

## **CAPÍTULO 2**

---

# **EMISIONES DE LA INDUSTRIA DE LOS MINERALES**

## **Autores**

Lisa Hanle (Estados Unidos)

Pedro Maldonado (Chile), Eiichi Onuma (Japón), Milos Tichy (República Checa) y Hendrik G. van Oss (Estados Unidos)

## **Autores colaboradores**

Victor O. Aume (Estados Unidos), George H. Edwards (Estados Unidos) y M. Michael Miller (Estados Unidos)

## Índice

|         |   |      |
|---------|---|------|
| 2       | Emisiones de la industria de los minerales.....   | 2.6  |
| 2.1     | Introducción.....   | 2.6  |
| 2.2     | Producción de cemento.....  | 2.7  |
| 2.2.1   | Cuestiones metodológicas.....   | 2.7  |
| 2.2.1.1 | Elección del método.....  | 2.8  |
| 2.2.1.2 | Elección de los factores de emisión.....  | 2.13 |
| 2.2.1.3 | Elección de los datos de la actividad.....  | 2.15 |
| 2.2.1.4 | Exhaustividad.....  | 2.17 |
| 2.2.1.5 | Desarrollo de una serie temporal coherente.....   | 2.18 |
| 2.2.2   | Evaluación de incertidumbre.....  | 2.18 |
| 2.2.2.1 | Incertidumbres del factor de emisión.....   | 2.18 |
| 2.2.2.2 | Incertidumbres en los datos de la actividad.....  | 2.19 |
| 2.2.3   | Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación..... | 2.20 |
| 2.2.3.1 | Garantía de calidad / Control de calidad (GC/CC).....                                       | 2.20 |
| 2.2.3.2 | Generación de informes y documentación.....   | 2.21 |
| 2.3     | Producción de cal.....  | 2.22 |
| 2.3.1   | Cuestiones metodológicas.....   | 2.22 |
| 2.3.1.1 | Elección del método.....  | 2.23 |
| 2.3.1.2 | Elección de los factores de emisión.....  | 2.25 |
| 2.3.1.3 | Elección de los datos de la actividad.....  | 2.27 |
| 2.3.1.4 | Exhaustividad.....  | 2.28 |
| 2.3.1.5 | Desarrollo de una serie temporal coherente.....   | 2.28 |
| 2.3.2   | Evaluación de incertidumbre.....  | 2.29 |
| 2.3.2.1 | Incertidumbres del factor de emisión.....   | 2.29 |
| 2.3.2.2 | Incertidumbres en los datos de la actividad.....  | 2.29 |
| 2.3.3   | Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación..... | 2.30 |
| 2.3.3.1 | Garantía de calidad / Control de calidad (GC/CC).....                                       | 2.30 |
| 2.3.3.2 | Generación de informes y documentación.....   | 2.30 |
| 2.4     | Producción de vidrio.....   | 2.31 |
| 2.4.1   | Cuestiones metodológicas.....   | 2.31 |
| 2.4.1.1 | Elección del método.....  | 2.32 |
| 2.4.1.2 | Elección de los factores de emisión.....  | 2.33 |
| 2.4.1.3 | Elección de los datos de actividad.....   | 2.34 |
| 2.4.1.4 | Exhaustividad.....  | 2.35 |
| 2.4.1.5 | Desarrollo de una serie temporal coherente.....   | 2.35 |

|             |   |      |
|-------------|---|------|
| 2.4.2       | Evaluación de incertidumbre .....   | 2.35 |
| 2.4.2.1     | Incertidumbres del factor de emisión .....  | 2.35 |
| 2.4.2.2     | Incertidumbres en los datos de la actividad .....   | 2.35 |
| 2.4.3       | Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC),<br>generación de informes y documentación ..... | 2.36 |
| 2.4.3.1     | Garantía de calidad / Control de calidad (GC/CC) .....  | 2.36 |
| 2.4.3.2     | Generación de informes y documentación .....  | 2.36 |
| 2.5         | Otros usos de carbonatos en los procesos .....  | 2.37 |
| 2.5.1       | Cuestiones metodológicas .....  | 2.37 |
| 2.5.1.1     | Elección del método .....   | 2.38 |
| 2.5.1.2     | Elección de los factores de emisión .....   | 2.40 |
| 2.5.1.3     | Elección de los datos de actividad .....  | 2.41 |
| 2.5.1.4     | Exhaustividad .....   | 2.41 |
| 2.5.1.5     | Desarrollo de una serie temporal coherente .....  | 2.43 |
| 2.5.2       | Evaluación de incertidumbre .....   | 2.44 |
| 2.5.2.1     | Incertidumbres del factor de emisión .....  | 2.44 |
| 2.5.2.2     | Incertidumbres en los datos de la actividad .....   | 2.44 |
| 2.5.3       | Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC),<br>generación de informes y documentación ..... | 2.44 |
| 2.5.3.1     | Garantía de calidad / Control de calidad (GC/CC) .....  | 2.44 |
| 2.5.3.2     | Generación de informes y documentación .....  | 2.45 |
| Referencias | .....   | 2.45 |

## Ecuaciones

|               |   |      |
|---------------|---|------|
| Ecuación 2.1  | Nivel 3: Emisiones basadas en la producción de cemento .....  | 2.8  |
| Ecuación 2.2  | Nivel 2: Emisiones basadas en los datos sobre producción de clínker .....                               | 2.10 |
| Ecuación 2.3  | Nivel 3: Emisiones basadas en las entradas al horno de materias primas carbonatadas .....               | 2.12 |
| Ecuación 2.4  | Factor de emisión para el clínker .....   | 2.13 |
| Ecuación 2.5  | Factor corrector para el CKD no reciclado hacia el horno .....  | 2.14 |
| Ecuación 2.6  | Nivel 2: Emisiones basadas en los datos de producción nacional de cal, por tipos .....                  | 2.24 |
| Ecuación 2.7  | Nivel 3: Emisiones basadas en las entradas de carbonatos .....  | 2.24 |
| Ecuación 2.8  | Nivel 1: factor de emisión por defecto para la producción de cal .....                                  | 2.25 |
| Ecuación 2.9  | Nivel 2: Factores de emisión para la producción de cal .....  | 2.26 |
| Ecuación 2.10 | Nivel 1: Emisiones basadas en la producción de vidrio .....   | 2.32 |
| Ecuación 2.11 | Nivel 2: Emisiones basadas en el proceso de fabricación del vidrio .....                                | 2.32 |
| Ecuación 2.12 | Nivel 3: Emisiones basadas en las entradas de carbonatos .....  | 2.32 |
| Ecuación 2.13 | Nivel 1: factor de emisión por defecto para la producción de vidrio .....                               | 2.34 |
| Ecuación 2.14 | Nivel 1: Emisiones basadas en la masa de los carbonatos consumidos .....                                | 2.38 |
| Ecuación 2.15 | Nivel 2: Método para otros usos de los carbonatos en los procesos .....                                 | 2.39 |
| Ecuación 2.16 | Nivel 3: Método de las entradas de carbonato para otros usos de los carbonatos en los<br>procesos ..... | 2.39 |

## Figuras

|            |   |      |
|------------|---|------|
| Figura 2.1 | Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de CO <sub>2</sub> provenientes de la producción de cemento .....                     | 2.10 |
| Figura 2.2 | Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de CO <sub>2</sub> provenientes de la producción de cal.....                          | 2.23 |
| Figura 2.3 | Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de CO <sub>2</sub> provenientes de la producción de vidrio .....                      | 2.33 |
| Figura 2.4 | Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de CO <sub>2</sub> provenientes de otros usos de los carbonatos en los procesos ..... | 2.40 |

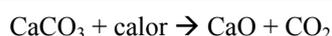
## Cuadros

|            |   |      |
|------------|---|------|
| Cuadro 2.1 | Fórmulas, pesos moleculares de fórmula, y contenido de dióxido de carbono de las especies comunes de carbonatos ..... | 2.7  |
| Cuadro 2.2 | Fracción de clínker en las «recetas» de cementos compuestos y en las mezclas generales .....                          | 2.16 |
| Cuadro 2.3 | Valores de incertidumbre por defecto para la producción de cemento .....  | 2.19 |
| Cuadro 2.4 | Parámetros básicos para el cálculo de los factores de emisión en la producción de cal .....                           | 2.26 |
| Cuadro 2.5 | Valores de incertidumbre por defecto para la estimación de emisiones de CO <sub>2</sub> de la producción de cal ..... | 2.29 |
| Cuadro 2.6 | Factores de emisión y proporciones de cullet por defecto para los diferentes tipos de vidrio ..                       | 2.34 |
| Cuadro 2.7 | Usos de los carbonatos que generan y que no generan emisiones .....   | 2.42 |

## 2 EMISIONES DE LA INDUSTRIA DE LOS MINERALES

### 2.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se delinearán las metodologías para estimar las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) relacionadas con los procesos que resultan del uso de materias primas carbonatadas en la producción y el uso de una variedad de productos minerales industriales. Existen dos grandes vías para la liberación de CO<sub>2</sub> a partir de los carbonatos: la calcinación y la liberación de CO<sub>2</sub> inducida por ácidos. El principal proceso que conduce a la liberación de CO<sub>2</sub> es la calcinación de compuestos carbonatados, durante la cual se forma óxido metálico mediante la aplicación de calor. Una reacción de calcinación típica, ejemplificada aquí para el mineral de calcita o carbonato de calcio, sería la siguiente:



La liberación de CO<sub>2</sub> inducida por ácido, por ejemplo, a través de una ecuación de la forma:



Esto ocurre en diversas industrias, pero es generalmente el resultado de la presencia de pequeñas cantidades de carbonatos, en calidad de impurezas, en un proceso de acidificación para concentrar un material no carbonatado. Por ejemplo, en el tratamiento de los minerales de fosfato con ácido sulfúrico para producir ácido fosfórico, el concentrado de fosfato que ha de ser acidificado puede contener un pequeño porcentaje de minerales carbonatados. En general, la cantidad de CO<sub>2</sub> liberada por acidificación de estas impurezas carbonatadas es pequeña.

En consecuencia, en este capítulo la atención se centra en las emisiones que resultan de la calcinación de materiales carbonatados. Aunque el proceso principal a través del cual se liberan emisiones por calcinación es similar entre las diversas categorías de fuente de la industria de los minerales, el énfasis se pone en tres de ellas pues sus contribuciones a las emisiones mundiales son relativamente importantes. Estas categorías de fuente son: la producción de cemento, de cal y de vidrio. Además de estas categorías, en este capítulo se consideran las emisiones provenientes del consumo de carbonatos en una variedad de otras industrias de los minerales, incluidas las cerámicas, los usos de la ceniza de sosa y el consumo de carbonatos en la producción de magnesia no metalúrgica.

La piedra caliza y otros materiales carbonatados se consumen también en muchas otras industrias que no se abordan en este capítulo. Son ejemplos los carbonatos que se utilizan como fundentes<sup>1</sup> o como agentes de escorificación<sup>2</sup> en la fundición y refinación (p. ej., la producción de hierro y acero y la de metales básicos como el cobre), y como entradas en la industria química (p. ej., los fertilizantes). Los métodos delineados en este capítulo para estimar las emisiones provenientes del uso de carbonatos son aplicables también a estas otras industrias. Es una *buena práctica* atribuir las emisiones provenientes del uso de la piedra caliza, la dolomita y otros carbonatos, a la categoría de fuente industrial en las cuales son emitidas (p. ej., la producción de hierro y acero).

Tal como se señala a lo largo de todo el Volumen 3, sobre Procesos industriales y uso de productos (IPPU, del inglés, *Industrial Processes and Products Use*), en las metodologías para la estimación de las emisiones que se explican a continuación, se consideran sólo las emisiones relacionadas con procesos y no las emisiones relacionadas con la energía. Los compiladores del inventario deben garantizar que las emisiones de estas industrias que estén relacionadas con la energía, se contabilicen en el Sector Energía y que no haya cálculos dobles de emisiones entre los Sectores Energía e IPPU. Por ejemplo, en el cálculo de las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes del consumo de combustible para la fabricación del cemento debe considerarse la combustión, tanto de los combustibles fósiles como de los combustibles de desecho (neumáticos, óleos de desecho, pinturas, etc.).

<sup>1</sup> Los fundentes (o flujos) son materias primas tales como la piedra caliza, la dolomita, la cal y la arena de sílice, que se usan para reducir el calor u otros requerimientos energéticos necesarios del procesamiento térmico de los minerales (tal como la fundición de metales). Los fundentes pueden cumplir una doble función, pues actúan a la vez como agentes de escorificación.

<sup>2</sup> La escoria (o clinker) es un silicato fundido residual formado intencionalmente durante la fundición de minerales metálicos o en hornos posteriores (p. ej., el acero) mediante la incorporación de agentes de escorificación (generalmente cal, piedra caliza y/o dolomita). Esta escoria contiene la mayoría de las impurezas no volátiles extraídas de los minerales, así como los componentes derivados de cualquiera de los fundentes agregados al proceso de fundición.

Sin embargo, estas emisiones relacionadas con la combustión deben incluirse en las emisiones relacionadas con la energía y no con el IPPU, el cual deberá incluir sólo las emisiones procedentes de la calcinación.

Aunque el metano (CH<sub>4</sub>) y el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) pueden ser emitidos por algunas categorías de fuente de la industria de los minerales, dados los conocimientos científicos actuales, se supone que estas emisiones son insignificantes y por lo tanto no se abordan en este capítulo. Las emisiones de CO<sub>2</sub> pueden resultar de actividades adicionales relacionadas con los minerales que no están identificadas aquí. Pero deben incluirse en el inventario allí donde se conozcan y puedan estimarse.

Las categorías de fuente de este capítulo son tratadas con un enfoque común respecto de los niveles metodológicos. Los Niveles 1 y 2 se basan en estimaciones de la cantidad de materias primas consumidas o de productos fabricados, junto con factores de emisión que representan la cantidad de CO<sub>2</sub> emitido por unidad de masa. El Nivel 3 describe los cálculos directos basados en los procesos químicos específicos aplicados a las materias primas en cada planta. Si se usan datos de materias primas específicos por sitio, es vital que se justifiquen todas las fuentes de carbonatos en las materias primas y en los combustibles (no sólo las de la piedra caliza). Los cálculos básicos de las emisiones son similares para todas las industrias que queman carbonatos. Se basan en pesos moleculares de fórmula y en factores de CO<sub>2</sub> comunes, los cuales, para mayor facilidad, se presentan en el siguiente Cuadro 2.1.

| <b>CUADRO 2.1</b><br><b>FÓRMULAS, PESOS MOLECULARES DE FÓRMULA, Y CONTENIDO DE DIÓXIDO DE CARBONO</b><br><b>DE LAS ESPECIES COMUNES DE CARBONATOS*</b> |                                     |                                  |   |
|--|-------------------------------------|----------------------------------|---|
| <b>Carbonato</b>   | <b>Nombre del (o los) minerales</b> | <b>Peso molecular de fórmula</b> | <b>Factor de emisión (toneladas de CO<sub>2</sub>/toneladas de carbonato)**</b> |
| CaCO <sub>3</sub>  | Calcita*** o aragonita              | 100,0869                         | 0,43971   |
| MgCO <sub>3</sub>  | Magnesita                           | 84,3139                          | 0,52197   |
| CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>  | Dolomita***                         | 184,4008                         | 0,47732   |
| FeCO <sub>3</sub>  | Siderita                            | 115,8539                         | 0,37987   |
| Ca(Fe,Mg,Mn)(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>  | Ankerita (o espató)****             | 185,0225–215,616<br>0            | 0,40822–0,47572   |
| MnCO <sub>3</sub>  | Rhodochrosita                       | 114,9470                         | 0,38286   |
| Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>  | Carbonato de sodio o ceniza de sosa | 106,0685                         | 0,41492   |

Fuente: *CRC Handbook of Chemistry and Physics* (2004).

\* Los resultados finales (es decir, la estimación de las emisiones) obtenidos con estos datos deben redondearse a no más de dos cifras significativas

\*\* Fracción de CO<sub>2</sub> emitida, suponiendo una calcinación al 100 por ciento; p. ej., 1 tonelada de calcita totalmente calcinada rendiría 0,43971 toneladas de CO<sub>2</sub>.

\*\*\* La calcita es el mineral principal de la piedra caliza. Los términos tales como piedra caliza con fuerte proporción de magnesio o piedra caliza dolomítica se refieren a una sustitución relativamente pequeña del Mg por el Ca en la fórmula general CaCO<sub>3</sub>, comúnmente presentada para la piedra caliza.

\*\*\*\* Para el intervalo de los pesos moleculares de fórmula presentados para la ankerita (espatos), se supone que el Fe, Mg y Mn están presentes en proporciones de al menos un 1,0 por ciento

## 2.2 PRODUCCIÓN DE CEMENTO

### 2.2.1 Cuestiones metodológicas

En la fabricación del cemento, el CO<sub>2</sub> se genera durante la producción de clínker, un producto intermedio constituido de nódulos, que luego se somete a una molturación fina conjuntamente con una pequeña proporción de sulfato de calcio [yeso (CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O) o anhidruro (CaSO<sub>4</sub>)], para formar el cemento hidráulico (generalmente, el cemento portland). Durante la producción del clínker, se calienta o calcina la piedra caliza, compuesta esencialmente de carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>), para producir cal (CaO) y CO<sub>2</sub> como productos derivados. El CaO reacciona entonces con la sílice (SiO<sub>2</sub>), la alúmina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), y el óxido de hierro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) presentes en las materias primas, para formar minerales de clínker (principalmente silicatos de calcio). La proporción de otros carbonatos diferentes del CaCO<sub>3</sub> en las materias primas es en general muy pequeña. Los demás carbonatos, si aparecen, existen esencialmente como impurezas en la materia prima de la piedra caliza primaria. Es deseable que haya una pequeña cantidad de MgO (generalmente, entre 1 por ciento y 2 por ciento) en el proceso de fabricación del clínker, pues actúa como fundente. Pero una cantidad mayor puede generar problemas con el cemento (van Oss y Padovani, 2002). El cemento puede fabricarse completamente (por molturación) a partir de clínker importado, en cuyo caso la planta de producción de cemento puede ser considerada libre de toda emisión de CO<sub>2</sub> relacionada con el proceso de

fabricación. Como se explica en la Sección 2.2.1.2, durante la fabricación de clínker puede generarse polvo de horno de cemento (CKD, del inglés *Cement Kiln Dust*). En la estimación de las emisiones deben tomarse en cuenta las emisiones asociadas al CKD.

No hay emisiones adicionales asociadas con la producción de cemento de albañilería. En el caso de que se produzca cemento de albañilería por adición de cal al cemento portland (o a su clínker), las emisiones asociadas a la cal deben haberse tomado ya en cuenta bajo el rubro producción de cal. No se producen emisiones adicionales cuando, para producir cemento de albañilería, se agregue piedra caliza molida al cemento portland o a su clínker.

### 2.2.1.1 Elección del método

En el árbol de decisión de la Figura 2.1 se describe la *buena práctica* de escoger el método más apropiado según las circunstancias nacionales. En el método de Nivel 1, las emisiones se basan en las estimaciones de producción de clínker inferidas de los datos sobre la producción de cemento, y se corrigen en función de las exportaciones e importaciones de clínker. La estimación directa de las emisiones a partir de la producción de cemento (esto es, aplicando directamente un factor de emisión a la producción de cemento, sin estimar primero la producción de clínker) no se considera una *buena práctica* pues no da cuenta de las importaciones y exportaciones de clínker.

En el Nivel 2, las emisiones se estiman directamente de los datos sobre la producción de clínker (en vez de estimarse de la producción de clínker inferida de la producción de cemento) y de un factor de emisión, ya sea nacional o por defecto. El método de Nivel 3 consiste en un cálculo basado en los pesos y en la composición de todas las entradas de carbonatos que se aplica a todas las fuentes de materias primas y de combustibles, al (o a los) factores de emisión para el (o los) carbonatos y a la fracción de calcinación alcanzada. En el método de Nivel 3 se cuenta con los datos específicos de la planta. Si el compilador del inventario considera que los datos del nivel de la planta son poco fiables o muy inciertos, entonces la *buena práctica* es usar el Nivel 2.

En el Nivel 2 y en el Nivel 3 se debe incluir una corrección para el CKD. En el Nivel 2 se incluye una corrección aditiva para las emisiones asociadas con el CKD que no es reciclado hacia el horno. En el Nivel 3 también debe justificarse el CKD. Pero a diferencia del método de Nivel 2, al usar el Nivel 3, las emisiones atribuidas al CKD no calcinado ni reciclado hacia el horno deben restarse de la estimación del total de emisiones.

