



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA

MAESTRÍA EN INGENIERÍA - ENERGÍA

**EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN LA  
INDUSTRIA DE LOS MINERALES DE LA CATEGORÍA PROCESOS  
INDUSTRIALES**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**MAESTRO EN INGENIERÍA**

PRESENTA:

**ING. SANTA PAOLA CENTENO ROSALES**

TUTOR:

**M. EN I. AUGUSTO SÁNCHEZ CIFUENTES**

**FACULTAD DE INGENIERÍA, UNAM**

MÉXICO, D. F. JUNIO 2014

**JURADO ASIGNADO:**

Presidente: Dr. José Luis Fernández Zayas  
Secretario: M. en I. Augusto Sánchez Cifuentes  
Vocal: Dra. Claudia Sheinbaum Pardo  
1<sup>er</sup> Suplente: Dra. Tanya Moreno Coronado  
2<sup>do</sup> Suplente: Dr. Luis Gerardo Ruiz Suárez

México, D. F.

**TUTOR DE TESIS:**

M. en I. Augusto Sánchez Cifuentes

-----  
**FIRMA**

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Nacional Autónoma de México, al Posgrado de la Facultad de Ingeniería y a cada uno de mis profesores por aportarme los conocimientos necesarios para continuar mi formación profesional.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada.

A mi tutor de tesis, Augusto Sánchez, por apoyarme profesionalmente, brindarme consejos y amistad, así como creer en mí en todo momento.

A Alberto Macías, Armando Rodríguez y los sinodales Claudia Sheinbaum, Tanya Moreno, Luis Gerardo Ruiz, José Luis Fernández, quienes revisaron esta tesis.

A mis amigos de la maestría por ser parte importante de mi vida académica; por ayudarme y estar conmigo a lo largo de este gran paso profesional. Gracias Héctor, Pancho y Víctor.

Al Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático por ser parte de mi crecimiento profesional. Gracias a Julia Martínez, Luis Conde e Israel Laguna por darme todo el apoyo para estudiar la maestría.

A mi amiga Silvina, quien a lo largo de estos años me ha brindado su apoyo y amistad.

A mis hermanos, Felicitas, Eduardo, Jesús y Jacobo por apoyarme, confiar y, sobre todo, por estar siempre conmigo.

A mis padres, Pilar y Joaquin, por brindarme su confianza, apoyo, amor y hacer de mí la persona que soy ahora.

A mi esposo Iván por apoyarme, amarme, consentirme, creer en mí y motivarme a ser mejor en todo.



## RESUMEN

El objetivo de este trabajo es realizar un análisis de las metodologías del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático para la estimación de emisiones de gases de efecto invernadero de la industria de los minerales, dentro de la categoría Procesos Industriales, a fin de establecer la transición de la metodología publicada por el PICC en 1996 a la publicada en 2006.

México, al ser parte de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, tiene entre sus compromisos actualizar el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero, utilizando metodologías comparables que deben ser acordadas por la Conferencia de las Partes.

Las metodologías aprobadas a nivel internacional son las que realiza el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático. En este sentido, el Panel ha desarrollado las publicaciones siguientes: las *Directrices del PICC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996*; la *Orientación del PICC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, 2000*; la *Orientación sobre las buenas prácticas para uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura, 2003*, y las *Directrices del PICC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*.

La última actualización del Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2010 de México utilizó las metodologías del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático. De acuerdo con éste, la contribución de emisiones por categoría en el año 2010 fue: Energía, 67.3% (503,817.6 Gg de CO<sub>2</sub> eq.); Agricultura, 12.3% (92,184.4 Gg de CO<sub>2</sub> eq.); Procesos Industriales, 8.2% (61,226.9 Gg de CO<sub>2</sub> eq.); Uso del Suelo, Cambio

de Uso del Suelo y Silvicultura 6.3% (46,892.4 Gg de CO<sub>2</sub> eq.), y Desechos, 5.9% (44,130.8 Gg de CO<sub>2</sub> eq.).

La contribución de emisiones de gases de efecto invernadero generadas en la categoría Procesos Industriales en el año 2010 provino de la industria de los minerales, 57.5% (35,233.7 Gg de CO<sub>2</sub> eq.); el consumo de halocarbonos y hexafluoruro de azufre, 24.4% (14,919.0 Gg de CO<sub>2</sub> eq.); la industria de los metales, 9.2% (5,627.6 Gg de CO<sub>2</sub> eq.); la producción de halocarbonos, 6.4% (3,897.8 Gg de CO<sub>2</sub> eq.), y la industria química, 2.5% (1,548.9 Gg de CO<sub>2</sub> eq.).

Este trabajo consta de cinco capítulos. El primer y segundo capítulos corresponden a una introducción sobre el cambio climático, el efecto invernadero, los gases de efecto invernadero y los elementos e importancia de los inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero.

El tercer y cuarto capítulos están dedicados a la explicación de las metodologías del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático y la comparación de éstas para el caso de la industria de los minerales en la categoría Procesos Industriales.

El quinto capítulo muestra una comparación de los diferentes inventarios publicados a la fecha, la manera como han ido mejorando en cuanto a la calidad de la información y la propuesta para la transición de la metodología en la industria de los minerales.

# ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS .....	3
RESUMEN .....	5
ÍNDICE DE TABLAS .....	9
ÍNDICE DE FIGURAS .....	10
SIGLAS.....	11
COMPUESTOS Y UNIDADES.....	12
OBJETIVOS.....	13
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN .....	15
1.1 Efecto invernadero .....	15
1.2 Gases de efecto invernadero.....	16
1.3 Cambio climático.....	19
CAPÍTULO 2. INVENTARIOS DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO.....	21
2.1 Elementos de un inventario de emisiones de GEI .....	21
2.2 Importancia de los inventarios.....	26
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍAS DEL PANEL INTERGUBERNAMENTAL SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO (PICC) .....	27
3.1 Directrices del PICC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996 .....	28
3.2 Orientación del PICC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, 2000.....	30
3.3 Directrices del PICC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero .....	33
3.4 <i>Software</i> del PICC.....	37
3.4.1 <i>Software</i> de las D-PICC-1996.....	37
3.4.2 <i>Software</i> de las D-PICC-2006.....	40
CAPÍTULO 4. COMPARACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS EN LA INDUSTRIA DE LOS MINERALES.....	43
4.1 Comparación de las metodologías .....	43

4.1.1 Producción de cemento .....	44
4.1.2 Producción de cal .....	50
4.1.3 Utilización de piedra caliza y dolomita; producción y utilización de carbonato sódico, y otros usos de carbonatos en los procesos .....	55
4.1.4 Producción y utilización de productos minerales varios, y producción de vidrio .....	60
4.2 Fuentes de información disponible para cada metodología .....	64
4.3 Diferencias entre las metodologías 1996 y 2006.....	73
<b>CAPÍTULO 5. PROPUESTA PARA LA TRANSICIÓN DE LA METODOLOGÍA DEL PICC 1996 A LA DEL 2006 EN LA INDUSTRIA DE LOS MINERALES .....</b>	
5.1 Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero .....	75
5.2 Comparación de los inventarios publicados en la industria de los minerales .....	78
5.2.1 Emisiones de CO <sub>2</sub> por la producción de cemento.....	78
5.2.2 Emisiones de CO <sub>2</sub> por la producción de cal.....	79
5.2.3 Emisiones de CO <sub>2</sub> por la utilización de caliza y dolomita .....	79
5.2.4 Emisiones de CO <sub>2</sub> por la producción y utilización de carbonato sódico .....	80
5.2.5 Emisiones de CO <sub>2</sub> por la producción de vidrio .....	81
5.3 Transición de la metodología del PICC en 1996 a la publicada en 2006 en la industria de los minerales .....	85
5.3.1 Propuestas.....	88
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>93</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>97</b>
<b>ANEXO.....</b>	<b>101</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características de los gases de efecto invernadero .....	19
Tabla 2. Emisiones potenciales de la industria de los minerales de la categoría Procesos Industriales (D-PICC-1996).....	30
Tabla 3. Emisiones potenciales de la industria de los minerales de la categoría Procesos Industriales (GBP-2000).....	33
Tabla 4. Emisiones potenciales de la industria de los minerales de la categoría Procesos Industriales (D-PICC-2006).....	36
Tabla 5. Metodología para la estimación de emisiones de CO <sub>2</sub> y SO <sub>2</sub> de la producción de cemento .....	47
Tabla 6. Metodología para la estimación de emisiones de CO <sub>2</sub> de la producción de cal.....	53
Tabla 7. Metodología para la estimación de emisiones de CO <sub>2</sub> de la utilización de piedra caliza y de dolomita, la producción y utilización de carbonato sódico, y otros usos de carbonatos en los procesos .....	58
Tabla 8. Metodología para la estimación de emisiones de CO <sub>2</sub> y precursores de ozono de la producción y utilización de productos minerales varios, y la producción de vidrio .....	62
Tabla 9. Información disponible de la producción de cemento .....	65
Tabla 10. Información disponible de la producción de cal .....	66
Tabla 11. Información disponible de utilización de piedra caliza y de dolomita (D-PICC-1996); producción y utilización de carbonato sódico (D-PICC-1996), y otros usos de carbonatos en los procesos (D-PICC-2006) .....	68
Tabla 12. Información disponible de la producción y utilización de productos minerales varios (D-PICC-1996) y producción de vidrio (D-PICC-2006) .....	70
Tabla 13. Inventarios Nacionales de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero .....	82
Tabla 14. Parámetros básicos para calcular los factores de emisión para la producción de cal (GBP-2000).....	107
Tabla 15. Parámetros básicos para el cálculo de los factores de emisión en la producción de cal (D-PICC-2006) .....	108
Tabla 16. Emisiones por la producción de cemento del INEGEI [Gg de CO <sub>2</sub> ]... 109	
Tabla 17. Emisiones por la producción de cal del INEGEI [Gg de CO <sub>2</sub> ] .....	110
Tabla 18. Emisiones por la utilización de caliza del INEGEI [Gg de CO <sub>2</sub> ] .....	114
Tabla 19. Emisiones por la utilización de dolomita del INEGEI [Gg de CO <sub>2</sub> ] ....	115
Tabla 20. Emisiones por la producción y utilización de carbonato sódico del INEGEI [Gg de CO <sub>2</sub> ] .....	116
Tabla 21 Emisiones por la producción de vidrio del INEGEI [Gg de CO <sub>2</sub> ] .....	119

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Modelo idealizado del efecto invernadero natural.....	15
Figura 2. Emisiones mundiales de GEI antropogénicos.....	17
Figura 3. Jerarquización de los métodos de estimación de emisiones de GEI ...	24
Figura 4. Cualidades del inventario de GEI.....	25
Figura 5. Selección del sector en que se trabaja (D-PICC-1996).....	38
Figura 6. Menú principal de Procesos Industriales (D-PICC-1996).....	39
Figura 7. Selección del sector en que se trabaja (D-PICC-2006).....	41
Figura 8. Menú principal correspondiente a Procesos Industriales (D-PICC-2006).....	42
Figura 9. Contribución de emisiones por categoría en el año 2010 .....	76
Figura 10. Contribución de emisiones en la categoría Procesos Industriales en 1990 y 2010 .....	77
Figura 11. Contribución de emisiones en la industria de los minerales en 1990 y 2010.....	77
Figura 12. Árbol de decisiones para estimar las emisiones de CO <sub>2</sub> procedentes de la producción de cemento (GBP-2000).....	101
Figura 13. Árbol de decisiones para la estimación de las emisiones de CO <sub>2</sub> procedentes de la producción de cemento (D-PICC-2006).....	102
Figura 14. Árbol de decisiones para estimar las emisiones de CO <sub>2</sub> procedentes de la producción de cal (GBP-2000) .....	103
Figura 15. Árbol de decisiones para la estimación de las emisiones de CO <sub>2</sub> procedentes de la producción de cal (D-PICC-2006) .....	104
Figura 16. Árbol de decisiones para la estimación de las emisiones de CO <sub>2</sub> procedentes de otros usos de los carbonatos en los procesos (D-PICC-2006)	105
Figura 17. Árbol de decisiones para la estimación de las emisiones de CO <sub>2</sub> procedentes de la producción de vidrio (D-PICC-2006).....	106

## SIGLAS

AIE	Agencia Internacional de Energía
ANFACAL	Asociación Nacional de Fabricantes de Cal
BIE	Banco de Información Económica
C3	Consejo de Cambio Climático
CANACEM	Cámara Nacional de Cemento
CEMEX	Cementos Mexicanos
CICC	Comisión Intersecretarial de Cambio Climático
CIE	Cuarto Informe de Evaluación
CKD	Polvo de horno de cemento (del inglés, <i>cement kiln dust</i> )
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
COA	Cédula de Operación Anual
CYCNA	Cementos y Concretos Nacionales
DA	Dato de Actividad
D-PICC-1996	Directrices del PICC para los inventarios de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996
D-PICC-2006	Directrices del PICC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero
FE	Factor de emisión
GBP-2000	Guía de Buenas Prácticas (Orientación del PICC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, 2000)
GEI	Gases de efecto invernadero
IGES	Institute for Global Environmental Strategies
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
INEGEI	Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
IPPU	Procesos industriales y uso de los productos (del inglés, <i>industrial processes and product use</i> )
LGCC	Ley General de Cambio Climático
LKD	Polvo de horno de cal (del inglés, <i>lime kiln dust</i> )
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
PICC	Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático
QIE	Quinto Informe de Evaluación
SDO	Sustancias destructoras del ozono
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SINACC	Sistema Nacional de Cambio Climático
USCUSS	Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura
USGS	United States Geological Survey

## COMPUESTOS Y UNIDADES

CaCO <sub>3</sub>	Carbonato de calcio
CaCO <sub>3</sub> ·MgCO <sub>3</sub>	Dolomita
CaO	Óxido de calcio o cal
CaO·MgO	Cal viva dolomítica
CH <sub>4</sub>	Metano
CO	Monóxido de carbono
CO <sub>2</sub>	Bióxido de carbono
COVDM	Compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano
Gg	Gigagramos
HCFC-22	Clorodifluorometano
HFC	Hidrofluorocarbonos
MgCO <sub>3</sub>	Carbonato de magnesio
N <sub>2</sub> O	Óxido nitroso
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Carbonato sódico o ceniza de sosa
NF <sub>3</sub>	Trifluoruro de nitrógeno
NO <sub>x</sub>	Óxidos de nitrógeno
PFC	Perfluorocarbonos
ppm	Partes por millón
ppb	Partes por billón
SF <sub>5</sub> CF <sub>3</sub>	Pentafluoruro de azufre trifluorometilo
SF <sub>6</sub>	Hexafluoruro de azufre
SO <sub>2</sub>	Bióxido de azufre
t	Toneladas

# **OBJETIVOS**

## **Objetivo general**

El objetivo de este trabajo es realizar un análisis de las metodologías del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (PICC) para la estimación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de la industria de los minerales de la categoría Procesos Industriales para establecer la transición de la metodología publicada por el PICC en 1996 a la publicada en 2006.

## **Objetivos específicos**

- Comparar las metodologías del PICC 1996, 2000 y 2006 para la industria de los minerales en la categoría Procesos Industriales.
- Revisar el nivel metodológico (nivel 1, nivel 2 o nivel 3) que se utilizó en la industria de los minerales en los Inventarios Nacionales de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero publicados anteriormente.
- Determinar las necesidades de información de todos los niveles metodológicos para la estimación de emisiones de GEI en la industria de los minerales.
- Realizar una propuesta para la transición de la metodología publicada por el PICC en 1996 a la publicada en 2006.

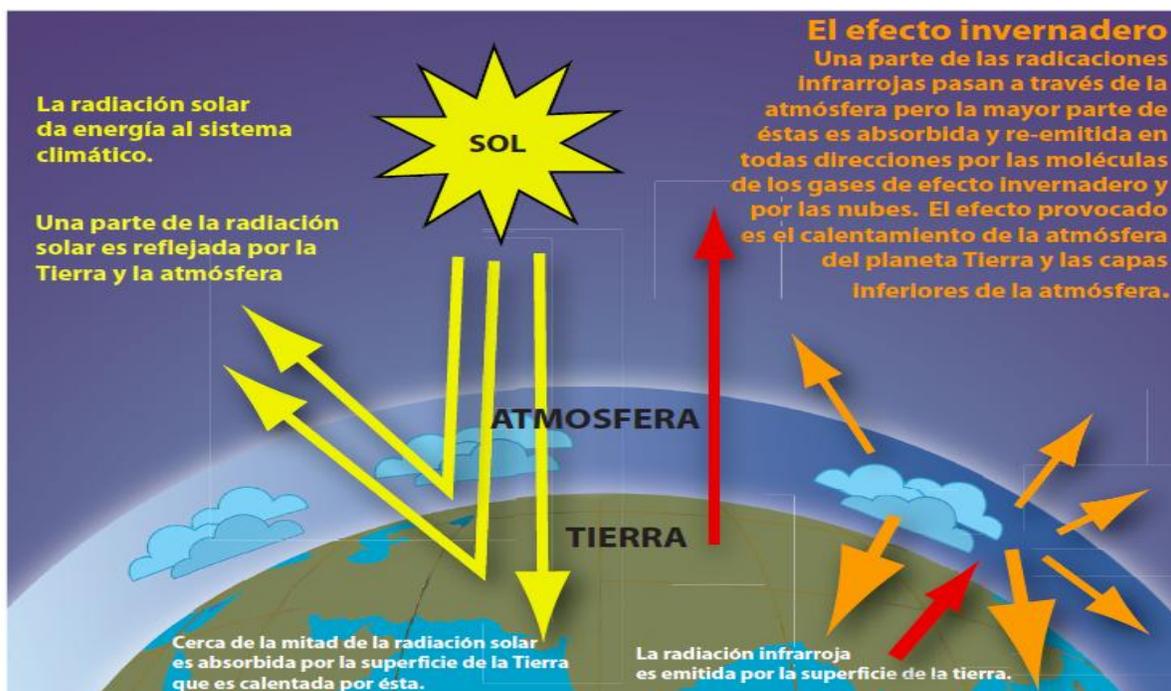


# CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Efecto invernadero

El Sol irradia energía en longitud de onda corta a la Tierra, una tercera parte de la cual es reflejada nuevamente al espacio. Las dos terceras partes que restan son absorbidas por la superficie y, en menor medida, por la atmósfera. Para que se equilibre la energía entrante, la Tierra debe irradiar en promedio la misma cantidad de energía al espacio. Debido a que la Tierra es más fría que el Sol, irradia en longitudes de onda mucho más largas, sobre todo en la parte infrarroja del espectro. La atmósfera, con la participación de las nubes, absorbe gran parte de esta radiación térmica emitida por los suelos y el océano y la vuelve a irradiar a la Tierra. Esto es lo que se denomina efecto invernadero (GT1-PICC, 2007).

Figura 1. Modelo idealizado del efecto invernadero natural



Fuente: GT1-PICC, 2007

Sin el efecto invernadero natural, la temperatura promedio de la superficie terrestre estaría por debajo del punto de congelamiento del agua. Por tanto, el efecto invernadero natural hace posible la vida tal como la conocemos (GT1-PICC, 2007).

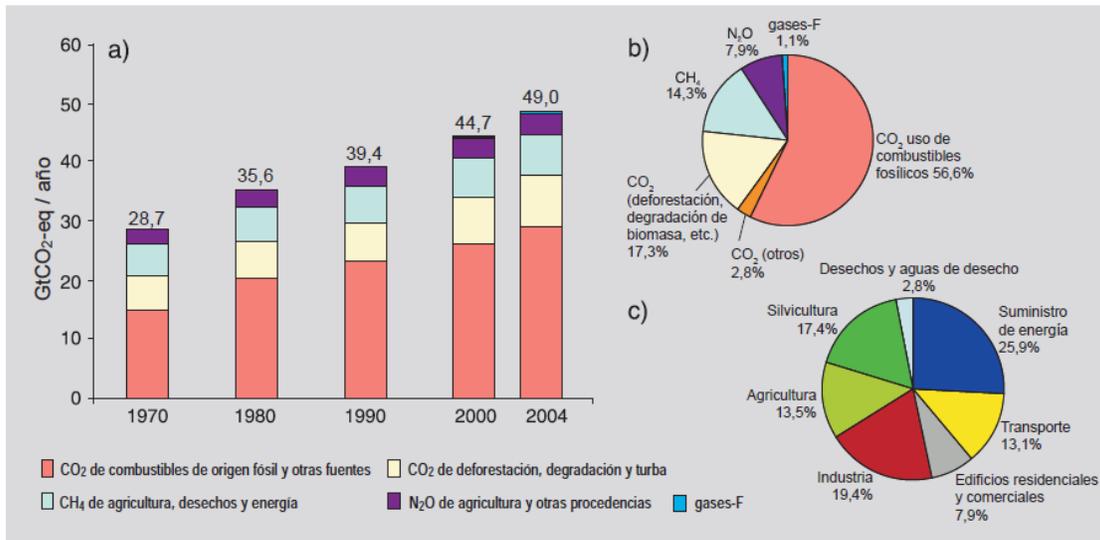
En el último siglo, aparte del cambio climático natural, se han presentado cambios en el clima provocados por actividades humanas como la quema de combustibles fósiles y la deforestación, haciendo que se intensifique el efecto invernadero natural y dando lugar al calentamiento mundial (GT1-PICC, 2007).

## **1.2 Gases de efecto invernadero**

El nitrógeno y el oxígeno son los gases más abundantes en la atmósfera con 78 y 21% del volumen, respectivamente, pero éstos apenas ejercen efecto invernadero. El efecto invernadero proviene de otras moléculas como el bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), el metano ( $\text{CH}_4$ ), el óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) y los halocarbonos (grupo de gases que contienen flúor, cloro o bromo) presentes en la atmósfera en pequeñas cantidades, pero que no obstante contribuyen al efecto invernadero (GT1-PICC, 2007).

Los gases de efecto invernadero (GEI) ayudan a mantener la superficie de la Tierra a cierta temperatura. Al aumentar la concentración de los GEI, también se incrementa la temperatura. La variación de las concentraciones de GEI y aerosoles en la atmósfera, así como las variaciones de la cubierta terrestre y de la radiación solar, alteran el equilibrio energético del sistema climático. Las emisiones mundiales de GEI por efecto de actividades humanas han aumentado un 70% entre 1970 y 2004. Las actividades humanas generan emisiones de gases de efecto invernadero de larga permanencia:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  y halocarbonos (GT1-PICC, 2007).

Figura 2. Emisiones mundiales de GEI antropogénicos



Fuente: GT1-PICC, 2007

Algunos de los GEI tienen larga vida en la atmósfera, es decir, una vez que se emiten, permanecen por varias centenas de años en la atmósfera; lo que significa que dicho cambio climático persistirá por mucho tiempo, aun cuando las emisiones se estabilizaran o disminuyeran a partir de los años siguientes (GT1-PICC, 2007).

El bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) aumentó su concentración en la atmósfera de un valor preindustrial de 278 ppm a 390.5 ppm en 2011. Este aumento se debió al uso de combustibles fósiles para la producción y uso de la energía, la producción de cemento y, en menor grado, a los cambios en el uso del suelo. Aproximadamente, 45% de este CO<sub>2</sub> permanece en la atmósfera, mientras que 30% se mantiene en los océanos y el resto en la biosfera terrestre. Aproximadamente la mitad del CO<sub>2</sub> emitido hacia la atmósfera se eliminará en una escala de tiempo de 30 años; otro 30% desaparecerá en unos cuantos siglos y el restante 20% permanecerá en la atmósfera durante miles de años (GT1-PICC, 2007; PICC, 2013).

El metano ( $\text{CH}_4$ ) procede de fuentes tanto naturales como atribuidas al hombre. Las fuentes naturales son: humedales, termitas, océanos, vegetación e hidratos de  $\text{CH}_4$ . Las fuentes antropogénicas son: la producción de energía a partir del carbón y del gas natural, la eliminación de desperdicios, la crianza de animales rumiantes como ganado y ovejas, la agricultura del arroz y la quema de biomasa. Las concentraciones atmosféricas de  $\text{CH}_4$  se han incrementado desde la era preindustrial de 722 ppb en el año 1750 a 1803 ppb en 2011. Las concentraciones de  $\text{CH}_4$  se mantuvieron estables durante la década de los noventa, pero comenzaron a crecer de nuevo a partir de 2007 (GT1-PICC, 2007; PICC, 2013).

El óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) proviene de fuentes tanto naturales como atribuidas a las actividades humanas. Los procesos naturales que emiten  $\text{N}_2\text{O}$  ocurren en suelos y océanos. Las actividades humanas que generan este gas son: el uso de fertilizantes y la quema de combustibles fósiles. Las concentraciones de  $\text{N}_2\text{O}$  en 2011 fueron de 324 ppb, aproximadamente un 20% más alto que su valor preindustrial (GT1-PICC, 2007; PICC, 2013).

Los halocarbonos se generan por actividades antropogénicas. La concentración de hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre ( $\text{SF}_6$ ) es relativamente pequeña en la actualidad pero aumenta con rapidez (GT1-PICC, 2007).

La Tabla 1 muestra el tiempo de residencia y el potencial de calentamiento global<sup>1</sup> de cada gas de efecto invernadero.

---

<sup>1</sup> Este potencial es una medida, definida por el PICC, de la contribución relativa de una sustancia al calentamiento de la atmósfera durante un determinado periodo (100 años en el caso del Protocolo de Kioto), en comparación con un valor de 1 para el bióxido de carbono.

Tabla 1. Características de los gases de efecto invernadero

Gas	Tiempo de residencia en la atmósfera (años)	Potencial de calentamiento global (100 años)
Bióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	Variable	1
Metano (CH <sub>4</sub> )	12.4	28
Óxido nitroso (N <sub>2</sub> O)	121	265
Hidrofluorocarbonos (HFC)	hasta 242	hasta 12,400
Perfluorocarbonos (PFC)	hasta 50,000	hasta 11,100
Hexafluoruro de azufre (SF <sub>6</sub> )	3,200	23,500

Fuente: PICC, 2013

### 1.3 Cambio climático

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) describe en su artículo 1 el cambio climático como “un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad climática natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables” (CMNUCC, 1992).

El clima se suele definir como el estado promedio del tiempo y, más rigurosamente, como una descripción estadística del tiempo atmosférico en términos de los valores medios y de la variabilidad de las magnitudes de temperatura, precipitación o viento durante periodos que pueden abarcar desde meses hasta millones de años (el valor promedio es de 30 años). En un sentido más amplio, el clima es el estado del sistema climático en términos tanto clásicos como estadísticos (GT1-PICC, 2007).

El Quinto Informe de Evaluación (QIE), publicado en 2013 por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (PICC), confirma que el

calentamiento del sistema climático es inequívoco. Algunos de los cambios observados son: el calentamiento de la atmósfera y el océano, la disminución del volumen de hielo y nieve, el aumento del nivel del mar y una mayor concentración de gases de efecto invernadero (PICC, 2013).

Las últimas tres décadas han sido más cálidas en la superficie de la Tierra que cualquier otra desde 1850. En el periodo 1880-2012 el aumento en la temperatura fue de 0.85°C, este aumento está distribuido por todo el planeta y es más acentuado en las latitudes septentrionales superiores (PICC, 2013).

