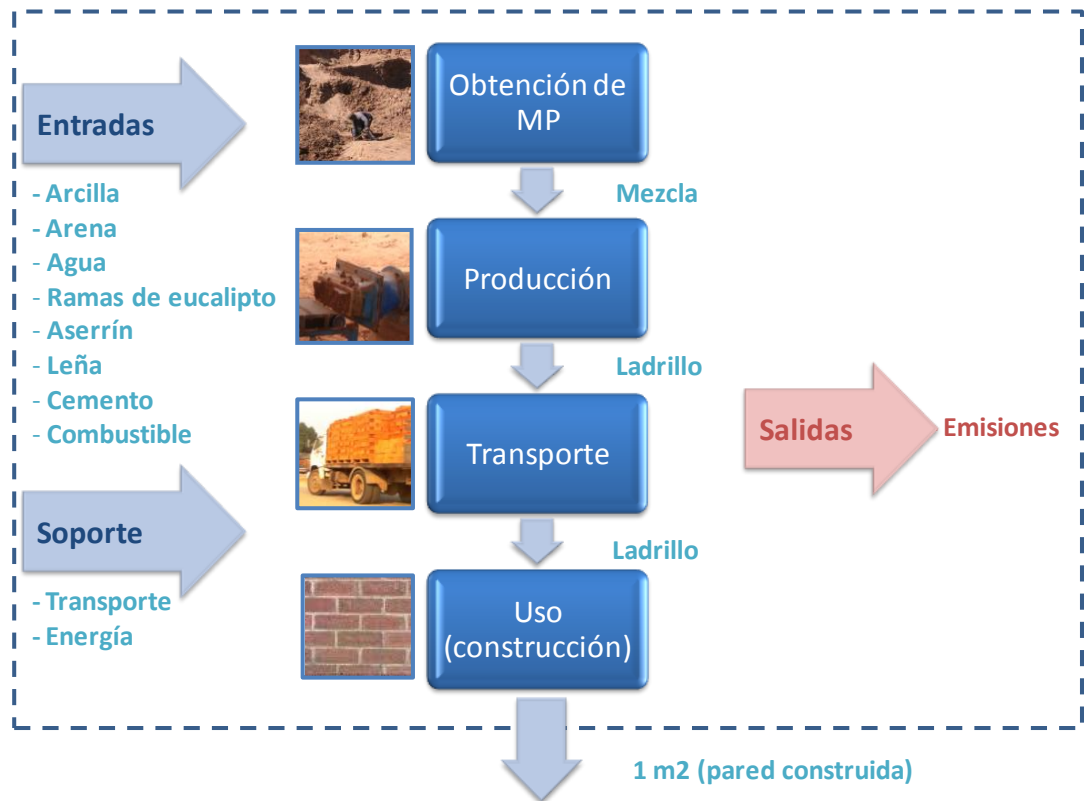


Figura 3-2: Límites del Sistema - Ladrillo Mecanizado

### 3.2.4 Límites geográficos

El desarrollo del ACV se limitará, tanto para el Sistema N°1 como para el N°2, a la producción de ladrillos en la sierra central peruana, San Jerónimo - Cusco, donde se localizan las ladrilleras, para la distribución y uso del producto se considera el sector de construcción local dentro de Cusco e inmediaciones.

### 3.2.5 Límites temporales

El horizonte temporal es el periodo comprendido entre el 2009 y 2011.

### 3.3 Calidad de los datos

La validez del resultado del ACV depende de la calidad y representatividad de los datos. Para este estudio la recolección de datos del Sistema N°1 (ladrillo artesanal) y del Sistema N°2 (ladrillo mecanizado) se hizo mediante entrevistas a los productores y expertos y visitas a campo. Para el modelamiento del proceso se utilizó la base de datos de ECOINVENT como referencia.

## 4.0 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE IMPACTOS

Para la evaluación de impactos se hizo uso de la metodología IPCC 2007, que caracteriza la emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y cuantifica los impactos en términos de kg de CO<sub>2</sub>-equivalente.

Como herramienta de soporte para el análisis y cuantificación de impactos se hizo uso del Software SIMAPRO 7.1, dicha plataforma permite el uso de diferentes bases de datos de procesos para este estudio se hace uso de la base de datos de ECOINVENT.

### 4.1 Simapro 7.1

El estudio se ha realizado usando el programa SIMAPRO 7.1, que es una herramienta informática desarrollada por Pré Consultants para estudios de ACV, este programa analiza y compara sistemática y consistentemente los aspectos ambientales de un producto según la norma ISO 14040. El programa SIMAPRO ha sido usado, desde su primera versión en 1990, por empresas, consultoras, centros de estudio y de investigación.