En el caso de que en la planta se haya instalado una tecnología de captura del CO<sub>2</sub>, es una *buena práctica* restar el CO<sub>2</sub> capturado de los cálculos de emisiones efectuados mediante los niveles más elevados. Se supone por defecto que no hay captura ni almacenamiento (CCS) de CO<sub>2</sub>. Para toda metodología que tome en cuenta la captura de CO<sub>2</sub>, debe considerarse que las emisiones de CO<sub>2</sub> capturadas en el proceso pueden estar relacionadas tanto con la combustión como con el proceso mismo. En los casos en los que las emisiones debidas a la combustión o al proceso deban declararse separadamente, p. ej., para el caso de la producción de cemento, los compiladores del inventario deben garantizar que las mismas cantidades de CO<sub>2</sub> no sean contabilizadas por partida doble. En estos casos, la cantidad total de CO<sub>2</sub> capturado debe declararse preferentemente en las correspondientes categorías de fuente de Energía e IPPU, en proporción con las cantidades de CO<sub>2</sub> generado en cada categoría de fuente. Para más información sobre la captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub>, refiérase al Volumen 3, Sección 1.2.2 y para mayores detalles sobre captura y almacenamiento, al Volumen 2, Sección 2.3.4.

## MÉTODO DE NIVEL 1: ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE CLÍNKER A TRAVÉS DE LOS DATOS DE PRODUCCIÓN DE CEMENTO

Tal como se ha señalado más arriba, el cálculo de las emisiones de CO<sub>2</sub> realizado directamente a partir de la producción de cemento (p. ej., mediante el uso de un factor de emisión fijo basado en el cemento) no es coherente con las *buenas prácticas*. En contrapartida, ante la ausencia de datos sobre las entradas de carbonatos o sobre la producción nacional de clínker, pueden usarse los datos de producción de cemento para estimar la producción de clínker mediante la contabilización de las cantidades y tipos de cemento producidos con sus respectivos contenidos de clínker. Estos mismos datos pueden usarse para aplicar una corrección que dé cuenta de las importaciones y exportaciones de clínker. La contabilización de las importaciones y exportaciones de clínker constituye un factor importante en la estimación de las emisiones provenientes de esta fuente. Las emisiones resultantes de la producción de clínker importado no deben incluirse en las estimaciones de emisiones nacionales pues estas emisiones ya han ocurrido y se han contabilizado en otro país. De manera similar, las emisiones resultantes del clínker que es finalmente exportado, deben analizarse y atribuirse como estimaciones nacionales del país donde se produce el clínker. Se aplica entonces un factor de emisión para el clínker y se calculan las emisiones de CO<sub>2</sub> según la Ecuación 2.1.

**ECUACIÓN 2.1**

**NIVEL 3: EMISIONES BASADAS EN LA PRODUCCIÓN DE CEMENTO**

$$EmisionesCO_2 = \left[ \sum_i (M_{ci} \cdot C_{cli}) - Im + Ex \right] \cdot EF_{clc}$$

Donde:

Emisiones de CO<sub>2</sub> = emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de la producción de cemento, toneladas

$M_{ci}$  = peso (masa) de cemento producido<sup>3</sup> de tipo  $i$ , toneladas

$C_{cli}$  = fracción de clínker del cemento de tipo  $i$ , fracción

$Im$  = importaciones para el consumo de clínker, toneladas

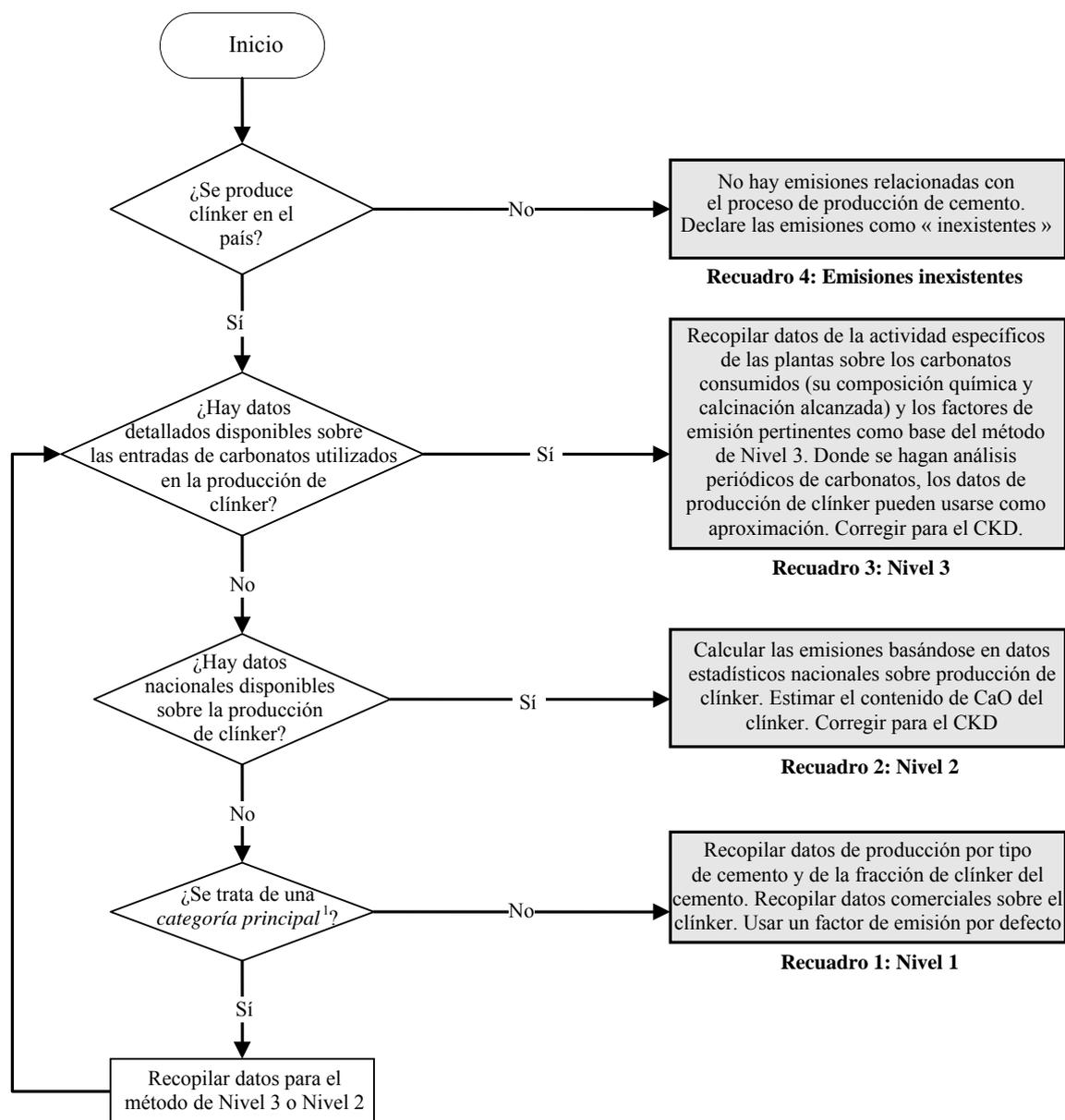
$Ex$  = exportaciones de clínker, toneladas

$EF_{clc}$  = factor de emisión del clínker en el cemento en particular, toneladas de  $CO_2$ /toneladas de clínker  
 El factor de emisión por defecto del clínker ( $EF_{clc}$ ) está corregido para el CKD.

---

<sup>3</sup> En algunos compendios estadísticos, se entiende que la producción de cemento significa la producción media más las exportaciones de clínker. Si este fuera el caso, es una *buena práctica* sustraer las exportaciones de clínker del factor  $M_{ci}$  en la Ecuación 2.1.

**Figura 2.1**      **Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes de la producción de cemento**



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).

## MÉTODO DE NIVEL 2: UTILIZACIÓN DE LOS DATOS SOBRE PRODUCCIÓN DE CLÍNKER

Si no se dispone de datos detallados y completos (incluidos los pesos y la composición) sobre el (o los) carbonatos consumidos en la producción de clínker (Nivel 3), o bien, si por otro lado, resulta impracticable un cálculo riguroso de Nivel 3, es una *buena práctica* utilizar datos globales sobre la producción de clínker de nivel de planta o de nivel nacional y datos sobre el contenido de CaO del clínker, expresados como un factor de emisión en la Ecuación 2.2, presentada a continuación.

**ECUACIÓN 2.2**

**NIVEL 2: EMISIONES BASADAS EN LOS DATOS SOBRE PRODUCCIÓN DE CLÍNKER**

$$Emisiones\ de\ CO_2 = M_{cl} \cdot EF_{cl} \cdot CF_{ckd}$$

Donde:

Emisiones de CO<sub>2</sub> = emisiones de CO<sub>2</sub> proveniente de la producción de cemento, toneladas

M<sub>cl</sub> = peso (masa) de la cal producida, toneladas

EF<sub>cl</sub> = factor de emisión para el clínker, toneladas de CO<sub>2</sub>/toneladas de clínker (véase a continuación el análisis de la Sección 2.2.1.2, Elección del factor de emisión, para los Niveles 1 y 2). Este factor de emisión del clínker (EF<sub>cl</sub>) no está corregido para el CKD.

CF<sub>ckd</sub> = factor corrector de las emisiones para el CKD, sin dimensión (véase Ecuación 2.5)

El método de Nivel 2 se basa en las siguientes hipótesis en relación con la industria del cemento y con la producción de clínker:

1. La mayor parte del cemento hidráulico es cemento portland o un cemento similar que requiere clínker de cemento portland;
2. En la composición del clínker, la proporción de CaO varía dentro de un intervalo muy limitado y el contenido de MgO se mantiene muy bajo;
3. En general, las plantas son capaces de controlar el contenido de CaO en las entradas de materias primas y de clínker dentro de un intervalo estrecho de tolerancia;
4. Aun cuando la salida de clínker se calcula en vez de medirla directamente en la planta, a la hora de los controles de auditoría ambos métodos de determinación arrojan resultados concordantes;
5. Para una planta en particular, el contenido de CaO del clínker tiende a no variar significativamente a través de los años;
6. Para la mayoría de las plantas, la fuente principal de CaO es el CaCO<sub>3</sub> y toda otra fuente de CaO cuyo origen no sean los carbonatos, está debidamente cuantificada, por lo menos al nivel de la planta (véase más abajo, Sección 2.2.1.2);
7. Para las entradas de carbonatos usados en la fabricación de clínker se alcanza un factor de calcinación del 100 por ciento (o muy cercano), incluidos (normalmente en menor escala) los materiales perdidos para el sistema como CKD no reciclado; y
8. Los colectores de polvo de las plantas capturan casi la totalidad del CKD, aunque éste no necesariamente se recicle hacia el horno.

### MÉTODO DE NIVEL 3: UTILIZACIÓN DE LOS DATOS SOBRE ENTRADAS DE CARBONATOS

El Nivel 3 se basa en la recolección de datos desagregados respecto de los tipos (composiciones) y las cantidades de carbonato(s) consumidos para producir clínker, así como en su (o sus) factores de emisión respectivos. Las emisiones se calculan luego mediante la Ecuación 2.3. El método de Nivel 3 incluye un ajuste para restar todo carbonato no calcinado contenido de el CKD que no se recicle hacia el horno. Si el CKD se calcina totalmente, o bien si se recicla hacia el horno, este factor corrector para el CKD será nulo. El Nivel 3 se considera aún una *buena práctica* en aquellos casos en que los compiladores del inventario no tengan acceso a los datos sobre el CKD no calcinado. Sin embargo, si se excluye el CKD no calcinado puede producirse una ligera sobreestimación de las emisiones.

La piedra caliza y los esquistos (materias primas) pueden contener también una cierta proporción de carbono orgánico (kerógeno) y otras materias primas (p. ej., las cenizas volantes) pueden contener residuos de carbono, lo cual rendirá CO<sub>2</sub> suplementario durante la quema. Generalmente, estas emisiones no se contabilizan en el Sector Energía, pero si ocurren ampliamente, los compiladores del inventario deben hacer un esfuerzo para determinar si están o no incluidas en el Sector Energía. Sin embargo, en la actualidad existen muy pocos datos sobre los contenidos de kerógeno o de carbono en las materias primas no combustibles destinadas a los procesos minerales como para determinar, entre los valores que se presentan en este capítulo, un valor por defecto que sea significativo respecto del contenido promedio de kerógeno en las materias primas. Para los cálculos basados en las materias primas al nivel de plantas (Nivel 3), en los cuales el contenido de kerógeno es elevado (es decir, que contribuye en más de un 5 por ciento al calor total), es una *buena práctica* incluir el aporte del kerógeno a las emisiones.

El método de Nivel 3 es sin duda adecuado sólo en los casos de plantas individuales o de países que tengan acceso a datos detallados sobre las materias primas carbonatadas para cada planta. Los datos de emisiones

recolectados directamente de las plantas deberán ser luego sintetizados con el fin de generar informes sobre las estimaciones de emisiones a la escala nacional. Se reconoce que, para algunas plantas, los cálculos frecuentes de emisiones basados en un análisis directo de los carbonatos pueden resultar fastidiosos. En la medida de que los análisis químicos detallados de las entradas de carbonatos se realicen con una frecuencia suficiente como para establecer una buena correlación entre los carbonatos consumidos al nivel de la planta y la producción de clínker resultante, la salida de clínker podrá considerarse entonces representativa de los carbonatos en los cálculos de emisiones para los períodos intermedios. Es decir, una planta puede derivar un factor de emisión condicionado rigurosamente para el clínker de esa planta, basándose en una calibración periódica de las entradas de carbonato.

**ECUACIÓN 2.3**

**NIVEL 3: EMISIONES BASADAS EN LAS ENTRADAS AL HORNO DE MATERIAS PRIMAS CARBONATADAS**

$$Emisiones\ de\ CO_2 = \underbrace{\sum_i (EF_i \cdot M_i \cdot F_i)}_{\text{Emisiones de los carbonatos}} - \underbrace{M_d \cdot C_d \cdot (1 - F_d) \cdot EF_d}_{\text{Emisiones de CKD no calcinado ni reciclado hacia el horno}} + \underbrace{\sum_k (M_k \cdot X_k \cdot EF_k)}_{\text{Emisiones de materiales no combustibles que contienen carbono}}$$

Donde:

Emisiones de CO<sub>2</sub> = emisiones de CO<sub>2</sub> proveniente de la producción de cemento, toneladas

EF<sub>i</sub> = factor de emisión para el carbonato en particular *i*, toneladas de CO<sub>2</sub>/ toneladas de carbonato (véase Cuadro 2.1)

M<sub>i</sub> = peso o masa del carbonato *i* consumido en el horno, toneladas

F<sub>i</sub> = fracción de calcinación alcanzada para el carbonato *i*, fracción <sup>a</sup>

M<sub>d</sub> = peso o masa del CKD no reciclado hacia el horno (= CKD «perdido»), toneladas

C<sub>d</sub> = fracción del peso del carbonato original en el CKD no reciclado hacia el horno, fracción <sup>b</sup>

F<sub>d</sub> = fracción de calcinación alcanzada para el CKD no reciclado hacia el horno, fracción <sup>a</sup>

EF<sub>d</sub> = factor de emisión para el carbonato no calcinado contenido de el CKD que no es reciclado hacia el horno, toneladas de CO<sub>2</sub>/toneladas de carbonato <sup>b</sup>

M<sub>k</sub> = peso o masa de la materia prima orgánica *k*, u otra materia prima no combustible que contiene carbono, toneladas <sup>c</sup>

X<sub>k</sub> = fracción del total de materia orgánica u otro carbono en la materia no combustible específica *k*, fracción <sup>c</sup>

EF<sub>k</sub> = factor de emisión para la materia prima no combustible *k*, que contiene kerógeno (u otro carbono), toneladas de CO<sub>2</sub>/toneladas de carbonato <sup>c</sup>

Notas sobre los valores por defecto para la Ecuación 2.3:

- a: Fracción de calcinación: En ausencia de datos reales, puede suponerse que a las temperaturas y los tiempos de permanencia en el horno alcanzados en los hornos de altas temperaturas para el cemento (clínker), el grado de calcinación alcanzado para todos los materiales incorporados al clínker, es de 100 por ciento (es decir, F<sub>i</sub> = 1,00) o muy cercano a este valor. Para el CKD, es más probable un valor de F<sub>d</sub> < 1,00, pero los datos pueden presentar una gran variabilidad y una fiabilidad relativamente baja. En ausencia de datos fiables para el CKD, la hipótesis de un valor de F<sub>d</sub> = 1,00 significará una corrección para el CKD igual a cero.
- b: Debido a que el carbonato de calcio es el carbonato dominante por lejos entre las materias primas, puede suponerse que totaliza el 100 por ciento del carbonato restante en el CKD que no se recicla hacia el horno. Es, por lo tanto, aceptable como *buena práctica*, que se asigne a C<sub>d</sub> un valor igual a la proporción de carbonato de calcio existente en la materia prima que se introduce en el horno. Es igualmente aceptable que para EF<sub>d</sub> se utilice el factor de emisión del carbonato de calcio.
- c: Las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes del carbono no relacionado con los carbonatos (p. ej., el carbono del kerógeno, el carbono de las cenizas volantes) presente en las materias primas no combustibles,

pueden omitirse (defínase  $M_k \cdot X_k \cdot EF_k = 0$ ) si la contribución de calor del kerógeno u otro carbono es  $< 5$  por ciento del calor total (de los combustibles).

### 2.2.1.2 Elección de los factores de emisión

#### MÉTODO DE NIVEL 1

En el Nivel 1, es una *buena práctica* utilizar el valor por defecto de 65 por ciento para el contenido de CaO del clínker, de suponer que el 100 por ciento del CaO proviene del material carbonato de calcio y de incorporar un factor corrector del 2 por ciento para el CKD (para más información sobre el CKD, refiérase al método de Nivel 2 discutido más abajo)

Para la composición por defecto del CaO, 1 tonelada de clínker contiene 0,65 toneladas de CaO provenientes del  $CaCO_3$ . Este carbonato contiene 56,03 por ciento de CaO y 43,97 por ciento de  $CO_2$  por peso (Cuadro 2.1) La cantidad (X) de  $CaCO_3$  necesaria para rendir 0,65 toneladas de CaO es:  $X = 0,65/0,5603 = 1,1601$  toneladas de  $CaCO_3$  (sin redondear). La cantidad de  $CO_2$  liberada por calcinación de este  $CaCO_3 = 1,1601 \cdot 0,4397 = 0,5101$  toneladas de  $CO_2$  (sin redondear). Si se supone una corrección aditiva del 2 por ciento para dar cuenta del CKD, el factor de emisión por defecto ( $EF_{clc}$ ) para el clínker es, una vez redondeado:

**ECUACIÓN 2.4**  
**FACTOR DE EMISIÓN PARA EL CLÍNKER**  
 $EF_{clc} = 0,51 \cdot 1,02$  (corrección CKD) = 0,52 toneladas de  $CO_2$  / toneladas de clínker

Según el Nivel 1, en el valor por defecto  $EF_{clc}$  se incorpora la corrección para el CKD. No debe confundirse con el factor de emisión  $EF_{cl}$  del Nivel 2, que no da cuenta del CKD. El factor  $EF_{cl}$  debe multiplicarse por un factor corrector,  $CF_{ckd}$  (véase la Ecuación 2.5) para generar el factor combinado EF para el clínker y el CKD.

#### MÉTODO DE NIVEL 2

##### *Factor de emisión para el clínker ( $EF_{cl}$ )*

En el método de Nivel 2, 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  $CO_2$  del clínker específico para ese país. Tal como se señala más arriba, para derivar un factor de emisión para el clínker se requiere conocer el contenido de CaO del clínker, así como la fracción de CaO que se haya derivado de una fuente de carbonato (generalmente el  $CaCO_3$ ). El contenido de CaO del clínker suele situarse en un intervalo que va del 60 por ciento al 70 por ciento. En una planta determinada, el contenido de CaO permanecerá estable dentro de un 1 por ciento a un 2 por ciento. Para determinar el valor básico por defecto del factor de emisión, tal como se recomienda según el Nivel 1, se supone que el clínker contiene un 65 por ciento de CaO, que éste proviene en un 100 por ciento del  $CaCO_3$  y que se alcanza un 100 por ciento de calcinación en el horno.

Para el factor de emisión de base de 0,51 (es decir, sin corrección para el CKD) en la Ecuación 2.4, se supone un contenido de un 65 por ciento de CaO en el clínker. Un cálculo similar daría los factores de emisión para los diferentes contenidos en CaO, si éstos fueren conocidos. Por ejemplo, para un clínker con un 60 por ciento de CaO enteramente derivado de  $CaCO_3$ , el factor  $EF_{cl}$  (sin incluir la corrección para el CKD) es 0,47, y para un 67 por ciento de CaO, el  $EF_{cl}$  es 0,53.

Si se sabe que una planta obtiene una fracción significativa de CaO de una fuente no carbonatada (tal como la escoria de acero o las cenizas volantes), entonces debe restarse primero este componente de CaO. Por ejemplo, si un 4 por ciento del CaO de un clínker compuesto de un 65 por ciento de CaO proviene de escorias, entonces el CaO proveniente de carbonatos es de un 61 por ciento y en este caso, el cálculo da un factor  $EF_{cl}$  de 0,48.