El aumento del nivel del mar durante el periodo 1901-2010 fue en promedio de 0.19 m y el aumento en la temperatura de los océanos fue de 0.11°C por década durante el periodo de 1971 a 2010 (PICC, 2013).

El crecimiento en las concentraciones de GEI es resultado de las actividades humanas por la quema de combustibles fósiles y el cambio de uso del suelo. Las concentraciones de GEI de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O han aumentado desde 1750. En 2011 esos gases excedieron los niveles preindustriales en 40, 150 y 20%, respectivamente (PICC 2013).

# **CAPÍTULO 2. INVENTARIOS DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO**

## **2.1 Elementos de un inventario de emisiones de GEI**

Un inventario de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) es un listado exhaustivo de las emisiones anuales por fuentes y sumideros que resultan directamente de las actividades humanas en un determinado lugar (PNUD-FMAM-INE, 2008).

El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (PICC) define categorías del inventario (Energía; Procesos Industriales; Solventes; Agricultura; Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura, y Desechos) y dentro de éstas especifica fuentes individuales. Es indispensable que se reporten los inventarios en forma coherente con las definiciones y estructura de estas categorías, así como las fuentes y sumideros dentro de cada una, con la finalidad de que la redacción sea uniforme para todos los organismos que reportan (PNUD-FMAM-INE, 2008).

Dentro de la información que debe considerar un inventario de emisiones de GEI se encuentra la siguiente (PNUD-FMAM-INE, 2008):

1. Tablas de estimaciones de emisiones y absorciones anuales por fuente, con las estimaciones expresadas en unidades de masa/año;
2. Hojas de cálculo donde se indique cómo se calculan las emisiones, incluyendo todos los parámetros usados para los cálculos;
3. Una descripción de la metodología para cada fuente (datos de actividad, factores de emisión, metodologías), los datos reales y, de ser posible, una descripción de la incertidumbre.

4. Otras fuentes de información de datos históricos como el balance nacional de energía o una descripción de fuentes de emisiones de GEI que sean relevantes.

### **Metodología general**

La metodología general empleada para estimar las emisiones vinculadas con cada proceso industrial se basa en la multiplicación de los datos de la actividad por el factor de emisión por unidad de consumo/producción, de acuerdo con la fórmula:

$$\text{TOTAL}_{ij} = A_j \times \text{FE}_{ij}$$

en la que

$\text{TOTAL}_{ij}$	=	la emisión de procesos (en toneladas) de gas $i$ del sector industrial $j$
$A_j$	=	la cantidad de actividad o producción de material de procesos en el sector industrial $j$ (toneladas/año)
$\text{FE}_{ij}$	=	el factor de emisión asociado con el gas $i$ por unidad de actividad en el sector industrial $j$ (tonelada/tonelada)

Hay varios niveles metodológicos para estimar las emisiones y su selección depende del grado de detalle de estimación deseado, de la disponibilidad de datos de actividad y factores de emisión, así como de los recursos financieros y humanos disponibles para realizar el inventario.

En la terminología del PICC, el método jerárquico más bajo es el nivel 1 (tier 1, en inglés), mientras que los métodos más detallados son el nivel 2 (tier 2) y el nivel 3 (tier 3). La Figura 3 muestra un ejemplo del uso de estos métodos y sus características.

La obtención de datos de actividad altamente desagregados y factores de emisión específicos del país puede consumir mucho tiempo y ser costosa. No

obstante, si se los instrumenta correctamente todos los niveles deben proporcionar estimaciones insesgadas, mientras que la exactitud y la precisión deben, en general, mejorar del nivel 1 al nivel 3. La provisión de diferentes niveles permite a los compiladores de inventarios utilizar métodos coherentes con sus recursos y dirigir sus esfuerzos a esas categorías de emisiones y absorciones que hacen su mayor aporte a los totales y a las tendencias de emisión nacionales (PNUD-FMAM-INE, 2008).

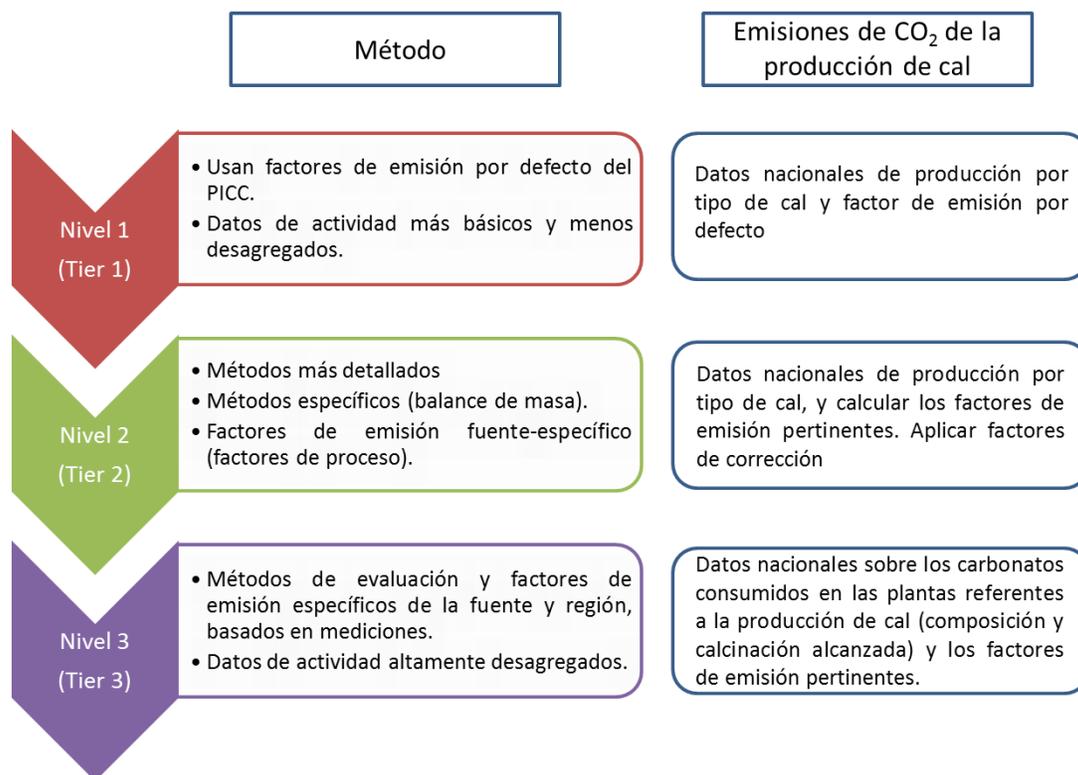
### **Series de tiempo y estimaciones del año base**

Una serie de tiempo es “un listado de estimaciones de emisiones a lo largo de varios años y para realizar la comparación de las emisiones entre distintos años del inventario, la serie de tiempo tiene que ser internamente coherente, es decir, los métodos, los factores de emisión y los supuestos deben ser los mismos para todos los años del inventario. El primer año de una serie de tiempo se denomina el Año Base y para comparar emisiones entre diferentes países, es útil usar el mismo año base” (PNUD-FMAM-INE, 2008).

### **Informes, archivado y documentación**

Uno de los propósitos principales de la recopilación de un inventario nacional de emisiones de GEI es informar a entidades nacionales o internacionales. La información reportada debe ser transparente y completa, e incluir toda la información que se requiere para producir estimaciones del inventario nacional documentadas y archivadas (PNUD-FMAM-INE, 2008).

Figura 3. Jerarquización de los métodos de estimación de emisiones de GEI



Fuente: Elaboración propia con información de PNUD-FMAM-INE, 2008.

## Calidad del inventario

Las estimaciones del inventario deben ser las mejores posibles y la guía de buenas prácticas del PICC ayuda a cumplir con los requisitos siguientes (PNUD-FMAM-INE, 2008):

- Elección del método de estimación;
- Procedimientos de control y garantía de la calidad para proporcionar verificaciones cruzadas durante la recopilación del inventario;
- Datos e información a documentar, informar y archivar para facilitar la revisión y evaluación de las estimaciones de emisiones;
- Cuantificación de la incertidumbre a nivel de fuente y para el inventario en conjunto;

- Determinación de las fuentes más importantes para tomar decisiones apropiadas respecto de la asignación de recursos para mejorar el inventario.

Un inventario de alta calidad debe poseer las cualidades siguientes: completo, consistente, comparable, transparente y preciso (véase Figura 4).

Figura 4. Cualidades del inventario de GEI



Fuente: Elaboración propia con datos de PNUD-FMAM-INE, 2008.

## 2.2 Importancia de los inventarios

Los beneficios de contar con un inventario de emisiones de GEI con datos actuales y precisos es una herramienta importante para establecer una buena política pública y privada de mitigación de emisiones (PNUD-FMAM-INE, 2008).

Algunos de los beneficios que se derivan de la elaboración de inventarios de GEI son:

- Proporciona información útil para la evaluación y planificación del desarrollo económico: información referente al suministro y utilización de recursos naturales (p. ej., tierras de cultivo, bosques, recursos energéticos) e información sobre la demanda y producción industrial;
- Proporciona información de utilidad para abordar otros problemas del medio ambiente (p. ej., la calidad del aire, uso del suelo y manejo de residuos, entre otros);
- Aclara ciertas lagunas en los datos nacionales que, una vez llenadas, pueden ser de beneficio por otros motivos (p. ej., datos sobre el parque vehicular);
- Evalúa opciones de mitigación de GEI a partir del análisis del inventario;
- Proporciona la base para los esquemas de comercio de emisiones;
- Los inventarios mejorados permiten identificar fuentes y sumideros de emisiones de GEI en forma confiable y tomar decisiones respecto a medidas de respuesta apropiadas.

La formulación de estrategias de control apropiadas requiere una base fiable de estimaciones precisas de emisiones. Si los datos usados para derivar las estrategias de control son defectuosos, la política pública que resulta de la estrategia será equivocada. Estos errores pueden ser muy costosos para el público expuesto, para las industrias o sectores económicos controlados y para el ambiente (PNUD-FMAM-INE, 2008).

## **CAPÍTULO 3. METODOLOGÍAS DEL PANEL INTERGUBERNAMENTAL SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO (PICC)**

En 1992 se creó la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), la cual tiene por objetivo

la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático. Ese nivel debería lograrse en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, asegurar que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitir que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible (CMNUCC, 1992).

México, como Parte No-Anexo I de la CMNUCC, tiene entre sus compromisos

elaborar, actualizar periódicamente, publicar y facilitar a la Conferencia de las Partes, de conformidad con el artículo 12, inventarios nacionales de las emisiones antropógenas por las fuentes y de la absorción por los sumideros de todos los gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal, utilizando metodologías comparables que habrán de ser acordadas por la Conferencia de las Partes (CMNUCC, 1992).

Las metodologías realizadas por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (PICC) son aprobadas a nivel internacional. Han sido elaboradas a lo largo de un proceso internacional que ha incluido: la difusión de los borradores preliminares y la compilación de los comentarios de los expertos nacionales; la conducción de ensayos de los métodos; la realización de estudios en varios países; la organización de seminarios técnicos en diferentes regiones; la celebración de reuniones extraoficiales de grupos de expertos para recomendar mejoras a aspectos específicos de la metodología, entre otras actividades.

El PICC ha desarrollado las metodologías siguientes: las *Directrices del PICC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996*; la *Orientación del PICC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, 2000*; la *Orientación sobre las buenas prácticas para uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura, 2003*, y las *Directrices del PICC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*.

### **3.1 Directrices del PICC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996**

Las *Directrices del PICC para los inventarios de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996* (D-PICC-1996) fueron aprobadas por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático en la Ciudad de México en septiembre de ese año (PICC, 1996).

Las directrices están contenidas en tres volúmenes. El primero presenta las *Instrucciones para realizar el inventario de gases de efecto invernadero*, el segundo volumen contiene el *Libro de trabajo* y el tercero es el *Manual de referencia* (PICC, 1996). Para mayor detalle, a continuación se describe el contenido de cada uno de los volúmenes.

El volumen 1 proporciona indicaciones para la recopilación, documentación y transmisión sistemática de los datos del inventario nacional terminado, sea cual fuere el método empleado para obtener las estimaciones. Esas instrucciones están destinadas a garantizar la coherencia de todos los informes y permitir su comparación (PICC, 1996a).

El volumen 2 presenta recomendaciones sobre el modo de planificar un inventario. Ofrece también instrucciones para el cálculo pormenorizado de las

emisiones de bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>), precursores del ozono y aerosoles como son los compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano (COVDM), monóxido de carbono (CO), bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), correspondientes a las seis categorías principales de fuentes de emisión: Energía [1], Procesos Industriales [2], Solventes [3], Agricultura [4], Uso del Suelo, Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura (USCUSS) [5] y Desechos [6] (PICC, 1996b).

El volumen 3 presenta un compendio de la información sobre los métodos empleados para la estimación de las emisiones correspondientes a una gama más amplia de GEI, así como una lista completa de los tipos de fuente para cada uno de ellos. En este volumen se resumen numerosos métodos que podrían emplearse con muchos tipos de fuentes. Incluye también resúmenes de los fundamentos científicos de los métodos de inventarios recomendados y proporciona extensas referencias a la literatura técnica (PICC, 1996c).

Las D-PICC-1996 contienen metodologías por defecto para la estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero, incluyen también varios supuestos y datos por defecto. Esa información se incluye a fin de proporcionar a los usuarios un punto de partida para la elaboración de sus propios supuestos y datos a nivel nacional. Estos datos se utilizan cuando no se dispone de supuestos y datos nacionales. Muchas de las categorías pueden estimarse solamente con un elevado grado de incertidumbre (PICC, 1996).

### **Categoría Procesos Industriales (D-PICC-1996)**

La categoría Procesos Industriales (2) de las Directrices del PICC 1996 contabiliza emisiones de las subcategorías siguientes: industria de los minerales (2A), industria química (2B), industria de los metales (2C), otros procesos industriales (2D), producción de halocarbonos y hexafluoruro de

azufre (2E) y consumo de halocarbonos y hexafluoruro de azufre (2F). La Tabla 2 muestra las emisiones potenciales de gases de efecto invernadero (GEI) en la industria de los minerales de las D-PICC-1996.

Tabla 2. Emisiones potenciales de la industria de los minerales de la categoría Procesos Industriales (D-PICC-1996)

Proceso	Gases de efecto invernadero						Precursores de ozono y aerosoles			
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	PFC	SF <sub>6</sub>	HFC	NO <sub>x</sub>	COVDM	CO	SO <sub>2</sub>
Industria de los minerales 2A										
Producción de cemento 2A1	X									X
Producción de cal 2A2	X									X
Utilización de caliza y dolomita 2A3	X									
Producción y utilización de carbonato sódico 2A4	X									
Producción de material asfáltico para techos 2A5								X	X	
Pavimentación asfáltica 2A6							X	X	X	X
Producción de otros productos minerales (hormigón de piedra pómez, vidrio) 2A7	X	X					X	X	X	X

Fuente: PICC, 1996c

### 3.2 Orientación del PICC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, 2000

Esta metodología es conocida como Guía de Buenas Prácticas (GBP-2000) y ofrece orientación básica para ayudar a los países a producir inventarios que no sean subestimados y en los que la incertidumbre se haya reducido lo más posible. Apoya la elaboración de inventarios transparentes, documentados, coherentes a lo largo del tiempo, completos, comparables, con una evaluación de la incertidumbre, sujetos a control de calidad y garantía de la calidad, y eficientes en cuanto al uso de los recursos (GBP, 2000).

Presenta buenas prácticas para las categorías de Energía, Procesos Industriales, Agricultura, y Desechos. Aborda también temas de metodología importantes como:

- la elección, por medio de árboles de decisiones, de los métodos de estimación apropiados a las circunstancias nacionales;
- las recomendaciones sobre los factores de emisión más apropiados y otros datos necesarios para los cálculos de los inventarios;
- los procedimientos de garantía de la calidad y control de calidad que permitan verificaciones cruzadas durante la compilación del inventario;
- la información que deberá documentarse, archivarse y notificarse para facilitar el análisis de las estimaciones de emisiones;
- la incertidumbre a nivel de la categoría de fuentes.

Proporciona orientaciones sobre la manera de establecer prioridades para las categorías principales de fuentes y, asimismo, muestra la manera y el momento en que deben calcularse nuevamente las estimaciones de emisiones preparadas previamente para garantizar la coherencia de las estimaciones de las tendencias (GBP, 2000).

Describe las buenas prácticas relativas a los procedimientos de garantía de la calidad y control de calidad que deben emplear los organismos encargados de los inventarios en la preparación de los mismos. La orientación sobre las buenas prácticas abarca normas de medición, verificaciones ordinarias de los cálculos y de la exhaustividad de los datos, así como sobre procedimientos de documentación y archivo de datos (GBP, 2000).

Este documento no es una revisión de las Directrices del PICC, ni tampoco sustituye esa publicación, sino que representa una referencia coherente con esas directrices, a las que sirve de complemento.

En la GBP-2000 se actualizaron los factores de emisión por defecto o los valores de los parámetros modelo en los casos en que puede establecerse vínculos y documentarse circunstancias nacionales específicas (GBP, 2000).

### **Categoría Procesos Industriales (GBP-2000)**

La categoría Procesos Industriales de la Guía de Buenas Prácticas de 2000 contabiliza emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFC, PFC y SF<sub>6</sub>. No incluye las emisiones de los gases precursores de ozono como son CO, NO<sub>x</sub> y COVDM. No estima las emisiones asociadas con Solventes y Uso de Otros Productos, ya que los principales gases emitidos son los COVDM.

Brinda orientación sobre buenas prácticas con respecto a las principales categorías de fuentes de emisiones: la producción de cemento, la producción de cal, la industria siderúrgica, la producción de ácido adípico y ácido nítrico, la producción de aluminio, la producción de magnesio, las emisiones de SF<sub>6</sub> procedentes de los equipos eléctricos y de otras fuentes, las emisiones de PFC, HFC y SF<sub>6</sub> procedentes de la fabricación de semiconductores, las emisiones de sustitutos de las sustancias destructoras del ozono (SDO), que abarcan siete subcategorías de fuentes, y la fabricación de HCFC-22 (GBP, 2000).

Cabe mencionar que no hay orientación para la utilización de caliza y dolomita, la producción y utilización del carbonato sódico, la producción y utilización de productos minerales varios, la producción de amoníaco, la producción de carburos, la producción de otras sustancias químicas, las ferroaleaciones, las emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes del aluminio, la producción

de otros metales, el SF<sub>6</sub> utilizado en las fundiciones de aluminio y magnesio, las industrias de pasta y papel y las industrias alimentarias y de bebidas. Estas categorías de fuentes no incluidas en las buenas prácticas deben seguir estimándose con las Directrices del PICC (GBP, 2000).

La Tabla 3 muestra las emisiones potenciales de GEI procedentes de la industria de los minerales de la GBP.

Tabla 3. Emisiones potenciales de la industria de los minerales de la categoría Procesos Industriales (GBP-2000)

Proceso	Gases de efecto invernadero					
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	PFC	SF <sub>6</sub>	HFC
Emisiones de CO <sub>2</sub> procedentes de la industria de los minerales						
Producción de cemento	X					
Producción de cal	X					

Fuente: GBP, 2000

A partir de árboles de decisiones se presentan las mejores prácticas para elegir el método más apropiado, dependiendo que tan desagregada se encuentre la información con la que se cuenta.

### 3.3 Directrices del PICC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero

Las Directrices de 2006 (D-PICC-2006) incluyeron las *Directrices del PICC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996*, junto con la *Orientación sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero* y la *Orientación sobre las buenas prácticas para uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura*. Las Directrices de 2006 tomaron como base estos trabajos y evolucionaron a partir de allí para garantizar que la transición de las directrices anteriores a las nuevas fuera lo más directa posible. Estas nuevas directrices incluyen fuentes y gases nuevos, así como

actualizaciones de los métodos publicados con anterioridad, en la medida en la que ha mejorado el conocimiento científico y técnico (PICC, 2006).

Las Directrices del PICC de 2006 comprenden cinco volúmenes. El primer volumen (Orientación general y generación de informes) describe los pasos básicos para el desarrollo del inventario y ofrece la orientación general respecto de las estimaciones de emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero sobre la base de la comprensión de los autores de las experiencias acumuladas de los países. Los volúmenes 2 (Energía), 3 (Procesos industriales y uso de productos), 4 (Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra) y 5 (Desechos) ofrecen la orientación para las estimaciones en diferentes sectores (PICC, 2006).

Estas directrices brindan recomendaciones sobre los métodos de estimación en tres niveles de detalle, desde el nivel 1 (el método por defecto) hasta el nivel 3 (el más detallado). La recomendación consta de la especificación matemática de los métodos, la información sobre los factores de emisión u otros parámetros que deben usarse al generar las estimaciones y las fuentes de datos de la actividad para estimar el nivel general de las emisiones netas (emisión por fuentes menos absorciones por sumideros) (PICC, 2006).

Aplican el método por niveles mediante árboles de decisiones que guían la selección del nivel que se debe utilizar para estimar la categoría que se está analizando, en vista de las circunstancias nacionales. Estas últimas incluyen la disponibilidad de los datos necesarios y los aportes hechos por la categoría al total de emisiones y absorciones nacionales, así como a su tendencia a través del tiempo (PICC, 2006).

Brindan recomendaciones acerca de: la forma de garantizar que la recopilación de datos sea representativa y que la serie temporal sea coherente; la estimación de las incertidumbres en el nivel de la categoría y

para el inventario en su totalidad; la orientación sobre los procedimientos de garantía y control de la calidad para lograr verificaciones cruzadas durante la compilación del inventario, e información que se debe documentar, archivar y declarar para facilitar la revisión y evaluación de las estimaciones del inventario. Se incluyen cuadros para la generación de informes y hojas de trabajo para los métodos del nivel 1. La utilización de metodologías por niveles y árboles de decisiones, así como la recomendación interdisciplinaria, garantizan que los recursos finitos disponibles para el desarrollo y la actualización del inventario se implementen de forma más eficaz y que el inventario se verifique e informe de manera transparente (PICC, 2006).

### **Categoría Procesos Industriales (D-PICC-2006)**

En la categoría llamada Procesos Industriales y Uso de los Productos (IPPU, por sus siglas en inglés, *Industrial Processes and Product Use*) se abordan las emisiones de GEI provocadas por los procesos industriales, por el uso de GEI en los productos y por los usos no energéticos del carbono contenido en los combustibles fósiles (PICC, 2006).

Las principales fuentes de emisión son las descargas provenientes de los procesos industriales que transforman materias por medios químicos o físicos. Durante estos procesos puede producirse una gran variedad de GEI, incluidos CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFC, PFC y SF<sub>6</sub> (PICC, 2006). La Tabla 4 muestra las emisiones potenciales de la industria de los minerales.

Los HFC se utilizan en productos tales como refrigeradores, espumas o latas de aerosol, como alternativa a las sustancias que agotan la capa de ozono. El SF<sub>6</sub> se utiliza en las instalaciones eléctricas y el N<sub>2</sub>O como propulsor en los productos de aerosol, principalmente en la industria de la alimentación. Una característica del uso de estos productos es que en casi todos los casos puede

transcurrir un tiempo significativo entre la fabricación del producto y la liberación del GEI (PICC, 2006).

El uso del producto se combina con las orientaciones para el proceso industrial porque en muchos casos los datos de producción y de importación/exportación son necesarios para estimar las emisiones de los productos y porque el uso de éstos puede tener lugar también como parte de las actividades industriales, excluidos los sectores no industriales (comercio minorista, servicios, hogares). Por ello, es deseable vincular la estimación de las emisiones asociadas con la producción y el uso de los productos. Los usos no energéticos de los combustibles fósiles comprenden su aplicación como sustancias para la alimentación a procesos, reductores y productos no energéticos en los cuales sus propiedades físicas son utilizadas directamente en vez de ser quemados con propósitos energéticos (PICC, 2006).

Tabla 4. Emisiones potenciales de la industria de los minerales de la categoría Procesos Industriales (D-PICC-2006)

Proceso	Gases de efecto invernadero						
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	HFC	PFC	SF <sub>6</sub>	Otros
2A Industria de los minerales							
2A1 Producción de cemento	X						
2A2 Producción de cal	X						
2A3 Producción de vidrio	X						
2A4 Otros usos de carbonatos en los procesos	X						
2A4a Cerámicas	X						
2A4b Otros usos de la ceniza de sosa	X						
2A4c Producción de magnesia no metalúrgica	X						
2A4d Otros	X						
2A5 Otros	X						

Fuente: PICC, 2006

## 3.4 Software del PICC

### 3.4.1 Software de las D-PICC-1996

Es un *software* que se utiliza para dos objetivos principales:

- Calcular las emisiones en los diferentes sectores y categorías de fuentes.
- Reportar las emisiones por sectores y categorías de fuentes y el inventario nacional a nivel de país.

Este *software* fue preparado por la Unidad de Inventarios de Gases de Efecto Invernadero del PICC, en colaboración con la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) y la Agencia Internacional de Energía (AIE).

El *software* utiliza metodologías de nivel 1 a fin de estimar las emisiones y remociones de GEI para todas las categorías de fuentes descritas en las Directrices del PICC 1996 (S-PICC, 1996).

Está basado en Excel y tiene un sistema de menús personalizados que ayudan al usuario a desplazarse en las hojas de cálculo y las tablas de presentación de informe, también incluye las fórmulas para el cálculo de las emisiones.

Cuenta con ocho hojas de Excel llamadas: Start, Overview, Module 1, Module 2, Module 4, Module 5, Module 5B y Module 6.

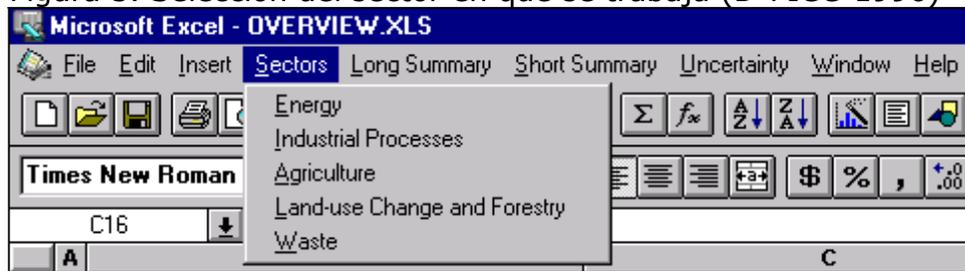
- Start señala el año del inventario que se va a estimar;
- Overview contiene las tablas de presentación de informe que aparecen en las *Instrucciones para realizar el informe* (volumen 1) y permanecerá abierto mientras esté funcionando el *software*.

- Las demás hojas corresponden a cada una de las categorías: Energía (Module1.xls), Procesos Industriales (Module2.xls), Agricultura (Module4.xls), Uso del Suelo, Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura (Module5.xls) y Desechos (Module6.xls.). No se hacen cálculos para el sector Uso de Disolventes y otros productos, ya que en el *Libro de trabajo* no se presenta ninguna metodología para esta categoría.

Cada hoja de trabajo del *software* tiene su propio sistema de menús personalizados que ayudan al usuario a desplazarse en los diferentes campos en que es necesario introducir datos. En el caso de las hojas de trabajo de todas las categorías, las pestañas se identifican con el número de la hoja de trabajo y el número de hoja correspondiente dentro de cada una.