#### 4.1.1 ECOINVENT

ECOINVENT es una base de datos que cuenta con información de más de 4 000 procesos. Esta base de datos cuenta con una muy buena documentación y especificación de los datos inciertos. En el presente estudio se utilizó ECOINVENT para modelar los procesos comunes tales como transportes y generación de energía.

## 4.2 Gases de Efecto Invernadero (GEI) - IPCC 2007

La metodología IPCC 2007 ha sido desarrollada por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático. Este método detalla los factores de caracterización de cambio climático del IPCC para intervalos de tiempo de 20, 50 y 100 años permitiendo calcular los impactos en el cambio climático generados por las emisiones de gases de efecto invernadero de los ciclos de vida estudiados. (PRé, 2008).

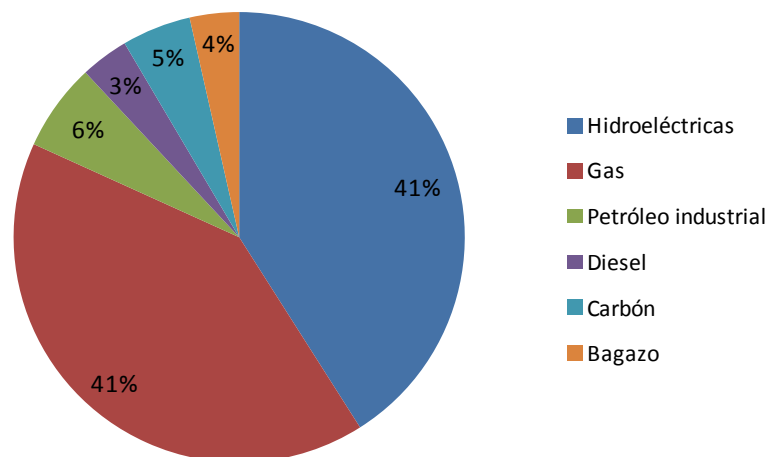
La metodología del IPCC caracteriza las emisiones de acuerdo a su potencial en el calentamiento global a través de la valorización de los gases de efecto invernadero, el potencial es evaluado en términos de dióxido de carbono de modo que la emisión de 1kg de algún gas de efecto invernadero en particular es comparado con la emisión de 1kg de dióxido de carbono.

## 5.0 INVENTARIO

En la sección de inventario se detalla el modelamiento de los procesos involucrados en el ACV del ladrillo artesanal y mecanizado. Primero, se presenta el proceso de soporte para el inventario que es la generación eléctrica en el Perú. Este proceso sirve para modelar el input de energía para otros procesos. Posteriormente, se detalla el inventario de las ladrilleras por m<sup>2</sup> construido

### 5.1 Generación Eléctrica en Perú - Mix Eléctrico

La mezcla eléctrica peruana sirve como base para modelar los diferentes sistemas. En la figura 5-1 se puede apreciar la composición de las principales fuentes de generación eléctrica utilizadas en el Perú en el año 2009.



**Figura 5-1: Mezcla para la generación de electricidad en el Perú**

Fuente: MINEM, 2009

Se creó el proceso *Electricity, production mix* para modelar la mezcla eléctrica peruana aproximando las distintas fuentes a procesos similares disponibles en ECOINVENT de acuerdo a lo presentado en la tabla 5-1. La tabla 5-1 muestra los procesos que permiten generar un kW-h de energía eléctrica en el Perú y qué procesos de ECOINVENT se utilizan para modelarlos.

**Tabla 5-1: Vínculo de las fuentes de energía con los procesos de ECOINVENT**

Tipo de Fuente de Energía Eléctrica	Proceso de ECOINVENT
Hidroeléctrica	Electricity, hydropower, at reservoir
Gas	Electricity, natural gas, at power plant
Petróleo Industrial	Electricity, oil, at power plant
Diesel	Electricity, oil, at power plant
Carbón	Electricity, hard coal, at power plant
Bagazo	Electricity, bagasse, sugarcane

Para modelar la transmisión de electricidad de voltaje alto, medio y bajo a través del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) se trabajó con los procesos y parámetros de ECOINVENT referidos a la transmisión de la potencia requerida para proveer 1 Kw-h del voltaje referido al consumidor final en Brasil. En la tabla 5-2 se muestran dichos procesos y las pérdidas y emisiones de O<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O y SF<sub>6</sub> generadas debido a la transmisión eléctrica según el tipo de voltaje.