El factor de emisión por defecto no incluye una corrección para el MgO. Por cada 1 por ciento de MgO derivado de carbonatos, al factor de emisión se agrega un factor de 0,011 toneladas de  $CO_2$ /toneladas de clínker adicional (es decir,  $EF_{cl} = 0,510 + 0,011 = 0,52$  toneladas de  $CO_2$ /toneladas de clínker). Debido a que el MgO puede también provenir de una fuente no carbonatada y debido a que el MgO se mantiene deliberadamente bajo en el cemento portland, es probable que la verdadera cantidad de MgO proveniente de carbonatos sea muy pequeña. Dado que la hipótesis de un 100 por ciento de fuente carbonatada para el CaO resulta ya en una sobreestimación de las emisiones (es muy probable que haya por lo menos algún aporte de CaO de fuentes no carbonatadas) y dado también el hecho de que algo del MgO puede provenir de una fuente no carbonatada, no es necesaria una corrección para el MgO para el cálculo de Nivel 2. Para mayor información sobre las incertidumbres asociadas a estas hipótesis, por favor refiérase al Cuadro 2.3.

##### *Factor corrector de emisiones para el polvo de horno de cemento ( $CF_{ckd}$ )*

El polvo puede generarse en varios puntos de la línea del horno de altas temperaturas utilizado para fabricar el clínker. La composición de este polvo puede variar según el lugar de generación, pero todo polvo puede incluirse bajo la denominación «polvo de horno de cemento» (CKD, del inglés, *Cement Kiln Dust*). El CKD incluye partículas derivadas de las materias primas y el componente carbonatado original del polvo puede ser calcinado de manera incompleta. Se puede capturar eficientemente el CKD por medio de tecnologías de control de polvos y reciclarlo luego hacia el horno (es la práctica preferida), o bien retornarlo directamente al horno en el aire de combustión o eliminarlo (luego de la captura). La proporción en la cual se puede reciclar el CKD hacia el horno depende de que esto genere o no problemas de calidad con el clínker (p. ej., un contenido alcalino excesivo) o con el cemento producido ulteriormente. Todo CKD no reciclado hacia el horno se considera «perdido» para el proceso y las emisiones asociadas con él no serán tomadas en cuenta para el clínker. En la medida en la que el CKD perdido representa materias primas carbonatadas calcinadas, en los cálculos de Nivel 1 y de Nivel 2, las emisiones de esta materias primas calcinadas representan una cantidad que se suma a las emisiones del clínker, y en el cálculo del Nivel 3, una cantidad que se resta.

Dado que los datos sobre la cantidad de CKD producido pueden ser escasos (salvo quizás en los casos de informes al nivel de plantas), puede considerarse una *buena práctica* estimar las emisiones del CKD perdido sobre la base de un valor por defecto. La cantidad de CO<sub>2</sub> proveniente de CKD perdido puede variar, pero dentro de un intervalo típico cercano al 1,5 por ciento (CO<sub>2</sub> adicional respecto del calculado para el clínker) para una planta moderna y hasta cerca de un 20 por ciento para una planta que pierde gran cantidad de CKD muy calcinado (van Oss, 2005). En caso de ausencia de datos, el factor corrector por defecto para el CKD ( $CF_{ckd}$ ) es de 1,02 (es decir, se añade un 2 por ciento al CO<sub>2</sub> calculado para el clínker). Si se estima que no hay pérdidas de CKD calcinado en el sistema, el factor corrector para el CKD será de 1,00 (van Oss, 2005). Además del CKD, el Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sustentable (WBCSD, del inglés, *World Business Council for Sustainable Development*) aborda por separado las emisiones provenientes del polvo desviado (que se calcina totalmente). Si hay datos disponibles, los países pueden referirse al Protocolo del WBCSD para estimar estas emisiones (WBCSD, 2005).

Si hay datos disponibles puede calcularse, mediante la Ecuación 2.5, el factor corrector ( $CF_{ckd}$  de la Ecuación 2.2) para las emisiones del CO<sub>2</sub> «perdido».

El factor corrector para el CKD ( $CF_{ckd}$ ), puede derivarse para su uso en la Ecuación 2.2, de la manera siguiente:

**ECUACIÓN 2.5**  
**FACTOR CORRECTOR PARA EL CKD NO RECICLADO HACIA EL HORNO**

$$CF_{ckd} = 1 + (M_d / M_{cl}) \cdot C_d \cdot F_d \cdot (EF_c / EF_{cl})$$

Donde:

$CF_{ckd}$  = factor corrector de las emisiones para el CKD, sin dimensión

$M_d$  = peso del CKD no reciclado hacia el horno, toneladas<sup>a</sup>

$M_{cl}$  = peso del clínker producido, toneladas

$C_d$  = fracción de carbonato original en el CKD (es decir, antes de la calcinación), fracción<sup>b</sup>

$F_d$  = fracción de la calcinación del carbonato original en el CKD, fracción<sup>b</sup>

$EF_c$  = factor de emisión para el carbonato (Cuadro 2.1), toneladas de CO<sub>2</sub>/toneladas de carbonato

$EF_{cl}$  = factor de emisión del clínker sin corrección para el CKD (es decir, 0,51 toneladas de CO<sub>2</sub>/toneladas de clínker), toneladas de CO<sub>2</sub>/toneladas de clínker

Notas:

- a: Se supone que el 100 por ciento del CKD es capturado primero. Si algo de CKD es venteado en la atmósfera, debe hacerse una estimación de esta cantidad e incluirse en el  $M_d$ .
- b: Es aceptable suponer que el carbonato inicial esté compuesto en su totalidad de CaCO<sub>3</sub> y que la proporción de carbonato original en el CKD sea esencialmente la misma que la del suministro de mezcla sin tratar hacia el horno.

Por ejemplo, para  $M_d/M_{cl} = 0,2$ ,  $C_d = 0,85$ ,  $F_d = 0,5$ , carbonato original puro CaCO<sub>3</sub> (de donde,  $EF_c = 0,4397$  toneladas de CO<sub>2</sub>/toneladas de carbonato), y  $EF_{cl}$  = valor por defecto de 0,51 toneladas de CO<sub>2</sub>/toneladas de clínker, resulta un  $CF_{ckd} = 1,073$  (sin redondear) – lo que significa agregar cerca de un 7 por ciento al CO<sub>2</sub> calculado para el clínker solo.

### MÉTODO DE NIVEL 3

Los factores de emisión del Nivel 3 se basan en el contenido efectivo en CO<sub>2</sub> de los carbonatos presentes (véase Ecuación 2.3 y Cuadro 2.1). El método del Nivel 3 requiere una contabilización completa de los carbonatos (especies y fuentes).

#### 2.2.1.3 Elección de los datos de la actividad

##### MÉTODO DE NIVEL 1

En el Nivel 1, para estimar la producción de clínker deben recolectarse datos a la escala nacional (o donde sea posible, al nivel de plantas) sobre los tipos de cemento producidos y la fracción de clínker de cada cemento. La mayoría de los cementos hidráulicos que se producen en el mundo son cementos portland o cementos mezclados (compuestos) basados en el cemento portland (p. ej., cemento portland [o clínker] más aditivos puzolánicos o cementosos), o también cementos de albañilería (cemento portland más aditivos que aumentan la plasticidad, tales como la piedra caliza molida). Si la producción de cemento no puede analizarse separadamente por tipo y si se sospecha que se producen, además del cemento portland, cantidades significativas de cementos compuestos y/o de albañilería, es aceptable suponer, dentro de las *buenas prácticas*, que la fracción global de clínker es de un 75 por ciento. Si se sabe que la producción de cemento corresponde esencialmente a la del cemento portland, entonces una *buen práctica* es utilizar un valor por defecto de 95 por ciento de clínker. Por desgracia, aun cuando se conozcan los tipos de cemento producidos en el país, puede haber una gran variabilidad respecto de la fracción de clínker incorporado en los tipos de cementos compuestos o de albañilería. En el Cuadro 2.2 se presenta una ilustración del intervalo de variación de las fracciones de clínker para varios tipos de cemento. Para mayor información, véase DIN (1994) y ASTM (2004a, 2004b). Cada país debe documentar claramente todas las hipótesis planteadas sobre la composición del cemento y la fracción de clínker utilizada para estimar las emisiones.

El Nivel 1 requiere también una corrección para las importaciones y las exportaciones de clínker. Por lo general, los datos sobre la cantidad de clínker importado y exportado en el país están disponibles en las oficinas nacionales de aduanas, en las Naciones Unidas, en las asociaciones nacionales del cemento o en las asociaciones comerciales y/o en los departamentos de comercio. Los códigos arancelarios típicos vigentes en el comercio del clínker son el 661.21 (SITC) y el 2523.10.00 (HTS). Es importante distinguir los datos comerciales sobre el clínker en sí mismo de los datos sobre la categoría combinada de cemento hidráulico y de clínker [códigos 661.2 (SITC) y 25.23.0000 (HTS)], y de los datos sobre importaciones de cemento: [códigos 661.22 – 661.29 (SITC) y 2523.21 – 2523.90 (HTS)].

| <b>CUADRO 2.2</b>   |                |                 |                    |  |
|---|----------------|-----------------|--------------------|--|
| <b>FRACCIÓN DE CLÍNKER EN LAS «RECETAS» DE CEMENTOS COMPUESTOS Y EN LAS MEZCLAS GENERALES</b> |                |                 |                    |  |
| <b>(BASADO EN LAS NORMAS ESTADOUNIDENSES <i>ASTM C-150</i> Y <i>C-595</i>;</b>                |                |                 |                    |  |
| <b>LOS DATOS DE LOS ESTADOS UNIDOS PUEDEN SER ILUSTRATIVOS PARA OTROS PAÍSES)</b>             |                |                 |                    |  |
| <b>Nombre del cemento</b>   | <b>Símbolo</b> | <b>Receta</b>   | <b>% Clínker</b>   | <b>Notas</b>   |
| Portland  | «PC»           | 100% PC         | 95 - 97<br>90 - 92 | Algunos estados de Estados Unidos autorizan la inclusión de 3% de GGBFS (del inglés, <i>Ground Granulated Blast Furnace Slag Cement</i> : cemento de escoria de alto horno granulada y molida).<br>Las normas más recientes autorizan una inclusión ≤ 5% de piedra caliza triturada. |
| Albañilería   | «MC»           | 2/3 PC          | 64                 | Varía considerablemente  |
| Portland modificado con escoria   | I(SM)          | escoria < 25%   | >70 - 93           |  |
| Portland BF Slag  | IS             | escoria 25-70%  | 28 - 70            |  |
| Portland puzolano   | IP y P         | puzolano 15-40% | 28 - 79/81         | la base es el PC y/o el IS   |
| Portland modificado con puzolano  | I(SM)          | puzolano <15%   | 28 - 93/95         | la base es el PC y/o el IS   |
| Cemento de escoria  | S              | escoria 70+%    | <28/29             | puede utilizar CaO en vez de clínker   |

| <b>PORCENTAJE DE CLÍNKER EN EL PRODUCTO</b>                              |           |            |            |            |            |            |
|--|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|
| <b>Porcentaje de aditivos (puzolano+escoria) en el cemento mezclado*</b> |           |            |            |            |            |            |
| <b>Proporción de productos (PC/mezcla)**</b>                             | <b>0%</b> | <b>10%</b> | <b>20%</b> | <b>30%</b> | <b>40%</b> | <b>75%</b> |
| 100/0  | 95 - 97   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          |
| 0/100  | 0         | 85,5       | 76         | 66,5       | 57         | 23,8       |
| 15/85  | 14,2      | 86,9       | 78,9       | 70,8       | 62,7       | 26,4       |
| 25/75  | 23,8      | 87,9       | 80,8       | 73,6       | 66,5       | 41,6       |
| 30/70  | 28,5      | 88,35      | 81,7       | 75,1       | 68,4       | 45,2       |
| 40/60  | 38        | 89,3       | 83,6       | 77,9       | 72,2       | 52,3       |
| 50/50  | 47,5      | 90,3       | 85,5       | 80,8 ***   | 76         | 59,4       |
| 60/40  | 57        | 91,2       | 87,4       | 83,6       | 79,8       | 66,5       |
| 70/30  | 66,5      | 92,2       | 89,3       | 86,5       | 83,6       | 73,6       |
| 75/25  | 71,1      | 92,6       | 90,1       | 87,8       | 85,4       | 77,1       |
| 85/15  | 80,8      | 93,6       | 92,2       | 90,7       | 89,3       | 84,3       |

Notas:

\* La inclusión de escorias determina que el cemento sea portland y/o cemento portland de escoria de alto horno. Excepto para el intervalo de 100 por ciento portland mismo, se supone que todos los demás portland contienen un 95 por ciento de clínker.

\*\* La proporción de productos se refiere al intervalo de productos de un país, p. ej., 75 por ciento de la producción total es portland y el resto es mezcla.

Se supone que todo el cemento hidráulico es portland y/o mezclado, o puzolano puro. Para la albañilería, se aproximaría una proporción de productos entre 60/40 y 70/30 de portland/mezcla, para la columna de 75 por ciento de aditivo. Se supone que los otros cementos hidráulicos (p. ej., los aluminosos) son nulos.

\*\*\* Ejemplo: Fracción de clínker para un país donde la producción de cemento es 50 por ciento de cemento portland y 50 por ciento de cemento mezclado, y el cemento mezclado contiene 70 por ciento de cemento portland y 30 por ciento de aditivos.

## MÉTODO DE NIVEL 2

El método de Nivel 2 requiere la recolección de datos sobre la producción de clínker. Se sugiere que si para los censos nacionales se sondean actualmente datos sobre la producción de cemento, el compilador del inventario debe investigar la posibilidad de ampliar los sondeos para recolectar datos sobre la producción de clínker. Es una *buen práctica* recopilar datos sobre la producción de clínker directamente de las estadísticas nacionales, o bien, preferentemente, de las plantas individuales. Se sugiere también que los compiladores del inventario recolecten información sobre el contenido de CaO del clínker y la fracción de éste que proviene de carbonatos. Allí donde haya datos disponibles sobre el CaO proveniente de fuentes no carbonatadas (p. ej., escorias o cenizas volantes),

este CaO no debe incluirse en el contenido de CaO del clínker utilizado para calcular las emisiones. En la medida de lo posible, los datos deben ser recolectados para documentar las prácticas de captura y reciclado en las plantas e igualmente para determinar la composición media o típica y la fracción de calcinación del CKD. Más que la utilización de totales nacionales, es la recolección de datos de los productores individuales (si ésta es completa) la que reduce la incertidumbre de las estimaciones, pues estos datos darán cuenta de las variaciones de las condiciones al nivel de las plantas.

### MÉTODO DE NIVEL 3

Es probable que el tipo de datos de la actividad requeridos para el Nivel 3 esté disponible sólo en las plantas individuales. Toda entidad que genere informes haciendo uso del Nivel 3 debe garantizar que todas las entradas de carbonatos (es decir, los tipos, las cantidades, todas las fuentes) hacia los hornos de altas temperaturas, hayan sido investigadas por completo como parte de la implementación inicial del método de Nivel 3, y que esta investigación completa se repita cada vez que ocurran cambios significativos en los materiales y en los procesos. Tras un análisis completo de las entradas de carbonatos, y bajo la premisa de que no ocurre ningún cambio significativo ni en la composición de los materiales, ni en el proceso de producción, resulta coherente con las *buenas prácticas* determinar un factor de emisión riguroso y específico de la planta que esté basado en el análisis de las entradas de carbonatos y aplicar este factor de emisión a la producción de clínker (que suele calcularse en forma diaria). Así, los datos de producción de clínker podrán ser utilizados ulteriormente en los cálculos para estimar las emisiones en calidad de datos representativos. Para mantener la coherencia con las *buenas prácticas*, este vínculo debe reevaluarse periódicamente.

En general, en una planta de cemento típica, la piedra caliza o las rocas carbonatadas similares serán las materias primas dominantes (80 a 90 por ciento) y estos datos deberán recolectarse anualmente. Sin embargo, es probable que haya un componente carbonatado en las arcillas, esquistos, arenisca y otras materias primas complementarias, así como en el carbón y tal vez en algunos otros combustibles. Si durante el desarrollo de una investigación completa se determina que la cantidad de carbonatos provenientes de fuentes menores es pequeña (p. ej., inferior al 5 por ciento del carbonato total), la planta puede aplicar un valor constante para la (o las) fuentes menores en los años intermedios previos a una subsiguiente investigación completa. Al reconocer que la estimación de los datos de la actividad para estas fuentes menores puede conducir a errores analíticos (u otros), se puede suponer, para los efectos del cálculo de emisiones, que la fuente menor de carbonatos es el  $\text{CaCO}_3$ , pero esta hipótesis debe ser documentada de manera transparente.

De los datos de la actividad se deben excluir todos los carbonatos que, en vez de entrar al horno de altas temperaturas, sólo se introducen al molino de acabado. Por ejemplo, una planta puede «diluir» su cemento portland acabado mezclándolo con un pequeño porcentaje (1 a 5 por ciento) de piedra caliza molida. Los carbonatos añadidos en el molino de acabado no son calcinados y por lo tanto no contribuyen con  $\text{CO}_2$ .

#### 2.2.1.4 Exhaustividad

Al aplicar un método de Nivel 1, los compiladores del inventario deben estar ciertos de dar cuenta de las importaciones y exportaciones de clínker. En el caso de los países importadores netos de clínker, el error de no deducir las importaciones netas de clínker produce una sobreestimación de las emisiones provenientes de la producción de cemento. En el caso de los países exportadores netos de clínker, el error de no incluir las exportaciones netas produce una estimación insuficiente de las emisiones provenientes de las plantas de cemento. Las fuentes potenciales de datos comerciales se discuten en la Sección 2.2.1.3.

Los datos de producción de clínker pueden estar disponibles en las bases de datos de las estadísticas nacionales, o bien, pueden recolectarse si no se han publicado en las estadísticas nacionales. Los datos sobre la producción de cemento y/o de clínker tomados de las estadísticas nacionales pueden no estar completos en algunos países en los que una parte sustancial de la producción proviene de numerosos hornos pequeños, en particular los hornos de caña vertical, cuyos datos son difíciles de obtener.

La exhaustividad es una cuestión particularmente importante a considerar allí donde se utilizan datos específicos de las plantas para estimar las emisiones nacionales mediante el método de Nivel 3. Bajo el Nivel 3, es importante que se consideren todas las plantas que producen clínker y que todos los carbonatos utilizados para fabricarlo estén incluidos en los cálculos de emisiones. Las plantas productoras de clínker están bien identificadas en cada país, pero los datos sobre la fracción de peso de los carbonatos consumidos pueden no ser fácilmente asequibles. Para que el método de Nivel 3 pueda considerarse como «exhaustivo», deben registrarse todos los carbonatos consumidos.

En aquellos países donde sólo un subconjunto de las plantas de clínker declara datos para el método de Nivel 3 o donde se da una transición del Nivel 2 hacia el Nivel 3, quizá no sea posible declarar emisiones utilizando el Nivel 3 para todas las instalaciones durante el período de transición. Si los datos sobre las entradas de carbonatos no están disponibles para que todas las plantas declaren las emisiones utilizando el Nivel 3, es posible que se

pueda determinar la parte de la producción representada por las plantas que no declaran y usar esta información para estimar las emisiones restantes utilizando el Nivel 2, de modo que se garantice la exhaustividad durante el período de transición. Cuando un país cambia del Nivel 1 al Nivel 2, se puede aplicar un procedimiento similar.

También se debe considerar la eventualidad del cómputo doble. Por ejemplo, los compiladores del inventario deben revisar las estadísticas utilizadas para estimar las emisiones de las categorías de fuente «Otros usos de carbonatos en los procesos» para garantizar que las emisiones declaradas en esa categoría de fuente no resulten del uso de esos carbonatos en la producción de cemento. Allí donde los carbonatos se emplean para la producción de cemento, la emisión debe declararse bajo Producción de cemento. Por último, los compiladores del inventario deben incluir en esta categoría de fuente sólo las emisiones relacionadas con el proceso de producción de cemento. Para evitar el cómputo doble, es una *buena práctica* justificar las emisiones relacionadas con la combustión en el volumen Energía.

Existe una cuestión adicional que, aunque no está incluida en la metodología actual, puede llegar a ser pertinente para consideraciones futuras. La cal libre (CaO que no forma parte de las fórmulas de materiales de clínker mencionada más arriba) liberada durante el curado del concreto (es decir, durante la hidratación de los minerales del clínker) puede llegar a reabsorber CO<sub>2</sub> atmosférico en un proceso llamado carbonización. Sin embargo, la velocidad de carbonización es muy lenta (demora de años a siglos) y desde un punto de vista práctico, no debe considerarse una *buena práctica* tomarlo en cuenta. Ésta es un área de trabajo futuro, previa a su inclusión en los inventarios nacionales.