Para preparar el inventario, se indicará el nombre del país, el año y el resto de la información requerida. A continuación se seleccionará la opción "Sectors", que aparece en la parte superior, y se seleccionará el sector con el que se trabajará (p. ej., Energía, Procesos Industriales, Agricultura, etc.) (véase Figura 5). Al seleccionar un sector se crea un nuevo archivo. Ese archivo contiene las hojas de trabajo del *Libro de trabajo* correspondientes a ese sector en específico.

Figura 5. Selección del sector en que se trabaja (D-PICC-1996)



Fuente: S-PICC, 1996

Una vez que se ha seleccionado el sector en que se desea trabajar y que se ha abierto el archivo, deberán seguirse las instrucciones que aparecen en el *Libro*

de trabajo para anotar la información necesaria a fin de estimar las emisiones. El *Libro de trabajo* contiene explicaciones pormenorizadas de la manera en que deben hacerse los cálculos.

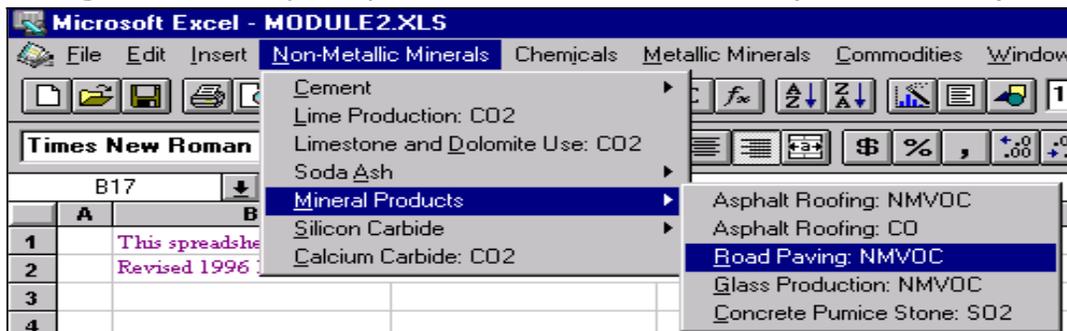
### **Procesos Industriales (Module2.xls)**

Se puede acceder a este archivo seleccionando Sector > Industrial Processes en el menú Overview.xls. Este archivo permite calcular las emisiones correspondientes a la categoría Procesos Industriales empleando los métodos que aparecen en el *Libro de trabajo*. El menú personalizado para este archivo permite desplazarse entre las hojas de trabajo correspondientes a la categoría (Figura 6).

A medida que se llenan las hojas de trabajo por categoría, la información se lleva automáticamente a las tablas sectoriales y al resumen del archivo Overview.xls. El *software* contiene una herramienta que vincula directamente a las tablas de resumen y posibilita al usuario realizar tanto el análisis de nivel o tendencia de las categorías claves.

El *software* proporciona cajas de documentación, en cada hoja de trabajo, con el objetivo de documentar las fuentes de los datos y los pasos dados en la realización de los estimados de emisión.

Figura 6. Menú principal de Procesos Industriales (D-PICC-1996)



Fuente: S-PICC, 1996

### **3.4.2 Software de las D-PICC-2006**

El objetivo de este *software* es implementar metodologías nivel 1 y nivel 2, ya sea para completar inventarios o para categorías o grupos separados de categorías

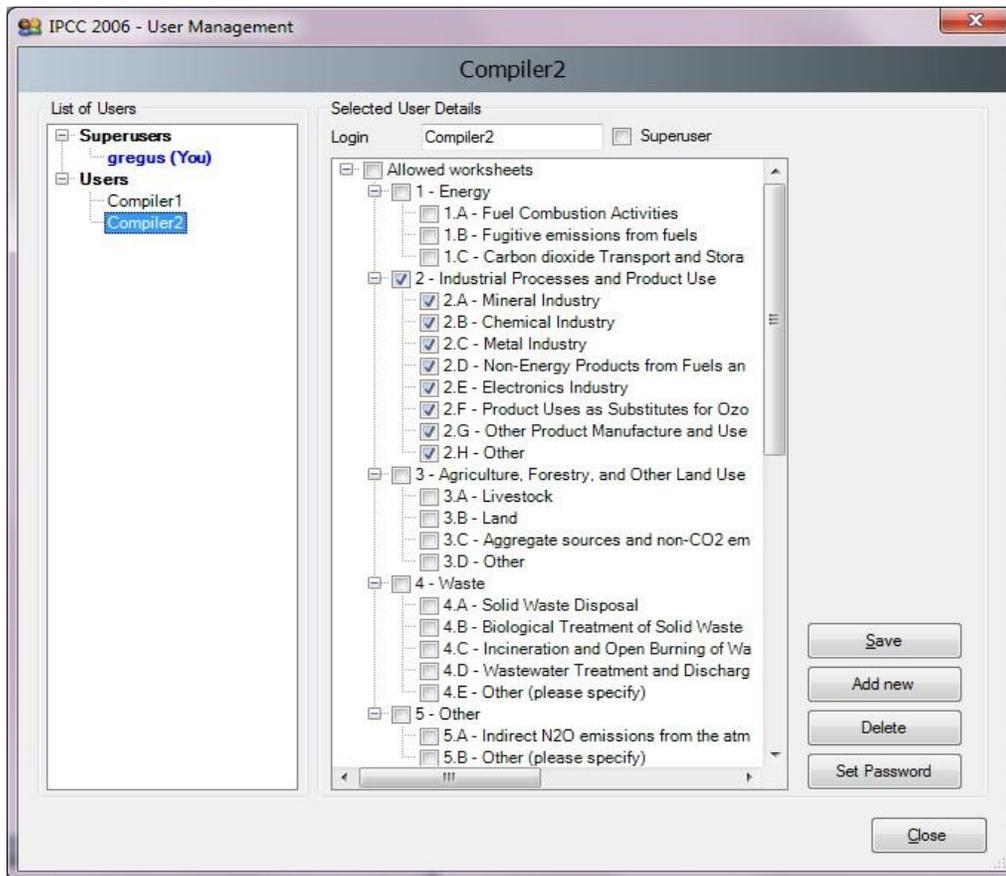
Este *software* fue preparado por el Programa de Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero del PICC y su Unidad Técnica de Apoyo, que se encuentra en el Institute for Global Environmental Strategies (IGES) en Hayama, Japón (S-PICC, 2006).

Cuenta con una serie de mejoras con respecto al *software* de 1996, entre las que destacan:

- Es independiente y no requiere internet.
- Cubre todas las categorías de los inventarios y además se puede utilizar para la gestión de sectores específicos.
- Permite que diferentes partes del inventario se desarrollen de forma simultánea.
- Proporciona datos por defecto de las Directrices del PICC 2006 y es flexible para usar información específica del país.

El enfoque básico del *software* es permitir el llenado de las hojas de trabajo con los datos de actividad y de los factores de emisión. Además, es compatible con muchas otras funciones relacionadas con la administración de bases de datos, control de calidad, la exportación e importación de datos y la presentación de datos.

Figura 7. Selección del sector en que se trabaja (D-PICC-2006)



Fuente: S-PICC, 2006

Figura 8. Menú principal correspondiente a Procesos Industriales (D-PICC-2006)

2006 IPCC Software for National Greenhouse Gas Inventories - gregus - [Worksheets]

Application Database Inventory Year Worksheets Reports Tools Export/Import Administrate Window Help

IPCC 2006 Categories

- 2 - Industrial Processes and Product Use
  - 2.A - Mineral Industry
    - 2.A.1 - Cement production
    - 2.A.2 - Lime production
    - 2.A.3 - Glass Production
    - 2.A.4 - Other Process Uses of Carbonates
      - 2.A.4.a - Ceramics
      - 2.A.4.b - Other Uses of Soda Ash
      - 2.A.4.c - Non Metallurgical Magnesia Prod.
      - 2.A.4.d - Other (please specify)
    - 2.A.5 - Other (please specify)
  - 2.B - Chemical Industry
    - 2.B.1 - Ammonia Production
    - 2.B.2 - Nitric Acid Production
    - 2.B.3 - Adipic Acid Production
    - 2.B.4 - Caprolactam, Glyoxal and Glyoxylic

IPCC 2006 Guidelines

1) Limestone and other carbonate materials also are consumed in a variety of other industries not covered in Chapter 2 of Volume 3. Examples include carbonates used as fluxes and slagging agents in metals smelting and refining (e.g., iron and steel production and base metals such as copper), and as inputs to the chemical industry (e.g., fertiliser). The methods outlined here for estimating emissions from the use of carbonates are applicable to these other industries as well. It is good practice to allocate emissions from the use of limestone, dolomite and other carbonates to the industrial source category where they are emitted (e.g., iron and steel production).

2) 2.A.4.d should contain estimates of emissions that do not fit into any of the major

Other Process Uses of Carbonates

Worksheet: Industrial Processes and Product Use 1990

Sector: Mineral Industry

Category: 2.A.4.a - Ceramics

Subcategory: 1 of 1

Sheet: 1 of 1

Type of Use	A Mass of Carbonate Consumed (tonne)	B Emission Factor for Carbonate Consumption (tonne CO <sub>2</sub> /tonne carbonate)	C CO <sub>2</sub> Emissions (tonne CO <sub>2</sub> )	D CO <sub>2</sub> Emissions (Gg CO <sub>2</sub> )	Uncertainties
			C = A * B	D = C/10 <sup>3</sup>	
Ceramics	1,400	0	0	0	
Other Uses of Soda Ash	600	0.43971	263.826	0.26383	
Non Metallurgical Magnesia Prod.	700	0.41492	290.444	0.29044	
Others - subtotal			845.1216	0.84512	
Total	2,701		1,399.3916	1.39939	

Others - subtotal contains the computed subtotal for "Other carbonate uses" which can be edited under 2.A.4.d subcategory.

Time Series data entry...

Worksheet remarks

2.A.4 wrksheet

2.A.4.a - Time Series

Emissions (Gg CO<sub>2</sub> Equivalents)

Kyoto Protocol Base Year: 1990

Gas: CARBON DIOXIDE (CO<sub>2</sub>)

Country: Slovakia | Inventory Year: 1990 | Base year for assessment of uncertainty in trend: 1990 | CO<sub>2</sub> Equivalents: SAR GWPs (100 year time horizon) | Database file:

Fuente: S-PICC, 2006

# **CAPÍTULO 4. COMPARACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS EN LA INDUSTRIA DE LOS MINERALES**

## **4.1 Comparación de las metodologías**

Las fuentes de emisión en la industria de los minerales de la categoría Procesos Industriales son: producción de cemento; producción de cal; utilización de piedra caliza y dolomita; producción y utilización de carbonato sódico; producción y utilización de productos minerales varios; producción de vidrio, y otros usos de carbonatos en los procesos.

*Las Directrices del PICC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996, establecen una metodología de estimación de emisiones para producción de cemento; producción de cal; utilización de piedra caliza y dolomita; producción y utilización de carbonato sódico y, producción y utilización de productos minerales varios (material asfáltico para techos, pavimentación asfáltica, hormigón de piedra pómez, vidrio). La estimación se realiza con el nivel 1, usando factores de emisión por defecto y datos de actividad de forma agregada.*

*La Orientación del PICC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero establece una metodología de estimación de emisiones para las principales fuentes de emisión, como son la producción de cemento y de cal. La estimación se realiza con los niveles 1 y 2 en el caso del cemento y de nivel 1 para la cal. El nivel 2 requiere datos más detallados como el balance de masa y factores de emisión específicos del proceso.*

Las *Directrices del PICC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero* establecen una metodología de estimación de emisiones para producción de cemento; producción de cal; producción de vidrio, y otros usos de carbonatos en los procesos (cerámicas, otros usos de la ceniza de sosa, producción de magnesia no metalúrgica, y otros). Cuenta con metodología de estimación en los niveles 1, 2 y 3 para todos los sectores.

Con la GBP-2000 y las D-PICC-2006 se cuenta con las mejores prácticas para elegir el método más apropiado a partir de árboles de decisiones, dependiendo que tan desagregada se encuentre la información con la que se dispone.

A continuación se muestra la comparación de la metodología de estimación de emisiones y los factores de emisión para cada fuente. Posteriormente se presentan las necesidades de información para cada metodología y las fuentes de información pública con las que se cuenta, así como la que se podría solicitar directamente en el sector privado.

#### **4.1.1 Producción de cemento**

En la producción de clínker se desprenden emisiones de CO<sub>2</sub>. Este proceso es intermedio en la producción de cemento. A través del proceso denominado calcinación o calcinamiento, el carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>) se calienta, obteniéndose cal (óxido de calcio o CaO) y CO<sub>2</sub>:



La estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> de las D-PICC-1996 se basa en el contenido de cal y la producción clínker. En caso de no contar con estadísticas sobre el clínker, pueden emplearse las estadísticas correspondientes a la producción de cemento. Para la estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes de la producción de clínker se aplica a la producción anual del

mismo un factor de emisión en toneladas del CO<sub>2</sub> liberado por tonelada producida. Las emisiones de bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) corresponden al azufre en el combustible y en la arcilla empleada como materia prima. Para estimar las emisiones de SO<sub>2</sub> procedentes de la producción de cemento se aplica a la producción anual de cemento un factor de emisión, en función del SO<sub>2</sub> liberado por tonelada de cemento producido (PICC, 1996).

El método para la estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> de las GBP-2000 se elige a partir del "Árbol de decisiones para estimar las emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes de la producción de cemento, GBP 2000" (véase Anexo, Figura 12).

- En el nivel 2 es una buena práctica utilizar los datos de la producción de clínker y su contenido de CaO, corrigiéndolos por la pérdida del llamado polvo de horno de cemento (CKD, del inglés *cement kiln dust*).
- En el nivel 1, si no se cuenta con los datos de producción de clínker, se puede utilizar la producción de cemento aplicando una corrección a partir de las estadísticas de importación y exportación de clínker.

La estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> de las D-PICC-2006 debe tomar en cuenta las emisiones asociadas al CKD. Se elige el método a partir del "Árbol de decisiones para estimar las emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes de la producción de cemento, D-PICC-2006" (véase Anexo, Figura 13).

- En el nivel 1 las emisiones se basan en las estimaciones de producción de clínker inferidas de los datos sobre la producción de los diferentes tipos de cemento y se corrigen en función de las exportaciones e importaciones de clínker.
- En el nivel 2 las emisiones se estiman directamente de los datos globales sobre la producción de clínker de nivel de planta o de nivel

nacional, datos sobre el contenido de CaO del clínker y de un factor de emisión, ya sea nacional o por defecto.

- En el nivel 3 consiste en un cálculo, basado en los pesos y en la composición de las entradas de carbonatos, que se aplica a las fuentes de materias primas y de combustibles, a los factores de emisión para los carbonatos y a la fracción de calcinación alcanzada. Se cuenta con los datos específicos de la planta e incluye un ajuste para restar todo carbonato no calcinado contenido del CKD que no se recicle hacia el horno.

Tabla 5. Metodología para la estimación de emisiones de CO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> de la producción de cemento

Método	Metodología	Consideraciones	Factores de emisión
Nivel 1	D-PICC-1996	Emisiones = DA · FE DA: Dato de activad, producción anual de clínker o producción anual de cemento en toneladas Para CO <sub>2</sub> , FE: Factor de emisión en tCO <sub>2</sub> / t clínker producido o t cemento producido Para SO <sub>2</sub> , FE: Factor de emisión en kgSO <sub>2</sub> / t de cemento producido	FE <sub>cl</sub> = 0.5071 tCO <sub>2</sub> / t clínker producido <ul style="list-style-type: none"> <li>Si la fracción (f) de cal en el clínker no es de 0.646, el FE (tCO<sub>2</sub> / t clínker) = 0.5071 x (f) / 0.646</li> </ul> FE = 0.4985 tCO <sub>2</sub> / t cemento producido <ul style="list-style-type: none"> <li>Si la fracción (f) de cal en el cemento no es de 0.635, el FE (tCO<sub>2</sub> / t cemento) = 0.4985 x (f) / 0.635</li> </ul> FE = 0.3 kg SO <sub>2</sub> / t cemento producido Si no se cuenta con información sobre el contenido de azufre y el grado de absorción usar el valor por defecto.
	GBP-2000	Uso de datos de la producción de cemento: Emisiones = FE <sub>cl</sub> · Producción estimada de clínker · Factor de corrección por CKD FE <sub>cl</sub> : Factor de emisión en tCO <sub>2</sub> / t clínker producido Producción estimada de clínker = (Producción de cemento · Fracción de clínker) - Clínker importado + Clínker exportado Nota: El factor de corrección por defecto para el CKD es 1.02.	Factores de emisión basados en estequiometría: FE <sub>cl</sub> = 0.785 · Contenido de CaO (fracción de peso) en el clínker. Se usa el valor por defecto para el CaO de 0.65 FE <sub>cl</sub> = 0.51 tCO <sub>2</sub> / t clínker producido Nota: El factor de multiplicación (0.785) es la relación de peso molecular del CO <sub>2</sub> con el CaO en el mineral de calcita (CaCO <sub>3</sub> ) como materia prima, del cual se deriva la mayor parte o todo el CaO en el clínker
	D-PICC-2006	Estimación de la producción de clínker a través de los datos de producción de cemento Emisiones = [Σ <sub>i</sub> (M <sub>ci</sub> · C <sub>cli</sub> ) - Im + Ex] · FE <sub>cl</sub> M <sub>ci</sub> : cantidad de cemento producido de tipo i, toneladas C <sub>cli</sub> : fracción de clínker del cemento de tipo i, fracción Im: importaciones para el consumo de clínker, toneladas Ex: exportaciones de clínker, toneladas FE <sub>cl</sub> : factor de emisión del clínker en el cemento en particular, tCO <sub>2</sub> / t clínker producido. El factor de emisión por defecto del clínker (FE <sub>cl</sub> ) está corregido para el CKD.	Factor de emisión por defecto: FE <sub>cl</sub> = 0.51 · 1.02 (corrección CKD) FE <sub>cl</sub> = 0.52 tCO <sub>2</sub> / t clínker

Método	Metodología	Consideraciones	Factores de emisión
<b>Nivel 2</b>	D-PICC-1996	NA	NA
	GBP-2000	<p>Uso de los datos de la producción de clínker:</p> <p>Emisiones = <math>FE_{cl}</math> · Producción de clínker · Factor de corrección por CKD</p> <p><math>FE_{cl}</math>: Factor de emisión en tCO<sub>2</sub> / t clínker producido</p> <p>Nota:</p> <p>Este enfoque supone que todo el CaO procede de un carbonato (CaCO<sub>3</sub> en la caliza). Si hay otros carbonatos, debería hacerse un ajuste en el <math>FE_{cl}</math>.</p> <p>El factor de corrección por defecto para el CKD es 1.02.</p>	<p>Factores de emisión basados en estequiometría:</p> <p><math>FE_{cl} = 0.785</math> · Contenido de CaO (fracción de peso) en el clínker</p> <p>Estimar el contenido, recopilando datos de plantas o empresas individuales. Puede usarse el valor por defecto para el CaO de 0.65 en caso de no tener datos.</p> <p><math>FE_{cl} = 0.51</math> tCO<sub>2</sub> / t clínker producido</p> <p>Nota: El factor de multiplicación (0.785) es la relación de peso molecular del CO<sub>2</sub> con el CaO en el mineral de calcita (CaCO<sub>3</sub>) como materia prima, del cual se deriva la mayor parte o todo el CaO en el clínker</p>
	D-PICC-2006	<p>Utilización de los datos sobre producción de clínker</p> <p>Emisiones = <math>M_{cl}</math> · <math>FE_{cl}</math> · <math>CF_{ckd}</math></p> <p><math>M_{cl}</math>: cantidad del clínker producido, toneladas</p> <p><math>FE_{cl}</math>: factor de emisión para el clínker, tCO<sub>2</sub> / t clínker producido</p> <p><math>CF_{ckd}</math>: factor corrector de las emisiones para el CKD, sin dimensión.</p>	<p>Factor de emisión por defecto:</p> <p><math>FE_{cl} = 0.51</math> · 1.02 (corrección CKD)</p> <p>Factor corrector para el CKD no reciclado hacia el horno, sin dimensión.</p> <p><math>CF_{ckd} = 1 + (M_d / M_{cl}) \cdot C_d \cdot F_d \cdot (FE_c / FE_{cl})</math></p> <p><math>CF_{ckd}</math>: factor corrector de las emisiones para el CKD, sin dimensión</p> <p><math>M_d</math>: peso del CKD no reciclado hacia el horno, toneladas</p> <p><math>M_{cl}</math>: peso del clínker producido, toneladas</p> <p><math>C_d</math>: fracción de carbonato original en el CKD (es decir, antes de la calcinación), fracción</p> <p><math>F_d</math>: fracción de la calcinación del carbonato original en el CKD, fracción</p> <p><math>FE_c</math>: factor de emisión para el carbonato, tCO<sub>2</sub> / t de carbonato</p> <p><math>FE_{cl}</math>: factor de emisión del clínker sin corrección para el CKD (es decir, 0.51 tCO<sub>2</sub> / t de clínker)</p> <p>Nota: si se dispone de suficientes datos específicos del país sobre el contenido de CaO del clínker y sobre las entradas de fuentes no carbonatadas de CaO, es una buena práctica estimar un factor de emisión de CO<sub>2</sub> del clínker específico para ese país. En ausencia de datos, el factor corrector es 1.02.</p>

Método	Metodología	Consideraciones	Factores de emisión
<b>Nivel 3</b>	D-PICC-1996	NA	NA
	GBP-2000	NA	NA
	D-PICC-2006	<p>Utilización de los datos sobre entradas de carbonatos:</p> $\text{Emisiones} = [\sum_i (FE_i \cdot M_i \cdot F_i)] - [M_d \cdot C_d \cdot (1-F_d) \cdot FE_d] + [\sum_k (M_k \cdot X_k \cdot FE_k)]$ <p><i>Emisiones de los carbonatos</i></p> <p>FE<sub>i</sub>: factor de emisión para el carbonato en particular <i>i</i>, tCO<sub>2</sub> / t carbonato</p> <p>M<sub>i</sub>: cantidad del carbonato <i>i</i> consumido en el horno, toneladas</p> <p>F<sub>i</sub>: fracción de calcinación alcanzada para el carbonato <i>i</i>, fracción</p> <p><i>Emisiones de CKD no calcinado ni reciclado hacia el horno</i></p> <p>M<sub>d</sub>: cantidad del CKD no reciclado hacia el horno, toneladas</p> <p>C<sub>d</sub>: fracción del peso del carbonato original en el CKD no reciclado hacia el horno, fracción</p> <p>F<sub>d</sub>: fracción de calcinación alcanzada para el CKD no reciclado hacia el horno, fracción</p> <p>FE<sub>d</sub>: factor de emisión para el carbonato no calcinado contenido del CKD que no es reciclado hacia el horno, tCO<sub>2</sub> / t de carbonato</p> <p><i>Emisiones de materiales no combustibles que contienen carbono</i></p> <p>M<sub>k</sub>: cantidad de la materia prima orgánica <i>k</i>, u otra materia prima no combustible que contiene carbono, toneladas</p> <p>X<sub>k</sub>: fracción del total de materia orgánica u otro carbono en la materia no combustible específica <i>k</i>, fracción</p> <p>FE<sub>k</sub>: factor de emisión para la materia prima no combustible <i>k</i>, que contiene kerógeno (u otro carbono), tCO<sub>2</sub> / t carbonato</p>	Se basan en el contenido efectivo en CO <sub>2</sub> de los carbonatos presentes. Requiere una contabilización completa de los carbonatos (especies y fuentes).

Nota: NA significa que no existe metodología para ese nivel de estimación.

Fuente: Elaboración propia con datos de las D-PICC-1996, GBP-2000 y D-PICC-2006.

La estimación de emisiones por la producción de cemento cuenta con método de nivel 1 para las tres metodologías; con nivel 2 para la metodología de la GBP-2000 y D-PICC-2006, y con nivel 3 para la metodología de las D-PICC-2006 (Tabla 5).

En el nivel 1 se considera la producción de clínker en cualquiera de las metodologías, pero se agrega un factor de corrección para el polvo de horno de cemento (CKD) en la GBP-2000 y las D-PICC-2006. En la metodología de las D-PICC-1996 existe un factor de emisión para la producción de cemento y en las otras dos metodologías el factor es para el clínker; si no se tiene información sobre éste, se debe estimar a partir de la producción de cemento y una corrección para las exportaciones e importaciones de clínker.

En el nivel 2 se usan los datos de producción de clínker de estadísticas nacionales y se agrega el factor de corrección para el CKD en la GBP-2000 y las D-PICC-2006.

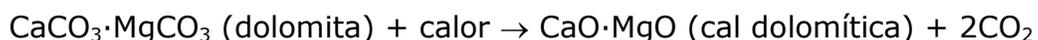
En el nivel 3 se utilizan los datos de entrada de todos los carbonatos, el CKD no calcinado ni reciclado hacia el horno y materiales no combustibles que contienen carbono.

#### **4.1.2 Producción de cal**

El óxido de calcio (CaO o cal viva) se forma al calentar la piedra caliza para descomponer los carbonatos. Se hace generalmente en hornos de caña u hornos rotatorios a altas temperaturas y en el proceso se libera CO<sub>2</sub>, según la reacción siguiente:



La dolomita y las piedras calizas dolomíticas (con fuerte proporción de magnesio) pueden también procesarse a altas temperaturas para obtener cal dolomítica (y liberar CO<sub>2</sub>), según la reacción siguiente:



En la estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> de las D-PICC-1996 se aplica un factor de emisión, en toneladas de emisiones de CO<sub>2</sub> por tonelada de cal producida, a la producción anual de cal (PICC, 1996).

El método para la estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> de las GBP-2000 se elige a partir del "Árbol de decisiones para estimar las emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes de la producción de cal, GBP 2000" (véase Anexo, Figura 14). La buena práctica para estimar estas emisiones consiste en determinar la producción completa de CaO y CaO·MgO a partir de los datos de producción de cal. La exactitud depende de obtener estadísticas completas de la producción de cal y establecer la proporción de los diferentes tipos de cal como son: grasa (CaO + impurezas); dolomítica (CaO·MgO + impurezas); hidráulica (CaO + silicatos de calcio). Los factores de emisión por defecto de las Directrices del PICC corresponden a 100% de CaO (o de CaO·MgO) en la cal (razón estequiométrica) y pueden sobrestimar las emisiones, pues el contenido de CaO y, en su caso, de MgO puede ser inferior a 100% (GBP, 2000).

El método para la estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> de las D-PICC-2006 se elige a partir del "Árbol de decisiones para la estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes de la producción de cal, D-PICC, 2006" (véase Anexo, Figura 15). Durante la producción de cal puede generarse polvo de horno de cal (LKD, del inglés, *lime kiln dust*).