**Tabla 5-2: Parámetros de los procesos de transmisión eléctrica**

Proceso de ECOINVENT	Pérdidas	Pérdidas de calor (MJ)	Emisiones (kg)		
			O <sub>3</sub>	N <sub>2</sub> O	SF <sub>6</sub>
Electricity, high voltage, production BR, grid	2%	5.8E-02	4.5E-6	5.0E-6	-
Electricity, medium voltage, production BR, grid	2%	8.4E-02	-	-	6.8E-9
Electricity, low voltage, production BR, grid	20%	9.2E-01	-	-	4.0E-10

Fuente: ECOINVENT, 2007



## 5.2 Inventario del Ladrillo Artesanal (King Kong)

El ladrillo artesanal producido en San Jerónimo – Cusco, es del tipo King Kong (KK) el cual se utiliza para la construcción de casas en los alrededores del mencionado distrito.

En la tabla 5-3 se presentan características generales del ladrillo King Kong; y en la tabla 5-4, los parámetros de producción de ladrillos artesanales en San Jerónimo.

**Tabla 5-3: Características del ladrillo artesanal KK**

	Característica	Unidad	Cantidad
	Dimensiones	cm	24 x 11.5 x 8
	Volumen	cm <sup>3</sup>	2 208
	Peso	kg	3

**Tabla 5-4: Parámetros de producción del ladrillo artesanal KK (por horno)**

Característica	Unidad	Cantidad
Número de quemas al mes	unidad	1
Número de quemas al año	unidad	12
Producción por quema	Nºladrillos/quema	9 250
Producción anual	Nºladrillos/ año	111 000

### 5.2.1 Obtención de materia prima

La materia prima para la elaboración de ladrillos artesanales son: arcilla, arena y agua. La arcilla proviene de canteras ubicadas cerca a los hornos de producción, en la misma zona, por lo que el transporte es despreciable. La materia prima necesaria se muestra en la tabla 5-5, las cantidades están expresadas en kg de materia prima por 1 ladrillo artesanal producido.

**Tabla 5-5: Materia prima para la fabricación de 1 ladrillo artesanal**

Materia Prima	Cantidad (kg/ladrillo)
Arcilla	3.08
Arena	1.40
Agua	0.36

## 5.2.2 Producción

### Preparación de la mezcla

La materia prima (arcilla y arena) es desmenuzada manualmente para luego ser mezclada con agua hasta formar una “masa cerámica plástica”.

El agua utilizada es extraída de pozos subterráneos cercanos a los hornos de cocción de los ladrillos artesanales

### Moldeado

La etapa de moldeado consiste en vaciar la “masa cerámica plástica” en moldes de madera para obtener el “ladrillo crudo”. Este proceso se realiza de forma manual.

### Secado

El secado consiste en reducir la humedad del ladrillo crudo antes de su ingreso al horno de cocción. En la fabricación artesanal, este proceso se realiza al aire libre. En caso se presenten fallas en el ladrillo, este retornará a la etapa de molienda.

### Cocción

Por último, el ladrillo crudo y pre-secado es cargado al horno de cocción. En esta etapa, mediante el fuego y calor, se producen cambios químicos que transforman la arcilla y los demás componentes en productos sinterizados o vitrificados con características estructurales de resistencia a la compresión.

La cocción genera gran cantidad de impacto ambiental debido a las emisiones al aire procedentes de la quema de combustibles en los hornos de cocción de ladrillos. En la producción artesanal de ladrillos, los combustibles utilizados son, en su mayoría, las ramas de eucalipto y el aserrín de madera, la cantidad necesaria por cada uno de ellos para la fabricación de un ladrillo se presenta en la tabla 5-6.

**Tabla 5-6: Combustible de los hornos de cocción**

Combustible	Cantidad (kg/ladrillo)
Ramas de eucalipto	1.49
Aserrín de madera	0.63

El combustible proviene de localidades cercanas a San Jerónimo, en la tabla 5-7 se presenta el transporte expresado en toneladas por km recorrido.

**Tabla 5-7: Transporte de combustible**

Combustible	Distancia (km)	Carga (kg/ladrillo)	Cantidad (Tkm/ladrillo)
Ramas de eucalipto	40.0	1.49	0.06
Aserrín de Madera	28.7	0.63	0.02

Una vez terminada la etapa de cocción, los ladrillos son descargados del horno para ser distribuidos dentro de la misma localidad de San Jerónimo.

### **Mantenimiento**

Después de cada quema, se realiza el mantenimiento del horno para el cual se requiere 605 kg de arcilla, lo que equivale a 0.0654 kg de arcilla por ladrillo cada vez que se realiza este proceso.