### 2.2.1.5 Desarrollo de una serie temporal coherente

Estas *Directrices* introducen dos cambios en la estimación de las emisiones provenientes de la producción de cemento. En primer lugar, según el Nivel 1, el factor de emisión por defecto incluye ahora un factor corrector de 2 por ciento para el CKD. El factor corrector para el CKD se incluye ahora en el Nivel 1 porque refleja mejor las fuentes de emisiones durante la producción del clínker. Es una *buena práctica* recalcular las estimaciones anteriores de emisiones de Nivel 1, utilizando el factor de emisión presentado en la Sección 2.2.1.2.

Igualmente, se ha introducido un nuevo método de Nivel 3 basado en las entradas de carbonatos en la producción de clínker. Históricamente, estos datos pueden estar disponibles o no. Si el compilador del inventario decide implementar el Nivel 3 para los inventarios actuales y futuros (en contraste con un método histórico de Nivel 2), se lo alienta a recopilar estos datos para años históricos con el fin de garantizar la coherencia de la serie temporal. Cuando no disponga de datos, el compilador puede referirse al «Método de la superposición parcial» (véase Volumen 1, Sección 5.3) para intentar recalcular las estimaciones previas. Esta relación entre las emisiones estimadas a partir del método de las entradas de carbonato (Nivel 3) y el método basado en las salidas de la producción de clínker (Nivel 2) debería ser, para una planta en particular, relativamente constante a través del tiempo; pero puede fallar si el número de plantas o sus tecnologías o sus materias primas han cambiado significativamente con el tiempo. Una vez establecida esta relación, las estimaciones previas pueden ser recalculadas basándose en ella (véase el Volumen 1, Sección 5.3). Cuando los compiladores cambian del método de Nivel 1 al de Nivel 2, se puede aplicar un procedimiento similar.

## 2.2.2 Evaluación de incertidumbre

Las estimaciones de la incertidumbre para la producción de cemento son el resultado predominante de las incertidumbres asociadas con los datos de la actividad y en una menor medida, de la incertidumbre relacionada con el factor de emisión del clínker.

### 2.2.2.1 Incertidumbres del factor de emisión

Para el Nivel 1, el componente mayor de la incertidumbre es el de la fracción de clínker del (o los) cementos producidos. Si no se dispone de datos fiables sobre las importaciones y las exportaciones de clínker, la incertidumbre en la estimación de su producción será más alta. Aunque el factor corrector por defecto para el CKD posee una incertidumbre muy grande, su efecto sobre el cálculo de las emisiones globales es aún menor que la incertidumbre asociada con la fracción de clínker. Bajo el Nivel 2, la fuente mayor de incertidumbre está asociada con la determinación del contenido de CaO del clínker. Si se dispone de datos sobre el clínker, la incertidumbre del factor de emisión es igual a la incertidumbre de la fracción de CaO y a la incertidumbre asociada a la hipótesis de que éste proviene en totalidad del CaCO<sub>3</sub> (Cuadro 2.3). Para el Nivel 3, la incertidumbre asociada con los factores de emisión de la fuente de carbonatos es relativamente pequeña, pues éstos se basan en cocientes estequiométricos. Puede haber algo de incertidumbre asociada a la hipótesis, en el Nivel 3, de que la calcinación de los carbonatos del CKD es del 100 por ciento.

Independientemente del Nivel implementado, en general, el CKD es el factor menos caracterizado en la estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de la producción de cemento.

### 2.2.2.2 Incertidumbres en los datos de la actividad

Cuando los datos sobre la producción de clínker se estiman a partir de la producción de cemento, la incertidumbre en los datos de la actividad puede acercarse a valores tan altos como un 35 por ciento. Para el Nivel 2, la incertidumbre en los datos sobre los tonelajes de producción de clínker, cuando están disponibles, es del orden del 1 por ciento al 2 por ciento. En vez de usar totales nacionales, la recolección de datos de los productores individuales (si es completa) reduce la incertidumbre de las estimaciones, pues estos datos darán cuenta de las variaciones de las condiciones al nivel de las plantas. Esto es particularmente importante para determinar las posibles diferencias en la composición del clínker y en las irregularidades de la producción anual de cemento (es decir, que varias veces al año se utilicen las reservas de clínker en vez de producirlo). Con excepción del CKD, las fuentes más grandes de incertidumbre asociadas con el Nivel 3, son las incertidumbres asociadas con la identificación de las especies de carbonatos (entre 1 y 5 por ciento) y con los pesos de las materias primas.

Aunque las emisiones son mucho menores que las de los carbonatos, en las estimaciones de Nivel 2 puede haber una incertidumbre considerable asociada a la estimación de las emisiones del CKD, como también en las de Nivel 3, si las plantas no pesan el CKD que no se recicla hacia el horno o si las plantas no están equipadas con torres lavadoras de gases (*scrubbers*). Cuando se desconoce el peso y la composición del CKD de una planta, la incertidumbre es mayor. A guisa de ejemplo, se ha intentado estimar las incertidumbres aproximadas para los diferentes factores que aparecen en las Ecuaciones 2.1 – 2.5 y/o en las etapas de la fabricación del clínker y del cemento. Las incertidumbres se presentan en el Cuadro 2.3 y son incertidumbres aproximadas de los componentes, es decir, son aquellas asociadas con una etapa o con una actividad de la fabricación del clínker particular. Con el fin de cuantificar la incertidumbre para la producción del cemento (clínker), las incertidumbres por defecto presentadas en el Cuadro 2.3 deben combinarse según la orientación del Volumen 1, Sección 3.2.3. Donde se presentan intervalos para los valores de incertidumbre, se deben utilizar valores medios del intervalo, a menos que las circunstancias específicas del país o de la planta sugieran que se debe utilizar otro valor.

| CUADRO 2.3<br>VALORES DE INCERTIDUMBRE POR DEFECTO PARA LA PRODUCCIÓN DE CEMENTO |   |       |
|--|---|-------|
| Incertidumbre <sup>a</sup>   | Comentario  | Nivel |
| <b>Análisis químico/Composición</b>  |   |       |
| 2-7%   | Hipótesis de un factor de 95% de clínker en el cemento portland   | 1     |
| 1-2%   | Análisis químico del clínker para determinar el CaO   | 2     |
| 3-8%   | Hipótesis de un 65% de CaO en el clínker  | 2     |
| 1-3%   | Hipótesis de que el 100% del CaO proviene del CaCO <sub>3</sub> (la incertidumbre es mayor si se utilizan escorias o cenizas volantes que no se contabilizan) | 2     |
| 1%   | Hipótesis de un 100% de calcinación del carbonato destinado a formar el clínker   | 2, 3  |
| 1-3%   | Determinación del kerógeno (u otro carbono que no proviene de carbonatos)   | 3     |
| 1-3%   | Análisis químico global en relación con el contenido de carbonato (masa) y con el tipo  | 3     |
| 1-5%   | Hipótesis de que la especie de carbonato es 100% CaCO <sub>3</sub>  | 3     |

| <b>CUADRO 2.3</b><br><b>VALORES DE INCERTIDUMBRE POR DEFECTO PARA LA PRODUCCIÓN DE CEMENTO</b> |   |       |
|--|---|-------|
| Incertidumbre <sup>a</sup>   | Comentario  | Nivel |
| <b>Datos de producción</b>   |   |       |
| 1-2%   | Datos de producción de cemento declarados (al nivel de planta)  | 1     |
| 35%  | Hipótesis de que la producción de un país es 100% de cemento portland   | 1     |
| 10%  | Uso de estimaciones (estadísticas nacionales) sobre los datos de producción de un país (o síntesis por agregación de las plantas)   | 1, 2  |
| Variable   | Uso de datos de pesos declarados, pero redondeados, para el cemento o el clínker (p. ej., informes de nivel nacional expresados en grandes unidades; la incertidumbre es de una unidad de la última cifra significativa mostrada)   | 1, 2  |
| 1-2%   | Pesaje o cálculo de la producción de clínker; supone una declaración completa   | 2     |
| 1-3%   | Incertidumbre de los pesajes de materias primas en las plantas  | 3     |
| <b>CKD</b>   |   |       |
| 25-35%   | Hipótesis por defecto de que las emisiones del CKD corresponden a un 2% de las emisiones relacionadas con la producción del clínker. Esta incertidumbre presupone que un 33% a un 50% del clínker no se recicla. En ausencia de reciclado o si el porcentaje de calcinación excede significativamente el 50%, la incertidumbre puede llegar a un 50% o más. |       |
| 1%   | Hipótesis de que los componentes originales del CKD son los de la mezcla cruda  | 2, 3  |
| 1%   | Hipótesis de que todos los carbonatos (calcinados o restantes) en el CKD son CaCO <sub>3</sub>  | 2, 3  |
| 10-35%   | Estimación del porcentaje de calcinación del CKD  | 2, 3  |
| 20-80%   | Hipótesis de un 100% de calcinación para el CKD   | 2, 3  |
| hasta un 60%   | Hipótesis de un 50% de calcinación del CKD  | 2, 3  |
| 5%   | Pesaje del CKD capturado por las torres lavadoras de gases (scrubbers)  | 2, 3  |
| 1-3%   | Pesaje del CKD capturado por lastorres lavadoras de gases que vuelve al horno   | 2, 3  |
| 5-10%  | Pesaje del CKD capturado por las torres lavadoras de gases que no se recicla en el horno (otra eliminación)   | 2, 3  |
| 10-15%   | Estimación del peso del CKD redirigido automáticamente hacia el horno   | 2, 3  |
| 20-30%   | Estimación del peso del CKD si nada se recupera ni se recicla hacia el horno  | 2, 3  |
| <b>Importaciones/exportaciones</b>   |   |       |
| 10%  | Datos comerciales sobre el clínker (si los códigos tarifarios se identifican claramente y no se incluye el cemento)   | 1     |
| 50% del tonelaje importado   | Sobreestimación del error de no deducir las importaciones netas de clínker para el consumo (esto se debe al hecho de que, según la Ecuación 2.4, el CO <sub>2</sub> constituye la mitad del peso del clínker)   | 1     |

<sup>a</sup> Estimaciones basadas en dictámenes de expertos.

## 2.2.3 Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación

### 2.2.3.1 Garantía de calidad / Control de calidad (GC/CC)

Además de las orientaciones generales sobre GC/CC, se delinean a continuación los procedimientos específicos pertinentes para esta categoría de fuente.

## COMPARACIÓN DE LAS ESTIMACIONES DE EMISIONES OBTENIDAS MEDIANTE LOS DIFERENTES MÉTODOS

Se pueden hacer comparaciones entre las emisiones estimadas mediante los diferentes niveles. Por ejemplo, si para recolectar los datos de la actividad se usa un tratamiento «de abajo hacia arriba» (es decir, recopilación de datos específicos de las plantas), los compiladores del inventario deben comparar las estimaciones de emisiones con las estimaciones calculadas a partir de los datos nacionales de producción para el cemento o el clínker (tratamiento «de arriba hacia abajo»). En los casos en los que se utiliza un método híbrido de Nivel 1/2 ó Nivel 2/3 durante un período de transición, se considera una *buena práctica* estimar las emisiones para todas las instalaciones que utilizan el Nivel más bajo para comparar los resultados del análisis con los resultados obtenidos con el empleo del método híbrido. Los resultados de tales comparaciones deben registrarse con fines de documentación interna, incluidas las explicaciones sobre cualquier discrepancia.

### REVISIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

Los compiladores del inventario deben comparar los factores de emisión nacionales agregados con los factores por defecto del IPPC para determinar si el factor nacional es razonable respecto del factor por defecto del IPPC. Las diferencias entre los factores nacionales y los factores por defecto deben explicarse y documentarse, en particular si son representativos de circunstancias diferentes.

Si se utiliza el método agregado «de arriba hacia abajo», pero se dispone de algunos datos limitados específicos para las plantas, los compiladores del inventario deben comparar los factores al nivel de planta o de instalación con el factor agregado empleado para la estimación nacional. Esto indica si los datos son razonables y representativos.

### VERIFICACIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD ESPECÍFICOS DE LAS INSTALACIONES

Para los datos específicos de las instalaciones, los compiladores del inventario deben revisar las incoherencias entre las instalaciones para establecer si ello refleja la presencia de errores, de diferentes técnicas de medición, o bien resultan de diferencias reales en las emisiones, en las condiciones operativas o en las tecnologías. Para la producción de cemento, los compiladores del inventario deben comparar los datos de la planta (contenido de CaO del clínker, contenido de clínker en el cemento) con los de otras plantas del país.

Los compiladores deben garantizar que los factores de emisión y los datos de actividad se determinan de acuerdo con los métodos de medición internacionalmente reconocidos y probados. Si las prácticas de medición no cumplen con este criterio, entonces debe evaluarse cuidadosamente la utilización de estas emisiones o datos de actividad, deben reconsiderarse las estimaciones de incertidumbre y deben documentarse las calificaciones. Si se observa un estándar elevado en las mediciones y la GC/CC se aplica en la mayoría de las instalaciones, se puede revisar hacia abajo la incertidumbre de las estimaciones de emisiones.

## 2.2.3.2 Generación de informes y documentación

Es una *buena práctica* documentar y archivar toda la información requerida para producir las estimaciones del inventario de emisiones nacionales. A continuación se definen la documentación y los informes pertinentes para esta categoría de fuente.

### MÉTODO DE NIVEL 1

Además de los datos sobre producción de cemento, también se deben declarar las cantidades de importación y exportación de clínker. Cualquier información relacionada con el contenido de CaO del clínker debe documentarse, incluido el uso de valores por defecto diferentes de los que se discuten en la Sección 2.2.1.2.

### MÉTODO DE NIVEL 2

La documentación del Nivel 2 debe incluir una descripción sobre la forma en la que el organismo que declara ha estimado la producción de clínker (es decir, por pesaje directo, por determinación del peso a partir del volumen de la pila de clínker, por cálculo sobre las entradas de materias primas, etc.) y sobre el nivel al cual se recolectaron los datos de la actividad (es decir, al nivel de planta o al nivel nacional). El método para determinar el contenido de CaO del clínker (p. ej., específico del país o por defecto del IPPC) debe documentarse conjuntamente con toda información específica de la planta en relación con la cantidad y el tipo de suministros no carbonatados al horno, tales como la escoria o las cenizas volantes. Deben documentarse todos los procedimientos empleados para cuantificar y determinar el grado de calcinación del CKD. Se debe declarar en forma transparente cuando se haga la hipótesis de que las emisiones de CKD son iguales al 2 por ciento de las emisiones provenientes de la producción de clínker.

## MÉTODO DE NIVEL 3

Al documentar el método de Nivel 3 es importante documentar todos los procedimientos empleados y las metodologías utilizadas para identificar la fracción de peso y la identidad de todos los carbonatos, incluidos los carbonatos incorporados en todas las arcillas, esquistos, areniscas u otras materias primas suplementarias que se consumen como materias primas, conjuntamente con sus respectivos factores de emisión.

En la estimación del total de emisiones provenientes de las entradas de carbonatos, es posible sobreestimar las emisiones si los carbonatos no son calcinados completamente. Toda corrección debe ser documentada. Esto incluye la documentación de la fracción de calcinación de las materias primas y la cantidad y fracción de calcinación del CKD.

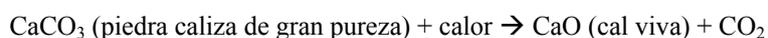
Es probable que las plantas consideren impracticable la realización de análisis químicos de todas las entradas de materias primas de manera diaria a los fines de los cálculos de CO<sub>2</sub>. En vez de ello, en cada instalación se realizará una investigación completa, un cierto número de veces al año, para caracterizar completamente las entradas de carbonatos. Así, en las instalaciones será posible determinar una relación entre las entradas de carbonatos y la producción de clínker, la cual podrá aplicarse a los cálculos de rutina de la instalación durante los periodos intermedios. Además de identificar todos los procedimientos empleados para calcular las emisiones a partir de las entradas de carbonatos, deben documentarse todos los pasos necesarios para identificar la relación entre entradas de carbonato y producción de clínker.

Toda información relacionada debe ser documentada y declarada; no se considera una *buena práctica* simplemente declarar las estimaciones finales de las emisiones.

## 2.3 PRODUCCIÓN DE CAL

### 2.3.1 Cuestiones metodológicas

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 los requerimientos del producto (p. ej., metalurgia, pulpa y papel, materiales de construcción, tratamiento de efluentes, ablandamiento de aguas, control del pH y estabilización de suelos), se utiliza principalmente la piedra caliza con fuerte proporción de calcio (calcita), 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:

$\text{CaMg(CO}_3)_2$  (dolomita) + calor  $\rightarrow$  CaO·MgO (cal de dolomita) + 2CO<sub>2</sub>. En algunas instalaciones, se produce también cal hidratada (apagada) mediante operaciones adicionales de hidratación.

La producción de cal se realiza en una serie de etapas, incluida la extracción de las materias primas, la trituración y el calibrado, la calcinación de las materias primas para producir cal y (si se requiere) la hidratación de la cal para obtener hidróxido de calcio.

En algunos casos, el consumo de cal como producto puede no resultar en emisiones netas de CO<sub>2</sub> hacia la atmósfera. El uso de la cal hidratada para ablandar las aguas, por ejemplo, resulta en que el CO<sub>2</sub> reaccione con la cal para volver a formar carbonato de calcio, lo cual no produce emisiones de CO<sub>2</sub> hacia la atmósfera. De manera similar, el carbonato de calcio precipitado que se usa en la industria del papel así como en otras aplicaciones industriales, es un producto derivado de la reacción entre el CO<sub>2</sub> y la cal viva con fuerte proporción de calcio. Durante el proceso de la refinación del azúcar, se utiliza la cal para eliminar las impurezas del jugo de caña crudo; todo exceso de cal puede eliminarse mediante carbonización. En estas industrias específicas, toda recarbonización puede calcularse y declararse sólo donde se empleen métodos probados y validados para calcular la cantidad de CO<sub>2</sub> que reacciona con la cal para volver a formar el carbonato de calcio. Allí donde se cumplan estas condiciones, esto puede declararse bajo la Categoría 2H, Otros.

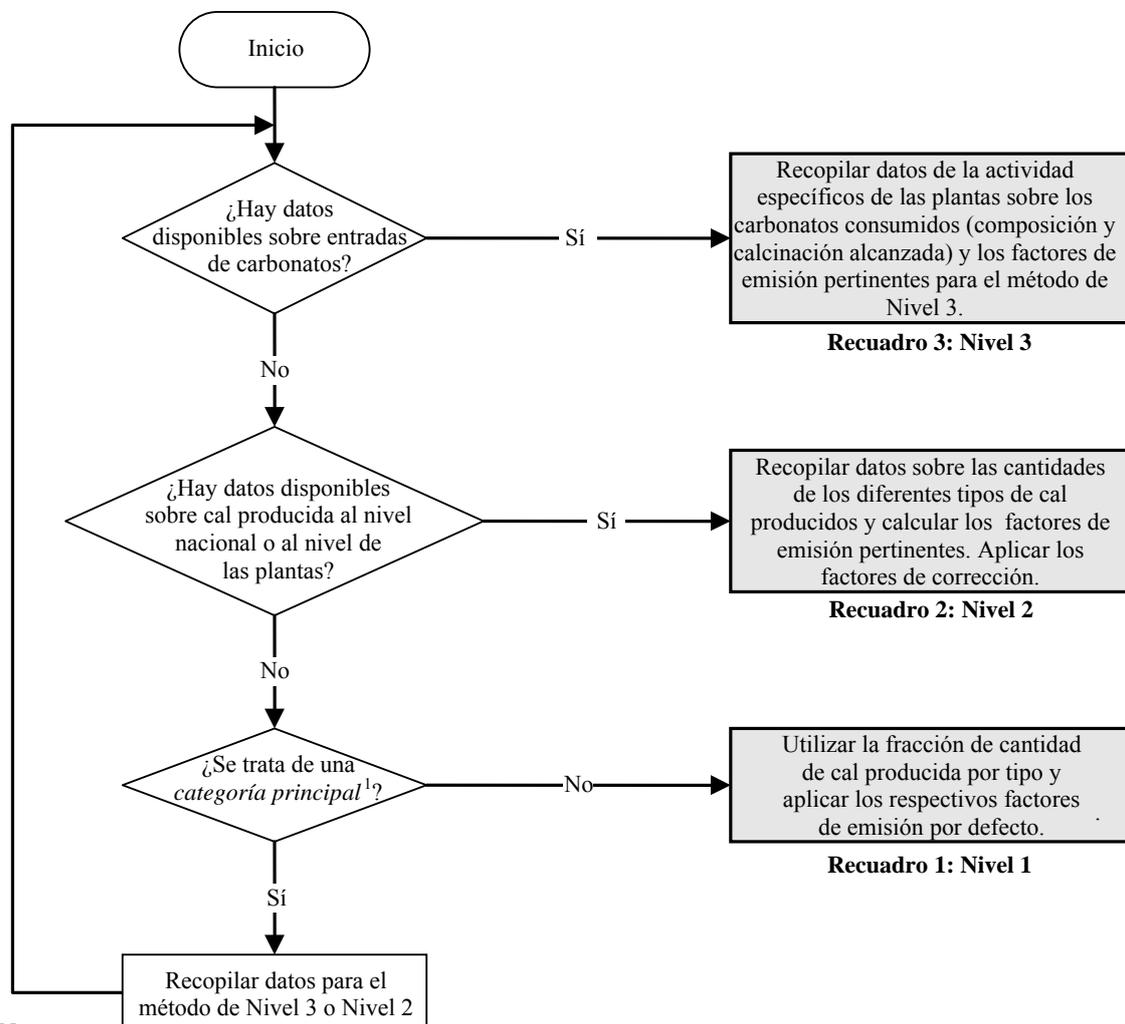
Tal como se analiza en la Sección 2.3.1.3, durante la producción de cal puede generarse polvo de horno de cal (LKD, del inglés, *Lime Kiln Dust*). Las estimaciones de emisiones determinadas mediante el Nivel 2 y el Nivel 3 deben dar cuenta de las emisiones asociadas con el LKD.