- El nivel 1 se basa en la aplicación de un factor de emisión por defecto a los datos nacionales de producción de cal. El factor de emisión se basa en los cocientes estequiométricos que representan la cantidad de CO<sub>2</sub> liberado por el carbonato precursor de la cal, si se supone que el grado de calcinación alcanzado es de 100% y que no hay LKD.
- El nivel 2 requiere de información específica del país sobre la proporción de cal hidratada que se produce. Se deben obtener las proporciones típicas de producto de cal respecto de la producción de LKD a nivel de planta. El factor de emisión para la producción de cal en el nivel 2 refleja las proporciones estequiométricas entre el CaO y/o el CaO·MgO, así como el ajuste que da cuenta del contenido de CaO o CaO·MgO de la cal. Este nivel requiere la utilización de datos sobre la producción nacional de cal por tipos.
- El nivel 3 se basa en la recolección de datos específicos de la planta sobre el tipo o los tipos y cantidades de carbonatos consumidos para producir cal, así como sobre el factor o los factores de emisión respectivos del carbonato o los carbonatos consumidos. En este método hay una corrección para el LKD; esta corrección no es necesaria para las emisiones provenientes de materiales no combustibles que contienen carbono. El LKD rara vez es reciclado hacia el horno de cal, no obstante este polvo puede usarse como suministro para un horno de cemento (PICC, 2006).

Una buena práctica consiste en incluir una corrección para la cal hidratada bajo el nivel 2 y, en los casos que haya datos disponibles, bajo el nivel 1. Si no se dispone de datos para el nivel 1, es una buena práctica suponer que la producción de cal hidratada es nula.

En el Anexo (Tablas 14 y 15) se presentan los parámetros básicos para calcular los factores de emisión para la producción de cal.

Tabla 6. Metodología para la estimación de emisiones de CO<sub>2</sub> de la producción de cal

Método	Metodología	Consideraciones	Factores de emisión
<b>Nivel 1</b>	D-PICC-1996	Emisiones = DA · FE DA: Dato de actividad, producción anual por tipo de cal en toneladas FE: Factor de emisión en kgCO <sub>2</sub> / t cal producida	FE = 785 kgCO <sub>2</sub> / t cal viva producida FE = 915 kgCO <sub>2</sub> / t cal dolomítica producida
	GBP-2000	Emisiones = DA · FE DA: Dato de actividad, producción anual por tipo de cal en toneladas FE: Factor de emisión en kgCO <sub>2</sub> / t cal producida	FE = 750 kgCO <sub>2</sub> / t cal grasa FE = 860 kgCO <sub>2</sub> / t cal dolomítica FE = 590 kgCO <sub>2</sub> / t cal hidráulica
	D-PICC-2006	Emisiones = DA · FE DA: Dato de actividad, producción anual por tipo de cal en toneladas FE: Factor de emisión en kgCO <sub>2</sub> / t cal producida	FE <sub>defecto</sub> = 750 kgCO <sub>2</sub> / t de cal producida FE <sub>cal (fuerte proporción de calcio)</sub> = 750 kgCO <sub>2</sub> / t cal producida FE <sub>cal de dolomita</sub> = 770 kgCO <sub>2</sub> / t cal producida FE <sub>cal hidráulica</sub> = 590 kgCO <sub>2</sub> / t cal producida
<b>Nivel 2</b>	D-PICC-1996	NA	NA
	GBP-2000	NA	NA
	D-PICC-2006	Emisiones basadas en los datos de producción nacional de cal, por tipos: $\text{Emisiones} = \sum_i (FE_{cal,i} \cdot M_{i,i} \cdot CF_{lkd,i} \cdot C_{h,i})$ FE <sub>cal,i</sub> : factor de emisión para la cal de tipo i, tCO <sub>2</sub> / t de cal M <sub>i,i</sub> : producción de cal de tipo i, toneladas CF <sub>lkd,i</sub> : factor corrector para el LKD para la cal de tipo i, sin dimensión C <sub>h,i</sub> : factor corrector para la cal hidratada del tipo de cal i, sin dimensión i: cada uno de los tipos de cal	FE <sub>cal,a</sub> = SR <sub>CaO</sub> · Contenido en CaO FE <sub>cal,b</sub> = SR <sub>CaO-MgO</sub> · Contenido en MgO FE <sub>cal,c</sub> = SR <sub>CaO</sub> · Contenido en CaO FE <sub>cal,a</sub> : factor de emisión para la cal, tCO <sub>2</sub> / t de cal FE <sub>cal,b</sub> : factor de emisión para la cal dolomítica, tCO <sub>2</sub> / t de cal FE <sub>cal,c</sub> : factor de emisión para la cal hidráulica, tCO <sub>2</sub> / t de cal SR <sub>CaO</sub> : cociente estequiométrico del CO <sub>2</sub> y CaO, tCO <sub>2</sub> / t de cal SR <sub>CaO-MgO</sub> : cociente estequiométrico del CO <sub>2</sub> y del CaO-MgO, tCO <sub>2</sub> / t de cal Contenido de CaO: proporción de CaO en la cal, t de CaO / t de cal Contenido de CaO-MgO: proporción de CaO-MgO en la cal, t de CaO-MgO / t de cal

Método	Metodología	Consideraciones	Factores de emisión
<b>Nivel 3</b>	D-PICC-1996	NA	NA
	GBP-2000	NA	NA
	D-PICC-2006	<p>Emisiones basadas en las entradas de carbonatos:</p> $\text{Emisiones} = \sum_i (FE_i \cdot M_i \cdot F_i) - [M_d \cdot C_d \cdot (1-F_d) \cdot FE_d]$ <p>FE<sub>i</sub>: factor de emisión para el carbonato en particular i, tCO<sub>2</sub> / t de carbonato</p> <p>M<sub>i</sub>: peso o masa del carbonato i consumido en el horno, toneladas</p> <p>F<sub>i</sub>: fracción de calcinación alcanzada para el carbonato i, fracción</p> <p>M<sub>d</sub>: peso o masa del LKD, toneladas</p> <p>C<sub>d</sub>: fracción del peso del carbonato original en el LKD, fracción</p> <p>F<sub>d</sub>: fracción de calcinación alcanzada para el LKD, fracción</p> <p>FE<sub>d</sub>: factor de emisión para el carbonato no calcinado en el LKD, tCO<sub>2</sub> / t de carbonato</p>	Se basa en los carbonatos (especies y fuentes) efectivamente presentes y puede incluir una corrección del polvo de horno de cal no calcinado.

Nota: NA significa que no existe metodología para ese nivel de estimación.

Fuente: Elaboración propia con datos de las D-PICC-1996, GBP-2000 y D-PICC-2006.

La estimación de emisiones por la producción de cal cuenta con método de nivel 1 para las tres metodologías, y de niveles 2 y 3 para la metodología de las D-PICC-2006 (Tabla 6).

En el nivel 1 se considera la producción por tipo de cal en cualquiera de las metodologías. En la metodología de las D-PICC-1996 hay factores de emisión para la producción de cal viva y dolomítica, mientras que en la GBP-2000 y D-PICC-2006 hay factor para cal grasa, dolomítica e hidráulica.

En el nivel 2 se usan los datos por tipo de cal de estadísticas nacionales y se agrega el factor de corrección para el polvo de horno de cal (LKD) y el factor corrector para la cal hidratada en las D-PICC-2006.

En el nivel 3 se utilizan los datos de entrada de todos los carbonatos y el LKD no calcinado ni reciclado hacia el horno en las D-PICC-2006.

#### **4.1.3 Utilización de piedra caliza y dolomita; producción y utilización de carbonato sódico, y otros usos de carbonatos en los procesos**

La piedra caliza, la dolomita y otros carbonatos (cerámicas, carbonato sódico, magnesia no metalúrgica) son materias primas que tienen aplicaciones industriales y que, al someterse a la calcinación de los compuestos carbonatados, producen la liberación de CO<sub>2</sub>.

Para la estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> de las D-PICC-1996 procedentes de la utilización de piedra (caliza o dolomita) se aplica un factor de emisión, en kilogramos de emisiones de CO<sub>2</sub> por tonelada de piedra, al volumen anual de piedra (caliza o dolomita) utilizada. Se parte del supuesto de que el consumo de piedra caliza o de dolomita en toneladas anuales es igual a la suma del material extraído de las minas (o dragado) y del material importado, una vez restado el material exportado. Deberán excluirse de este cálculo la piedra

caliza o la dolomita utilizadas en la producción de cemento, cal y magnesio, actividades y procesos agrícolas en que no se genera CO<sub>2</sub> (PICC, 1996).

La estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> de las D-PICC-1996 procedentes de la producción de carbonato sódico varía considerablemente dependiendo del proceso de fabricación. En la producción de carbonato sódico pueden emplearse cuatro procesos diferentes. Tres de esos procesos, el monohidratado, el sesquicarbonato y la carbonación directa, se consideran procesos naturales. El cuarto, el proceso Solvay, está clasificado como proceso sintético. Durante el proceso de producción, la trona (el principal mineral empleado en la fabricación de carbonato sódico natural) se calcina en un horno rotatorio y se transforma químicamente en carbonato sódico bruto. Como subproductos de ese proceso se generan bióxido de carbono y agua. Para la estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes de la producción de carbonato sódico (proceso natural) se aplica un factor de emisión, en kilogramos de CO<sub>2</sub> por tonelada de trona; y para las emisiones procedentes de la utilización de carbonato sódico se aplica un factor de emisión, en kilogramos de CO<sub>2</sub> por tonelada de carbonato sódico utilizado (PICC, 1996).

El método para la estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> de las D-PICC-2006 se elige a partir del "Árbol de decisiones para la estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes de otros usos de los carbonatos en los procesos, D-PICC, 2006" (véase Anexo, Figura 16).

- El nivel 1 supone que sólo la piedra caliza y la dolomita se usan como entradas de carbonatos en la industria y se permite el empleo de una fracción por defecto de piedra caliza en contraposición a la dolomita consumida. Se debe garantizar que los datos sobre los carbonatos reflejen carbonatos puros y no las rocas carbonatadas. Si sólo se dispone de datos sobre las rocas carbonatadas, se puede suponer una pureza por defecto de 95%. Si no se dispone de otra información, para

las arcillas se puede suponer un contenido de carbonato por defecto de 10%.

- En el nivel 2 la cantidad de CO<sub>2</sub> emitido por la utilización de la caliza y de la dolomita se estima a partir de una consideración de consumo y de la estequiometría del proceso químico. Se requieren datos nacionales sobre la cantidad de piedra caliza y de dolomita consumida en el país. No es una buena práctica usar un valor por defecto para asignar la proporción relativa de estos dos carbonatos primarios.
- En el nivel 3 la estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> se basa en un análisis de todos los usos de carbonatos que producen emisiones.

Tabla 7. Metodología para la estimación de emisiones de CO<sub>2</sub> de la utilización de piedra caliza y de dolomita, la producción y utilización de carbonato sódico, y otros usos de carbonatos en los procesos

Método	Metodología	Consideraciones	Factor de emisión
Nivel 1	D-PICC-1996	<p>Caliza y dolomita</p> <p>Emisiones = DA · FE</p> <p>DA: Dato de actividad, volumen anual de (caliza o dolomita utilizada) en toneladas</p> <p>FE: Factor de emisión en kgCO<sub>2</sub> / t piedra (caliza o dolomita utilizada)</p> <p>Carbonato sódico</p> <p>Emisiones = DA · FE</p> <p>DA: Dato de actividad, volumen anual de carbonato sódico producido y utilizado en toneladas</p> <p>FE: Factor de emisión en kgCO<sub>2</sub> / t material producido o utilizado</p>	<p>FE<sub>caliza</sub>: 440 kgCO<sub>2</sub> / t de la piedra caliza utilizada</p> <p>Si se conoce la pureza fraccionaria (f) de la piedra caliza en CaCO<sub>3</sub> por tonelada de materia prima total, el FE (kgCO<sub>2</sub> / t piedra caliza) = 440 x (f)</p> <p>FE<sub>dolomita</sub>: 477 kgCO<sub>2</sub> / t de dolomita utilizada</p> <p>Si se conoce la pureza fraccionaria (f) de la dolomita en CaCO<sub>3</sub> · MgCO<sub>3</sub> por tonelada de materia prima total, el FE (kgCO<sub>2</sub> / t dolomita) = 477 x (f)</p> <p>FE<sub>carbonato sódico</sub>: 97 kgCO<sub>2</sub> / t trona (proceso natural)</p> <p>FE<sub>carbonato sódico</sub>: 415 kgCO<sub>2</sub> / t carbonato sódico utilizado</p>
	GBP-2000	NA	NA
	D-PICC-2006	<p>Emisiones basadas en la masa de los carbonatos consumidos:</p> <p>Emisiones = M<sub>c</sub> · (0.85 FE<sub>is</sub> + 0.15 FE<sub>d</sub>)</p> <p>M<sub>c</sub>: masa del carbonato consumido, toneladas</p> <p>FE<sub>is</sub> o FE<sub>d</sub>: factor de emisión para la calcinación de la piedra caliza o de la dolomita, tCO<sub>2</sub> / t de carbonato</p> <p>Nota:</p> <p>La ceniza de sosa es esencialmente carbonato sódico, no piedra caliza ni dolomita. Por ello, el método de nivel 1 para la ceniza de sosa no requiere la fracción por defecto de 85/15%. Las emisiones se estiman mediante la multiplicación de la cantidad de ceniza de sosa consumida a nivel nacional por el factor de emisión por defecto del carbonato sódico.</p>	<p>Se basa en la masa de CO<sub>2</sub> liberado por masa de carbonato consumido.</p> <p>FE<sub>calcita</sub>: 0.43971 tCO<sub>2</sub> / t de carbonato</p> <p>FE<sub>magnesita</sub>: 0.52197 tCO<sub>2</sub> / t de carbonato</p> <p>FE<sub>dolomita</sub>: 0.47732 tCO<sub>2</sub> / t de carbonato</p> <p>FE<sub>siderita</sub>: 0.37987 tCO<sub>2</sub> / t de carbonato</p> <p>FE<sub>ankerita</sub>: 0.40822–0.47572 tCO<sub>2</sub> / t de carbonato</p> <p>FE<sub>rhodochrosita</sub>: 0.38286 tCO<sub>2</sub> / t de carbonato</p> <p>FE<sub>carbonato sódico</sub>: 0.41492 tCO<sub>2</sub> / t de carbonato</p>

Método	Metodología	Consideraciones	Factor de emisión
<b>Nivel 2</b>	D-PICC-1996	NA	NA
	GBP-2000	NA	NA
	D-PICC-2006	<p>Método para otros usos de los carbonatos en los procesos:</p> $\text{Emisiones} = ( M_{ls} \cdot FE_{ls} ) + ( M_d \cdot FE_d )$ <p><math>M_{ls}</math> o <math>M_d</math>: masa de piedra caliza o dolomita, respectivamente (consumo), toneladas</p> <p><math>FE_{ls}</math> o <math>FE_d</math>: factor de emisión para la calcinación de la piedra caliza o de la dolomita, respectivamente, tCO<sub>2</sub>/ t de carbonato.</p>	<p>Se basa en la masa de CO<sub>2</sub> liberado por masa de carbonato consumido.</p> <p><math>FE_{\text{calcita}}</math>: 0.43971 tCO<sub>2</sub>/ t de carbonato</p> <p><math>FE_{\text{magnesita}}</math>: 0.52197 tCO<sub>2</sub>/ t de carbonato</p> <p><math>FE_{\text{dolomita}}</math>: 0.47732 tCO<sub>2</sub>/ t de carbonato</p> <p><math>FE_{\text{siderita}}</math>: 0.37987 tCO<sub>2</sub>/ t de carbonato</p> <p><math>FE_{\text{ankerita}}</math>: 0.40822–0.47572 tCO<sub>2</sub>/ t de carbonato</p> <p><math>FE_{\text{rhodochrosita}}</math>: 0.38286 tCO<sub>2</sub>/ t de carbonato</p> <p><math>FE_{\text{carbonato sódico}}</math>: 0.41492 tCO<sub>2</sub>/ t de carbonato</p>
<b>Nivel 3</b>	D-PICC-1996	NA	NA
	GBP-2000	NA	NA
	D-PICC-2006	<p>Método de las entradas de carbonato para otros usos de los carbonatos en los procesos:</p> $\text{Emisiones} = \sum_i ( M_i \cdot FE_i \cdot F_i )$ <p><math>M_i</math>: masa del carbonato <math>i</math> consumido, toneladas (respecto de la pureza)</p> <p><math>FE_i</math>: factor de emisión para el carbonato <math>i</math>, tCO<sub>2</sub>/ t de carbonato</p> <p><math>F_i</math>: fracción de calcinación alcanzada para el carbonato particular <math>i</math>, fracción. Cuando se desconozca la fracción de calcinación alcanzada para un carbonato en particular, puede suponerse que la fracción de calcinación es igual a 1.00.</p> <p><math>i</math>: uno de los usos de carbonatos.</p>	<p>Se requiere el cómputo completo de los carbonatos (especies y fuentes)</p>

Nota: NA significa que no existe metodología para ese nivel de estimación.

Fuente: Elaboración propia con datos de las D-PICC-1996, GBP-2000 y D-PICC-2006.

La estimación de emisiones cuenta con método de nivel 1 para las metodologías de las D-PICC-1996 y D-PICC-2006, y de niveles 2 y 3 para la metodología del PICC-2006 (Tabla 7).

En el nivel 1 se consideran las emisiones por la utilización de caliza, dolomita y carbonato sódico para las dos metodologías. En la metodología de las D-PICC-1996 se consideran las emisiones por la producción de carbonato sódico, pero en las D-PICC-2006 estas emisiones ya no se consideran parte de la industria de los minerales, por lo que su estimación corresponde a la industria química. En las D-PICC-2006 se usa un factor promedio para caliza y dolomita.

En el nivel 2 se usan los datos por tipo de carbonato consumido en el proceso y se ocupa un factor de emisión independiente para la caliza y la dolomita; en el nivel 3 se utilizan los datos de entrada de todos los carbonatos consumidos en el proceso para las D-PICC-2006.

#### **4.1.4 Producción y utilización de productos minerales varios, y producción de vidrio**

Las principales materias primas del vidrio que emiten CO<sub>2</sub> durante el proceso de fundición son: la piedra caliza (CaCO<sub>3</sub>), la dolomita (CaCO<sub>3</sub>·MgCO<sub>3</sub>) y la ceniza de sosa (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>).

El método para la estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> de las D-PICC-2006 se elige a partir del "Árbol de decisiones para la estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes de la producción de vidrio, D-PICC, 2006" (véase Anexo, Figura 17).

- En el nivel 1 se aplica un factor de emisión y una proporción de vidrio reciclado (*cullet*) por defecto a las estadísticas nacionales sobre producción de vidrio.

- El nivel 2 se basa en los distintos procesos de fabricación de vidrio empleados en el país (p. ej., vidrio flotado, vidrio de recipientes, fibra de vidrio, etc.), así como tipos y proporciones de materias primas. Se aplican factores de emisión por defecto para cada proceso de fabricación de vidrio. Sin embargo, la estimación debe corregirse debido al hecho de que una parte del *cullet* puede suministrarse también al horno.
- El nivel 3 se basa en la contabilización de la entrada de carbonato al horno de fundición de vidrio (PICC, 2006).

Tabla 8. Metodología para la estimación de emisiones de CO<sub>2</sub> y precursores de ozono de la producción y utilización de productos minerales varios, y la producción de vidrio

Método	Metodología	Consideraciones	Factores de emisión
Nivel 1	D-PICC-1996	<p>Emisiones = DA · FE</p> <p>DA: Dato de activad, volumen anual de mineral producido en toneladas</p> <p>FE: Factor de emisión en kg gas / t mineral producido</p>	<p>Material asfáltico para techos</p> <p>FE<sub>producción</sub> (saturación con rociado): 0.13-0.16 kgCOVDM / t de producto</p> <p>FE<sub>producción</sub> (saturación sin rociado): 0.046-0.049 kgCOVDM / t de producto</p> <p>FE<sub>producción</sub> (saturación sin rociado): 0.0095 kgCO / t producto</p> <p>FE<sub>proceso de soplado del asfalto</sub> (con postquemador): 0.1 kgCOVDM / t producto</p> <p>FE<sub>proceso de soplado del asfalto</sub> (ningún control): 2.4 kgCOVDM / t producto</p> <p>Pavimentación asfáltica</p> <p>FE: 320 kgCOVDM / t de superficie pavimentada</p> <p>FE: 0.12 kgSO<sub>2</sub> / t producida planta de asfalto</p> <p>FE: 0.084 kgNO<sub>x</sub> / t producida planta de asfalto</p> <p>FE: 0.035 kgCO / t producida planta de asfalto</p> <p>FE: 0.023 kgCOVDM / t producida planta de asfalto</p> <p>Hormigón de piedra pómez</p> <p>FE: 0.5 kgSO<sub>2</sub> / t de producto</p> <p>Vidrio</p> <p>FE: 4.5 kgCOVDM / t de vidrio</p>
	GBP-2000	NA	NA
	D-PICC-2006	<p>Emisiones basadas en la producción de vidrio</p> <p>Emisiones = Mg · FE · (1 – CR)</p> <p>Mg: masa del vidrio producido, toneladas</p> <p>FE: factor de emisión por defecto para la fabricación del vidrio, tCO<sub>2</sub> / t de vidrio</p> <p>CR: proporción de <i>cullet</i> para el proceso (promedio nacional o valor por defecto), fracción</p>	<p>FE: 0.167/0.84 = 0.2 tCO<sub>2</sub> / t de vidrio</p> <p>Nota:</p> <p>Se supone una proporción de <i>cullet</i> por defecto de 50%.</p> <p>Una tonelada métrica de materia prima rinde aproximadamente 0.84 toneladas de vidrio y pierde 16.7% de su peso en materias volátiles, casi todo en forma de CO<sub>2</sub>.</p>

Método	Metodología	Consideraciones	Factores de emisión
<b>Nivel 2</b>	D-PICC-1996	NA	NA
	GBP-2000	NA	NA
	D-PICC-2006	<p>Emisiones basadas en el proceso de fabricación del vidrio</p> $\text{Emisiones} = \sum_i [M_{g,i} \cdot FE_i \cdot (1 - CR_i)]$ <p>Mg,i: masa de vidrio fundido de tipo i (p. ej., flotado, recipiente, fibra de vidrio, etc.), toneladas</p> <p>FEi: factor de emisión para la fabricación de vidrio del tipo i, toneladas de CO<sub>2</sub> / toneladas de vidrio fundido</p> <p>CRi: proporción de <i>cullet</i> para la fabricación de vidrio del tipo i, fracción</p>	<p>Factores de emisión y proporciones de <i>cullet</i> por defecto:</p> <p>FE<sub>a</sub>: 0.21 kgCO<sub>2</sub> / kg de vidrio, % Cullet<sub>a</sub>: 10-25</p> <p>FE<sub>b</sub>: 0.21 kgCO<sub>2</sub> / kg de vidrio, % Cullet<sub>b</sub>: 30-60</p> <p>FE<sub>c</sub>: 0.21 kgCO<sub>2</sub> / kg de vidrio, % Cullet<sub>c</sub>: 30-80</p> <p>FE<sub>d</sub>: 0.19 kgCO<sub>2</sub> / kg de vidrio, % Cullet<sub>d</sub>: 0-15</p> <p>FE<sub>e</sub>: 0.25 kgCO<sub>2</sub> / kg de vidrio, % Cullet<sub>e</sub>: 10-50</p> <p>FE<sub>f</sub>: 0.18 kgCO<sub>2</sub> / kg de vidrio, % Cullet<sub>f</sub>: 20-75</p> <p>FE<sub>g</sub>: 0.13 kgCO<sub>2</sub> / kg de vidrio, % Cullet<sub>g</sub>: 20-70</p> <p>FE<sub>h</sub>: 0.10 kgCO<sub>2</sub> / kg de vidrio, % Cullet<sub>h</sub>: 20-60</p> <p>FE<sub>i</sub>: 0.03 kgCO<sub>2</sub> / kg de vidrio, % Cullet<sub>i</sub>: 30-75</p> <p>FE<sub>j</sub>: 0.20 kgCO<sub>2</sub> / kg de vidrio, % Cullet<sub>j</sub>: 40-70</p> <p>Nota: a: flotado, b: recipiente (<i>flint</i>), c: recipiente (ámbar/verde), d: fibra de vidrio (<i>e-glass</i>), e: fibra de vidrio (aislamiento), f: especial (pantalla de tv), g: especial (tubo de tv), h: especial (vajilla), i: especial (laboratorio y/o farmacia), j: especial (iluminación).</p>
<b>Nivel 3</b>	D-PICC-1996	NA	NA
	GBP-2000	NA	NA
	D-PICC-2006	<p>Emisiones basadas en las entradas de carbonatos (vidrio)</p> $\text{Emisiones} = \sum_i (M_i \cdot FE_i \cdot F_i)$ <p>FE<sub>i</sub>: factor de emisión para el carbonato en particular i, toneladas de CO<sub>2</sub> / toneladas de carbonato</p> <p>M<sub>i</sub>: peso o masa del carbonato i consumido (extraído de la mina), toneladas</p> <p>F<sub>i</sub>: fracción de calcinación alcanzada para el carbonato i, fracción</p>	<p>Se basa en el contenido real de CO<sub>2</sub> de los carbonatos consumidos en el horno de fundición. Se requiere la contabilización completa de los carbonatos (especies y fuentes)</p> <p>Nota:</p> <p>Cuando se desconozca la fracción de calcinación alcanzada para un carbonato en particular, puede suponerse que la fracción de calcinación es igual a 1.00.</p>

Nota: NA significa que no existe metodología para ese nivel de estimación.

Fuente: Elaboración propia con datos de las D-PICC-1996, GBP-2000 y D-PICC-2006.

La estimación de emisiones de CO<sub>2</sub> por la producción de vidrio cuenta con método de nivel 1 para las metodologías de las D-PICC-1996 y D-PICC-2006, y de niveles 2 y 3 para la metodología de las D-PICC-2006 (Tabla 8).

En el nivel 1 se consideran las emisiones de precursores de ozono por la producción de minerales varios y de vidrio. En la metodología de las D-PICC-1996 sólo se consideran emisiones de precursores de ozono y en las D-PICC-2006 las emisiones de CO<sub>2</sub>. En estas últimas directrices se agrega la proporción de *cullet* para el proceso.

En el nivel 2 se usan los datos del proceso de fabricación del vidrio y se agrega la proporción de *cullet* en el proceso para las D-PICC-2006.

En el nivel 3 se utilizan los datos de entrada de todos los carbonatos consumidos en el proceso para las D-PICC-2006.

## **4.2 Fuentes de información disponible para cada metodología**

A continuación se muestran las fuentes de información disponible para cada sector y metodología.