### 5.2.3 Distribución

Los ladrillos son distribuidos a localidades cercanas a San Jerónimo. Se considera una distancia de 60 km desde los hornos a los lugares para la construcción.

### 5.2.4 Uso de los ladrillos artesanales en construcción

El inventario de la fase de uso corresponde a 1 m<sup>2</sup> de pared construida con ladrillos artesanales. Los materiales que se requieren para dicha construcción son: cemento, arena gruesa y agua. Se considera la configuración tipo sogá y un mortero con relación volumétrica cemento:arena de 1:5.

En la tabla 5-8 se muestran los materiales necesarios por m<sup>2</sup> de pared construida con ladrillos artesanales.

**Tabla 5-8: Materiales para la construcción de 1 m<sup>2</sup> de pared con ladrillo KK**

Material	Unidad	Cantidad
Ladrillo	unidad/m <sup>2</sup>	57(*)
Cemento	bolsas/m <sup>2</sup>	0.30
Arena Gruesa	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	0.04
Agua	kg/m <sup>2</sup>	10

(\*) Incluyendo pérdidas

Fuente: Ingeniero Víctor Gálvez (ADGAVI & Asociados SAC)

### 5.3 Inventario del Ladrillo Mecanizado

En San Jerónimo Cusco se produce una variedad de ladrillos mecanizados, el inventario a continuación se hizo para el ladrillo tipo Bloqueta, el cual, se utiliza para la construcción de casas en los alrededores dentro de la misma localidad.

En la tabla 5-9 se presentan características generales del ladrillo Bloqueta; y en la tabla 5-10, los parámetros de producción de ladrillos mecanizados en San Jerónimo.

**Tabla 5-9: Características del ladrillo mecanizado tipo bloqueta**

	Característica	Unidad	Cantidad
	Dimensiones	cm	29 x 10 x 19
	Volumen	cm <sup>3</sup>	5 510
	Peso	kg	6

**Tabla 5-10: Parámetros de producción del ladrillo mecanizado (por horno)**

Característica	Unidad	Cantidad
Número de quemas al mes	unidad	4
Número de quemas al año	unidad	48
Producción por quema	ladrillo	2 750
Producción anual	ladrillo	132 000

#### 5.3.1 Obtención de materia prima

La materia prima para la elaboración de ladrillos mecanizados son: arcilla, arena, y agua. La arcilla y arena proviene de canteras ubicadas cerca a los hornos de producción, en la misma zona, por lo que el transporte es mínimo. La materia prima necesaria se muestra en la tabla 5-11, las cantidades están expresadas en kilogramos de materia prima por 1 ladrillo mecanizado producido.

**Tabla 5-11: Materia prima para la fabricación de 1 ladrillo mecanizado**

Materia Prima	Cantidad (kg/ladrillo)
Arcilla	5
Arena	2.73
Agua	1.45

### 5.3.2 Producción

#### Preparación de la mezcla

La arcilla se extrae de las inmediaciones y es tamizada junto con la arena de para luego ser mezclada con agua hasta formar una “masa cerámica plástica”. El agua utilizada es extraída de pozos subterráneos cercanos. En la figura 5-2 se muestra el pozo de agua subterráneo y la masa cerámica plástica.



**Figura 5-2: Pozo subterráneo y Mezcla para producción de ladrillo mecanizado**

#### Moldeado

El moldeado se realiza por extrusión en máquinas de moldeado plástico. En este proceso, se va formando un moldeado continuo el cual se corta de acuerdo a las medidas del ladrillo a producir. La energía consumida, en promedio, por la

extrusora para la fabricación de un ladrillo es de 0.0786 kWh. En la figura 5-3 se muestra la máquina extrusora utilizada para la producción de ladrillos mecanizados.



**Figura 5-3: Producción de Ladrillos Mecanizados**

### **Secado**

El secado consiste en reducir la humedad del ladrillo crudo antes de su ingreso al horno de cocción. En la fabricación mecanizada, este proceso se realiza al aire libre. En caso se presenten fallas en el ladrillo, este retornará a la etapa de molienda.

### **Cocción**

Por último, el ladrillo crudo y pre-secado es cargado al horno de cocción. En esta etapa, mediante el fuego y calor, se producen cambios químicos que transforman la arcilla y los demás componentes en productos sinterizados o vitrificados con características estructurales de resistencia a la compresión.