### 2.3.1.1 Elección del método

Al igual que en el caso de las emisiones procedentes de la producción de cemento, existen tres metodologías básicas para estimar las emisiones provenientes de la producción de cal: un método basado en las salidas, en el cual se usan valores por defecto (Nivel 1); un método basado en las salidas en el cual se estiman las emisiones de la producción de CaO y de CaO·MgO y se usa información específica del país para los factores correctores (Nivel 2); y un método basado en las entradas de carbonato (Nivel 3). A la diferencia del método de Nivel 3 que requiere una evaluación específica para la planta, los métodos de Nivel 1 y Nivel 2 pueden aplicarse, ya sea a las estadísticas nacionales, o donde sea posible, a las de las plantas. La elección de un método de *buena práctica* depende de las circunstancias nacionales, como se muestra en la Figura 2.2.

Es una *buena práctica* evaluar las estadísticas nacionales disponibles respecto de la exhaustividad y de las proporciones de piedra caliza a dolomita utilizadas en la producción de cal. Algunas industrias producen reactivos de cal no comerciales para utilizarlos en sus propios procesos (p. ej., la industria del hierro y del acero para usos como agente de escorificación). Toda producción de cal, sea ésta fabricada como un producto comercial o no comercial, debe declararse bajo la Subcategoría 2A2 del IPPC, Producción de cal.

**Figura 2.2**      **Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de la producción de cal**



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).

### MÉTODO DE NIVEL 1

El método de Nivel 1 se basa en la aplicación de un factor de emisión por defecto a los datos nacionales de producción de cal. Si bien para una *buena práctica* de Nivel 1 no es necesaria la información específica del país

sobre la producción de cal por tipos (p. ej., cal con fuerte proporción de calcio, cal de dolomita o cal hidráulica), los datos pueden usarse allí donde estén disponibles para identificar los tipos específicos de cal producida en el país. No es necesario dar cuenta del LKD para una *buena práctica* de Nivel 1.

## MÉTODO DE NIVEL 2

Si hay datos de nivel nacional sobre los tipos de cal producidos, es una *buena práctica* estimar las emisiones mediante la Ecuación 2.6. El método de 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 producción de LKD al nivel de planta.

### ECUACIÓN 2.6 NIVEL 2: EMISIONES BASADAS EN LOS DATOS DE PRODUCCIÓN NACIONAL DE CAL, POR TIPOS

$$\text{Emisiones de CO}_2 = \sum_i (EF_{cal,i} \cdot M_{l,i} \cdot CF_{lkd,i} \cdot C_{h,i})$$

Donde:

Emisiones de CO<sub>2</sub> = emisiones de CO<sub>2</sub> proveniente de la producción de cal, toneladas

EF<sub>cal,i</sub> = factor de emisión para la cal de tipo *i*, toneladas de CO<sub>2</sub>/ toneladas de cal (véase Ecuación 2.9)

M<sub>l,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

Esta corrección puede justificarse de una manera similar que para el CKD (Ecuación 2.5, pero se omite el factor (EF<sub>c</sub>/EF<sub>cl</sub>))

C<sub>h,i</sub> = factor corrector para la cal hidratada del tipo de cal *i*, sin dimensión (Véase el análisis de la Sección 2.3.1.3, Elección de los datos de la actividad.)

*i* = cada una de las cales específicas enumeradas en el Cuadro 2.4

## MÉTODO DE NIVEL 3

El Nivel 3 se basa en la recolección de datos específicos de la planta sobre el (o los) tipos y cantidades de carbonatos consumidos para producir cal, así como sobre el (o los) factores de emisión respectivos del (o de los) carbonatos consumidos. El método de Nivel 3 para estimar emisiones provenientes de la producción de cal es similar al de la Ecuación 2.3 para la producción de cemento, excepto que hay una corrección para el LKD en vez del CKD y que no es necesario corregir para las emisiones provenientes de materiales no combustibles que contienen carbono. A diferencia del caso del CKD y de los hornos de cemento, el LKD es rara vez reciclado hacia el horno de cal (pero el LKD puede usarse como suministro para un horno de cemento). Para los efectos de la estimación de las emisiones en la Ecuación 2.7, se supone que el LKD no se recicla hacia el horno.

### ECUACIÓN 2.7 NIVEL 3: EMISIONES BASADAS EN LAS ENTRADAS DE CARBONATOS

$$\text{Emisiones de CO}_2 = \sum_i (EF_i \cdot M_i \cdot F_i) - M_d \cdot C_d \cdot (1 - F_d) \cdot EF_d$$

Donde:

Emisiones de CO<sub>2</sub> = emisiones de CO<sub>2</sub> proveniente de la producción de cal, toneladas

EF<sub>i</sub> = factor de emisión para el carbonato en particular *i*, toneladas de CO<sub>2</sub>/ toneladas de carbonato (véase el Cuadro 2.1)

M<sub>i</sub> = peso o masa del carbonato *i* consumido en el horno, toneladas

F<sub>i</sub> = fracción de calcinación alcanzada para el carbonato *i*, fracción <sup>a</sup>

M<sub>d</sub> = peso o masa del LKD, toneladas

C<sub>d</sub> = fracción del peso del carbonato original en el LKD, fracción <sup>a</sup>. Este factor puede justificarse de una manera similar que para el CKD.

F<sub>d</sub> = fracción de calcinación alcanzada para el LKD, fracción <sup>a</sup>

EF<sub>c</sub> = factor de emisión para el carbonato no calcinado en el LKD, toneladas de CO<sub>2</sub>/toneladas de carbonato <sup>b</sup>

Notas sobre los valores por defecto para la Ecuación 2.7

- a: Fracciones de calcinación: en ausencia de datos reales, es coherente con las *buenas prácticas* suponer que el grado de calcinación alcanzado es de un 100 por ciento (p. ej.,  $F_i = 1,00$ ) o muy cercano a este valor. Para el LKD, es más probable un valor de  $F_d < 1,00$ , pero los datos pueden presentar una gran variabilidad y una fiabilidad relativamente baja. En ausencia de datos fiables para el LKD, la suposición de un valor de  $F_d = 1,00$  anulará la corrección por sustracción para el carbonato no calcinado restante en el LKD.
- b: Debido a que el carbonato de calcio es el carbonato más dominante entre las materias primas, en ausencia de mejores datos puede suponerse que éste totaliza el 100 por ciento del carbonato restante en el LKD. Es por lo tanto coherente con las *buenas prácticas*, que se asigne a  $C_d$  un valor igual a la proporción de carbonato de calcio existente en la materia prima que se introduce en el horno. Igualmente, en la ausencia de mejores datos, es coherente con las *buenas prácticas* que se use el factor de emisión del carbonato de calcio para  $EF_d$ .

### 2.3.1.2 Elección de los factores de emisión

#### MÉTODO DE NIVEL 1

El Nivel 1 es un método basado en las salidas y aplica un factor de emisión a la cantidad total de cal producida. El factor de emisión se basa en los cocientes estequiométricos ilustrados en el Cuadro 2.4, que varían según el tipo de cal producida. El cociente estequiométrico representa la cantidad de  $CO_2$  liberada por el carbonato precursor de la cal, si se supone que el grado de calcinación alcanzado es del 100 por ciento y que no hay LKD. Por ejemplo, 1 tonelada de CaO requiere la calcinación de 1,785 toneladas de  $CaCO_3$ , lo cual libera 0,785 toneladas de  $CO_2$  si la calcinación es completa.

En ausencia de datos específicos del país, es una *buen práctica* suponer un 85 por ciento de producción de cal con fuerte proporción de calcio y un 15 por ciento de producción de cal de dolomita (Millar, 1999). Sobre esta base, la Ecuación 2.8 ilustra cómo calcular el factor de emisión de Nivel 1 para la producción de cal.

**ECUACIÓN 2.8**

**NIVEL 1: FACTOR DE EMISIÓN POR DEFECTO PARA LA PRODUCCIÓN DE CAL**

$$\begin{aligned}
 EF_{cal} &= 0,85 \cdot EF_{cal \text{ con fuerte proporción de calcio}} + 0,15 \cdot EF_{cal \text{ de dolomita}} \\
 &= 0,85 \cdot 0,75 + 0,15 \cdot 0,77^a \\
 &= 0,6375 + 0,1155 \\
 &= 0,75 \text{ toneladas de } CO_2 / \text{ toneladas de cal producida}
 \end{aligned}$$

Notas sobre los valores por defecto para la Ecuación 2.8:

- a: El valor por defecto EF para la cal de dolomita puede ser 0,86 ó 0,77 según la tecnología empleada para la producción de cal. Véase Cuadro 2.4.

| CUADRO 2.4<br>PARÁMETROS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DE LOS FACTORES DE EMISIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE CAL |  |                                    |   |  |  |
|---|--|------------------------------------|---|--|--|
| Tipo de cal   | Cociente estequiométrico [toneladas de CO <sub>2</sub> por tonelada de CaO o de CaO·MgO] (1) | Intervalo del contenido de CaO [%] | Intervalo del contenido en MgO [%] <sup>d</sup> | 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> por tonelada de cal] (1) • (2) |
| Cal con fuerte proporción de calcio <sup>a</sup>  | 0,785  | 0,785                              | 0,3-2,5   | 0,95   | 0,75   |
| Cal de dolomita <sup>b</sup>  | 0,913  | 55-57                              | 38-41   | 0,95 ó 0,85 <sup>c</sup>   | 0,86 ó 0,77 <sup>c</sup>   |
| Cal hidráulica <sup>b</sup>   | 0,785  | 65-92 <sup>c</sup>                 | NA  | 0,75 <sup>e</sup>  | 0,59   |

Fuente:

<sup>a</sup> Miller (1999b) basado en ASTM (1996) y Schwarzkopf (1995).

<sup>b</sup> Miller (1999a) basado en Boynton (1980).

<sup>c</sup> Este valor depende de la tecnología utilizada por la producción de cal. El valor más alto se sugiere para los países desarrollados, el más bajo para los países en desarrollo.

<sup>d</sup> No existe una fórmula química exacta para cada tipo de cal porque la química del producto cal está determinada por la química de la piedra caliza o la dolomita utilizada para fabricar la cal.

<sup>e</sup> El contenido total en CaO (incluido aquél de las fases de silicatos).

## MÉTODO DE NIVEL 2

De manera similar al Nivel 1, el factor de emisión para la producción de cal del 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 en CaO·MgO de la cal. Sin embargo, a diferencia del Nivel 1, el Nivel 2 requiere la utilización de datos de nivel nacional sobre la producción de cal por tipos. Es una *buena práctica* aplicar la Ecuación 2.9 para determinar los factores de emisión y para dar cuenta del contenido de CaO o en CaO·MgO.

|   |
|---|
| <p><b>ECUACIÓN 2.9</b></p> <p><b>NIVEL 2: FACTORES DE EMISIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE CAL</b></p> $EF_{cal,a} = SR_{CaO} \cdot \text{Contenido en CaO}$ $EF_{cal,b} = SR_{CaO \cdot MgO} \cdot \text{Contenido en MgO}$ $EF_{cal,c} = SR_{CaO} \cdot \text{Contenido en CaO}$ |
|---|

Donde:

$EF_{cal,a}$  = factor de emisión para la cal viva (cal con fuerte proporción de calcio), toneladas de CO<sub>2</sub>/toneladas de cal

$EF_{cal,b}$  = factor de emisión para la cal de dolomita, toneladas de CO<sub>2</sub>/toneladas de cal

$EF_{cal,c}$  = factor de emisión para la cal de dolomita, toneladas de CO<sub>2</sub>/toneladas de cal

$SR_{CaO}$  = cociente estequiométrico del CO<sub>2</sub> y CaO (véase Cuadro 2.4), toneladas de CO<sub>2</sub>/toneladas de cal

$SR_{CaO \cdot MgO}$  = cociente estequiométrico del CO<sub>2</sub> y del CaO·MgO (véase Cuadro 2.4), toneladas de CO<sub>2</sub>/toneladas de cal

Contenido de CaO = proporción de CaO en la cal (véase Cuadro 2.4), toneladas de CaO/toneladas de cal

Contenido de CaO·MgO = proporción de CaO·MgO en la cal (véase Cuadro 2.4), toneladas de CaO·MgO /toneladas de cal

## MÉTODO DE NIVEL 3

Los factores de emisión del Nivel 3 se basan en los carbonatos efectivamente presentes. (Véase la Ecuación 2.7 y el Cuadro 2.1.) El Nivel 3 requiere una contabilización completa de los carbonatos (especies y fuentes) y puede incluir una corrección (p. ej., por sustracción) del polvo de horno de cal no calcinado.

### 2.3.1.3 Elección de los datos de la actividad

Algunas industrias producen cal y la consumen en sus propias operaciones. Puede suceder que esta cantidad de cal no llegue nunca al mercado. Es importante, al recolectar los datos de actividad para la producción de cal, que se incluyan tanto la producción de cal comercial como la de cal no comercial. En muchos países, la obtención de estadísticas sobre la producción de cal no comercial puede exigir muchos esfuerzos. Se sugiere que los compiladores del inventario identifiquen las industrias que potencialmente pueden producir cal no comercial (p. ej., la metalurgia, la pulpa y el papel, la refinación del azúcar, el precipitado de carbonato de calcio, los ablandadores de aguas) y que investiguen si hay tal producción. Como las industrias y los países pueden diferir significativamente respecto de las cantidades de cal no comercial producida, no es posible ofrecer un valor por defecto para estimar estos datos de actividad.

#### MÉTODO DE NIVEL 1

En el Nivel 1, los compiladores del inventario pueden utilizar valores por defecto para cualquier de las variables siguientes: (1) los tipos de cal producidos y/o (2) la proporción de cal hidratada producida. En el Cuadro 2.4 se presentan los datos sobre los cocientes estequiométricos, los intervalos de los contenidos en CaO y CaO·MgO y los factores de emisión resultantes para los tipos principales de cal producidos. Si no hay datos desagregados para desglosar los tipos de cal, es una *buena práctica* suponer que un 85 por ciento es cal con fuerte proporción de calcio y un 15 por ciento es cal de dolomita (Miller, 1999) y que la proporción de cal hidráulica deba suponerse nula, a menos que se disponga de otra información.

El método de Nivel 1 para la producción de cal no integra una corrección para el LKD. Es posible excluir algunas fuentes de cal del inventario nacional debido a problemas con los datos de actividad (véase Sección 2.3.1.4 y 2.3.2.2.) Si estas cuestiones no se consideran cuidadosamente, el método de Nivel 1 puede subestimar las emisiones.

#### MÉTODO DE NIVEL 2

Al implementar el método de Nivel 2 es importante recolectar datos desagregados para los tres tipos de cal, pues esto mejorará las estimaciones de emisiones. Hay tres tipos principales de cal no hidratada:

- Cal con fuerte proporción de calcio (CaO + impurezas);
- Cal de dolomita (CaO·MgO + impurezas);
- Cal hidráulica (CaO + silicatos de calcio hidráulicos), que es una sustancia entre la cal y el cemento.

La razón principal para distinguir estos tipos es que los dos primeros tienen factores de emisión diferentes. Es importante también corregir para la proporción de cal hidráulica en la producción. De manera parecida a la del método de Nivel 2 para la producción de cemento, deben recolectarse los datos sobre todas las fuentes no carbonatadas de CaO (cuando sea aplicable).

Durante la producción de cal pueden generarse cantidades importantes de LKD como producto derivado. Las cantidades generadas dependen del tipo de horno utilizado y de las características de los carbonatos empleados. Según Boynton (1980) un horno rotatorio típico genera una pérdida de polvos por fricción de 9 a 10 por ciento por tonelada de cal producida, o de 16 a 18 por ciento de la entrada de materia prima. La composición química del LKD varía según la materia prima de entrada, pero un LKD típico de cal con fuerte proporción de calcio puede contener un 75 por ciento de óxido de calcio y de carbonato de calcio no calcinado combinados (en una proporción aproximada de 50:50), las impurezas restantes son: sílice, óxidos de aluminio y de hierro, así como azufre (según el combustible utilizado). La corrección para el LKD en los métodos de Nivel 2 y de Nivel 3 es análoga a la del CKD en la producción de cemento, tanto en metodología de cálculo como en valores por defecto. En la medida de lo posible, deben recolectarse datos sobre las proporciones típicas de LKD respecto de la producción de cal y sobre la composición típica del LKD. Ante la ausencia de datos, los compiladores del inventario pueden suponer una corrección aditiva del 2 por ciento para dar cuenta del LKD (es decir, multiplicar las emisiones por 1,02).

Los hornos de caña vertical generan relativamente poca cantidad de LKD y se dictamina que para los hornos de caña vertical, no es necesario estimar un factor corrector para el LKD pues resultaría insignificante.

#### MÉTODO DE NIVEL 3

Es una *buena práctica* recopilar datos específicos de la planta para la fracción de peso del (o de los) carbonatos consumidos para la producción de cal y para la fracción de calcinación alcanzada. Deben recolectarse también datos sobre la cantidad (peso en seco) y la composición del LKD producido. Análogamente al método de Nivel 3 para la producción de cemento, las emisiones de LKD deben restarse de las estimaciones de Nivel 3 para la cal.

Cuando se estimen los datos de consumo de carbonatos, hay que considerar un par de cuestiones de primer orden. Los datos deben estar disponibles y recolectarse al nivel de planta, pues las estadísticas nacionales sobre consumo de carbonatos en la producción de cal pueden estar incompletas. De manera similar que para la producción del cemento, aunque es probable que la piedra caliza o la dolomita sean los carbonatos dominantes, es importante garantizar que todas las entradas de carbonatos estén identificadas y contabilizadas.

### **CORRECCIÓN PARA LA PROPORCIÓN DE CAL HIDRATADA**

Tanto la cal con fuerte proporción de calcio como la cal de dolomita pueden «apagarse» y convertirse en cal hidratada, esto es, en  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  o en  $\text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot \text{Mg}(\text{OH})_2$ . Es una *buena práctica* incluir una corrección para la cal hidratada bajo el Nivel 2 y donde 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.

Si  $x$  es la proporción de cal hidratada e  $y$  su contenido de agua, es una *buena práctica* multiplicar la producción por el factor corrector  $1 - (x \cdot y)$ . Dado que la gran mayoría de la cal hidratada producida tiene una fuerte proporción de calcio (90 por ciento), los valores por defecto son  $x=0,10$  e  $y=0,28$  (contenido de agua por defecto), lo que resulta en un factor corrector de 0,97. Este factor corrector por defecto para la cal hidratada puede incluirse en la Ecuación 2.6.

#### **2.3.1.4 Exhaustividad**

Para una *buena práctica* se necesitan datos de la actividad (esto es, de la producción de cal) completos. Es típico que la producción declarada dé cuenta sólo de una parte de la producción real, pues las estadísticas sobre la producción de cal pueden considerar sólo los productos vendidos en el mercado. Ni el uso ni la producción de cal como producto intermedio no comercial son debidamente contabilizados ni declarados. Por ejemplo, muchas plantas que producen acero, ceniza de sosa sintética, carburo de calcio, magnesia y metal de magnesio, así como las fundiciones de cobre y los ingenios azucareros, producen cal, pero no la declaran a los organismos nacionales. La omisión de estos datos puede conducir a una estimación insuficiente de la producción de cal de un país por un factor de dos o más. Igualmente, puede existir una producción de cal a la escala comunal o de carácter artesanal con fines sanitarios o para usos en el blanqueado. Toda producción de cal debe ser declarada en esta categoría de fuente, fuere producida en hornos de cal como producto comercial, o bien producida como sustancia para la alimentación a procesos de carácter no comercial.

Los compiladores del inventario deben tomar precauciones para evitar el cómputo doble o las omisiones entre esta categoría de fuente y las emisiones debidas al consumo de piedra caliza y de dolomita. Otra fuente potencial de cómputo doble que el compilador del inventario debe tener en mente está asociada con la cal hidratada. Si la producción de cal se corrige para la cal hidratada sin primero establecer que la cal empleada para producir cal hidratada esté incluida en la producción total de cal, la producción de este tipo de cal puede ser contabilizada de manera doble.