Tabla 9. Información disponible de la producción de cemento

Método	Metodología	Consideraciones	Fuente
Nivel 1	D-PICC-1996	<p>Las emisiones se basan en el contenido de cal y la producción de clínker.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Producción de clínker (toneladas/año) y contenido de cal.</li> </ul> <p>Si no se cuenta con información de clínker, pueden utilizarse los datos de cemento.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Producción de cemento (toneladas/año).</li> </ul>	<p>El Banco de Información Económica (BIE) del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) reporta la producción de cemento por año.</p> <p>El BIE tiene información de cemento portland gris, blanco, mortero y otros tipos para el periodo 1994 a 2013, pero no se reporta el contenido de cal.</p> <p>La Cámara Nacional de Cemento (CANACEM) reporta la producción de cemento gris en su página de internet.</p> <p>Lo que reportan INEGI en el BIE y la CANACEM es diferente.</p> <p>Nota: Se ocupa el valor por defecto del contenido de cal.</p>
	GBP-2000	<p>Estimar la producción de clínker (toneladas), a partir de los datos de producción por tipo de cemento (nacional o planta) y su fracción de clínker, y una corrección por el comercio internacional (exportaciones e importaciones)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Si se sabe que se producen tipos de cemento mixtos como portland, se usa un valor por defecto de 75% de clínker.</li> <li>Si se sabe que la producción de cemento es esencialmente portland, se usa un valor por defecto de 95% de clínker.</li> </ul> <p>Suponer una fracción de cal por defecto de 0.65</p>	<p>El BIE del INEGI reporta la producción de cemento por año y tiene información del periodo 1994 a 2012 para cemento portland gris, blanco, mortero y otros tipos.</p> <p>No se reporta el contenido de clínker, pero se sabe que el porcentaje de cemento portland es mayor de 90%, por lo tanto se usa un valor por defecto de 95% de clínker.</p> <p>Se tiene el valor de exportación e importación para los años 1995 a 2012 en la publicación de la Secretaría de Economía, <i>Perfil de mercado de la piedra caliza 2005, 2012 y 2013</i>.</p> <p>Nota: Se ocupa el valor por defecto del contenido de cal.</p>
	D-PICC-2006	<p>Estimar la producción de clínker (toneladas), a partir de los datos de producción por tipo de cemento (nacional o planta) y su fracción de clínker, y una corrección por el comercio internacional de clínker (exportaciones e importaciones).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Si se sabe que se producen tipos de cemento mixtos como portland, se usa un valor por defecto de 75% de clínker.</li> <li>Si se sabe que la producción de cemento es esencialmente portland, se usa un valor por defecto de 95% de clínker.</li> </ul> <p>Suponer una fracción de clínker por defecto</p>	<p>El BIE del INEGI reporta la producción de cemento por año.</p> <p>El BIE tiene información del periodo 1994 a 2012 para cemento portland gris, blanco, mortero y otros tipos.</p> <p>No se reporta el contenido de clínker, pero se sabe que el porcentaje de cemento portland es mayor de 90%, por lo tanto se usa un valor por defecto de 95% de clínker.</p> <p>Se tiene el valor de exportación e importación para los años 1995 a 2012 en la publicación de la Secretaría de Economía, <i>Perfil de mercado de la piedra caliza 2005, 2012 y 2013</i>.</p> <p>Nota: Se ocupa el valor por defecto del contenido de cal.</p>

Método	Metodología	Consideraciones	Fuente
<b>Nivel 2</b>	D-PICC-1996	NA	NA
	GBP-2000	Datos agregados de la producción de clínker por planta/nacional y datos sobre el contenido de CaO en el clínker y otras fuentes que no sean carbonatos.	La CANACEM cuenta con datos sobre la producción de clínker de forma agregada, pero la información no es pública.
	D-PICC-2006	Datos estadísticos nacionales de la producción de clínker. Corrección del CKD	La CANACEM cuenta con datos sobre la producción de clínker de forma agregada, pero la información no es pública.
<b>Nivel 3</b>	D-PICC-1996	NA	NA
	GBP-2000	NA	NA
	D-PICC-2006	Datos específicos de las plantas sobre la composición de todas las entradas de carbonatos consumidos (su composición química y calcinación avanzada). Corrección del CKD	<p>La CANACEM reporta que en México existen seis empresas que producen cemento: Cementos Mexicanos (CEMEX) con 15 plantas; Holcim Apasco con 7 plantas; Cementos y Concretos Nacionales (CYCNA) con 4 plantas; Lafarge Cementos con 2 plantas; GCC Cemento con 3 plantas; Cementos Moctezuma con 3 plantas.</p> <p>La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) cuenta con un instrumento de reporte y recopilación de información de emisiones llamado Cédula de Operación Anual (COA) que no es pública.</p> <p>La COA recaba información técnica general de los establecimientos de jurisdicción federal en materia de atmósfera, así como la descripción de su proceso, datos de insumo, productos, subproductos y consumo energético empleado.</p> <p>La COA recaba información sobre los insumos pero no de la composición química ni de la calcinación avanzada.</p>

Nota: NA significa que no existe metodología para ese nivel de estimación.

Fuente: Elaboración propia con datos de las D-PICC-1996, GBP-2000, D-PICC-2006 e INEGI (varios años).

Tabla 10. Información disponible de la producción de cal

Método	Metodología	Consideraciones	Fuente
<b>Nivel 1</b>	D-PICC-1996	Producción por tipo de cal (toneladas/año). - Cal viva - Cal dolomítica	El BIE del INEGI reporta la producción de cal por año.  El BIE tiene información del periodo 1994 a 2012 para cal viva, cal hidratada, cal siderúrgica y química, y cal dolomítica.
	GBP-2000	Producción por tipos de cal y la proporción de cal hidratada. - Cal grasa - Cal dolomítica - Cal hidráulica	El BIE del INEGI reporta la producción de cal por año.  El BIE tiene información del periodo 1994 a 2012 para cal viva, cal hidratada, cal siderúrgica y química, y cal dolomítica.
	D-PICC-2006	Producción anual por tipo de cal, en toneladas.  Valores por defecto para: tipos de cal producidos y proporción de cal hidratada producida  Si no hay datos desagregados para desglosar los tipos de cal, suponer que un 85% es cal con fuerte proporción de calcio y un 15% es cal de dolomita, y que la proporción de cal hidráulica debe suponerse nula, a menos que se disponga de otra información. No se incluye corrección para el LKD.	El BIE del INEGI reporta la producción de cal por año.  El BIE tiene información del periodo 1994 a 2012 para cal viva, cal hidratada, cal siderúrgica y química, y cal dolomítica.
<b>Nivel 2</b>	D-PICC-1996	NA	NA
	GBP-2000	NA	NA
	D-PICC-2006	Se necesitan los datos desagregados para los tres tipos de cal. Hay tres tipos principales de cal no hidratada: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cal con fuerte proporción de calcio (CaO + impurezas);</li> <li>• Cal dolomítica (CaO·MgO + impurezas);</li> <li>• Cal hidráulica (CaO + silicatos de calcio hidráulicos), que es una sustancia entre la cal y el cemento.</li> </ul> Se puede suponer una corrección aditiva de 2% para dar cuenta del LKD (es decir, multiplicar las emisiones por 1.02).  Se supone un factor corrector para la cal hidratada de 0.97	El BIE del INEGI reporta la producción por tipo de cal por año.  El BIE tiene información del periodo 1994 a 2012 para cal viva, cal hidratada, cal siderúrgica y química, y cal dolomítica.  Nota: Se ocupa un factor corrector para la cal hidratada de 0.97

Método	Metodología	Consideraciones	Fuente
<b>Nivel 3</b>	D-PICC-1996	NA	NA
	GBP-2000	NA	NA
	D-PICC-2006	Recopilar datos específicos de cada planta para la fracción del peso de los carbonatos consumidos para la producción de cal y para la fracción de calcinación, así como la cantidad y composición del LKD producido.	<p>La Asociación Nacional de Fabricantes de Cal (ANFACAL) reporta que en México se tienen seis empresas que producen cal: Servicios Corporativos Calidra (Grupo Calidra), Caleras Bertrán (Grupo Bertrán), Refractarios Básicos (Rebasa), Calizas de Michoacán, Cales y Morteros del Grijalva y Cal los Arcos.</p> <p>La SEMARNAT cuenta con un instrumento de reporte y recopilación de información de emisiones llamado Cédula de Operación Anual (COA) que no es pública.</p> <p>La COA recaba información técnica general de los establecimientos de jurisdicción federal en materia de atmósfera, así como la descripción de su proceso, datos de insumo, productos, subproductos y consumo energético empleado.</p> <p>La COA recaba información sobre los insumos pero no de la fracción de calcinación, ni cantidad y composición del LKD.</p>

Nota: NA significa que no existe metodología para ese nivel de estimación.

Fuente: Elaboración propia con datos de las D-PICC-1996, GBP-2000, D-PICC-2006 e INEGI (varios años).

Tabla 11. Información disponible de utilización de piedra caliza y de dolomita (D-PICC-1996); producción y utilización de carbonato sódico (D-PICC-1996), y otros usos de carbonatos en los procesos (D-PICC-2006)

Método	Metodología	Consideraciones	Fuente
Nivel 1	D-PICC-1996	El consumo de piedra caliza o de dolomita en toneladas anuales es igual a la suma del material extraído de las minas (o dragado) y del material importado, una vez restado el material exportado. Deberá excluirse de este cálculo la piedra caliza o la dolomita utilizadas en la producción de cemento, cal y magnesio, actividades y procesos agrícolas en que no se genera CO <sub>2</sub> .	La publicación <i>Anuario Estadístico de la Minería Mexicana</i> de la Secretaría de Economía contiene los datos de producción, exportación e importación de la caliza y la dolomita para el periodo 1990-2012.
		Producción de carbonato sódico (proceso natural) <ul style="list-style-type: none"> <li>Cantidad anual de trona utilizada en toneladas</li> </ul> Utilización de carbonato sódico <ul style="list-style-type: none"> <li>Cantidad anual de carbonato sódico utilizado en toneladas</li> </ul>	La publicación <i>The Mineral Industry of Mexico</i> de la United States Geological Survey (USGS) contiene los datos de producción de carbonato sódico para el periodo 1990-2011.  No hay datos de producción de trona.
	GBP-2000	NA	
	D-PICC-2006	Utilización de carbonatos <ul style="list-style-type: none"> <li>Cantidad anual del carbonato utilizado en toneladas</li> </ul> Nota: Suponer que un 85% de los carbonatos consumidos sean de la piedra caliza y que 15% sean de la dolomita. Para el uso del carbonato sódico se deben recolectar datos nacionales o de nivel de planta sobre la cantidad total de carbonato sódico utilizado. Para las arcillas empleadas en la industria de las cerámicas, se deben recolectar datos de producción nacionales para las tejas, las tuberías de arcilla vitrificada y productos refractarios, y calcular la cantidad de arcilla consumida.	La publicación <i>The Mineral Industry of Mexico</i> de la USGS contiene los datos de producción de carbonato sódico para el periodo 1990-2011.  Nota: No hay datos de utilización, el valor es aproximado.

Método	Metodología	Consideraciones	Fuente
<b>Nivel 2</b>	D-PICC-1996	NA	
	GBP-2000	NA	
	D-PICC-2006	<p>Utilización de carbonatos en los procesos</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Cantidad anual del carbonato utilizado en toneladas en cada sector de uso final.</li> </ul> <p>Nota: Si no se dispone de datos específicos para identificar los diferentes carbonatos consumidos en estos sectores de uso final, es una buena práctica recolectar datos de actividad de nivel nacional sobre la piedra caliza y la dolomita consumidas.</p>	<p>La publicación <i>The Mineral Industry of Mexico</i> de USGS contiene los datos de producción de carbonato sódico para el período 1990-2011.</p> <p>La SEMARNAT cuenta con un instrumento de reporte y recopilación de información de emisiones llamado Cédula de Operación Anual (COA) que no es pública.</p> <p>La COA recaba información técnica general de los establecimientos de jurisdicción federal en materia de atmósfera, así como la descripción de su proceso, datos de insumo, productos, subproductos y consumo energético empleado.</p> <p>Nota: No hay datos de utilización, el valor es aproximado.</p>
<b>Nivel 3</b>	D-PICC-1996	NA	
	GBP-2000	NA	
	D-PICC-2006	<p>Entradas de carbonato para otros usos de los carbonatos en los procesos.</p> <p>Recopilar datos específicos de la planta sobre los carbonatos consumidos para esa categoría de fuente y para la fracción de calcinación alcanzada para los carbonatos. Se supone que el consumo de carbonatos es igual a la materia prima extraída (o dragada), más la materia prima importada, menos la materia exportada.</p>	<p>La SEMARNAT cuenta con un instrumento de reporte y recopilación de información de emisiones llamado Cédula de Operación Anual (COA) que no es pública.</p> <p>La COA recaba información técnica general de los establecimientos de jurisdicción federal en materia de atmósfera, así como la descripción de su proceso, datos de insumo, productos, subproductos y consumo energético empleado.</p>

Nota: NA significa que no existe metodología para ese nivel de estimación.

Fuente: Elaboración propia con datos de las D-PICC-1996, GBP-2000, D-PICC-2006 e INEGI (varios años).

Tabla 12. Información disponible de la producción y utilización de productos minerales varios (D-PICC-1996) y producción de vidrio (D-PICC-2006)

Método	Metodología	Consideraciones	Fuentes
<b>Nivel 1</b>	D-PICC-1996	<p>Material asfáltico para techos</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Producción anual de material asfáltico para techos por saturación y soplado en toneladas</li> </ul> <p>Pavimentación asfáltica</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Cantidad anual de material de pavimentación de carreteras utilizado en toneladas</li> </ul> <p>Hormigón de piedra pómez</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Producción anual de hormigón de piedra pómez en toneladas</li> </ul> <p>Vidrio</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Producción anual de vidrio en toneladas</li> </ul>	<p>El BIE del INEGI reporta la producción de material asfáltico para techos y pavimentación asfáltica por año para el periodo 1994 a 2012.</p> <p>No hay información sobre producción de hormigón de piedra pómez.</p> <p>La publicación <i>Estadísticas históricas de México</i> del INEGI contiene la información de la producción de vidrio para el periodo 1990-2008.</p>
	GBP-2000	NA	
	D-PICC-2006	<p>Producción anual de vidrio por peso en toneladas y una corrección por cantidad de <i>cullet</i> utilizado.</p> <p>Nota: Se supone una proporción de <i>cullet</i> por defecto de 50% y, por lo tanto, para estimar las emisiones nacionales, los datos de nivel nacional sobre la masa de vidrio producida puede multiplicarse por <math>0.20 \cdot (1-0.50) = 0.10</math> toneladas de CO<sub>2</sub> / toneladas de vidrio. Si se dispone de información específica del país para la proporción promedio anual de <i>cullet</i>, se insta a los países a modificar el factor de emisión en consecuencia [es decir, <math>FE = 0.20 \cdot (1 - \text{proporción de } cullet \text{ específica del país})</math>].</p>	<p>La publicación <i>Estadísticas históricas de México</i> del INEGI contiene la información de la producción de vidrio para el periodo 1990-2008.</p> <p>No se cuenta con información de la cantidad de <i>cullet</i> utilizado.</p>

Método	Metodología	Consideraciones	Fuentes
<b>Nivel 2</b>	D-PICC-1996	NA	
	GBP-2000	NA	
	D-PICC-2006	Vidrio Producción anual de vidrio que se funde en el proceso de fabricación. Donde sea posible, pueden ser específicos de planta. Hay datos sobre la proporción de <i>cullet</i> por defecto, pero se insta a los países a recolectar los datos.	La publicación <i>Estadísticas históricas de México</i> del INEGI contiene la información de la producción de vidrio para el periodo 1990-2008. No se cuenta con información de la cantidad de <i>cullet</i> utilizado.
<b>Nivel 3</b>	D-PICC-1996	NA	
	GBP-2000	NA	
	D-PICC-2006	Vidrio Datos por planta sobre los diferentes tipos de carbonatos consumidos en la producción de vidrio.	La SEMARNAT cuenta con un instrumento de reporte y recopilación de información de emisiones llamado COA que no es pública. La COA recaba información técnica general de los establecimientos de jurisdicción federal en materia de atmósfera, así como la descripción de su proceso, datos de insumo, productos, subproductos y consumo energético empleado.

Nota: NA significa que no existe metodología para ese nivel de estimación.

Fuente: Elaboración propia con datos de las D-PICC-1996, GBP-2000, D-PICC-2006 e INEGI (varios años).

### 4.3 Diferencias entre las metodologías 1996 y 2006

Las D-PICC-1996 separan las categorías de la forma siguiente: Procesos Industriales y Utilización de Disolventes y Otros Productos, mientras que las D-PICC-2006 incluyen las dos categorías en una sola con el nombre de Procesos Industriales y Otros Productos.

Las D-PICC-2006 no incluyen metodología para la estimación de las emisiones de precursores de ozono ( $\text{NO}_x$ , COVDM, CO, y  $\text{SO}_2$ ), pero recomienda el uso de la *Guía de inventarios de emisiones* del EMEP/CORINAIR. Por su parte, la metodología de las D-PICC-1996 incluía metodología de emisiones de precursores de ozono para la producción de cemento, material asfáltico para techos, pavimentación asfáltica, hormigón de piedra pómez y vidrio.

En las D-PICC-2006 se incluyen nuevas fuentes de emisión y gases; más sectores como manufactura y usos de productos identificados como fuentes de los gases de efecto invernadero; la producción de plomo, zinc, dióxido de titanio, petroquímicos y la fabricación de pantallas de cristal líquido (LCD). Los gases de efecto invernadero adicionales, identificados en el *Tercer informe de evaluación* del PICC, también se incluyeron en los casos en los que se identificaron fuentes antropogénicas. Entre estos gases se encuentran el trifluoruro de nitrógeno ( $\text{NF}_3$ ), el pentafluoruro de azufre trifluorometilo ( $\text{SF}_5\text{CF}_3$ ) y los éteres halogenados.

En las D-PICC-2006 se declaran las emisiones de los usos no energéticos de los combustibles fósiles dentro del sector Procesos Industriales y uso de productos, en vez de hacerlo dentro del sector Energía.

Las D-PICC-2006 hacen referencia a que el método de emisiones potenciales utilizado como método de nivel 1 en las D-PICC-1996, ya no se considera apropiado, puesto que no proporciona las estimaciones de las emisiones reales,

ni es compatible con los niveles superiores. El método de nivel 1 de las D-PICC-2006 se basa en los datos por defecto de la actividad, en los casos en los que no hay mejores datos disponibles. También proponen métodos simplificados de equilibrio de la masa en los sectores correspondientes, como en refrigeración.

# **CAPÍTULO 5. PROPUESTA PARA LA TRANSICIÓN DE LA METODOLOGÍA DEL PICC 1996 A LA DEL 2006 EN LA INDUSTRIA DE LOS MINERALES**

## **5.1 Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero**

La más reciente actualización del Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INEGEI) 1990-2010 presentó resultados sobre las emisiones por fuente y sumidero de los seis GEI incluidos en el Anexo A del Protocolo de Kioto para cinco de las seis categorías. Los seis GEI son: bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>). Las categorías son: Energía [1], Procesos Industriales [2], Agricultura [4], Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura (USCUSS) [5] y Desechos [6]. No presentó resultados de Uso de Solventes y Otros Productos [3] (INEGEI, 2013).

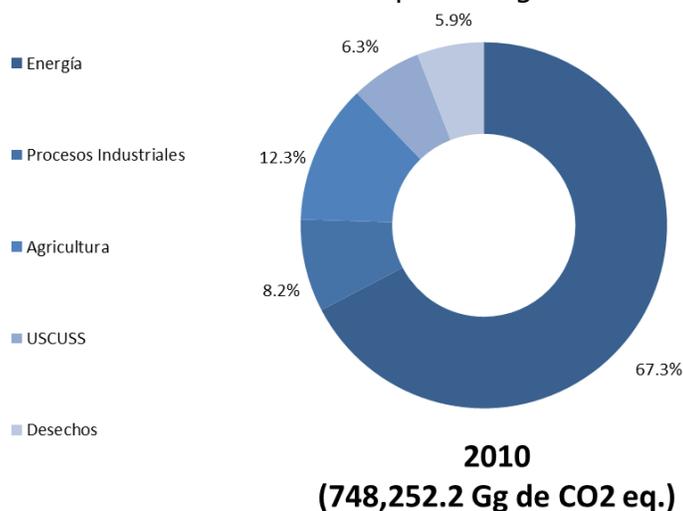
El INEGEI 1990-2010 se estimó con las D-PICC-1996 y la GBP-2000 para las categorías de Energía, Procesos Industriales y Agricultura; con las D-PICC-1996 y la GBP-2003 para la categoría de USCUSS, y con las D-PICC-2006 para la categoría de Desechos (INEGEI, 2013).

Las emisiones totales de GEI para el año 2010 fueron 748,252.2 Gg de CO<sub>2</sub> eq., lo que representa un incremento de 33.4% con respecto al año base 1990 (561,035.2 Gg de CO<sub>2</sub> eq.) (INEGEI, 2013).

La contribución de emisiones por categoría en 2010 fue: Energía, 67.3% (503,817.6 Gg de CO<sub>2</sub> eq.); Agricultura, 12.3% (92,184.4 Gg de CO<sub>2</sub> eq.); Procesos Industriales, 8.2% (61,226.9 Gg de CO<sub>2</sub> eq.); Uso de Suelo, Cambio

de Uso de Suelo y Silvicultura (USCUSS), 6.3% (46,892.4 Gg de CO<sub>2</sub> eq.), y Desechos, 5.9% (44,130.8 Gg de CO<sub>2</sub> eq.) (Figura 9).

Figura 9. Contribución de emisiones por categoría en el año 2010



Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI 1990-2010 (INEGI, 2013)

La contribución de emisiones de GEI generadas en la categoría Procesos Industriales en el año 2010 provino de la industria de los minerales, 57.5% (35,233.7 Gg de CO<sub>2</sub> eq.); consumo de halocarbonos y SF<sub>6</sub>, 24.4% (14,919.0 Gg de CO<sub>2</sub> eq.); la producción de metales, 9.2% (5,627.6 Gg de CO<sub>2</sub> eq.); producción de halocarbonos y SF<sub>6</sub>, 6.4% (3,897.8 Gg de CO<sub>2</sub> eq.), y la industria química, 2.5% (1,548.9 Gg de CO<sub>2</sub> eq.) (INEGI, 2013).

La industria de los minerales es la que representa el porcentaje más grande en la categoría Procesos Industriales con 57.5%. Tuvo un incremento de 113.9%, al pasar de 16,741.7 Gg de CO<sub>2</sub> eq. a 35,233.7 Gg de CO<sub>2</sub> eq. y una TCMA<sup>2</sup> de 3.9% durante el periodo de 1990 a 2010. El INEGI 1990-2010 identificó a la industria de los minerales como fuente clave en la evaluación por nivel. Esta evaluación muestra la contribución del sector al total de las emisiones (INEGI, 2013).

<sup>2</sup> TCMA: Tasa de Crecimiento Media Anual.

El comportamiento de las emisiones de CO<sub>2</sub> por fuente de emisión en la subcategoría de la industria de los minerales en 2010 con respecto al año base 1990 fue como sigue: por la producción de cemento, crecieron 65.2%, de 12,108.1 a 20,003.3 Gg; por la producción de cal, crecieron 22.5%, de 2,175.3 a 2,664.3 Gg; por la utilización de caliza y dolomita, crecieron 521.7%, de 2,001.9 a 12,445.7 Gg; por la producción y utilización de carbonato sódico, disminuyeron 35.4%, de 186.3 a 120.4 Gg.

Figura 10. Contribución de emisiones en la categoría Procesos Industriales en 1990 y 2010



Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI 1990-2010.

Figura 11. Contribución de emisiones en la industria de los minerales en 1990 y 2010



Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI 1990-2010.

## **5.2 Comparación de los inventarios publicados en la industria de los minerales**

Los resultados del Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INEGEI) se reportan en la publicación del mismo nombre y forman parte de la Comunicación Nacional de México ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). En la Tabla 13 se muestra la metodología utilizada en la subcategoría de la industria de los minerales de la categoría Procesos Industriales, en cada uno de los inventarios publicados hasta la fecha.

### **5.2.1 Emisiones de CO<sub>2</sub> por la producción de cemento**

Las emisiones de GEI por la producción de cemento se han estimado de manera diferente en los inventarios. En el INEGEI 1994-1998 e INEGEI 1990-2010 se estimaron con la metodología de las D-PICC-1996, utilizando como dato de actividad la producción de cemento multiplicada por el factor de emisión 0.4985 tCO<sub>2</sub>/ tonelada de cemento.

El INEGEI 1990-2002 e INEGEI 1990-2006 se estimaron con la metodología de la GBP-2000, utilizando la producción de clínker por el factor de emisión 0.510 tCO<sub>2</sub>/ tonelada de clínker y 0.525 tCO<sub>2</sub>/ tonelada de clínker, respectivamente. Cabe resaltar que en México no hay datos públicos sobre la producción de clínker y que los datos que se ocuparon en estos inventarios fueron estimados a partir de los datos de producción de cemento.

Los resultados de las emisiones de CO<sub>2</sub> han sido diferentes en todos los inventarios publicados, debido a los supuestos para la estimación en los mismos (véase Anexo, Tabla 16).

### **5.2.2 Emisiones de CO<sub>2</sub> por la producción de cal**

En el INEGEI 1994-1998 se estimaron las emisiones de CO<sub>2</sub> con la metodología de las D-PICC-1996, utilizando como dato de actividad la producción de cal multiplicada por el factor de emisión 0.790 tCO<sub>2</sub> / tonelada de cal viva.

Las emisiones de GEI por la producción de cal se estimaron de la misma manera en los últimos tres inventarios (INEGEI 1990-2002, INEGEI 1990-2006 e INEGEI 1990-2010) con la metodología de la GBP-2000, utilizando como dato de actividad la producción por tipo de cal por el factor de emisión correspondiente. Los factores de emisión utilizados fueron: 0.75 tCO<sub>2</sub> / tonelada de cal viva, 0.59 tCO<sub>2</sub> / tonelada de cal hidráulica, 0.79 tCO<sub>2</sub> / tonelada de cal siderúrgica y 0.77 tCO<sub>2</sub> / tonelada de cal dolomítica.

Cabe resaltar que en México se cuenta con datos públicos de la producción por tipo de cal y existe información para el periodo de estimación del INEGEI.

Los resultados de las emisiones de CO<sub>2</sub> por la producción de cal han sido consistentes en los tres últimos inventarios publicados ya que se han utilizado los mismos supuestos (véase Anexo, Tabla 17).

### **5.2.3 Emisiones de CO<sub>2</sub> por la utilización de caliza y dolomita**

El INEGEI 1990-2002, INEGEI 1990-2006 e INEGEI 1990-2010 estimaron las emisiones de CO<sub>2</sub> por la caliza y dolomita con la metodología de las D-PICC-1996, utilizando como dato de actividad la utilización de caliza y dolomita multiplicada por el factor de emisión correspondiente.

Si bien la utilización de caliza y dolomita se estimó de la misma manera en los últimos tres inventarios, al sustraer el valor de la materia prima que se necesitaba para la producción de cemento y cal cambiaron los valores de

utilización. Además se corrigieron algunos datos sobre la exportación e importación de los minerales en el INEGEI 1990-2010. Los factores de emisión fueron: 0.440 tCO<sub>2</sub> / tonelada de caliza utilizada y 0.477 tCO<sub>2</sub> / tonelada de dolomita utilizada.

Cabe resaltar que en México no se tienen datos públicos sobre la utilización de caliza y dolomita, por lo que éstos se tienen que estimar a partir de la suma del material extraído de las minas y del material importado; una vez restado el material exportado, deben excluirse la piedra caliza y dolomita utilizadas en la producción de cemento, cal y magnesio.

Los resultados de las emisiones de CO<sub>2</sub> por la utilización de caliza y dolomita han sido diferentes en los tres últimos inventarios publicados, debido a que se han utilizado diferentes fuentes de información y se ha completado la serie de tiempo con información que no estaba publicada cuando se realizaron estos inventarios (véase Anexo, Tablas 18 y 19).

#### **5.2.4 Emisiones de CO<sub>2</sub> por la producción y utilización de carbonato sódico**

Las emisiones de CO<sub>2</sub> por la producción y utilización de carbonato sódico se han estimado de manera diferente en los inventarios.