Para la cocción algunas ladrilleras mecanizadas utilizan una máquina ventiladora que ayuda en el proceso de combustión al inicio y durante la cocción, estas ventiladoras son ensambladas de forma manual y utilizan energía eléctrica para su funcionamiento. En la figura 5-4 se muestra la máquina ventiladora usada para la cocción en algunas ladrilleras mecanizadas.



**Figura 5-4: Máquina Ventiladora usada para la cocción de ladrillos.**

La cocción genera una gran cantidad de emisiones al aire procedentes de la quema de combustibles en los hornos de cocción de ladrillos. En la producción mecanizada de ladrillos, los combustibles utilizados son ramas de eucalipto, aserrín de madera, y leña; la cantidad necesaria por cada uno de los mismos para la fabricación de un ladrillo se presenta en la tabla 5-12.

**Tabla 5-12: Combustible de los hornos de cocción**

Combustible	Cantidad (kg/ladrillo)
Ramas de eucalipto	1.88
Aserrín de Madera	0.80
Leña	0.25

Las ramas de eucalipto provienen de localidades cercanas a San Jerónimo; y el aserrín de madera, de la Selva. En la tabla 5-13 se presenta el transporte del combustible expresado en toneladas por km recorrido.



**Tabla 5-13: Transporte de combustible**

Combustible	Distancia (km)	Carga (kg/ladrillo)	Cantidad (tkm/ladrillo)
Ramas de eucalipto	40.0	1.88	0.075
Aserrín de Madera	419.0	0.80	0.3

Una vez terminada la etapa de cocción, los ladrillos son descargados del horno para ser distribuidos dentro de la misma localidad de San Jerónimo.

#### **Mantenimiento**

Después de cada quema, se realiza el mantenimiento del horno para el cual se requiere 550 kg de arcilla, lo que equivale a 0.2 kg de arcilla por ladrillo cada vez que se realiza este proceso.

#### **5.3.3 Distribución**

Los ladrillos son distribuidos a localidades cercanas a San Jerónimo. Se considera una distancia de 60 km desde los hornos a los lugares para la construcción.

#### **5.3.4 Uso de los ladrillos mecanizados en construcción**

El inventario de la fase de uso corresponde a 1 m<sup>2</sup> de pared construida con ladrillos mecanizados. Los materiales que se requieren para dicha construcción son: cemento, arena gruesa y agua. Se considera la configuración tipo sogá y un mortero con relación volumétrica cemento:arena de 1:5.

En la tabla 5-14 se muestran los materiales necesarios por m<sup>2</sup> de pared construida con ladrillos artesanales.

**Tabla 5-14: Materiales para la construcción de 1 m<sup>2</sup> de pared**

Material	Unidad	Cantidad
Ladrillo	unidad/m <sup>2</sup>	17.00(*)
Cemento	bolsas/m <sup>2</sup>	0.45
Arena Gruesa	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	0.06
Agua	kg/m <sup>2</sup>	16.00

(\*) Incluyendo pérdidas

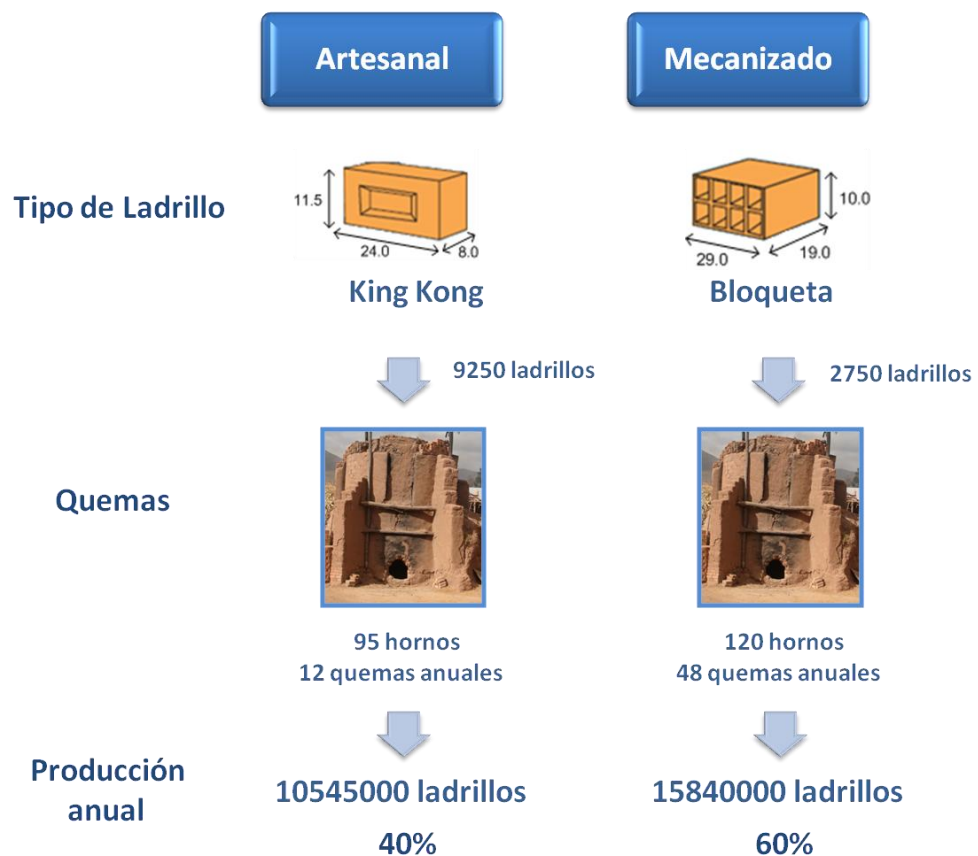
Fuente: Ingeniero Víctor Gálvez (ADGAVI & Asociados SAC)