Al igual que para el análisis sobre el cemento, cuando se usa el Nivel 3 es importante que se dé cuenta de todas las entradas de carbonatos (p. ej., piedra caliza, dolomita, etc.) sobre una base específica de la planta.

Por último, los morteros a base de cal utilizados en la construcción aumentan su resistencia a través de absorción de  $\text{CO}_2$  pero los índices de la reacción de carbonización que ocurre en la práctica son muy inciertos. Como se piensa que este proceso de carbonización en los morteros puede demorar meses o hasta decenios, no se ha factorizado en los cálculos de emisiones. En este momento, no se considera una *buena práctica* incluir este factor en los cálculos de las emisiones. Ésta es un área de trabajo futuro y previo a su inclusión en los inventarios nacionales.

#### **2.3.1.5 Desarrollo de una serie temporal coherente**

Es una *buena práctica* calcular las emisiones para producción de cal empleando el mismo método en cada año de la serie temporal. Estas *Directrices* introducen un nuevo método de Nivel 3 que se basa en las entradas de carbonatos en la producción de cal. Históricamente, estos datos pueden estar disponibles o no. Si el compilador del inventario decide implementar este Nivel para los inventarios actuales y futuros, se lo alienta a recopilar estos datos para años históricos con el fin de garantizar la coherencia de la serie temporal. Cuando no se disponga de datos, el compilador puede referirse al «Método de la superposición parcial» (véase Volumen 1, Sección 5.3) para intentar recalculer las estimaciones previas.

Cuando no se disponga de datos, los compiladores del inventario que pasan del método de Nivel 1 al método de Nivel 2 pueden suponer que en el país no se ha producido un cambio significativo en el uso de una entrada de carbonatos hacia otras entradas respecto de la producción de cal. Es una hipótesis bastante razonable, dado que, en particular, la piedra caliza es generalmente la entrada de carbonato predominante.

Los compiladores del inventario deben desagregar los datos de producción de cal en los tres tipos mencionados: cal con fuerte proporción de calcio, cal de dolomita y cal hidráulica. Allí donde no se disponga de datos específicos del país para toda la serie temporal sobre la proporción de cal consumida o sobre la proporción de cal hidratada, pueden estimarse los años restantes mediante el Método de interpolación o de extrapolación de tendencias, tal como se plantea en el Volumen 1, Sección 5.3; o bien, puede suponerse que el año en curso es representativo de la proporción de cal producida en los años precedentes de la serie temporal.

## 2.3.2 Evaluación de incertidumbre

Las estimaciones de la incertidumbre para la producción de cal resultan predominantemente de las incertidumbres asociadas con los datos de la actividad y en menor medida, de la incertidumbre relacionada con el factor de emisión. Para más información, refiérase, más arriba, a la discusión sobre incertidumbre para la producción de cemento.

| CUADRO 2.5<br>VALORES DE INCERTIDUMBRE POR DEFECTO PARA LA ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE CO <sub>2</sub> DE LA PRODUCCIÓN DE CAL |   |         |
|---|---|---------|
| Incertidumbre   | Comentario  | Nivel   |
| 4-8%  | Incetidumbre al suponer un contenido promedio de CaO en la cal  | 1, 2    |
| 2%  | Factor de emisión de la cal con fuerte proporción de calcio   | 1, 2    |
| 2%  | Factor de emisión de la cal de dolomita   | 1, 2    |
| 15%   | Factor de emisión de la cal hidráulica  | 1, 2    |
| 5%  | Corrección para la cal hidratada  | 1, 2    |
|   | Posibles errores en el orden de magnitud si no se estima la producción de cal no comercial  | 1, 2, 3 |
| 1-2%  | Incetidumbre de los datos de producción de cal al nivel de planta Generalmente, las plantas no determinan las salidas con una mejor precisión. Esto supone declaraciones completas. | 2       |
| Véase Cuadro 2.3  | Corrección para el LKD  | 2, 3    |
| 1-3%  | Error en la hipótesis de que el 100% de la fuente de carbonato proviene de la piedra caliza (en relación con otros suministros)   | 3       |
| 1-3%  | Incetidumbre de los pesajes de materias primas en las plantas   | 3       |

Fuente: Basado en dictamen de expertos.

### 2.3.2.1 Incertidumbres del factor de emisión

Tal como se ha delineado más arriba para el cemento, existe una pequeña incertidumbre asociada con el componente del factor de emisión del método de Nivel 3. En el Nivel 2 y el Nivel 1, el cociente estequiométrico es un número exacto y por lo tanto, la incertidumbre del factor de emisión es la incertidumbre de la composición de la cal, en particular la de la parte de cal hidráulica (la incertidumbre del factor de emisión de la cal hidráulica es del 15 por ciento y la incertidumbre para otros tipos de cal es del 2 por ciento). Hay una incertidumbre asociada a la determinación del contenido de CaO y/o en CaO•MgO de la cal producida.

### 2.3.2.2 Incertidumbres en los datos de la actividad

Al basarse en la experiencia de recolección de datos sobre la cal, resulta probable que la incertidumbre para los datos de actividad sea muy superior a la de los factores de emisión (véase, más arriba, la Sección 2.3.1.4, Exhaustividad) La omisión de la producción de cal no comercial puede conducir a subestimaciones en el orden de magnitud. La corrección para la cal hidratada conduce generalmente a una incertidumbre adicional.

Como fuera descrito más arriba para el caso del CKD, existe una incertidumbre significativa asociada con la cuantificación de la masa del LKD producido y con el grado de calcinación (y por ende de las emisiones) del LKD. Puede suponerse que la incertidumbre asociada con la estimación del LKD es por lo menos igual o mayor que la incertidumbre asociada con el CKD.

Allí donde, en el Cuadro 2.5, se proponen intervalos para las incertidumbres por defecto, debe emplearse el intervalo medio, a menos que las estimaciones superiores o inferiores reflejen mejor las circunstancias específicas del país.

## 2.3.3 Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación

### 2.3.3.1 Garantía de calidad / Control de calidad (GC/CC)

Además de las orientaciones interdisciplinarias sobre GC/CC, se delinean a continuación los procedimientos específicos que son pertinentes para esta categoría de fuente.

#### COMPARACIÓN DE LAS ESTIMACIONES DE EMISIONES OBTENIDAS MEDIANTE LOS DIFERENTES MÉTODOS

Se pueden hacer comparaciones entre las emisiones estimadas según el método de Nivel 2, basado en la producción de cal, y el método de Nivel 3, basado en las entradas de carbonatos. De manera similar, si para estimar las emisiones se usa el método «de abajo hacia arriba» (es decir, recolección de datos específicos para las plantas), los compiladores del inventario deben comparar las estimaciones de emisiones con las estimaciones calculadas mediante datos nacionales o específicos de la planta para la producción de cal (tratamiento «de arriba hacia abajo»). En los casos en los que se utiliza un método híbrido de Nivel 1/2 ó Nivel 2/3 durante un período de transición, se considera como una *buena práctica* estimar las emisiones para todas las instalaciones que utilizan el Nivel más bajo para comparar los resultados del análisis con los resultados derivados del empleo del método híbrido. Los resultados de tales comparaciones deben registrarse con fines de documentación interna, incluidas las explicaciones sobre cualquier discrepancia.

#### VERIFICACIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Los compiladores del inventario deben confirmar las definiciones correctas de los diferentes tipos de cal producidos en el país. Los compiladores del inventario deben también considerar cuidadosamente las industrias que puedan producir cal no comercial, de modo que garanticen que estos datos han sido incluidos en los datos de actividad para el inventario.

### 2.3.3.2 Generación de informes y documentación

Es una *buena práctica* documentar y archivar toda la información requerida para producir las estimaciones del inventario de emisiones nacionales. A continuación se señalan algunas notas generales que se aplican a la declaración y documentación de las emisiones, así como a la reducción de emisiones provenientes de la producción de cal, seguidas de la información específica que debe ser declarada para cada nivel individual.

- Si un compilador declara bajo la Categoría 2H la recuperación de CO<sub>2</sub> de la refinación del azúcar, del precipitado de carbonato de calcio o del ablandamiento de aguas, debe proporcionar detalles sobre los métodos empleados para calcular las emisiones recuperadas. Tanto las emisiones como las reducciones de emisiones deben declararse por separado; no se considera como una *buena práctica* que se declaren solamente las emisiones netas de la producción de cal. Además, se debe proporcionar información para ilustrar que las reducciones de emisiones por recarbonización se declaran sólo para el año en que ocurre la recarbonización (véase más arriba, 2.3.1).
- Independientemente del método implementado, los compiladores deben documentar los procedimientos empleados para garantizar que tanto la producción de cal comercial como la no comercial han sido declaradas (véase el análisis en la Sección 2.3.1.4, Exhaustividad).

#### MÉTODO DE NIVEL 1

Desde un punto de vista metodológico, el tratamiento de Nivel 1 es el mismo que el de Nivel 2, salvo que, para estimar los diversos parámetros, admite el uso de valores por defecto en vez de información específica del país. Por lo tanto, la documentación para el Nivel 1 se desprende de la del Nivel 2, indicada a continuación, excepto que se debe indicar claramente dónde se aplican los valores por defecto.

#### MÉTODO DE NIVEL 2

La documentación de Nivel 2 debe incluir una discusión sobre los tipos de cal producidos en el país (incluida la cal hidratada) y sobre cómo se ha efectuado tal determinación (recolección de datos sobre ventas, recolección de

datos sobre el consumo específico de la planta, etc.) Deben explicarse también los procedimientos empleados para identificar el contenido de CaO y/o en CaO·MgO de la cal, así como los suministros no carbonatados al horno de cal.

### MÉTODO DE NIVEL 3

Las declaraciones y la documentación para el Nivel 3 respecto de la producción de cal son los mismos que los del Nivel 3 para la producción de cemento, delineados más arriba, con una diferencia menor. En vez de recolectar información sobre el CKD, deben recolectarse los datos sobre la cantidad y fracción de calcinación alcanzados para el LKD. Toda información relacionada debe ser documentada y declarada; no se considera como una *buena práctica* simplemente declarar las estimaciones finales de las emisiones.

## 2.4 PRODUCCIÓN DE VIDRIO

### 2.4.1 Cuestiones metodológicas

En el comercio se utilizan muchas variedades de artículos y de composiciones de vidrio, pero la industria del vidrio puede dividirse en cuatro categorías principales: recipientes, vidrios planos (ventanas), fibras de vidrio y vidrios especiales.

La mayor parte del vidrio comercial se encuentra en las dos primeras categorías constituidas casi enteramente de vidrio de cal sodada, que está compuesto de sílice ( $\text{SiO}_2$ ), sosa ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) y cal ( $\text{CaO}$ ), con pequeñas cantidades de alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) y otros álcalis y tierras alcalinas, además de algunos ingredientes menores. La fibra de vidrio para el aislamiento térmico —un componente mayor de la tercera categoría— posee una composición similar. Los fabricantes individuales aplican composiciones propias patentadas, pero son variaciones menores de la composición básica.

Esta categoría de fuente incluye también las emisiones de la producción de lana de vidrio, una categoría de la lana mineral, donde el proceso de producción es similar al de la fabricación del vidrio. El término lana mineral puede emplearse también para referirse a las lanas basadas en rocas naturales o en escorias. Allí donde la producción de lana de roca produzca emisiones, éstas deben declararse bajo la Subcategoría 2A5 del IPPC. Las emisiones relacionadas con la producción de escoria deben declararse en la categoría de fuente metalúrgica pertinente. La refundición de la escoria para producir lana mineral no implica emisiones significativas relacionadas con el proceso y no necesita ser declarada.

Las principales materias primas del vidrio que emiten  $\text{CO}_2$  durante el proceso de fundición son: la piedra caliza ( $\text{CaCO}_3$ ), la dolomita  $\text{Ca,Mg}(\text{CO}_3)_2$  y la ceniza de sosa ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ). Estos materiales, allí donde se extraen como carbonatos minerales para ser utilizados en la industria del vidrio, representan una producción primaria de  $\text{CO}_2$  y deben incluirse en las estimaciones de emisiones. Los materiales carbonatados producidos a través de la carbonización de un hidróxido no producen emisiones netas de  $\text{CO}_2$  y no deben incluirse en las estimaciones de emisiones. Las materias primas menores del vidrio que emiten  $\text{CO}_2$  son el carbonato de bario ( $\text{BaCO}_3$ ), la ceniza de hueso ( $3\text{CaO}\cdot\text{P}_2\text{O}_5 + \text{XCaCO}_3$ ), carbonato de potasio ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ ) y el carbonato de estroncio ( $\text{SrCO}_3$ ). Además, el carbón pulverizado de antracita y otros materiales orgánicos pueden agregarse para crear condiciones reductoras en el vidrio fundido, que se combinarán con el oxígeno disponible en el fundido de vidrio para producir  $\text{CO}_2$ .

La acción de estos carbonatos en la fusión del vidrio constituye una reacción química compleja a altas temperaturas y no debe compararse directamente con la calcinación de carbonatos para producir cal viva o cal de dolomita quemada. Sin embargo, esta fusión (en la región de los  $1500^\circ\text{C}$ ) tiene los mismos efectos netos desde el punto de vista de las emisiones de  $\text{CO}_2$ .

En la práctica, los fabricantes de vidrio no producen vidrio sólo a partir de materias primas, sino que algunos emplean una cierta cantidad de chatarra de vidrio reciclada (o *cullet*, del inglés). La mayoría de las operaciones utilizan la mayor cantidad de *cullet* que se pueda obtener, lo que induce a veces restricciones en los requisitos de calidad del vidrio. La proporción de *cullet* (la fracción de la carga del horno representada por el *cullet*) se sitúa en el intervalo de 0,4 a 0,6 para las aplicaciones en la fabricación de recipientes, que constituye el grueso de la producción de vidrio. Los fabricantes de fibra de vidrio tienden, por lo general, a estar por debajo de este nivel, pero emplearán tanto *cullet* como puedan comprar.

El *cullet* proviene de dos fuentes: la recuperación in situ de vidrios rotos en el proceso u otros desperdicios o retenciones del vidrio y *cullet* exterior a la planta, proveniente de los programas de reciclaje del vidrio o de los servicios de corretaje del *cullet*. Esta segunda fuente es importante en las economías desarrolladas, pero será menor en los países en desarrollo donde la recuperación de objetos de vidrio está menos difundida.

Se ha determinado que la retención de CO<sub>2</sub> disuelto en el vidrio es relativamente insignificante y puede ser omitida para los fines de la estimación de emisiones de gases de efecto invernadero.

### 2.4.1.1 Elección del método

#### MÉTODO DE NIVEL 1

Debe emplearse el método de Nivel 1 (Ecuación 2.10), donde no se disponga de datos sobre el vidrio fabricado por procesamiento de los carbonatos utilizados en la industria del vidrio. En el Nivel 1 se aplica un factor de emisión por defecto y una proporción de *cullet* por defecto a las estadísticas nacionales sobre producción de vidrio. La incertidumbre asociada a este método puede considerarse superior a la incertidumbre asociada a los métodos de Nivel 2 y de Nivel 3.

$$\begin{aligned} &\text{ECUACIÓN 2.10} \\ &\text{NIVEL 1: EMISIONES BASADAS EN LA PRODUCCIÓN DE VIDRIO} \\ &E_{\text{emisiones de CO}_2} = M_g \cdot EF \cdot (1 - CR) \end{aligned}$$

Donde:

Emisiones de CO<sub>2</sub> = emisiones de CO<sub>2</sub> proveniente de la producción de vidrio, toneladas

M<sub>g</sub> = masa del vidrio producido, toneladas

EF = factor de emisión por defecto para la fabricación del vidrio, toneladas de CO<sub>2</sub>/toneladas de vidrio

CR = proporción de *cullet* para el proceso (promedio nacional o valor por defecto), fracción

#### MÉTODO DE NIVEL 2

El Nivel 2 es un refinamiento del Nivel 1. En vez de recolectar las estadísticas nacionales sobre la producción total de vidrio, las emisiones se estiman basándose en los distintos procesos de fabricación de vidrio empleados en el país. Tal como se analiza a continuación, los diferentes procesos de fabricación de vidrio (p. ej., vidrio flotado, vidrio de recipientes, fibra de vidrio, etc.) emplean generalmente diferentes tipos y proporciones de materias primas. En el método de Nivel 2 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 vidrio reciclado (*cullet*) puede suministrarse también al horno (Ecuación 2.11).

$$\begin{aligned} &\text{ECUACIÓN 2.11} \\ &\text{NIVEL 2: EMISIONES BASADAS EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DEL VIDRIO} \\ &E_{\text{emisiones de CO}_2} = \sum_i [M_{g,i} \cdot EF_i \cdot (1 - CR_i)] \end{aligned}$$

Donde:

Emisiones de CO<sub>2</sub> = emisiones de CO<sub>2</sub> proveniente de la producción de vidrio, toneladas

M<sub>g,i</sub> = masa de vidrio fundido de tipo *i* (p. ej., flotado, recipiente, fibra de vidrio, etc.), toneladas

EF<sub>*i*</sub> = factor de emisión para la fabricación de vidrio del tipo *i*, toneladas de CO<sub>2</sub>/toneladas de vidrio fundido

CR<sub>*i*</sub> = proporción de *cullet* para la fabricación de vidrio del tipo *i*, fracción

#### MÉTODO DE NIVEL 3

La metodología de Nivel 3 está basada en la contabilización de la entrada de carbonato al horno de fundición de vidrio (Ecuación 2.12).

$$\begin{aligned} &\text{ECUACIÓN 2.12} \\ &\text{NIVEL 3: EMISIONES BASADAS EN LAS ENTRADAS DE CARBONATOS} \\ &E_{\text{emisiones de CO}_2} = \sum_i (M_i \cdot EF_i \cdot F_i) \end{aligned}$$

Donde:

Emisiones de CO<sub>2</sub> = emisiones de CO<sub>2</sub> proveniente de la producción de vidrio, toneladas

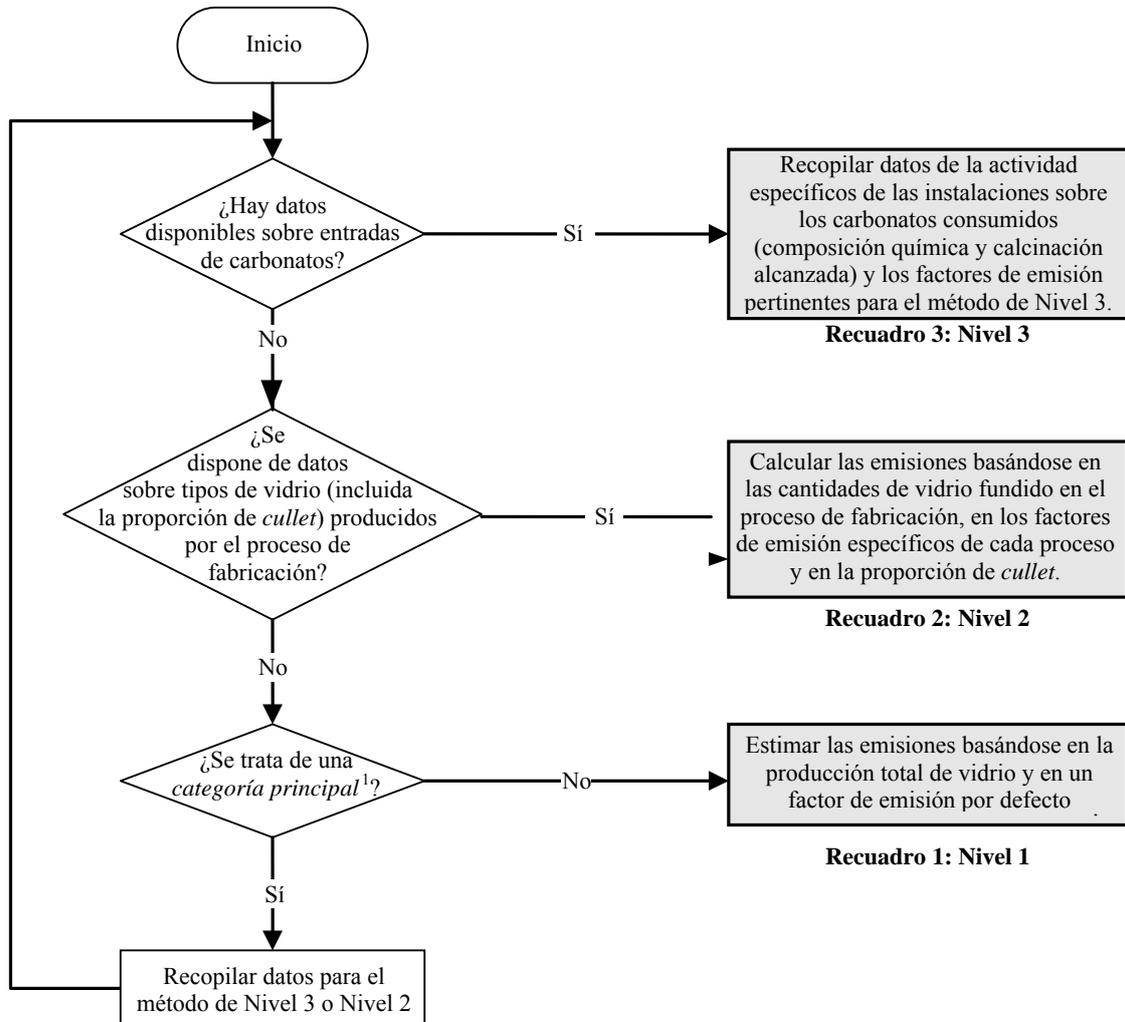
$EF_i$  = factor de emisión para el carbonato en particular  $i$ , toneladas de  $CO_2$ / toneladas de carbonato (véase Cuadro 2.1)

$M_i$  = peso o masa del carbonato  $i$  consumido (extraído de la mina), toneladas

$F_i$  = fracción de calcinación alcanzada para el carbonato  $i$ , 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.