En el INEGEI 1994-1998 se estimaron estas emisiones con la metodología de las D-PICC-1996, utilizando como dato de actividad la producción de carbonato de sodio multiplicada por el factor de emisión 0.415 tCO<sub>2</sub> / tonelada de carbonato de sodio utilizada. En este inventario se consideró el supuesto de que el valor de producción era igual al de utilización.

En el INEGEI 1990-2002 se estimaron con la metodología de las D-PICC-1996, utilizando como dato de actividad la suma de la producción de carbonato de

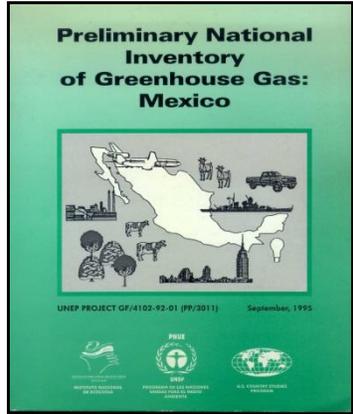
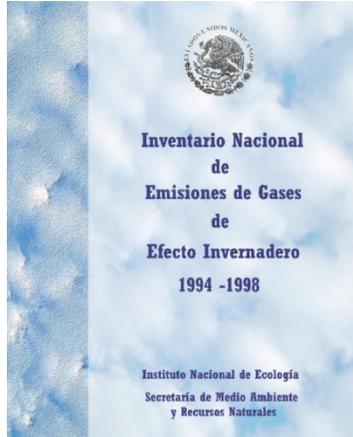
sodio natural y sintético multiplicada por el factor de emisión 0.415 tCO<sub>2</sub> / tonelada de carbonato de sodio utilizada y otro factor de 0.097 tCO<sub>2</sub> / tonelada de trona. En México no se cuenta con datos públicos sobre la producción de trona, por lo que, para determinar el valor de trona, se ocupó el factor de 0.138 tCO<sub>2</sub> / tonelada de carbonato de sodio natural producido. En las D-PICC-2006 se encuentra el factor de emisión por la producción de carbonato de sodio y es el que se utiliza para determinar el valor de trona.

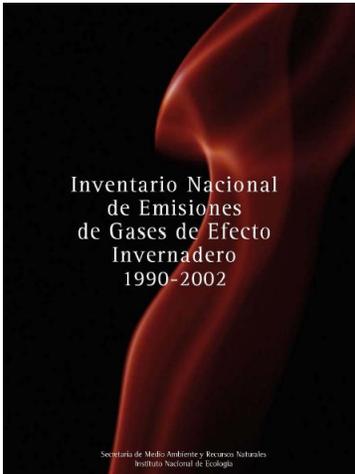
Los resultados de las emisiones de CO<sub>2</sub> por la producción y utilización de carbonato sódico han sido diferentes en los inventarios publicados, debido a que se han utilizado diferentes fuentes de información y se ha completado la serie de tiempo con información que no estaba publicada cuando se realizaron estos inventarios (véase Anexo, Tabla 20).

#### **5.2.5 Emisiones de CO<sub>2</sub> por la producción de vidrio**

Las emisiones de CO<sub>2</sub> por la producción de vidrio se han estimado únicamente en el INEGEI 1990-2006, con nivel 1 de la metodología de las D-PICC-2006, utilizando como dato de actividad la producción de vidrio y fibra de vidrio multiplicada por el factor de emisión 0.210 tCO<sub>2</sub> / tonelada de vidrio y 0.250 tCO<sub>2</sub> / tonelada de fibra de vidrio (véase Anexo, Tabla 21).

Tabla 13. Inventarios Nacionales de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero

	<p><b>INEGEI 1990</b></p> <p>El primer inventario, <i>Preliminary National Inventory of Greenhouse Gas: Mexico</i>, se publica en septiembre de 1995.</p> <p>Se reportan las emisiones del año 1990. Utiliza las D-PICC-1996. Estima las emisiones para las categorías Energía, Procesos Industriales, Agricultura, USCUS y Desechos. En la subcategoría industria de los minerales, de la categoría Procesos Industriales, se estiman sólo las emisiones de GEI por la producción de cemento y se incluyen los datos de actividad y los factores de emisión (INEGEI, 1990).</p> <p>El responsable de la categoría Procesos Industriales fue José Ramón Muñoz Ledo, del Instituto de Investigaciones Eléctricas.</p> <p>La Primera Comunicación Nacional, publicada en noviembre de 1997, incluye los mismos resultados del primer inventario (INE, 1996).</p>
	<p><b>INEGEI 1994-1998</b></p> <p>El segundo inventario, <i>Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1994-1998</i>, se publica en 2001. Estima las emisiones de los años 1994, 1996 y 1998 en las categorías Energía, Procesos Industriales, Agricultura y Desechos, y en la categoría USCUS las emisiones correspondientes a 1996.</p> <p>En la subcategoría industria de los minerales, de la categoría Procesos Industriales, se estiman las emisiones por la producción de cemento, producción de cal, producción y utilización de carbonato de sodio y producción de otros minerales (material asfáltico para techos, pavimentación asfáltica y vidrio). En el informe se mencionan los factores de emisión y los datos de actividad (fuente de información, INEGI). El documento señala que no hay consistencia entre los datos de actividad publicados por el INEGI y los que registran las cámaras industriales.</p> <p>Se utilizan las D-PICC-1996 para los factores de emisión y los árboles de decisiones. Se emplea el nivel 1, planteado en el árbol de decisiones de la GBP. No se estima la incertidumbre (INEGEI, 2001).</p> <p>Los responsables de la categoría Procesos Industriales fueron Luis Gerardo Ruiz Suárez y Rigoberto Longoria, del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM. Se hizo un control de calidad de la información a cargo de Francisco Estrada y Manuel Estrada.</p> <p>La Segunda Comunicación Nacional se publica en julio de 2001 e incluye los mismos resultados del segundo inventario (INE, 2001).</p>



## INEGEI 1990-2002

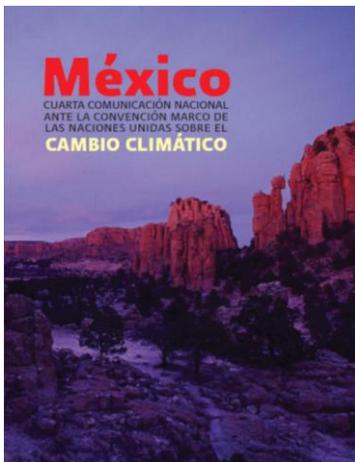
El tercer inventario, *Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2002*, se publica en 2006. Estima las emisiones del periodo 1990 a 2002 de forma bianual para las categorías Energía, Procesos Industriales, Solventes, Agricultura, USCUS y Desechos.

En la subcategoría industria de los minerales, de la categoría de Procesos Industriales, se estiman las emisiones por la producción de cemento, producción de cal, utilización de caliza y de dolomita, producción y utilización de carbonato de sodio y producción de otros (material asfáltico para techos, pavimentación asfáltica y vidrio). En el informe se mencionan los factores de emisión y los datos de actividad (fuente de información, INEGI).

Se utilizan las D-PICC-1996 y la GBP-2000 con el nivel 1. Los responsables de la categoría Procesos Industriales fueron Rigoberto Longoria, Ma. Guadalupe López López y Elia Margarita Lagunas Salgado, del Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (INEGI, 2006).

Este inventario sustituye las estimaciones realizadas en los inventarios anteriores, actualizando la información de todo el periodo. En la realización de este inventario se desarrolla en internet un sistema para integrar la información requerida en una base de datos institucional.

La Tercera Comunicación Nacional se publica en octubre de 2006 e incluye los mismos resultados del tercer inventario (INE, 2006).



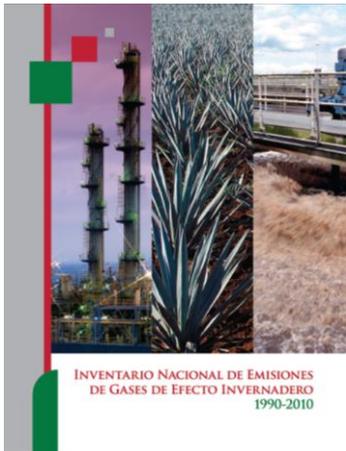
## INEGEI 1990-2006

El cuarto inventario, *Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2006*, se publica en 2009 como parte de la Cuarta Comunicación Nacional. Estima las emisiones del periodo 1990 a 2006 en las categorías Energía, Procesos Industriales, Solventes, Agricultura, USCUS y Desechos

En la categoría Procesos Industriales se estiman las emisiones de la subcategoría de la industria de los minerales por la producción de cemento, producción de cal, utilización de caliza y de dolomita, producción y utilización de carbonato de sodio y producción de otros minerales (material asfáltico para techos, pavimentación asfáltica y vidrio). En el informe se mencionan los factores de emisión y los datos de actividad (fuente de información, INEGI-SE-USGS).

Se utilizan las D-PICC-1996 y la GBP-2000 con el nivel 1 (INECC, 2009). Este inventario sustituye las estimaciones realizadas en los inventarios anteriores, actualizando la información de todo el periodo.

Los responsables de la categoría Procesos Industriales fueron Claudia Sheinbaum Pardo y Leticia Ozawa Meida, del Instituto de Ingeniería de la UNAM. En este inventario se hace una comparación con el INEGEI 1990-2002 y con las D-PICC 2006, y se realiza el control de calidad de la estimación de las emisiones a cargo de Manuel Estrada y Juan Carlos Arredondo.



## **INEGEI 1990-2010**

El quinto inventario, *Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2010*, se publica en 2013. Estima las emisiones del periodo 1990 a 2010 en las categorías Energía, Procesos Industriales, Agricultura, USCUS y Desechos

En la categoría Procesos Industriales se estiman las emisiones de la subcategoría de la industria de los minerales por la producción de cemento, producción de cal, utilización de caliza y de dolomita, producción y utilización de carbonato de sodio y producción de otros minerales (material asfáltico para techos, pavimentación asfáltica y vidrio). En el informe se mencionan los factores de emisión y los datos de actividad (fuente de información, INEGI-SE-USGS).

Se utilizan las D-PICC-1996 y la GBP-2000 con el nivel 1 (INEGEI, 2013).

Los responsables de la categoría Procesos Industriales fueron Augusto Sánchez Cifuentes, Rodolfo Alberto Herrera Toledo y Yazmín López Jaimes, del Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, y Santa Paola Centeno Rosales y Gloria Victoria Salas Cisneros, del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC).

Este inventario sustituye las estimaciones realizadas en los inventarios anteriores, actualizando la información de todo el periodo.

La Quinta Comunicación Nacional se publica en noviembre de 2012 e incluye los mismos resultados del quinto inventario (INECC, 2012).

Fuente: Elaboración propia con datos del INEGEI (varios años) y de las comunicaciones nacionales de México ante la CMNUCC (varios años).

### **5.3 Transición de la metodología del PICC en 1996 a la publicada en 2006 en la industria de los minerales**

México, como Parte No-Anexo I de la CMNUCC, tiene entre sus compromisos actualizar periódicamente el inventario nacional de emisiones de GEI, utilizando metodologías comparables.

De acuerdo a la decisión 17 de la 8ª Conferencia de las Partes (COP 8), celebrada en Nueva Delhi en 2002, México debe utilizar el *Manual del usuario para las directrices sobre comunicaciones nacionales de las Partes No-Anexo I de la CMNUCC*. En este manual se alienta a los países para que utilicen las Directrices del PICC 1996 y apliquen la Guía de Buenas Prácticas de 2000, así como para que, en la medida de lo posible, realicen un análisis de las fuentes clave.

En la COP 16, celebrada en México en 2010, se aprobó la presentación de informes bienales de actualización (BUR, por sus siglas en inglés) para los países en desarrollo, que son un esfuerzo adicional a las comunicaciones nacionales. Estos informes deben contener la actualización del inventario nacional de emisiones de GEI, las medidas de mitigación, necesidades y apoyo recibido. El primer informe de México deberá presentarse a finales de 2014.

México debe utilizar las *Directrices de la Convención Marco para la presentación de los informes bienales de actualización de las Partes No incluidas en el Anexo I*, de acuerdo a la decisión 2 de la COP 17, celebrada en Durban en 2011. A fin de estimar las emisiones de GEI para el BUR se deben utilizar las Directrices del PICC 1996 y aplicar la GBP 2000.

México publicó en 2012 la Ley General de Cambio Climático (LGCC), que es de orden público, de interés general y de observancia en todo el territorio nacional. Entre las atribuciones de la ley están el requerir la información

necesaria para las categorías de fuentes emisoras siguientes: a) Generación y uso de energía, b) Transporte, c) Agricultura, ganadería, bosques y otros usos de suelo, d) Residuos, e) Procesos industriales y f) Otras (LGCC, 2012).

Entre las atribuciones que la LGCC asigna al Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) están las de integrar, monitorear y actualizar el inventario de emisiones de GEI. La LGCC establece que la estimación de las emisiones del inventario se elaborará de acuerdo a los lineamientos y metodologías establecidos por la Convención, la Conferencia de la Partes y el PICC, de acuerdo a los plazos siguientes: la estimación de las emisiones de la quema de combustibles fósiles se realizará anualmente; las distintas a las de la quema de combustibles fósiles, con excepción de las relativas al cambio de uso de suelo, se realizará cada dos años, y la estimación del total de las emisiones por las fuentes y las absorciones por los sumideros de todas las categorías incluidas en el Inventario, se realizará cada cuatro años (LGCC, 2012).

La CMNUCC exhorta a los países No-Anexo I a utilizar las D-PICC-2006 en la medida de sus posibilidades en cuanto a recursos y dependiendo de la desagregación de información con la que se cuente en los diferentes sectores. México, a través del INECC, está realizando un esfuerzo para utilizar esta metodología, ya que se encuentra de manera más desagregada y cubre nuevas fuentes y gases que no estaban considerados en las directrices precedentes.

En la estimación de los cinco inventarios realizados por México se han utilizado las metodologías del PICC, con la información que se ha tenido disponible en cada uno. Se han utilizado las Directrices del PICC en sus versiones revisadas de 1996 y 2006, así como la Guía de Buenas Prácticas en algunos sectores.

El INEGEI 1990-2010 se estimó con las D-PICC-1996 y la GBP-2000 para las categorías de Energía, Procesos Industriales y Agricultura; con las D-PICC-1996 y la GBP-2003 para la categoría de USCUS; y en la categoría de

Desechos del INEGEI 1990-2010 se utilizaron por primera vez las D-PICC-2006 (INEGEI, 2013).

El INEGEI, en la categoría Procesos Industriales, ha utilizado para la estimación de las emisiones de GEI las *Directrices del PICC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996* y la *Orientación del PICC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, 2000*.

Las emisiones de GEI que se generan en la industria de los minerales y que se pueden cuantificar en México utilizando las metodologías del PICC son: la producción de cemento, cal y vidrio; y la utilización de carbonatos como caliza, dolomita, carbonato de sodio, entre otros.

La información utilizada para la estimación de emisiones se obtuvo directamente del Banco de Información Económica (BIE) y estadísticas sectoriales del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), de publicaciones de la Secretaría de Economía y del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés).

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) cuenta con un instrumento de reporte y recopilación de información de emisiones llamado Cédula de Operación Anual (COA) que no es pública.

La COA recaba información técnica general de los establecimientos de jurisdicción federal en materia de atmósfera, así como sobre la descripción de su proceso, datos de insumo, productos, subproductos y consumo energético empleado. Al ser un instrumento de jurisdicción federal no incluye la información que se requiere de todos los sectores que son considerados en las metodologías del PICC. Los sectores de la industria de los minerales considerados en la COA son la industria del cemento, cal y vidrio.

### **5.3.1 Propuestas**

El cálculo de las emisiones de GEI correspondientes a la industria de los minerales obedece a diferentes supuestos exhibidos en las metodologías descritas, por lo que este trabajo propone que, a fin de realizar la transición de la metodología publicada por el PICC en 1996 a la publicada en 2006 y, por consiguiente, mejorar el nivel metodológico de la estimación, se consideren las propuestas siguientes:

- Utilizar la información de la COA para crear una base de datos actualizada de todas las empresas que producen y utilizan minerales y que generan emisiones de GEI por proceso. Después de analizar la información con la que se cuente, deberá identificarse el nivel metodológico que se alcanzaría con esta información.
- Utilizar las atribuciones que enuncia la LGCC con la finalidad de que el INECC solicite la información necesaria para la elaboración, actualización y publicación del inventario, y así obtener de manera oficial la información para estimar las emisiones de manera desagregada y obtener un mejor nivel metodológico de acuerdo a los plazos que marca la LGCC para la estimación de las emisiones por cada una de las categorías, en especial la de Procesos Industriales, misma que debe estimarse cada dos años.
- Generar arreglos interinstitucionales y sumar otros esfuerzos para que la integración de la información sea más rápida y eficiente por parte del INECC.
- Buscar que las instituciones que recopilan la información directamente con las empresas, como el INEGI a través de los censos o la SEMARNAT a través de la COA, incluyan un anexo con preguntas adicionales,

dependiendo del sector al que se le esté solicitando la información, a fin de mejorar el nivel metodológico.

- Contactar directamente con las asociaciones y cámaras que representan a estos sectores, y canalizar recursos para involucrarlas en el proceso de recopilación de información.

Con la información oficial que se encuentra publicada en el país referente a la industria de los minerales, de la categoría Procesos Industriales, se pueden estimar las emisiones de GEI con la metodología del PICC 2006 en el nivel 1, ya que los datos de actividad que se utilizan se encuentran en forma agregada, es decir, son estadísticas nacionales y utilizan factores de emisión por defecto.

La mejora del nivel metodológico de cada uno de los sectores de la industria de los minerales se debe realizar gradualmente, debido a que es necesario verificar y validar la información que se reporta en la COA, así como la información adicional que se solicitaría directamente a las empresas que generan emisiones en este sector industrial.

La información que se requiere para mejorar el nivel metodológico con las D-PICC-2006 de estos sectores no es pública, debido a que es un sector muy competitiva. A continuación se presentan las propuestas para cada sector.

### **Cemento**

La industria del cemento en México cuenta con la Cámara Nacional del Cemento (CANACEM), que incluye a seis empresas productoras de cemento: Cementos Mexicanos (CEMEX) con 15 plantas; Holcim Apasco con 7 plantas; Cementos y Concretos Nacionales (CYCNA) con 4 plantas; Lafarge Cementos con 2 plantas; GCC Cemento con 3 plantas, y Cementos Moctezuma con 3 plantas. La CANACEM reporta públicamente la producción de cemento portland

en su página de internet, pero cabe señalar que esta información es diferente a la que reporta el INEGI en su BIE.

Para estimar las emisiones de GEI con las directrices del PICC 2006 se puede utilizar el nivel 1, ya que es muy semejante al nivel 1 de la GBP, sólo que tendría que justificarse claramente la producción estimada de clínker a partir de los datos de producción por tipo de cemento.

Para estimar con niveles 2 y 3 tendría que solicitarse directamente a cada empresa o a la CANACEM la cuantificación y metodología utilizada para la estimación de las emisiones de GEI a fin de obtener la información de cada una de las plantas. Si esta información se proporciona directamente y de forma más desagregada contribuirá para aplicar un nivel de estimación mejor y obtener una mayor certidumbre en el resultado.

La CANACEM cuenta con inventarios de emisiones desde el año 1990 que no son públicos, sin embargo, la Cámara está interesada en colaborar con el INECC, que es la institución responsable de la actualización del INEGEI, para mejorar el nivel metodológico de la estimación de emisiones de la producción de cemento. Con base en lo anterior, se sugiere solicitar a la CANACEM la serie histórica de la cuantificación de sus emisiones con los datos de actividad y metodología para compararlos con los que tiene registrados el INEGI.

También se sugiere solicitar a la SEMARNAT la información de la COA de las empresas que producen cemento, ya que es un sector de jurisdicción federal. Esto ayudará a la realización tanto de un control de calidad de la información como a su comparación con la del INEGI y la CANACEM.

## **Cal**

La industria de la cal está representada por la Asociación Nacional de Fabricantes de Cal (ANFACAL). Esta asociación cuenta con seis empresas asociadas que producen cal: Servicios Corporativos Calidra (Grupo Calidra), Caleras Bertrán (Grupo Bertrán), Refractarios Básicos (Rebasa), Calizas de Michoacán, Cales y Morteros del Grijalva y Cal Los Arcos. La ANFACAL no reporta información sobre la producción de cal en México.

A fin de estimar las emisiones con las directrices del PICC 2006 puede utilizarse el nivel 1, ya que es muy semejante al nivel 1 de la GBP. También puede estimarse el nivel 2, suponiendo valores por defecto para el factor corrector para la cal hidratada.

Para estimar con nivel 3 tendría que solicitarse directamente a la ANFACAL la información de cada planta de las empresas afiliadas. La información proporcionada directamente y de forma más desagregada contribuirá para aplicar un nivel de estimación mejor y obtener una mayor certidumbre en el resultado.

Asimismo se sugiere solicitar a la SEMARNAT la información de la COA de las empresas que producen cal, ya que es un sector de jurisdicción federal. Esto ayudará a la realización tanto de un control de calidad de la información como a su comparación con la del INEGI y la ANFACAL.

## **Vidrio**

A fin de estimar las emisiones con las directrices del PICC 2006 puede utilizarse el nivel 1, sólo que tendría que suponerse una proporción de *cullet*.

Para estimarse con niveles 2 y 3 tendría que solicitarse al INEGI la información de las empresas que reportan la producción de vidrio y tener contacto directo con ellas para obtener información adicional.

Asimismo se sugiere solicitar a la SEMARNAT la información de la COA de las empresas que producen vidrio, ya que es un sector de jurisdicción federal. Esto ayudará a la realización tanto de un control de calidad de la información como a su comparación con la del INEGI.

### ***Otros carbonatos***

Las otras fuentes de emisión de GEI de la industria de los minerales, como son las referentes a la caliza, dolomita y carbonatos, no cuentan con una asociación o cámara que concentre la información de estas industrias.

En este segmento se sugiere solicitar a la SEMARNAT la información de la COA a fin de poder realizar un control de calidad de la información y compararla con la que está publicada en las estadísticas nacionales de caliza y dolomita que publica el INEGI y la Secretaría de Economía.

Asimismo, se recomienda solicitar la información de las encuestas industriales al INEGI para revisar aquella información que pueda servir para mejorar el nivel metodológico de la estimación. De acuerdo con las directrices del PICC 2006, es necesaria más información sobre las materias primas que se consumen en la producción de la industria de los minerales.

Por último, se sugiere solicitar a la Secretaría de Economía la información de la industria de los minerales. Es importante verificar si esta dependencia tiene información más desagregada de la que reporta en sus anuarios estadísticos sobre la minería mexicana.

## CONCLUSIONES

La comparación de las metodologías propuestas en las D-PICC-1996 y las D-PICC-2006 para la estimación de las emisiones de GEI en la industria de los minerales, dentro de la categoría Procesos Industriales, permite destacar las conclusiones que se mencionan a continuación.

Las D-PICC-2006 consideran las emisiones por la utilización de carbonato de sodio dentro de la industria de los minerales, pero consideran las emisiones por la producción de este carbonato dentro de la industria química. Además, estas directrices no indican metodología para los precursores de ozono, como sí la incluían las D-PICC-1996, es decir que en la versión de 2006 ya no se encuentra la estimación de emisiones por pavimentación asfáltica, producción de material asfáltico para techos y producción de otros minerales. Asimismo, en las D-PICC-1996 se estimaban las emisiones de CO<sub>2</sub> por la producción de vidrio, pero en la versión de 2006 se ofrece método de estimación para las emisiones de CO<sub>2</sub> en este proceso. Por otra parte, la GBP-2000 cuenta con metodología para la estimación de emisiones por la producción de cemento y cal y es muy similar al nivel 1 de las directrices del PICC 2006.

En la revisión de la estimación de emisiones de los sectores de la industria de los minerales en los inventarios publicados a la fecha se observó que se ha utilizado el nivel 1 de las D-PICC-1996 y el nivel 1 de la GBP-2000. El nivel 1 es el que requiere información de la forma más agregada. También se observó que en algunos sectores, a pesar de que se ocupó la misma metodología, los resultados en la estimación de las emisiones no fueron los mismos debido a los supuestos considerados en cada uno para obtener los datos de actividad que requiere la metodología. En cada actualización del inventario se verificaron los datos de actividad utilizados en el anterior y, cuando fue necesario, se corrigió la información, por lo que cada vez han sido más confiables la estimación de emisiones reportadas.

Al hacer la revisión de necesidades de información por cada metodología se identificaron las instituciones y publicaciones que se han utilizado como fuentes para obtener los datos de actividad en los inventarios anteriores, así como fue posible sugerir las disposiciones que mandata la Ley General de Cambio Climático para obtener un flujo de información constante y confiable, puesto que las instituciones tienen la obligación de cumplir esta ley.

A partir de la comparación de las metodologías del PICC en la industria de los minerales de la categoría Procesos Industriales se identificó que la estimación de emisiones de GEI realizada en los inventarios publicados a la fecha, con las directrices del PICC 1996 y GBP-2000, sirve de base para la transición en el corto plazo a las directrices del PICC 2006, con lo que se tendría una mayor certidumbre en los resultados de las emisiones de GEI.

Las directrices del PICC 2006 pueden aplicarse con la información utilizada en inventarios previos y de esta manera hacer la estimación en el nivel 1 para la industria de los minerales.

Si bien las directrices del PICC 2006 cuentan con metodología para niveles 2 y 3 en todos los sectores, su aplicación requiere información más desagregada que con la que se cuenta actualmente, por lo que es necesario solicitar información más específica a las instituciones encargadas de su recopilación o directamente a las plantas donde se producen o utilizan estos minerales.

Mediante este estudio se identificaron algunas propuestas para obtener información más desagregada, misma que deberá ser revisada por un control de calidad antes de ser utilizada para aplicarse en los niveles 2 o 3 en la estimación de emisiones de GEI. Entre las propuestas que se presentan en este trabajo para mejorar el nivel metodológico se encuentra utilizar información que puede estar disponible en otras instituciones, por ejemplo en la SEMARNAT, que cuenta con la herramienta llamada Cédula de Operación

Anual, mediante la que se recaba información técnica general de los establecimientos de jurisdicción federal en materia de atmósfera, así como datos sobre la descripción de sus procesos, insumos, productos, subproductos y consumos energéticos. Asimismo se propone establecer un vínculo más sólido con la Cámara Nacional del Cemento y la Asociación Nacional de Fabricantes de Cal, que concentran a las empresas productoras de cemento y cal en el país.

Con la finalidad de contar con un inventario perfeccionado y con un nivel metodológico más completo en la estimación de las emisiones de GEI de la industria de los minerales se requiere:

- Generar información validada por las empresas y verificada por externos para que al realizarse la estimación de las emisiones de GEI se tenga una mayor certidumbre.
- Utilizar las mediciones de gases de efecto invernadero hechas en las plantas y en caso de tener metodologías que se encuentren documentadas, preferirlas a la estimación realizada con la metodología de Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático.
- Comparar varias fuentes de información y en el caso de que hubiera diferencia entre ellas, hacer un análisis de la elección.
- Invertir recursos en la validación de la información recopilada por las instituciones gubernamentales.
- Implementar arreglos institucionales y formatos apropiados para que la información solicitada sea la que se requiere para mejorar el nivel metodológico.
- Involucrar a los actores relevantes en este sector como empresas, cámaras, asociaciones, instituciones gubernamentales, entre otros, enfatizando la importancia de su participación para mejorar la certidumbre en la estimación de las emisiones de GEI.