## 6.0 EVALUACIÓN DE IMPACTO

Los impactos se calcularon en una primera fase por ladrillo producido, posteriormente se hizo el cálculo por  $m^2$  de pared construida. La asignación de emisiones por ladrillo producido se hizo en base a la producción anual de ladrillos artesanales y mecanizados.

### 6.1 Asignación de impactos (emisiones al aire)

Las emisiones al aire son generadas por la fase de producción, en su mayoría, por el proceso de cocción. La asignación de impactos está basada en ladrillos producidos manualmente de forma artesanal y mecanizada, como se muestra en la figura 6-1.



**Figura 6-1: Asignación de impactos**

Como se observa en el gráfico anterior, el 40% de la producción anual de ladrillos en San Jerónimo, corresponde a la producción artesanal; y el 60%, a la mecanizada. De esta manera, en la tabla 5-15 se presentan las emisiones al aire por ambos tipos de producción.

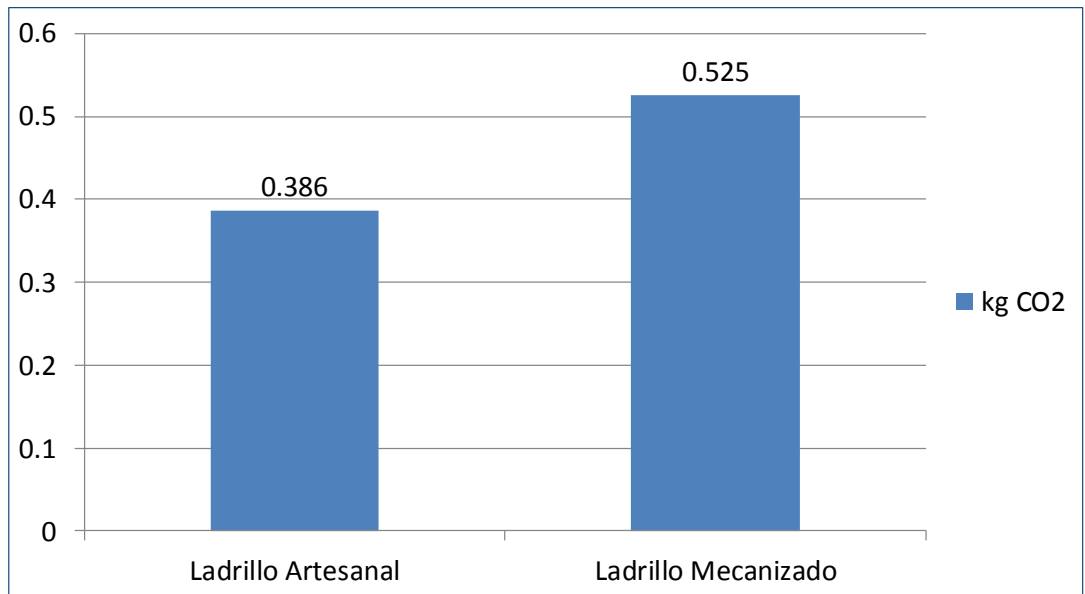
**Tabla 6-1: Emisiones al aire por la producción de ladrillos artesanales y mecanizados**

Emisión	Ladrillera Artesanal (TM/año)	Ladrillera Mecanizada (TM/año)
Dióxido de azufre	3.42	4.54
Óxidos de nitrógeno	23.95	31.80
Óxido de carbon	2395.63	3179.81
COV	787.14	1044.79
PM10	458.59	608.71

## 6.2 Comparación de sistemas

### Fase de producción de Ladrillo

En la fabricación un ladrillo artesanal y un ladrillo mecanizado, el mayor impacto se genera por la etapa de cocción, en donde se producen emisiones al aire, como se indica en el punto anterior. En la figura 6-2 se presentan los impactos generados por ambos productos, las unidades están expresadas en kg de CO<sub>2</sub> equivalente por ladrillo producido.