**Figura 2.3**      **Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de  $CO_2$  provenientes de la producción de vidrio**



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).

### 2.4.1.2 Elección de los factores de emisión

#### MÉTODO DE NIVEL 1

En el método de Nivel 1 se aplica un factor de emisión por defecto, basado en una mezcla «típica» de materias primas, a los datos sobre producción nacional de vidrio. Un lote «típico» de cal sodada puede estar compuesto de arena (56,2 por ciento del peso), feldespato (5,3 por ciento), dolomita (9,8 por ciento), piedra caliza (8,6 por ciento) y ceniza de sosa (20,0 por ciento). Basándose en esta composición, una tonelada métrica de materia prima rinde aproximadamente 0,84 toneladas de vidrio y pierde 16,7 por ciento de su peso en materias volátiles, en este caso, casi todo en forma de  $CO_2$ .

**ECUACIÓN 2.13****NIVEL 1: FACTOR DE EMISIÓN POR DEFECTO PARA LA PRODUCCIÓN DE VIDRIO**

$$EF = 0,167 / 0,84 = 0,20 \text{ toneladas de CO}_2 / \text{toneladas de vidrio}$$

**MÉTODO DE NIVEL 2**

El método de Nivel 2 se basa en la aplicación de factores de emisión por defecto y proporciones de *cullet* a los diferentes tipos de vidrio producidos en el país (Cuadro 2.6). Si hay de datos específicos del país o incluso de las plantas, se incita a los países a utilizar estos datos para completar o reemplazar los valores por defecto que se proponen a continuación. En particular, las proporciones de *cullet* pueden variar significativamente tanto dentro de un país como de un país a otro.

Es una *buena práctica* utilizar los valores medianos de los intervalos provistos a menos que se sepa que algunos otros valores dentro del intervalo son más representativos de las circunstancias específicas del país.

| <b>CUADRO 2.6</b>   |  |  |
|---|--|--|
| <b>FACTORES DE EMISIÓN Y PROPORCIONES DE CULLET POR DEFECTO PARA LOS DIFERENTES TIPOS DE VIDRIO</b> |  |  |
| <b>Tipo de vidrio</b>   | <b>Factor de emisión de CO<sub>2</sub><br/>(Kg de CO<sub>2</sub>/Kg de vidrio)</b> | <b>Proporción de cullet<br/>(Intervalo típico)</b> |
| Flotado   | 0,21   | 10% - 25%  |
| Recipiente (Flint)  | 0,21   | 30% - 60%  |
| Recipiente (ámbar/verde)  | 0,21   | 30% - 80%  |
| Fibra de vidrio<br>(«E-glass»)  | 0,19   | 0% - 15%   |
| Fibra de vidrio<br>(aislamiento)  | 0,25   | 10% - 50%  |
| Especial<br>(pantalla de televisión)  | 0,18   | 20% - 75%  |
| Especial<br>(tubo de televisión)  | 0,13   | 20% - 70%  |
| Especial (vajilla)  | 0,10   | 20% - 60%  |
| Especial (laboratorio y/o<br>farmacia)  | 0,03   | 30% - 75%  |
| Especial (iluminación)  | 0,20   | 40% - 70%  |
| Fuente: Comunicación con Victor Aume (2004)   |  |  |

**MÉTODO DE NIVEL 3**

Los factores de emisión del Nivel 3 se basan en el contenido real de CO<sub>2</sub> de los carbonatos consumidos en el horno de fundición (para los cocientes estequiométricos pertinentes, véase el Cuadro 2.1). El método de Nivel 3 requiere la contabilización completa de los carbonatos (especies y fuentes).

**2.4.1.3 Elección de los datos de la actividad****MÉTODO DE NIVEL 1**

Los datos de la actividad para el método de Nivel 1 incluyen las estadísticas nacionales sobre producción de vidrio por peso así como una corrección por cantidad de *cullet* utilizado en la producción de vidrio. En el Nivel 1 se supone una proporción de *cullet* por defecto de 50 por ciento y, por lo tanto, para estimar las emisiones nacionales, los datos de nivel nacional sobre la masa de vidrio producida puede multiplicarse por  $0,20 \cdot (1 - 0,50) = 0,10$  toneladas de CO<sub>2</sub>/toneladas de vidrio. Si se dispone de información específica del país para la proporción promedio anual de *cullet*, se insta a los países a modificar el factor de emisión en consecuencia [es decir,  $EF = 0,20 \cdot (1 - \text{proporción de cullet específica del país})$ ].

## MÉTODO DE NIVEL 2

El método de Nivel 2 requiere, por lo menos, la recolección de datos de nivel nacional sobre la cantidad de vidrio que se funde en el proceso de fabricación. Los datos sobre el vidrio se expresan generalmente en unidades disímiles (p. ej., toneladas de vidrio, cantidad de botellas, metros cuadrados de vidrio, etc.), que deben convertirse en toneladas. Donde sea posible, los datos deben recolectarse sobre una base específica por planta y luego agregarse al nivel nacional. Aunque el método de Nivel 2 ofrece factores por defecto para la proporción de *cullet*, si se dispone de datos específicos del país o de las plantas, se insta a los países a recolectarlos.

## MÉTODO DE NIVEL 3

Para el método de Nivel 3, deben recolectarse los datos de actividad de nivel de planta sobre los diferentes tipos de carbonatos consumidos en la producción de vidrio.

### 2.4.1.4 Exhaustividad

Al recolectar las estimaciones de emisiones para la producción de vidrio, los compiladores del inventario deben considerar una serie de cuestiones relacionadas con la exhaustividad. En primer lugar, que el vidrio se produce a partir de una variedad de materias primas carbonatadas. Cuando las emisiones se estimen basándose en las entradas de carbonatos (Nivel 3), es importante garantizar que todas las especies y fuentes de carbonatos estén incluidas en las estimaciones.

En muchos países, la ceniza de sosa es una entrada importante en la fabricación del vidrio. Se alienta a los compiladores del inventario a garantizar que no haya doble cómputo de emisiones para la ceniza de sosa utilizada en la fabricación del vidrio (que debe declararse bajo la Categoría 2A3, Producción de vidrio) y las emisiones de «Otros usos de la ceniza de sosa», que debe declararse separadamente a continuación. Sin embargo, es importante considerar que puede haber un cierto número de instalaciones más pequeñas (p. ej., de vidrio artesanal o de especialidad), que no son tomadas en cuenta en las estadísticas nacionales. Se debe desplegar esfuerzos para garantizar una cobertura completa de la industria.

### 2.4.1.5 Desarrollo de una serie temporal coherente

El vidrio puede ser una fuente que presente dificultades respecto de la obtención de datos, pues como ya se ha señalado anteriormente, la producción de vidrio se mide en una variedad de unidades. Para desarrollar una serie temporal coherente, es importante que en el Inventario se utilicen las mismas fuentes de datos para todos los años. Para mayor información sobre cómo garantizar la coherencia de la serie temporal, véase el Volumen 1, Capítulo 5.

## 2.4.2 Evaluación de incertidumbre

### 2.4.2.1 Incertidumbres del factor de emisión

De manera similar al caso del cemento y la cal, cuando las emisiones de la producción de vidrio se estiman basándose en las entradas de carbonatos (Nivel 3), la incertidumbre del factor de emisión (1 a 3 por ciento) es relativamente baja pues el factor de emisión depende del cociente estequiométrico. Puede haber algo de incertidumbre (1 por ciento) asociada a la hipótesis de que la calcinación de los carbonatos en las entradas es del 100 por ciento.

Debido a que las emisiones se estiman basándose en la cantidad de vidrio fundido de cada proceso de fabricación y en factores de emisión por defecto, la incertidumbre del Nivel 2 es mayor que la del Nivel 3. Es previsible que los factores de emisión tengan una incertidumbre de +/- 10 por ciento. Tal como se ilustra en el Cuadro 2.6, el intervalo típico para la proporción de *cullet* varía entre los diferentes tipos de vidrio. Para los efectos del análisis de incertidumbre se puede suponer que el «intervalo típico» refleja el intervalo de confianza de 95 por ciento.

La incertidumbre asociada al uso del factor de emisión y de la proporción de *cullet* del Nivel 1 es sustancialmente superior y puede alcanzar el orden de un +/- 60 por ciento.

### 2.4.2.2 Incertidumbres en los datos de la actividad

Tal como para la producción de cemento y de cal, bajo el método de Nivel 3, la incertidumbre asociada al pesaje o a las proporciones de las materias primas es aproximadamente del 1 al 3 por ciento. Si bien es posible que

algunas materias primas carbonatadas puedan entrar en la instalación, pero perderse bajo la forma de polvos (es decir, sin ser jamás calcinadas), se supone que esta cantidad es insignificante.

En el Nivel 1 y el Nivel 2, los datos sobre producción de vidrio se miden generalmente con una buena exactitud (+/-5 por ciento). Tal como se ha señalado anteriormente, los compiladores del inventario deben ser cautos cuando los datos de la actividad disponibles no estén expresados como masa, sino como unidad (p. ej., la botella) o en área (p. ej., el m<sup>2</sup>). Si los datos de la actividad deben ser convertidos en unidades de masa, esto puede generar una incertidumbre adicional.

## **2.4.3 Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación**

### **2.4.3.1 Garantía de calidad / Control de calidad (GC/CC)**

Si se estiman las emisiones empleando el método de Nivel 3, los resultados pueden compararse con los resultados del método de Nivel 2 para ver si poseen un orden de magnitud similar. Análogamente, si se han estimado las emisiones a partir de datos «de arriba hacia abajo» mediante el método de Nivel 2, pueden compararse estos resultados con los del método más riguroso de Nivel 3 en una pequeña cantidad de instalaciones para ver si los valores por defecto utilizados en el Nivel 2 reflejan las circunstancias nacionales. El método de Nivel 2 descansa en la estimación de emisiones basada en los diferentes tipos de vidrio producidos. Estas estimaciones pueden compararse con los resultados de una auditoría de los diversos proveedores de materias primas para la industria del vidrio. Por ejemplo, pueden compararse las estimaciones nacionales con las estimaciones sobre la cantidad de piedra caliza, de ceniza de sosa y de otros carbonatos que se venden a las industrias de vidrio. Tales datos comerciales pueden obtenerse de cada proveedor o de las asociaciones comerciales.

Una de las fuentes mayores de incertidumbre en la estimación de emisiones (Nivel 1 y Nivel 2) para la producción de vidrio es la proporción de *cullet*. La cantidad de vidrio reciclado utilizado puede variar en las distintas instalaciones de un país y en la misma instalación a través del tiempo. El tema de la proporción de *cullet* se perfila como un buen candidato para una investigación más profunda.

### **2.4.3.2 Generación de informes y documentación**

#### **NIVEL 1**

Para el Nivel 1, los datos deben documentarse y declararse para indicar la cantidad total de vidrio producido y el factor de emisión aplicado para estimar las emisiones (incluida la indicación sobre el empleo de una proporción de *cullet* por defecto o específica del país) Debe documentarse el proceso de recolección de los datos de la actividad (es decir, si las estimaciones son nacionales o al nivel de planta) así como deben documentarse todos los cálculos realizados para convertir la producción de vidrio a una unidad común (p. ej., el kg).

#### **NIVEL 2**

La documentación de Nivel 2 debe incluir la cantidad de vidrio fundido en cada proceso de fabricación delineado en el Cuadro 2.6, incluido todo cálculo necesario para convertir los diferentes tipos de vidrio a las mismas unidades (p. ej., la conversión de botellas en kilogramos). Deben declararse los factores de emisión por tipo de vidrio y por proporción de *cullet*, indicando si se han utilizado valores por defecto y si los datos fueron recolectados al nivel de planta o al nivel nacional. Es también útil declarar si el *cullet* es de generación interna en la instalación o es un *cullet* de origen posterior al consumo (es decir, *cullet* comprado) Esta información puede ser útil para identificar o verificar las actividades mitigadoras basadas en el reciclado.

#### **NIVEL 3**

El inventario debe incluir resúmenes de los métodos utilizados y referencias sobre las fuentes de datos, de modo que las estimaciones de emisiones resulten transparentes y que puedan reproducirse las etapas del cálculo. Allí donde se implemente el método de Nivel 3, los compiladores del inventario deben documentar las especies de carbonatos consumidos e indicar cómo garantizan que todas las entradas de carbonatos han sido tomadas en cuenta (véase el análisis para el Nivel 3 en la Sección 2.2.3.2).

## 2.5 OTROS USOS DE CARBONATOS EN LOS PROCESOS

### 2.5.1 Cuestiones metodológicas

La piedra caliza ( $\text{CaCO}_3$ ), la dolomita ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) y otros carbonatos (p. ej.,  $\text{MgCO}_3$  y  $\text{FeCO}_3$ ) son materias primas básicas que tienen aplicaciones comerciales en numerosas industrias. Además de las industrias ya analizadas individualmente (producción de cemento, producción de cal y producción de vidrio), los carbonatos también se consumen en la metalurgia (p. ej., el hierro y el acero), en la agricultura, en la construcción y en el control de la contaminación ambiental (p. ej., en los sistemas de desulfuración de gases de combustión por vía húmeda). Tal como se ha señalado en la introducción de este capítulo, la calcinación de los carbonatos a altas temperaturas produce  $\text{CO}_2$  (Cuadro 2.1). Nótese que ciertos usos de carbonatos, por ejemplo, el uso de la piedra caliza como agregado, no produce la liberación de  $\text{CO}_2$  y, por lo tanto, no necesita ser incluido en el inventario nacional sobre gases de efecto invernadero (véase Cuadro 2.7).

La exposición que sigue proporciona las metodologías generales para estimar las emisiones de  $\text{CO}_2$  provenientes del uso de carbonatos en las industrias de los minerales. Sin embargo, estas metodologías son aplicables también allí donde los carbonatos se usan en otras categorías de fuente como fundentes o como agentes de escoriación. Se sugiere a los compiladores del inventario que consideren, en particular, cuatro amplias categorías de fuente: (1) las cerámicas, (2) otros usos de la ceniza de sosa, (3) la producción de magnesia no metalúrgica, y (4) otros usos de los carbonatos.

Es una *buena práctica* declarar las emisiones del consumo de carbonatos en la categoría de fuente donde se consume el carbonato y se emite el  $\text{CO}_2$ . De este modo, cuando se usa la piedra caliza para el encalado de suelos, las emisiones deben declararse en la categoría de fuente respectiva del Sector de agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU). Si se usan los carbonatos como fundentes o agentes de escoriación (p. ej., en el hierro y acero, en los productos químicos o en el control de la contaminación medioambiental, etc.) las emisiones deben declararse en la categoría de fuente respectiva donde se consume el carbonato. Tal como se ha discutido anteriormente en la Sección 2.3.1.1, toda la producción comercial y no comercial de cal debe declararse bajo Producción de cal. Las categorías de fuente específicas que se discuten a continuación (cerámicas, otros usos de la ceniza de sosa y producción de magnesia no metalúrgica) deben declararse dentro de la categoría de los minerales. La categoría Otros debe contener estimaciones de emisiones que no entran dentro de ninguna de las grandes categorías presentadas más abajo, en el Cuadro 2.7.

#### CERÁMICAS

Las cerámicas incluyen la producción de ladrillos y tejas, tuberías de arcilla vitrificada, productos refractarios, productos de arcilla expandida, azulejos y cerámica para el piso, vajillas y ornamentos cerámicos, sanitarios, cerámicas técnicas y abrasivos inorgánicos. Las emisiones relacionadas con los procesos de las cerámicas provienen de la calcinación de los carbonatos contenidos en la arcilla, así como de la inclusión de aditivos. De manera análoga a los procesos de producción del cemento y de la cal, los carbonatos se calientan a altas temperaturas en un horno, lo que produce óxidos y  $\text{CO}_2$ . La mayoría de los productos cerámicos se fabrican a partir de uno o más tipos de arcilla (p. ej., esquistos, arcilla refractaria y arcilla plástica). Las materias primas son recogidas y finamente trituradas en operaciones de molturación sucesivas. Las partículas molidas se cuecen luego en un horno para producir un polvo (que puede licuarse). A continuación se agregan aditivos y se le da forma o se moldea, se labra y pule la cerámica en un torno para eliminar rugosidades y lograr las características deseadas. En el caso de las cerámicas tradicionales, éstas se ponen a secar y vidriar antes de cocerlas en el horno. Después del cocido, algunas cerámicas pueden ser sometidas a tratamientos adicionales para obtener la calidad final deseada.

Las emisiones de  $\text{CO}_2$  son el resultado de la calcinación de las materias primas (particularmente de la arcilla, de los esquistos, de la piedra caliza, de la dolomita y de la witherita o carbonato de bario y de la piedra caliza como fundentes).

#### OTROS USOS DE LA CENIZA DE SOSA

La ceniza de sosa es utilizada en una variedad de aplicaciones, incluidas la producción de vidrio, de jabones y de detergentes, la desulfuración de gases de combustión por vía húmeda; los productos químicos; la pulpa y el papel y otros productos de consumo común. Tanto la producción como el consumo de la ceniza de sosa (incluido el carbonato de sodio,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) producen la liberación de  $\text{CO}_2$ . Las emisiones de la producción de ceniza de sosa se declaran en la Industria química, mientras que las emisiones provenientes de su uso se declaran en los respectivos sectores de uso final donde la ceniza de sosa es utilizada. Ya se han tomado en cuenta, más arriba, las emisiones de la ceniza de sosa utilizada en la producción de vidrio. Análogamente, donde se use la ceniza de

sosa en otras categorías de fuente tales como los productos químicos, deben declararse las emisiones en esas categorías de fuente.

## PRODUCCIÓN DE MAGNESIA NO METALÚRGICA

En esta categoría de fuente deben incluirse las emisiones de la producción de magnesio (MgO) que no están incluidas en otras categorías. Por ejemplo, si se produce magnesio para usarla como fertilizante, la *buen práctica* es declarar esas emisiones bajo la sección apropiada del Capítulo 3, Emisiones de la industria química.

La magnesita (MgCO<sub>3</sub>) es una de las entradas más importantes en la producción de magnesio y en la producción última de magnesio fundido. Existen tres grandes categorías de productos de magnesio: magnesio calcinado, magnesio sinterizado (periclasa) y magnesio fundido. La magnesio calcinado se emplea en muchas aplicaciones agrícolas e industriales (p. ej., suplementos alimenticios para el ganado, fertilizantes, aislamientos eléctricos y desulfuración de gases de combustión por vía húmeda). La magnesio sinterizado se utiliza predominantemente para aplicaciones refractarias, mientras que la magnesio fundido se emplea en los mercados de los productos refractarios y de los aisladores eléctricos.

La magnesio se produce por calcinación del MgCO<sub>3</sub>, lo cual produce la liberación de CO<sub>2</sub> (Cuadro 2.1). Generalmente, entre un 96 y un 98 por ciento del CO<sub>2</sub> contenido es liberado en la producción de magnesio calcinado, con cerca del 100 por ciento del CO<sub>2</sub> que se libera durante el calentamiento adicional para producir magnesio sinterizado. La producción de magnesio fundido produce también una liberación de CO<sub>2</sub> cercana al 100 por ciento.

## OTROS

Las emisiones pueden resultar de una serie de otras categorías de fuente que no se incluyen en lo anterior. Al asignar las emisiones a esta categoría de fuente, los compiladores del inventario deben tener cuidado de no contabilizar dos veces las emisiones ya registradas en otras categorías de fuente.

### 2.5.1.1 Elección del método

Existen dos metodologías principales para estimar las emisiones del uso de carbonatos para estas categorías de fuente. En el método de Nivel 1 se 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. El Nivel 2 es igual que el Nivel 1, excepto que la fracción de piedra caliza y de dolomita debe determinarse a partir de información específica del país. El método de Nivel 3 se basa en un análisis de todos los usos de carbonatos que producen emisiones.