# REFERENCIAS

## Generales

- CMNUCC, 1992. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
- CMNUCC, 2004. Informando sobre Cambio Climático: Manual del usuario para las directrices sobre comunicaciones nacionales de las Partes No-Anexo I de la CMNUCC.
- INEGEI, 1995. Preliminary National Inventory of Greenhouse Gas: Mexico. INE-UNEP-U.S.
- PCN, 1997. México. Primera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. SEMARNAT.
- INEGEI, 2000. Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1994-1998. SEMARNAT-INE.
- SCN, 2001. México. Segunda Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. SEMARNAT-INE.
- INEGEI, 2006. Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2002. SEMARNAT-INE.
- TCN, 2006. México. Tercera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. SEMARNAT-INE.
- CCN, 2009. México. Cuarta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. SEMARNAT-INE.
- INEGEI, 2013. Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2010. SEMARNAT-INECC.
- QCN, 2012. México. Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. SEMARNAT-INE.
- PICC, 2007. Cambio climático 2007. Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de Trabajo I, II y III al Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.

- PICC, 2013. Cambio climático 2013. Bases físicas. Contribución del Grupo de Trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Resumen para responsables de políticas.
- GT1-PICC, 2007. Cambio climático 2007. Base de Ciencia Física. Aportes del Grupo de Trabajo I al Cuarto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático.
- PICC, 1996. Directrices del PICC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996.
- PICC, 1996a. Directrices del PICC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996. Volumen 1. Instrucciones de reporte.
- PICC, 1996b. Directrices del PICC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996. Volumen 2. Libro de trabajo.
- PICC, 1996c. Directrices del PICC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996. Volumen 3. Manual de referencia.
- GBP, 2000. Orientación del PICC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.
- PICC, 2006. Directrices del PICC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.
- PNUD-FMAM-INE, 2008. Manejo del procesos de elaboración del Inventario Nacional de Gases de Efecto invernadero.
- LGCC, 2012. Ley General de Cambio Climático.

## **Cemento**

- *Perfil de mercado de la caliza y sus derivados, 2005.* Coordinación General de Minería, Dirección General de Promoción Minera. Secretaría de Economía.
- *Estadísticas históricas de México, 2009.* INEGI.

- INEGI, Banco de Información Económica. (Series que ya no se actualizan > Sector manufacturero > Encuesta industrial mensual (CMAP) > Cifras absolutas > 205 clases de actividad económica > Volumen y valor de producción por clase de actividad y producto > VI Productos de minerales no metálicos, excepto derivados del petróleo y carbón > 369111 Fabricación de cemento hidráulico > Cemento)

## **Cal**

- *Perfil de mercado de la caliza y sus derivados, 2005*. Coordinación General de Minería, Dirección General de Promoción Minera. Secretaría de Economía.
- INEGI, Banco de Información Económica. (Series que ya no se actualizan > Sector manufacturero > Encuesta industrial mensual (CMAP) > Cifras absolutas > 205 clases de actividad económica > Volumen y valor de producción por clase de actividad y producto > VI Productos de minerales no metálicos, excepto derivados del petróleo y carbón > 369112 Elaboración de cal).

## **Dolomita y caliza**

- *Perfil de mercado de la caliza y sus derivados, 2005*. Coordinación General de Minería, Dirección General de Promoción Minera. Secretaría de Economía.
- USGS, *The Mineral Industry of Mexico* (varios años).
- *Anuario Estadístico de la Minería Mexicana* (varios años). Secretaría de Economía.
- *Perfil de mercado de la dolomita, 2006*. Coordinación General de Minería, Dirección General de Promoción Minera. Secretaría de Economía.

## **Carbonato de sodio**

- *The Mineral Industry of Mexico* (varios años) de la USGS.

### **Producción de material asfáltico de techos**

- INEGI, Banco de Información Económica. (Series que ya no se actualizan > Sector manufacturero > Encuesta industrial mensual (CMAP) > Cifras absolutas > 205 clases de actividad económica > Volumen y valor de producción por clase de actividad y producto > V Sustancias químicas, derivados del petróleo, productos de caucho y plástico > 354003 Fabricación de materiales para pavimentación y techado a base de asfalto)

### **Pavimentación asfáltica**

- INEGI, Banco de Información Económica. (Series que ya no se actualizan > Sector manufacturero > Encuesta industrial mensual (CMAP) > Cifras absolutas > 205 clases de actividad económica > Volumen y valor de producción por clase de actividad y producto > V Sustancias químicas, derivados del petróleo, productos de caucho y plástico > 354003 Fabricación de materiales para pavimentación y techado a base de asfalto > Productos a base de asfalto)

### **Vidrio**

- *Estadísticas históricas de México, 2009.* INEGI.

# ANEXO

Figura 12. Árbol de decisiones para estimar las emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes de la producción de cemento (GBP-2000)

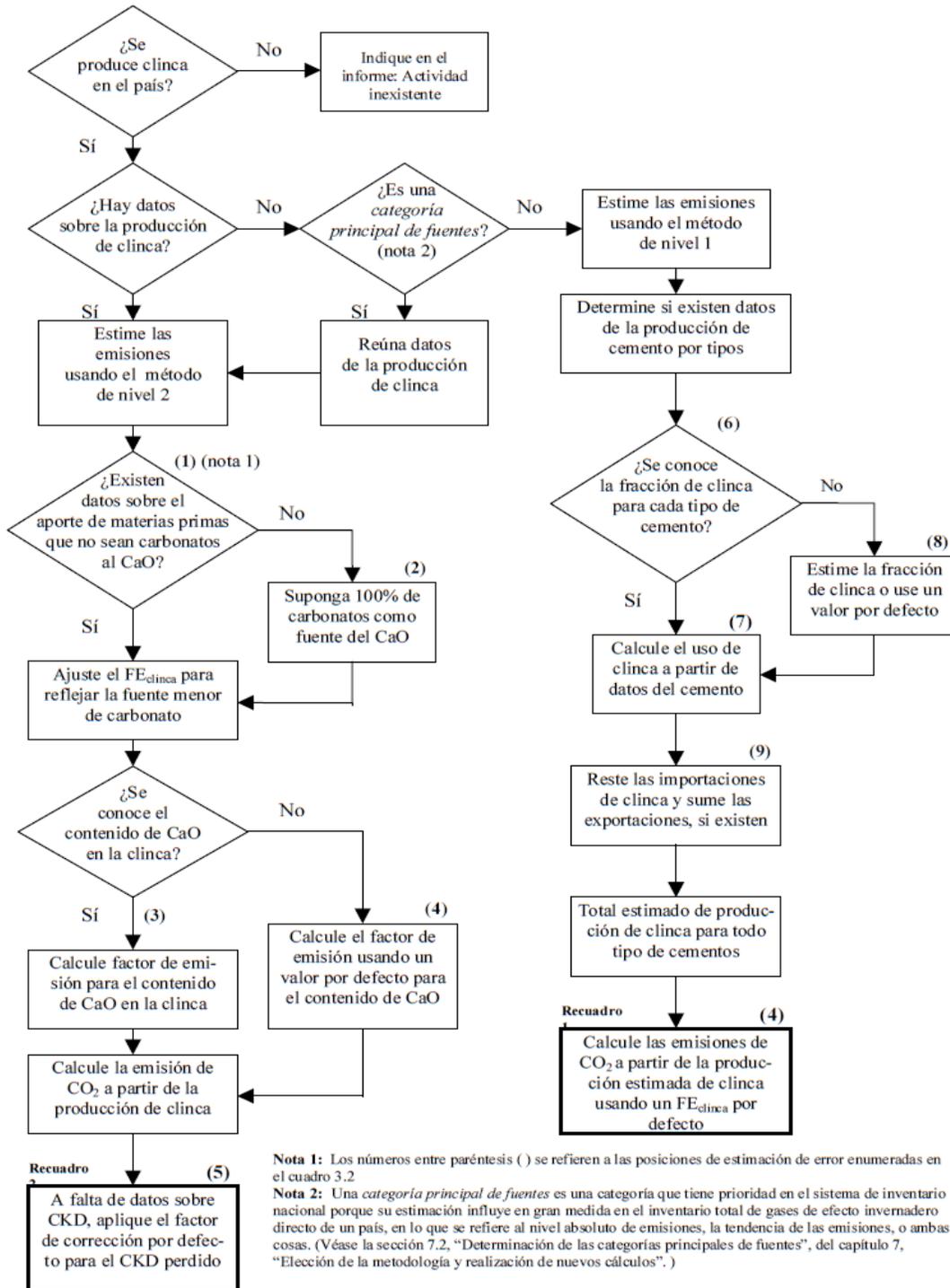
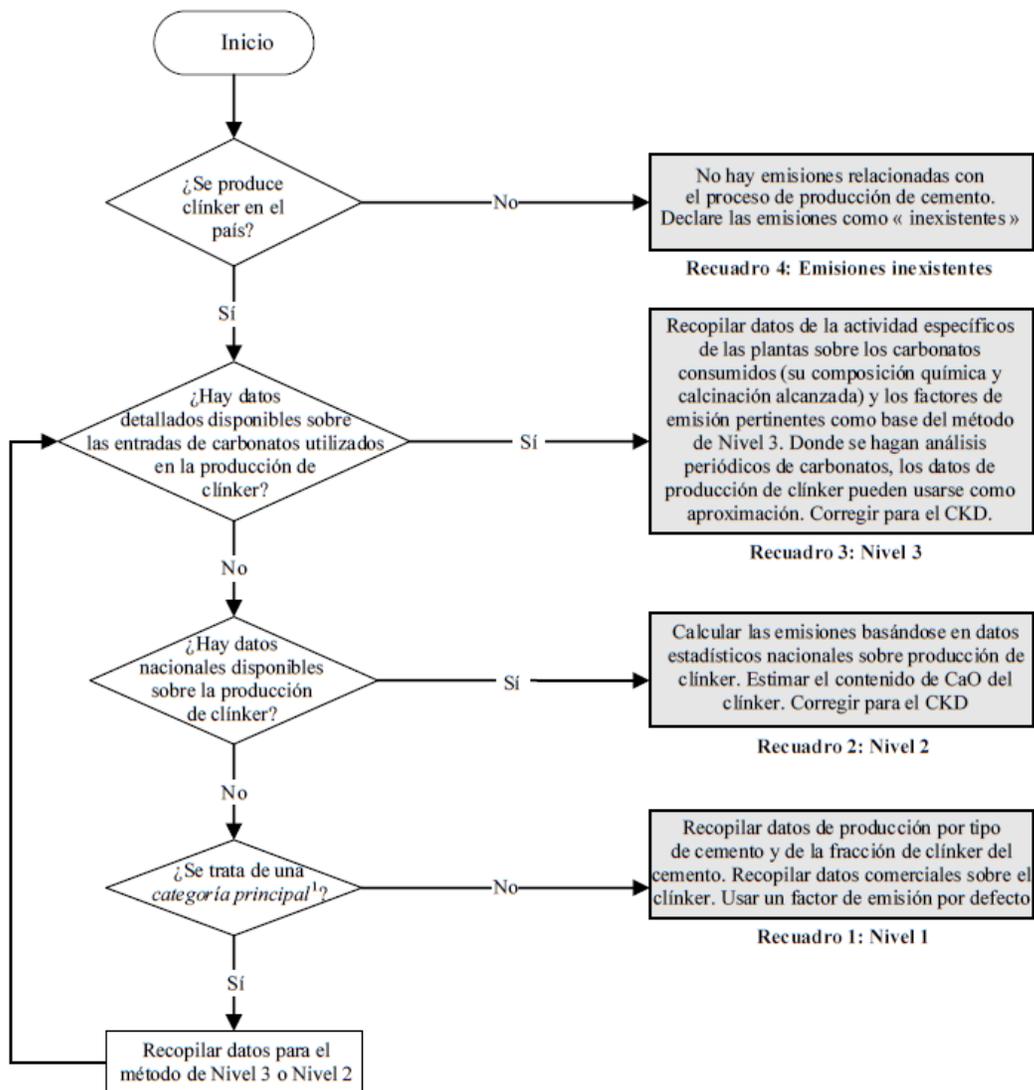


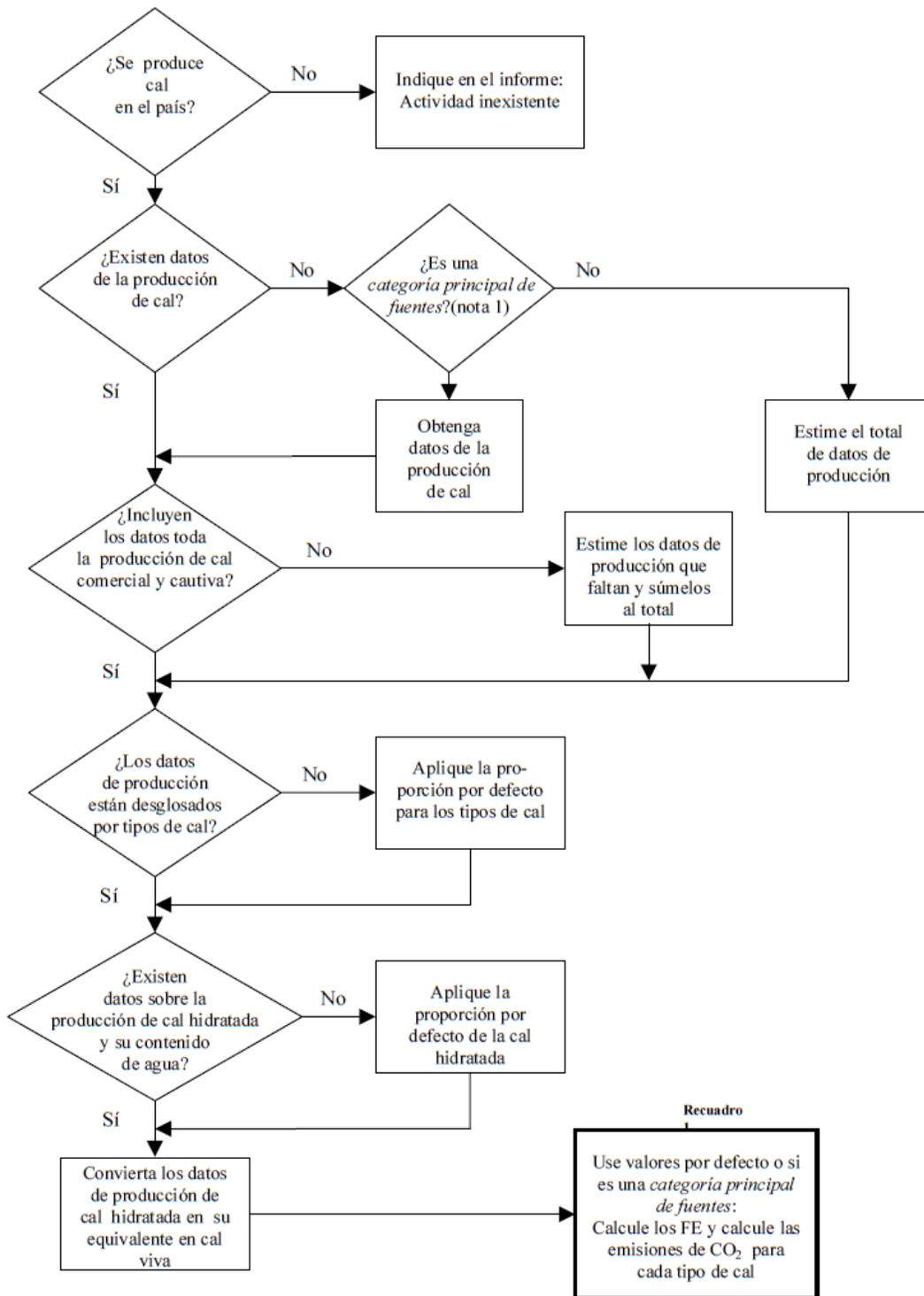
Figura 13. Árbol de decisiones para la estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes de la producción de cemento (D-PICC-2006)



Nota:

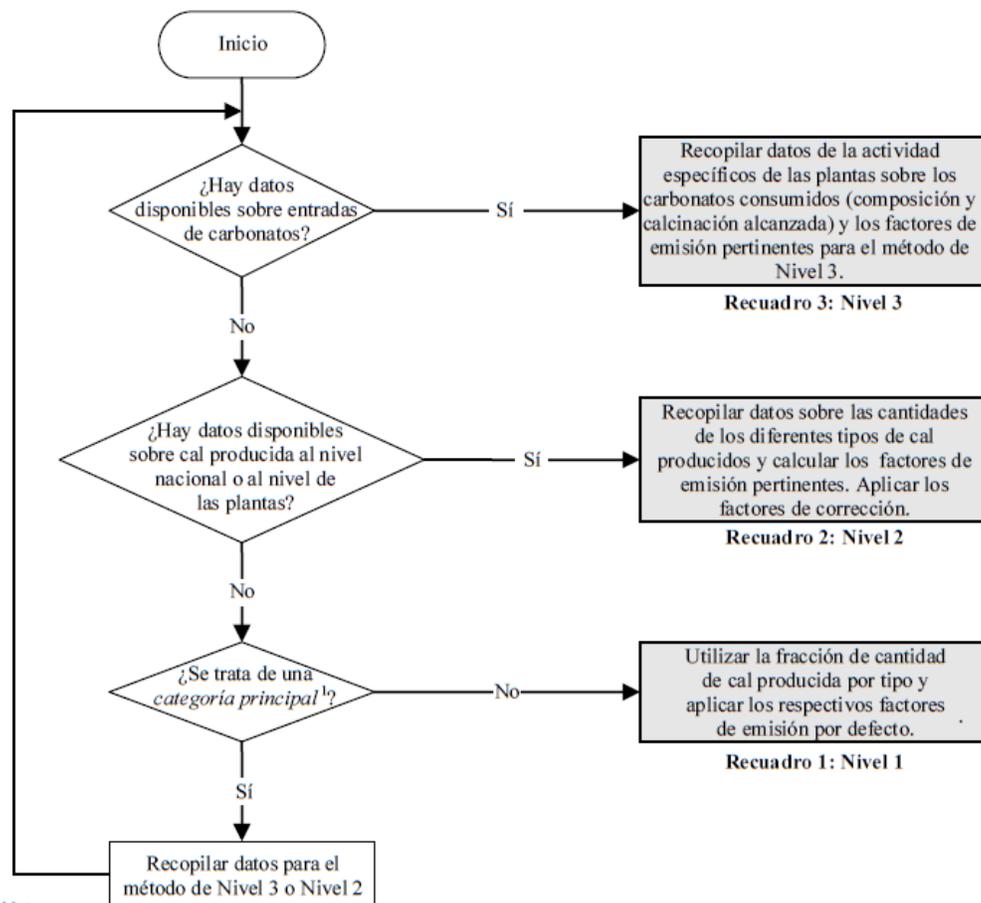
1. Para un análisis de las *categorías principales* y el uso de los árboles de decisión, Véase el Volumen 1 Capítulo 4. Opción metodológica e identificación de categorías principales (considérese la Sección 4.1.2 sobre recursos limitados).

Figura 14. Árbol de decisiones para estimar las emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes de la producción de cal (GBP-2000)



Nota 1: Una *categoría principal de fuentes* es una categoría que tiene prioridad en el sistema de inventario nacional porque su estimación influye en gran medida en el inventario total de gases de efecto invernadero directo de un país, en lo que se refiere al nivel absoluto de emisiones, la tendencia de las emisiones, o ambas cosas. (Véase la sección 7.2, “Determinación de las categorías principales de fuentes”, del capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”.)

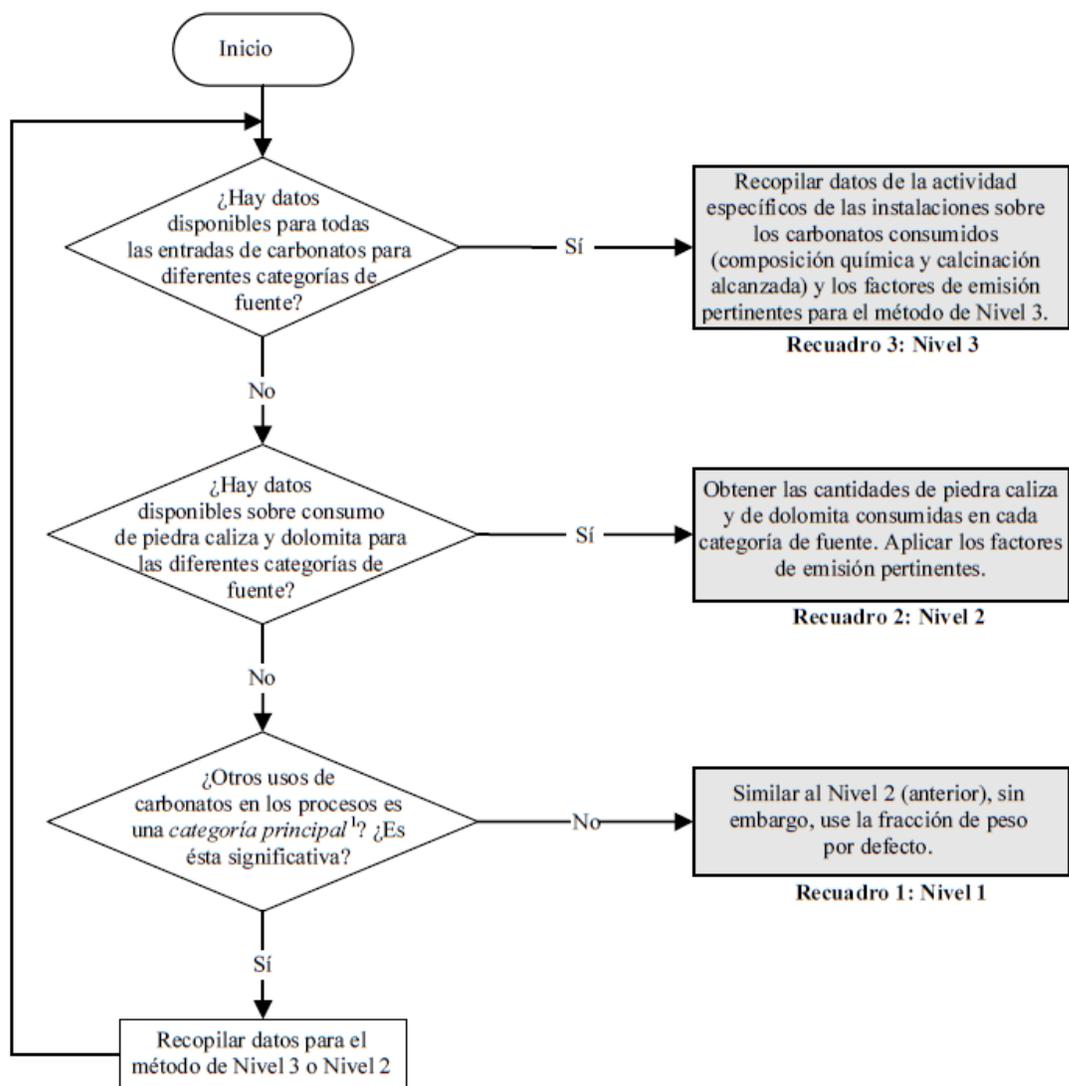
Figura 15. Árbol de decisiones para la estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes de la producción de cal (D-PICC-2006)



Nota:

1. Para un análisis de las *categorías principales* y el uso de los árboles de decisión, Véase el Volumen 1 Capítulo 4. Opción metodológica e identificación de Categorías principales (considérese la Sección 4.1.2 sobre recursos limitados).

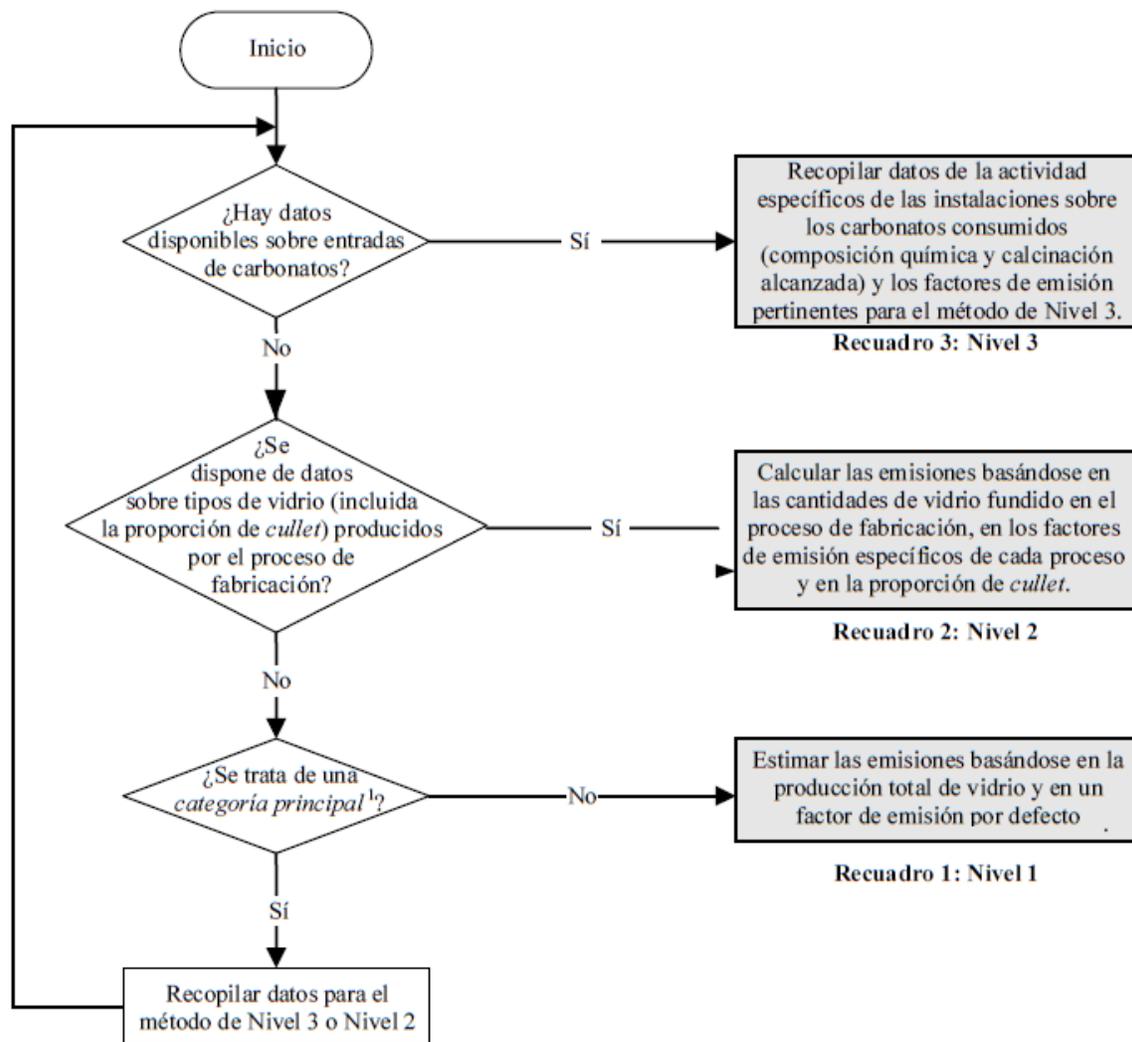
Figura 16. Árbol de decisiones para la estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes de otros usos de los carbonatos en los procesos (D-PICC-2006)



Nota:

1. Para un análisis de las *categorías principales* y el uso de los árboles de decisión, Véase el Volumen 1 Capítulo 4. Opción metodológica e identificación de categorías principales (considérese la Sección 4.1.2 sobre recursos limitados).