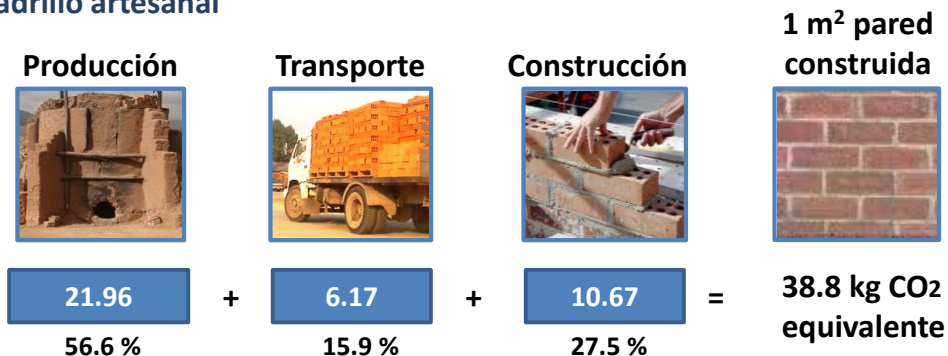


**Figura 6-2: Impacto Generado en la Fase de Producción (en kg de CO<sub>2</sub> equivalente/ladrillo producido)**

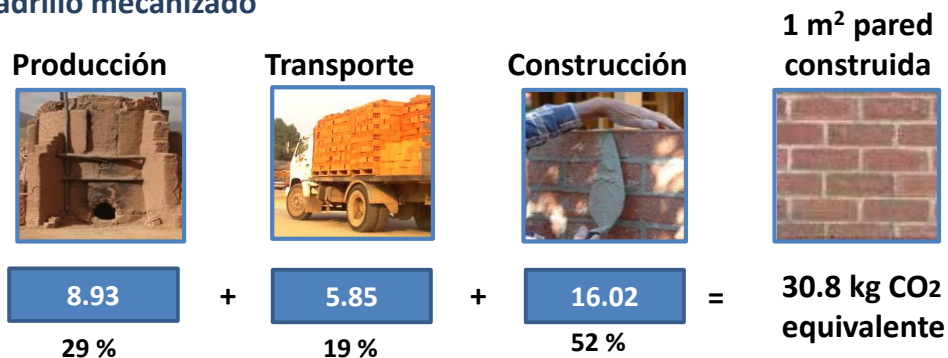
**Fase de uso (m<sup>2</sup> de pared construida)**

La fase de uso será evaluada teniendo como unidad funcional 1 m<sup>2</sup> de pared construida, con ladrillos artesanales y ladrillos mecanizados. En la figura 6-3 se presenta los impactos distribuidos por fase, las unidades están expresadas en kg de CO<sub>2</sub> equivalente por 1 m<sup>2</sup> de pared construida.