Figura 17. Árbol de decisiones para la estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes de la producción de vidrio (D-PICC-2006)



Nota:

1. Para un análisis de las *categorías principales* y el uso de los árboles de decisión, Véase el Volumen 1 Capítulo 4. Opción metodológica e identificación de categorías principales (considérese la Sección 4.1.2 sobre recursos limitados).

Tabla 14. Parámetros básicos para calcular los factores de emisión para la producción de cal (GBP-2000)

Tipo de cal	Razón estequiométrica (1)	Rango del contenido de CaO [%]	Rango del contenido de MgO [%]	Valor por defecto para el contenido de CaO/CaO·MgO (2)	Factor de emisión por defecto (1) • (2)	Estimación de la incertidumbre en las estimaciones de las emisiones
<b>Cal grasa</b>	0.79	93-98	0.3-2.5	0.95	0.75	<b>±2%</b>
<b>Cal dolomítica</b>	0.91	55-57	38-41	0.95 o 0.85 <sup>a</sup>	0.86 o 0.77 <sup>a</sup>	<b>±2%</b>
<b>Cal hidráulica</b>	0.79	65-92		0.75	0.59	±15%

Nota: <sup>a</sup> Este valor depende de la tecnología empleada para la producción de cal. El valor superior se sugiere para los países desarrollados y el inferior para los países en desarrollo.

Cuando no existen datos desagregados para desglosar los tipos de cal, el valor por defecto para la cal grasa/dolomítica es 85/15, y debe suponerse que la proporción de cal hidráulica es cero, salvo que se disponga de otra información.

Es una buena práctica aplicar las ecuaciones siguientes para ajustar los factores de emisión y dar cuenta del contenido de CaO o de CaO·MgO:

$FE1 = \text{razón estequiométrica } (CO_2 / CaO) \cdot \text{Contenido de CaO}$

Donde:

FE1 = factor de emisión para la cal viva

$FE2 = \text{razón estequiométrica } (CO_2 / CaO \cdot MgO) \cdot \text{Contenido de } (CaO \cdot MgO)$

Donde:

FE2 = factor de emisión para la cal viva dolomítica

Tabla 15. Parámetros básicos para el cálculo de los factores de emisión en la producción de cal (D-PICC-2006)

Tipo de cal	Cociente estequiométrico [toneladas de CO <sub>2</sub> / tonelada de CaO o de CaO·MgO] (1)	Intervalo del contenido de CaO [%]	Intervalo del contenido en MgO [%]	Valor por defecto para el contenido de CaO o de CaO·MgO [fracción] (2)	Factor de emisión por defecto [toneladas de CO <sub>2</sub> / tonelada de cal] (1) • (2)
Cal con fuerte proporción de calcio	0.785	0.785	0.3-2.5	0.95	0.75
Cal de dolomita	0.913	55-57	38-41	0.95 o 0.85*	0.86 o 0.77*
Cal hidráulica	0.785	65-92	NA		0.59

Nota: \* El valor más alto se sugiere para los países desarrollados, el más bajo para los países en desarrollo.

En ausencia de datos específicos del país, es una buena práctica suponer un 85% de producción de cal con fuerte proporción de calcio y un 15% de producción de cal de dolomita.

$$\begin{aligned}
 FE_{cal} &= (0.85 \cdot FE_{cal \text{ con fuerte proporción de calcio}}) + (0.15 \cdot FE_{cal \text{ de dolomita}}) \\
 &= 0.85 \cdot 0.75 + 0.15 \cdot 0.77 \\
 &= 0.6375 + 0.1155 \\
 &= 0.75 \text{ toneladas de CO}_2 / \text{ toneladas de cal producida}
 \end{aligned}$$

Tabla 16. Emisiones por la producción de cemento del INEGEI [Gg de CO<sub>2</sub>]

Año	Inventario											
	INEGEI 1994-1998			INEGEI 1990-2002			INEGEI 1990-2006			INEGEI 1990-2010		
	DA (t)	FE (tCO <sub>2</sub> / t)	Emisiones	DA (t)	FE (tCO <sub>2</sub> / t)	Emisiones	DA (t)	FE (tCO <sub>2</sub> / t)	Emisiones	DA (t)	FE (tCO <sub>2</sub> / t)	Emisiones
<b>1990</b>				18,529,674	0.510	9,450.134	21,058,330	0.525	11,055.623	24,289,012	0.4985	12,108.072
<b>1991</b>				-	-	-	20,974,707	0.525	11,011.721	24,784,602	0.4985	12,355.124
<b>1992</b>				20,329,853	0.510	10,368.225	22,495,743	0.525	11,810.265	26,586,993	0.4985	13,253.616
<b>1993</b>				-	-	-	23,719,455	0.525	12,452.714	28,029,205	0.4985	13,972.559
<b>1994</b>	30,243,326	0.498	15,061	23,492,393	0.510	11,981.120	26,585,256	0.525	13,957.259	31,480,242	0.4985	15,692.901
<b>1995</b>	-	-	-	-	-	-	22,124,325	0.525	11,615.271	25,121,619	0.4985	12,523.127
<b>1996</b>	28,174,335	0.498	14,031	20,849,015	0.510	10,632.998	25,677,490	0.525	13,480.682	28,047,210	0.4985	13,981.534
<b>1997</b>	-	-	-	-	-	-	26,679,487	0.525	14,006.731	29,526,391	0.4985	14,718.906
<b>1998</b>	30,915,245	0.498	15,396	22,801,239	0.510	11,628.632	26,723,229	0.525	14,029.695	30,727,575	0.4985	15,317.696
<b>1999</b>				-	-	-	27,583,184	0.525	14,481.172	31,801,609	0.4985	15,853.102
<b>2000</b>				24,720,619	0.510	12,607.516	28,438,317	0.525	14,930.116	33,227,839	0.4985	16,564.078
<b>2001</b>				-	-	-	26,917,779	0.525	14,131.834	32,133,621	0.4985	16,018.610
<b>2002</b>				24,744,009	0.510	12,619.445	27,524,776	0.525	14,450.507	33,371,512	0.4985	16,635.699
<b>2003</b>							27,585,347	0.525	14,482.307	33,593,401	0.4985	16,746.310
<b>2004</b>							28,856,520	0.525	15,149.673	34,992,442	0.4985	17,443.732
<b>2005</b>							30,867,871	0.525	16,205.632	37,451,616	0.4985	18,669.631
<b>2006</b>							33,250,997	0.525	17,456.773	40,362,002	0.4985	20,120.458
<b>2007</b>										41,213,257	0.4985	20,544.809
<b>2008</b>										40,111,032	0.4985	19,995.349
<b>2009</b>										39,008,807	0.4985	19,445.890
<b>2010</b>										40,127,034	0.4985	20,003.326

Fuente: Elaboración propia con datos del INEGEI (varios años)

Tabla 17. Emisiones por la producción de cal del INEGEI [Gg de CO<sub>2</sub>]

Año	Tipos de cal	Inventario											
		INEGEI 1994-1998			INEGEI 1990-2002			INEGEI 1990-2006			INEGEI 1990-2010		
		DA (t)	FE (tCO <sub>2</sub> / t)	Emisiones	DA (t)	FE (tCO <sub>2</sub> / t)	Emisiones	DA (t)	FE (tCO <sub>2</sub> / t)	Emisiones	DA (t)	FE (tCO <sub>2</sub> / t)	Emisiones
1990	1				484,790	0.75	363.593	484,790	0.75	363.593	484,790	0.75	363.593
	2				2,844,644	0.59	1,678.340	2,844,644	0.59	1,678.340	2,844,644	0.59	1,678.340
	3				19,094	0.79	15.084	19,094	0.79	15.084	19,094	0.79	15.084
	4				153,632	0.77	118.297	153,632	0.77	118.297	153,632	0.77	118.297
1991	1				-	-	-	492,344	0.75	369.258	492,344	0.75	369.258
	2				-	-	-	2,839,687	0.59	1,675.415	2,839,687	0.59	1,675.415
	3				-	-	-	52,127	0.79	41.180	52,127	0.79	41.180
	4				-	-	-	161,007	0.77	123.975	161,007	0.77	123.975
1992	1				499,899	0.75	374.924	499,899	0.75	374.924	499,899	0.75	374.924
	2				2,834,730	0.59	1,672.491	2,834,730	0.59	1,672.491	2,834,730	0.59	1,672.491
	3				85,159	0.79	67.276	85,159	0.79	67.276	85,159	0.79	67.276
	4				168,382	0.77	129.654	168,382	0.77	129.654	168,382	0.77	129.654
1993	1				-	-	-	479,774	0.75	359.831	479,774	0.75	359.831
	2				-	-	-	2,906,777	0.59	1,714.998	2,906,777	0.59	1,714.998
	3				-	-	-	100,266	0.79	79.210	100,266	0.79	79.210
	4				-	-	-	172,009	0.77	132.447	172,009	0.77	132.447
1994	1	868,471	0.790	686	459,648	0.75	344.736	459,648	0.75	344.736	459,648	0.75	344.736
	2				2,978,823	0.59	1,757.506	2,978,823	0.59	1,757.506	2,978,823	0.59	1,757.506
	3				115,372	0.79	91.144	115,372	0.79	91.144	115,372	0.79	91.144
	4				175,636	0.77	135.240	175,636	0.77	135.240	175,636	0.77	135.240

		Inventario											
Año	Tipos de cal	INEGEI 1994-1998			INEGEI 1990-2002			INEGEI 1990-2006			INEGEI 1990-2010		
		DA (t)	FE (tCO <sub>2</sub> / t)	Emisiones	DA (t)	FE (tCO <sub>2</sub> / t)	Emisiones	DA (t)	FE (tCO <sub>2</sub> / t)	Emisiones	DA (t)	FE (tCO <sub>2</sub> / t)	Emisiones
1995	1				-	-	-	556,602	0.75	417.452	556,602	0.75	417.452
	2				-	-	-	2,649,674	0.59	1,563.308	2,649,674	0.59	1,563.308
	3				-	-	-	214,924	0.79	169.790	214,924	0.79	169.790
	4				-	-	-	182,732	0.77	140.704	182,732	0.77	140.704
1996	1	3,194,411	0.790	2,524	613,589	0.75	460.192	613,589	0.75	460.192	613,589	0.75	460.192
	2				2,604,700	0.59	1,536.773	2,580,822	0.59	1,522.685	2,580,822	0.59	1,522.685
	3				293,298	0.79	231.705	293,298	0.79	231.705	293,298	0.79	231.705
	4				207,208	0.77	159.550	207,208	0.77	159.550	207,208	0.77	159.550
1997	1				-	-	-	571,889	0.75	428.917	571,889	0.75	428.917
	2				-	-	-	2,783,083	0.59	1,642.019	2,783,083	0.59	1,642.019
	3				-	-	-	291,790	0.79	230.514	291,790	0.79	230.514
	4				-	-	-	218,504	0.77	168.248	218,504	0.77	168.248
1998	1	3,581,414	0.790	2,829	514,508	0.75	385.881	514,508	0.75	385.881	514,508	0.75	385.881
	2				2,803,472	0.59	1,654.048	2,803,472	0.59	1,654.048	2,803,472	0.59	1,654.048
	3				263,434	0.79	208.113	263,434	0.79	208.113	263,434	0.79	208.113
	4				225,052	0.77	173.290	225,052	0.77	173.290	225,052	0.77	173.290
1999	1				-	-	-	532,737	0.75	399.553	532,737	0.75	399.553
	2				-	-	-	2,762,900	0.59	1,630.111	2,762,900	0.59	1,630.111
	3				-	-	-	245,031	0.79	193.574	245,031	0.79	193.574
	4				-	-	-	221,012	0.77	170.179	221,012	0.77	170.179
2000	1				592,803	0.75	444.602	592,803	0.75	444.602	592,803	0.75	444.602
	2				2,812,685	0.59	1,659.484	2,812,685	0.59	1,659.484	2,812,685	0.59	1,659.484
	3				304,660	0.79	240.681	304,660	0.79	240.681	304,660	0.79	240.681
	4				204,553	0.77	157.506	204,553	0.77	157.506	204,553	0.77	157.506

Año	Tipos de cal	Inventario											
		INEGEI 1994-1998			INEGEI 1990-2002			INEGEI 1990-2006			INEGEI 1990-2010		
		DA (t)	FE (tCO <sub>2</sub> / t)	Emisiones	DA (t)	FE (tCO <sub>2</sub> / t)	Emisiones	DA (t)	FE (tCO <sub>2</sub> / t)	Emisiones	DA (t)	FE (tCO <sub>2</sub> / t)	Emisiones
2001	1				-	-	-	631,158	0.75	473.369	631,158	0.75	473.369
	2				-	-	-	2,805,822	0.59	1,655.435	2,805,822	0.59	1,655.435
	3				-	-	-	350,975	0.79	277.270	350,975	0.79	277.270
	4				-	-	-	182,726	0.77	140.699	182,726	0.77	140.699
2002	1				545,587	0.75	409.190	545,587	0.75	409.190	545,587	0.75	409.190
	2				2,825,260	0.59	1,666.903	2,825,260	0.59	1,666.903	2,825,260	0.59	1,666.903
	3				440,020	0.79	347.616	440,020	0.79	347.616	440,020	0.79	347.616
	4				250,714	0.77	193.050	250,714	0.77	193.050	250,714	0.77	193.050
2003	1							606,335	0.75	454.751	606,335	0.75	454.751
	2							2,743,345	0.59	1,618.574	2,743,345	0.59	1,618.574
	3							436,956	0.79	345.195	436,956	0.79	345.195
	4							267,915	0.77	206.295	267,915	0.77	206.295
2004	1							580,987	0.75	435.740	580,987	0.75	435.740
	2							2,665,385	0.59	1,572.577	2,665,385	0.59	1,572.577
	3							419,573	0.79	331.463	419,573	0.79	331.463
	4							279,710	0.77	215.377	279,710	0.77	215.377
2005	1							525,140	0.75	393.855	525,140	0.75	393.855
	2							2,587,803	0.59	1,526.804	2,587,803	0.59	1,526.804
	3							482,505	0.79	381.179	482,505	0.79	381.179
	4							299,133	0.77	230.332	299,133	0.77	230.332
2006	1							636,520	0.75	477.390	636,520	0.75	477.390
	2							2,729,766	0.59	1,610.562	2,729,766	0.59	1,610.562
	3							409,436	0.79	323.454	409,436	0.79	323.454
	4							346,293	0.77	266.646	346,293	0.77	266.646

Año	Tipos de cal	Inventario											
		INEGEI 1994-1998			INEGEI 1990-2002			INEGEI 1990-2006			INEGEI 1990-2010		
		DA (t)	FE (tCO <sub>2</sub> / t)	Emisiones	DA (t)	FE (tCO <sub>2</sub> / t)	Emisiones	DA (t)	FE (tCO <sub>2</sub> / t)	Emisiones	DA (t)	FE (tCO <sub>2</sub> / t)	Emisiones
2007	1										660,759	0.75	495.569
	2										2,560,095	0.59	1,510.456
	3										484,171	0.79	382.495
	4										393,453	0.77	302.959
2008	1										667,669	0.75	500.752
	2										2,580,038	0.59	1,522.222
	3										438,097	0.79	346.097
	4										440,613	0.77	339.272
2009	1										674,579	0.75	505.934
	2										2,599,981	0.59	1,533.989
	3										392,023	0.79	309.698
	4										487,773	0.77	375.585
2010	1										652,672	0.75	489.504
	2										2,155,220	0.59	1,271.580
	3										621,910	0.79	491.309
	4										534,933	0.77	411.898

Nota: 1. Viva, 2. Hidráulica y aérea, 3. Siderúrgica y química, 4. Dolomítica

Fuente: Elaboración propia con datos del INEGEI (varios años)

Tabla 18. Emisiones por la utilización de caliza del INEGEI [Gg de CO<sub>2</sub>]

Año	Inventario								
	INEGEI 1990-2002			INEGEI 1990-2006			INEGEI 1990-2010		
	DA (t)	FE (tCO <sub>2</sub> / t)	Emisiones	DA (t)	FE (tCO <sub>2</sub> / t)	Emisiones	DA (t)	FE (tCO <sub>2</sub> / t)	Emisiones
1990	7,897,127	0.440	3,474.736	6,872,547	0.440	3,023.921	4,402,720	0.440	1,937.197
1991	-	-	-	8,947,564	0.440	3,936.928	6,043,655	0.440	2,659.208
1992	10,150,951	0.440	4,466.418	10,048,363	0.440	4,421.280	6,929,289	0.440	3,048.887
1993	-	-	-	11,234,876	0.440	4,943.345	7,980,796	0.440	3,511.550
1994	11,903,102	0.440	5,237.365	11,356,786	0.440	4,996.986	7,334,414	0.440	3,227.142
1995	-	-	-	12,006,044	0.440	5,282.659	9,102,132	0.440	4,004.938
1996	14,515,547	0.440	6,386.841	14,893,050	0.440	6,552.942	11,534,644	0.440	5,075.243
1997	-	-	-	19,802,973	0.440	8,713.308	16,304,101	0.440	7,173.804
1998	20,283,520	0.440	8,924.749	19,799,965	0.440	8,711.985	16,204,183	0.440	7,129.841
1999	-	-	-	20,268,316	0.440	8,918.059	23,469,322	0.440	10,326.502
2000	32,926,759	0.440	14,487.774	31,881,732	0.440	14,027.962	28,084,938	0.440	12,357.373
2001	-	-	-	37,954,896	0.440	16,700.154	33,873,878	0.440	14,904.506
2002	33,819,717	0.440	14,880.675	33,184,441	0.440	14,601.154	28,922,162	0.440	12,725.751
2003				29,877,812	0.440	13,146.237	25,509,117	0.440	11,224.011
2004				45,700,437	0.440	20,108.192	41,293,184	0.440	18,169.001
2005				29,086,436	0.440	12,798.032	24,168,523	0.440	10,634.150
2006				39,247,102	0.440	17,268.725	33,943,891	0.440	14,935.312
2007							26,099,245	0.440	11,483.668
2008							29,063,420	0.440	12,787.905
2009							27,067,389	0.440	11,909.651
2010							27,095,802	0.440	11,922.153

Fuente: Elaboración propia con datos del INEGEI (varios años)

Tabla 19. Emisiones por la utilización de dolomita del INEGEI [Gg de CO<sub>2</sub>]

Año	Inventario								
	INEGEI 1990-2002			INEGEI 1990-2006			INEGEI 1990-2010		
	DA (t)	FE (tCO <sub>2</sub> / t)	Emisiones	DA (t)	FE (tCO <sub>2</sub> / t)	Emisiones	DA (t)	FE (tCO <sub>2</sub> / t)	Emisiones
1990	187,866	0.477	89.612	171,787	0.477	81.942	135,742	0.477	64.749
1991	-	-	-	171,474	0.477	81.793	133,948	0.477	63.893
1992	143,982	0.477	68.679	153,630	0.477	73.282	124,140	0.477	59.215
1993	-	-	-	226,474	0.477	108.028	185,281	0.477	88.379
1994	280,170	0.477	133.641	277,406	0.477	132.323	286,851	0.477	136.828
1995	-	-	-	666,436	0.477	317.890	592,902	0.477	282.814
1996	535,010	0.477	255.200	625,162	0.477	298.202	545,992	0.477	260.438
1997	-	-	-	605,581	0.477	288.862	783,633	0.477	373.793
1998	470,334	0.477	224.349	505,221	0.477	240.990	832,941	0.477	397.313
1999	-	-	-	141,303	0.477	67.402	52,531	0.477	25.057
2000	117,108	0.477	55.861	112,880	0.477	53.844	173,786	0.477	82.896
2001	-	-	-	414,774	0.477	197.847	422,701	0.477	201.628
2002	112,483	0.477	53.654	182,933	0.477	87.259	184,263	0.477	87.893
2003				225,009	0.477	107.329	225,293	0.477	107.465
2004				783,247	0.477	373.609	783,428	0.477	373.695
2005				948,157	0.477	452.271	920,706	0.477	439.177
2006				899,213	0.477	428.925	899,755	0.477	429.183
2007							743,330	0.477	354.568
2008							843,989	0.477	402.583
2009							540,664	0.477	257.897
2010							1,097,668	0.477	523.588

Fuente: Elaboración propia con datos del INEGEI (varios años)

Tabla 20. Emisiones por la producción y utilización de carbonato sódico del INEGEI [Gg de CO<sub>2</sub>]

Año	Proceso	Inventario											
		INEGEI 1994-1998			INEGEI 1990-2002			INEGEI 1990-2006			INEGEI 1990-2010		
		DA (t)	FE (tCO <sub>2</sub> /t)	Emisiones	DA (t)	FE (tCO <sub>2</sub> /t)	Emisiones	DA (t)	FE (tCO <sub>2</sub> /t)	Emisiones	DA (t)	FE (tCO <sub>2</sub> /t)	Emisiones
1990	1				190,000	0.415	78.850	148,662	0.415	61.695	190,000	0.415	78.850
	2				259,000	0.415	107.485	259,000	0.415	107.485	259,000	0.415	107.485
	3				269,800	0.097	26.171	148,662	0.138	20.515	-	-	-
1991	1				-	-	-	184,082	0.415	76.394	190,000	0.415	78.850
	2				-	-	-	259,000	0.415	107.485	259,000	0.415	107.485
	3				-	-	-	184,082	0.138	25.403	-	-	-
1992	1				160,000	0.415	66.400	174,899	0.415	72.583	160,000	0.415	66.400
	2				280,000	0.415	116.200	280,000	0.415	116.200	280,000	0.415	116.200
	3				227,200	0.097	22.038	174,899	0.138	24.136	-	-	-
1993	1				-	-	-	91,781	0.415	38.089	160,000	0.415	66.400
	2				-	-	-	280,000	0.415	116.200	280,000	0.415	116.200
	3				-	-	-	91,781	0.138	12.666	-	-	-
1994	1	275,143	0.415	114	160,000	0.415	66.400	5,143	0.415	2.134	160,000	0.415	66.400
	2	-	-	-	280,000	0.415	116.200	270,000	0.415	112.050	280,000	0.415	116.200
	3	-	-	-	227,200	0.097	22.038	5,143	0.138	0.710	-	-	-
1995	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	290,000	0.415	120.350
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1996	1	253,684	0.415	105	290,000	0.415	120.350	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	290,000	0.415	120.350
	3	-	-	-	411,800	0.097	39.945	-	-	-	-	-	-

		Inventario											
Año	Proceso	INEGEI 1994-1998			INEGEI 1990-2002			INEGEI 1990-2006			INEGEI 1990-2010		
		DA (t)	FE (tCO <sub>2</sub> /t)	Emisiones	DA (t)	FE (tCO <sub>2</sub> /t)	Emisiones	DA (t)	FE (tCO <sub>2</sub> /t)	Emisiones	DA (t)	FE (tCO <sub>2</sub> /t)	Emisiones
1997	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	290,000	0.415	120.350
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1998	1	-	-	-	290,000	0.415	120.350	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	290,000	0.415	120.350
	3	-	-	-	411,800	0.097	39.945	-	-	-	-	-	-
1999	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	290,000	0.415	120.350
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2000	1	-	-	-	611,000	0.415	253.565	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	290,000	0.415	120.350	-	-	-	290,000	0.415	120.350
	3	-	-	-	867,620	0.097	84.159	-	-	-	-	-	-
2001	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	290,000	0.415	120.350
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2002	1	-	-	-	591,500	0.415	245.473	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	290,000	0.415	120.350	-	-	-	290,000	0.415	120.350
	3	-	-	-	840,750	0.097	81.553	-	-	-	-	-	-
2003	1	-	-	-	-	-	-	56,870	0.415	23.601	-	-	-
	2	-	-	-	-	-	-	290,000	0.415	120.350	290,000	0.415	120.350
	3	-	-	-	-	-	-	56,870	0.138	7.848	-	-	-

		Inventario											
Año	Proceso	INEGEI 1994-1998			INEGEI 1990-2002			INEGEI 1990-2006			INEGEI 1990-2010		
		DA (t)	FE (tCO <sub>2</sub> / t)	Emisiones	DA (t)	FE (tCO <sub>2</sub> / t)	Emisiones	DA (t)	FE (tCO <sub>2</sub> / t)	Emisiones	DA (t)	FE (tCO <sub>2</sub> / t)	Emisiones
2004	1							-	-	-	-	-	-
	2							-	-	-	290,000	0.415	120.350
	3							-	-	-	-	-	-
2005	1							-	-	-	-	-	-
	2							-	-	-	290,000	0.415	120.350
	3							-	-	-	-	-	-
2006	1							-	-	-	-	-	-
	2							-	-	-	290,000	0.415	120.350
	3							-	-	-	-	-	-
2007	1										-	-	-
	2										290,000	0.415	120.350
	3										-	-	-
2008	1										-	-	-
	2										290,000	0.415	120.350
	3										-	-	-
2009	1										-	-	-
	2										290,000	0.415	120.350
	3										-	-	-
2010	1										-	-	-
	2										290,000	0.415	120.350
	3										-	-	-

Nota: 1. Natural, 2. Sintético, 3. Trona/Producción.

Fuente: Elaboración propia con datos del INEGEI (varios años)

Tabla 21 Emisiones por la producción de vidrio del INEGEI [Gg de CO<sub>2</sub>]

Año	Tipos de vidrio	Inventario			Año	Tipos de vidrio	Inventario		
		INEGEI 1990-2006					INEGEI 1990-2006		
		DA (t)	FE (tCO <sub>2</sub> / t)	Emisiones			DA (t)	FE (tCO <sub>2</sub> / t)	Emisiones
1990	1	328,240	0.210	62.037	1999	1	197,379	0.210	37.305
	2	11,543	0.250	2.597		2	28,164	0.250	6.337
1991	1	364,555	0.210	68.901	2000	1	192,525	0.210	36.387
	2	12,308	0.250	2.769		2	30,035	0.250	6.758
1992	1	415,845	0.210	78.595	2001	1	68,527	0.210	12.952
	2	13,341	0.250	3.002		2			
1993	1	468,428	0.210	88.533	2002	1	85,979	0.210	16.250
	2	14,487	0.250	3.260		2			
1994	1	643,628	0.210	121.646	2003	1	82,067	0.210	15.511
	2	15,104	0.250	3.398		2			
1995	1	613,186	0.210	115.892	2004	1	203,890	0.210	38.535
	2	19,400	0.250	4.365		2			
1996	1	642,613	0.210	121.454	2005	1	196,547	0.210	37.147
	2	19,904	0.250	4.478		2			
1997	1	680,772	0.210	128.666	2006	1	191,457	0.210	36.185
	2	22,634	0.250	5.093		2			
1998	1	735,289	0.210	138.970	<b>Nota: 1. Vidrio, 2. Fibra de vidrio</b>				
	2	25,978	0.250	5.845	<b>Fuente: Elaboración propia con datos del INEGEI 1990-2006</b>				