### Ladrillo artesanal



### Ladrillo mecanizado

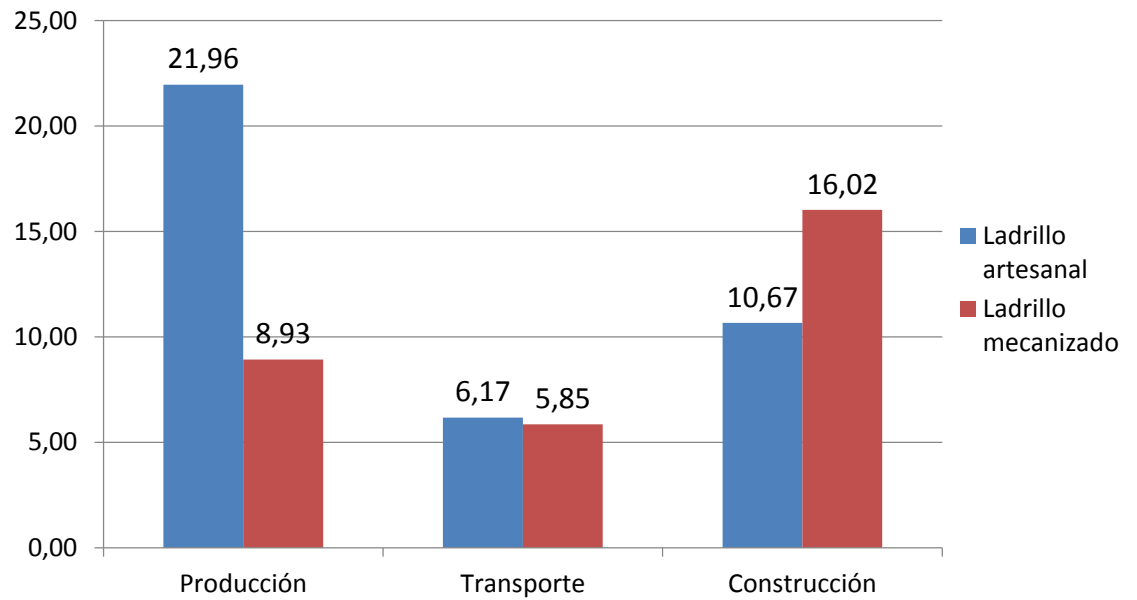


**Figura 6-3: Distribución de impactos por m<sup>2</sup> de pared construida (en kg de CO<sub>2</sub> equivalente/m<sup>2</sup> de pared construida)**

En el caso de la construcción de 1m<sup>2</sup> de pared utilizando ladrillos artesanales, el mayor impacto es generado por la fase de producción, el cual representa un 56.6% del total de los impactos, seguido por la etapa de construcción y el transporte de los materiales de construcción, con un 27.5% y 15.9%, respectivamente.

Por otro lado, en la construcción de 1m<sup>2</sup> de pared utilizando ladrillos mecanizados, el mayor impacto es generado por la fase de construcción, el cual representa un 52.0% del total de los impactos, seguido por la etapa de producción y el transporte de los materiales de construcción, con un 29.0% y 19.0%, respectivamente.

En la figura 6-4 se presenta comparativamente los impactos en kg de CO<sub>2</sub> equivalente producidos en cada fase del ciclo de vida del ladrillo artesanal y mecanizado.



**Figura 6-4: Impactos generados en cada etapa del ciclo de vida (en kg de CO<sub>2</sub> equivalente/m<sup>2</sup> de pared construida)**

## 7.0 CONCLUSIONES

- Considerando las etapas del estudio, desde la obtención de los materiales hasta la construcción de un metro cuadrado de pared, se tiene que 1 m<sup>2</sup> de pared construido con ladrillos artesanales impacta al ambiente en un 26% más que 1 m<sup>2</sup> de pared construido con ladrillos mecanizados, debido a que, la cantidad de ladrillos artesanales que se requiere para construir 1 m<sup>2</sup> es 3.3 veces más que la cantidad de ladrillos se requiere para construir 1 m<sup>2</sup> de ladrillos mecanizados.
- La producción de un ladrillo mecanizado impacta al ambiente en un 36% más que la producción de un ladrillo artesanal, debido al consumo de energía y transporte de los materiales y los insumos en producción de ladrillos mecanizados.
- Solo en la etapa de construcción, de 1 m<sup>2</sup> de pared construido con ladrillos mecanizados impacta al ambiente en un 50% más que 1m<sup>2</sup> de pared construido con ladrillos artesanales debido a la cantidad de cemento que se consume en esta etapa.

## 8.0 RECOMENDACIONES

- En el proceso de obtención de los ladrillos mecanizados se podría implementar tecnologías que consuma menos energía o utilizar otras fuentes de energías que sean más renovables.
- Para la operación del horneado, identificar otros tipos de combustibles en la misma localidad de San Jerónimo para mitigar el impacto ambiental por el traslado de los combustibles.
- Revisar otras alternativas de hornos con mayor eficiencia energética.
- En relación de emisiones de las ladrilleras, se podría realizar monitoreos por tipos de ladrilleras para contar una mejor asignación de las emisiones.



---

## BIBLIOGRAFÍA

International Standard Organisation. (2006). *ISO 14040 - Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework*.

Intituto Nacional de Normalización. (1999). *Gestión Ambiental-Evaluación del ciclo de vida-Principios y Marco*. Chile.

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2006). *Guidelines for National reenhouse Gas Inventories*. Institute for Global Environmental Strategies.

Ministerio de Energía y Minas MINEM. (2009). *Balance Nacional de Energía 2009*.

Swisscontact Programa Regional Aire Limpio. (2009). *Caso de Estudio: Detrás de los ladrillos: una gestión integral para el sector informal*.