Es posible que el Nivel 3 pueda usarse para algunas subcategorías y el método de Nivel 1 y 2 para otras categorías que presentan una disponibilidad limitada de datos. Semejante método híbrido es coherente con las *buenas prácticas*. La selección del método depende de las circunstancias nacionales.

## MÉTODO DE NIVEL 1

El método de Nivel 1 se basa en la Ecuación 2.14.

|  |
|--|
| <p><b>ECUACIÓN 2.14</b></p> <p><b>NIVEL 1: EMISIONES BASADAS EN LA MASA DE LOS CARBONATOS CONSUMIDOS</b></p> $\text{Emisiones de CO}_2 = M_c \cdot (0,85 EF_{1s} + 0,15 EF_d)$ |
|--|

Donde:

Emisiones de CO<sub>2</sub> = emisiones de CO<sub>2</sub> proveniente otros usos de carbonatos en los procesos, toneladas

M<sub>c</sub> = masa del carbonato producido, toneladas

EF<sub>1s</sub> o EF<sub>d</sub> = factor de emisión para la calcinación de la piedra caliza o de la dolomita, toneladas de CO<sub>2</sub>/ toneladas de carbonato (véase Cuadro 2.1)

Se sugiere que los compiladores del inventario garanticen 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 del 95 por ciento. Si no se dispone de otra información, para las arcillas se puede suponer un contenido de carbonato por defecto del 10 por ciento <sup>4</sup>.

<sup>4</sup> EU-BREF (2005) informa de un intervalo de contenido de carbonatos en las arcillas pertinentes para la industria de las cerámicas que va del 0% hasta más del 30%.

La ceniza de sosa es esencialmente carbonato de sodio, 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 por ciento. Las emisiones se estiman mediante la multiplicación de la cantidad de ceniza de sosa consumida al nivel nacional por el factor de emisión por defecto del carbonato de sodio (véase Cuadro 2.1).

## MÉTODO DE NIVEL 2

Bajo el Nivel 2, la cantidad de CO<sub>2</sub> emitido por el uso de la piedra caliza y de la dolomita se estima a partir de una consideración de consumo y de la estequiometría del proceso químico. En el Nivel 2 se usa una ecuación similar a la del Nivel 1, pero el Nivel 2 requiere datos nacionales sobre la cantidad de piedra caliza y de dolomita consumida en el país (Ecuación 2.15). No es una *buena práctica* usar un valor por defecto para asignar la proporción relativa de estos dos carbonatos primarios.

**ECUACIÓN 2.15**

**NIVEL 2: MÉTODO PARA OTROS USOS DE LOS CARBONATOS EN LOS PROCESOS**

$$Emisiones\ de\ CO_2 = (M_{ls} \cdot EF_{ls}) + (M_d \cdot EF_d)$$

Donde:

Emisiones de CO<sub>2</sub> = emisiones de CO<sub>2</sub> proveniente de otros usos de carbonatos en los procesos, toneladas

M<sub>ls</sub> o M<sub>d</sub> = masa de piedra caliza o dolomita respectivamente (consumo), toneladas (Respecto de la pureza, refiérase a la Ecuación anterior 2.14)

EF<sub>ls</sub> o EF<sub>d</sub> = factor de emisión para la calcinación de la piedra caliza o de la dolomita respectivamente, toneladas de CO<sub>2</sub>/ toneladas de carbonato (véase Cuadro 2.1)

## EL MÉTODO DE NIVEL 3

La metodología del Nivel 3 es similar al método delineado anteriormente para el cemento, pero no hay necesidad de corregir para el polvo ni para otras entradas de materias primas (Ecuación 2.16). Tal como se ha señalado anteriormente, donde sea que se use este método, es importante que todas las entradas de carbonatos sean consideradas en el análisis.

**ECUACIÓN 2.16**

**NIVEL 3: MÉTODO DE LAS ENTRADAS DE CARBONATO PARA OTROS USOS DE LOS CARBONATOS EN LOS PROCESOS**

$$Emisiones\ de\ CO_2 = \sum_i (M_i \cdot EF_i \cdot F_i)$$

Donde:

Emisiones de CO<sub>2</sub> = emisiones de CO<sub>2</sub> proveniente de otros usos de carbonatos en los procesos, toneladas

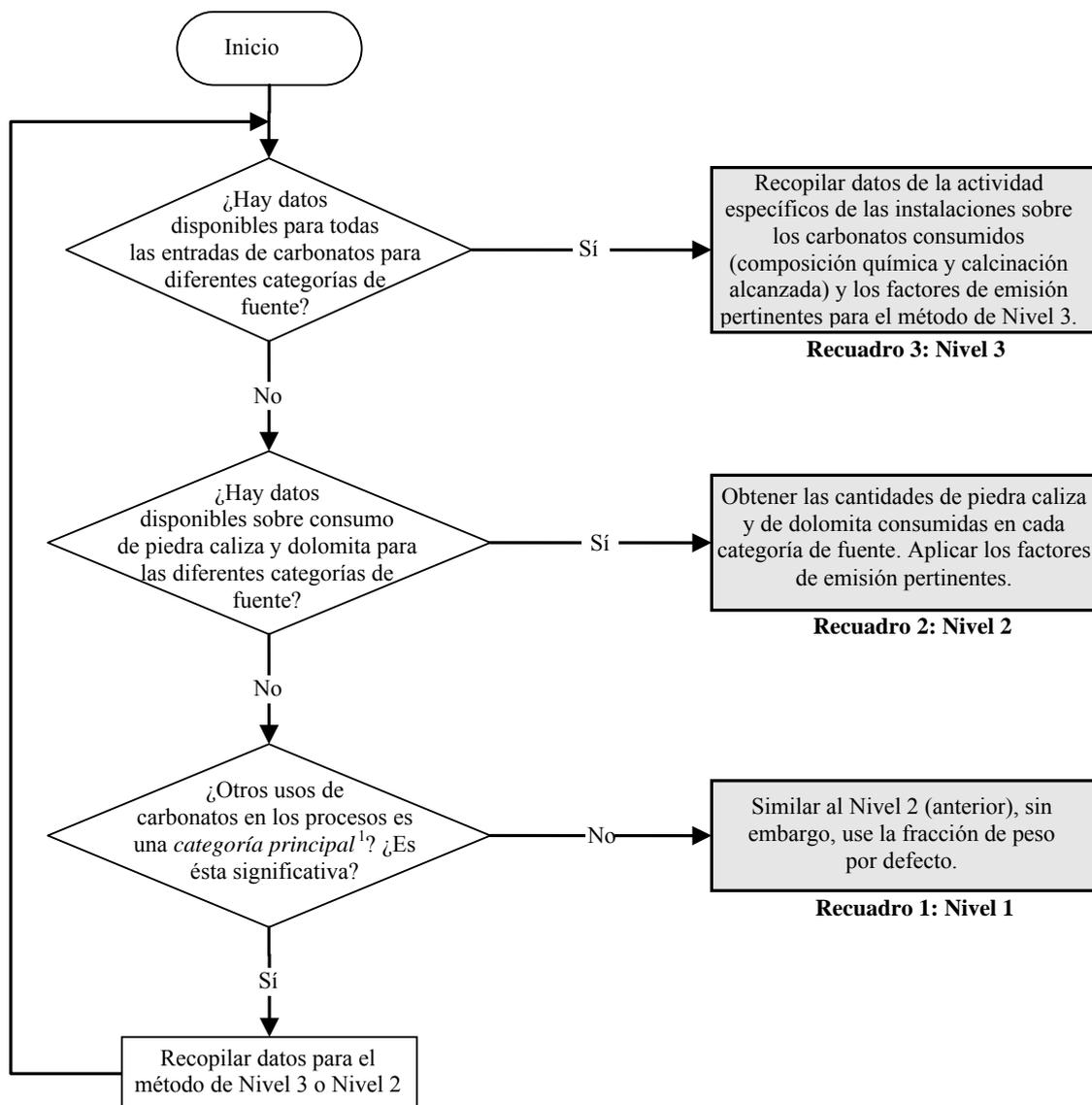
M<sub>i</sub> = masa del carbonato *i* consumido, toneladas (refiérase a la Ecuación anterior 2.14, respecto de la pureza)

EF<sub>i</sub> factor de emisión para el carbonato *i*, toneladas de CO<sub>2</sub>/ toneladas de carbonato (véase Cuadro 2.1)

F<sub>i</sub> = fracción de calcinación alcanzada para el carbonato particular *i*, 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.

*i* = uno de los usos de carbonatos

**Figura 2.4**      **Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de otros usos de los carbonatos en los procesos**



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).

### 2.5.1.2 Elección de los factores de emisión

#### NIVEL 1 Y NIVEL 2

El factor de emisión para las metodologías de Nivel 1 y de Nivel 2 se basa en la masa de CO<sub>2</sub> liberado por masa de carbonato consumido (véase Cuadro 2.1). La distinción entre el Nivel 1 y el Nivel 2 se da en los datos de actividad.

#### NIVEL 3

El factor de emisión del Nivel 3 representa el promedio ponderado de los factores de emisión de los carbonatos individuales (véase Cuadro 2.1). El método de Nivel 3 requiere el cómputo completo de los carbonatos (especies y fuentes).

### 2.5.1.3 Elección de los datos de la actividad

#### NIVEL 1

En el método de Nivel 1, el compilador del inventario debe recolectar los datos de actividad para el consumo total de carbonatos para usos que producen emisiones (véase Cuadro 2.7 para los usos de carbonatos que generan emisiones). A falta de mejores datos, es coherente con las *buenas prácticas* que los compiladores del inventario supongan que un 85 por ciento de los carbonatos consumidos sean de la piedra caliza y que 15 por ciento sean de la dolomita. Para el uso de la ceniza de sosa, el compilador del inventario debe recolectar datos nacionales o de nivel de planta sobre la cantidad total de ceniza de sosa utilizada. Para las arcillas empleadas en la industria de las cerámicas, el compilador del inventario debe recolectar datos de producción nacionales para las tejas, las tuberías de arcilla vitrificada y productos refractarios y calcular la cantidad de arcilla consumida multiplicando la producción por un factor de pérdidas por defecto de 1,1.

#### NIVEL 2

Se considera como una *buen práctica* recopilar datos de la actividad para ilustrar la cantidad total de carbonatos consumidos en cada sector de uso final. Si no se dispone de datos específicos para identificar los diferentes carbonatos consumidos en estos sectores de uso final, es una *buen práctica* recolectar datos de actividad de nivel nacional sobre la piedra caliza y la dolomita consumidas. Análogamente al método de Nivel 1, si se desconoce la fracción de calcinación alcanzada, es coherente con las *buenas prácticas* que el compilador del inventario suponga que se alcanza un 100 por ciento de calcinación. Los compiladores del inventario deben ser cautos y no suponer que toda la piedra caliza ni toda la dolomita consumida en el país resultan en la liberación de emisiones de CO<sub>2</sub>. Por ejemplo, la piedra caliza y la dolomita se emplean a menudo como agregados en una serie de procesos y este uso de la piedra triturada no genera emisiones (Cuadro 2.7).

#### NIVEL 3

El método de mayor exactitud consiste en recopilar datos de actividad sobre el consumo de carbonatos por uso final. La *buen práctica* es 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. Cuando se desconozca la fracción de calcinación alcanzada, es coherente con las *buenas prácticas* que el compilador del inventario suponga que se alcanza un 100 por ciento de calcinación. Para el caso del uso de arcilla en la industria de las cerámicas, el compilador del inventario debe recolectar datos sobre el consumo de arcilla para todos los productos cerámicos pertinentes.

### 2.5.1.4 Exhaustividad

La exhaustividad presenta un particular desafío en relación con las industrias que consumen (y calcinan) carbonatos, pues existe un potencial tanto de estimación insuficiente como de sobreestimación. Como se ha señalado a lo largo de este capítulo, cuando un método se basa en las entradas de carbonatos, se posibilita un potencial de estimación insuficiente de la cantidad total de carbonatos consumidos. En el caso otros usos de carbonatos en los procesos el método de Nivel 3 para debe aplicarse como tal sólo al nivel de planta.

Existe también la posibilidad del cómputo doble. Los compiladores del inventario deben considerar cuidadosamente cómo fueron desarrolladas las estadísticas nacionales sobre la piedra caliza, la dolomita y otros usos de los carbonatos. Por ejemplo, una fuente de datos para la industria del hierro y del acero puede contener las cantidades totales de piedra caliza consumida como fundente, particularmente en la medida de que las emisiones formaban parte del gas de alto horno u otro gas combustible que fueron incluidas en las emisiones de la quema de combustibles del sector pertinente. A un nivel nacional, se deben examinar cuidadosamente las estadísticas sobre piedra caliza para determinar si los datos contienen también el consumo de piedra caliza en la industria del hierro y del acero.

A menudo, las estadísticas nacionales sobre la piedra caliza, la dolomita y otros usos de carbonatos contienen categorías tales como «otros usos no especificados». Los compiladores del inventario deben ser cautos y considerar si estos consumos no han sido contabilizados ya para otras fuentes.

En estas *Directrices* se identifican separadamente dos categorías (Otros usos de la ceniza de sosa y Producción de magnesita no metalúrgica) que son productos intermedios empleados en una variedad de otras categorías de fuente. En particular, la ceniza de sosa se utiliza en una variedad de industrias tales como la producción de vidrio, de jabones y de detergentes. Se sugiere que los compiladores del inventario revisen cuidadosamente las estadísticas para esas categorías de fuente con el fin de garantizar que no ha ocurrido ningún doble cómputo. Por ejemplo, si se usa ceniza de sosa para la producción de vidrio, las emisiones deben declararse en esa categoría. Si

se usa la ceniza de sosa en otra industria, las emisiones deben declararse en la industria pertinente. Si se usa la ceniza de sosa en otra industria de los minerales o donde la información no sea suficiente para determinar dónde ha sido consumida, entonces las emisiones deben declararse en la Categoría 2A4b, Otros usos de la ceniza de sosa.

En el Cuadro 2.7 se realzan algunas preguntas que los compiladores del inventario pueden formularse a sí mismos como una manera de ayudarse en la tarea de garantizar que estas emisiones sean atribuidas apropiadamente, y que no sean ni subestimadas ni sobreestimadas.

| <b>CUADRO 2.7</b>  |                                     |  |
|--|-------------------------------------|--|
| <b>USOS DE LOS CARBONATOS QUE GENERAN Y QUE NO GENERAN EMISIONES</b> |                                     |  |
| <b>¿Dónde se consumen los carbonatos?</b>                            | <b>¿La fuente genera emisiones?</b> | <b>En el caso afirmativo, ¿dónde deben declararse las emisiones?</b>   |
| <b><i>Agrícola:</i></b>  |                                     |  |
| Piedra caliza agrícola   | Sí*                                 | AFOLU: 3C2 Encalado  |
| Granos para aves y piensos minerales                                 | No                                  |  |
| Otros usos agrícolas   | No                                  |  |
| <b><i>Química y metalúrgica:</i></b>                                 |                                     |  |
| Fabricación de cemento   | Sí                                  | IPPU: 2A1 Producción de cemento  |
| Fabricación de cal   | Sí                                  | IPPU: 2A2 Producción de cal  |
| Sinterización de la dolomita   | Sí                                  | IPPU: 2A2 Producción de cal, donde es sinterizada; fuera de la industria de la cal bajo Otros (2A4d).  |
| Piedra fundente  | Sí                                  | IPPU: 2C Industria de los metales, industria donde se consume; a menos que sea contabilizada dentro de Energía (para descargas gaseosas combustibles vendidas fuera de la instalación) |
| Piedra química   | Sí**                                | Categoría de fuente donde se consume   |
| Fabricación del vidrio   | Sí                                  | IPPU: 2A3 Producción de vidrio   |
| Eliminación del óxido de azufre                                      | Sí*                                 | Categoría de fuente donde se consume   |
| Fertilizantes  | Sí**                                | IPPU: 2B Industria química   |
| <b><i>Cerámicas y lanas minerales:</i></b>                           |                                     |  |
| Cerámicas  | Sí                                  | IPPU: Industria de los minerales: 2A4a: Cerámicas  |
| Lanas minerales  | Sí                                  | IPPU: Industria de los minerales: 2A3 Producción de vidrio o 2A4d Otros, según el proceso de producción.   |
| <b><i>Especial:</i></b>  |                                     |  |
| Polvo inerte para minas y tratamiento de aguas                       | Sí*                                 | Categoría de fuente donde se consume   |
| Rellenos o saturadores de asfalto                                    | No                                  |  |
| Agente blanqueador o sustituto                                       | No                                  |  |
| Otros rellenos o saturadores   | No                                  |  |
| <b><i>Construcción:</i></b>  |                                     |  |
| Uso como agregado fino o grueso                                      | No                                  |  |

| CUADRO 2.7 (CONTINUACIÓN)<br>USOS DE LOS CARBONATOS QUE GENERAN Y QUE NO GENERAN EMISIONES |                              |  |
|--|------------------------------|--|
| Producción   | ¿La fuente genera emisiones? | En el caso afirmativo, ¿dónde deben declararse las emisiones?  |
| <i>Otros usos varios:</i>  |                              |  |
| Piedra refractaria   | No                           |  |
| Neutralización de ácidos   | Sí*                          | Categoría de fuente donde se consume   |
| Productos químicos   | No                           |  |
| Fabricación de papel   | No                           |  |
| Abrasivos  | No                           |  |
| Refinación del azúcar  | Sí                           | IPPU: Las emisiones de la producción de cal en los ingenios azucareros deben declararse bajo 2A2 Producción de cal; todas las demás emisiones en 2A4 Otros usos de carbonatos en los procesos. Las absorciones deben declararse bajo 2H2 Industria de la alimentación y la bebida. |
| <i>Otros</i>   | Sí*, No                      | Donde sea afirmativo, IPPU: 2A4 Otros usos de carbonatos en los procesos   |
| * Las emisiones resultan de una reacción de acidificación.                                 |                              |  |
| ** Las emisiones pueden resultar de la calcinación y/o de la acidificación.                |                              |  |

### 2.5.1.5 Desarrollo de una serie temporal coherente

En esencia, estas *Directrices* tratan del consumo de piedra caliza, de dolomita y de otros usos de los carbonatos de una manera diferente que en los documentos anteriores de *Directrices* del IPPC. Las orientaciones anteriores sugerían que, a excepción del caso de la piedra caliza y de la dolomita consumidas en la producción de cemento, en la producción de cal y en el encalado de suelos agrícolas, todo consumo de piedra caliza y dolomita debía declararse bajo la categoría de fuente Uso de piedra caliza y de dolomita.

En las *Directrices de 2006*, las emisiones de otros usos de los carbonatos en los procesos deben declararse en la categoría de fuente donde se consumen los carbonatos, y como consecuencia, las emisiones quedarán declaradas en el sector donde son emitidas. Este cambio requiere de cálculos para garantizar la coherencia de las series temporales para la categoría de fuente Otros usos de los carbonatos en los procesos en la Industria de los minerales y también en otras categorías de fuente donde se consumen carbonatos.

Hay varios medios que los compiladores del inventario pueden usar para ayudar a garantizar la coherencia de la serie temporal: Es una *buena práctica* que, de acuerdo con el Volumen 1, Capítulo 5, el compilador del inventario consideren lo siguiente:

- Si se dispone de datos para completar el método de Nivel 3 (o del Nivel 2) para todos los años, éste debe aplicarse;
- Si sólo se dispone de datos para algunos años, los años intermedios pueden estimarse por interpolación o extrapolación de las líneas de tendencia;
- Si se dispone de datos de niveles desagregados sobre otros usos de carbonatos en los procesos, pero sólo para el año más reciente, el compilador del inventario puede optar por aplicar la proporción de carbonatos consumidos en cada industria para el año más reciente, a las tendencias de producción de las respectivas industrias, de manera análoga a la del Método sustituto delineado en el Volumen 1, Sección 5.3. Sin embargo, los compiladores del inventario deben ser cautos al utilizar este método y considerar si existen circunstancias nacionales que puedan haber conducido a un uso mayor de fundentes o de agentes de escorificación en algunas industrias durante el periodo considerado.

## 2.5.2 Evaluación de incertidumbre

### 2.5.2.1 Incertidumbres del factor de emisión

En teoría, la incertidumbre asociada al factor de emisión para esta categoría de fuente debería ser relativamente baja, puesto que el factor de emisión corresponde al cociente estequiométrico que refleja el CO<sub>2</sub> liberado durante la calcinación del carbonato. En la práctica, hay incertidumbres debidas, en parte, a las variaciones en la composición química de la piedra caliza y otros carbonatos. Por ejemplo, además del carbonato de calcio, la piedra caliza contiene cantidades más pequeñas de magnesia, sílice y azufre. Suponiendo que los datos de actividad son recolectados correctamente, y por ende que se aplica el factor de emisión correcto, habrá una incertidumbre insignificante asociada al factor de emisión. En los casos en que sólo se disponga de datos sobre la roca carbonatada, puede haber algo de incertidumbre asociada a la hipótesis de una cierta pureza para la fracción de piedra caliza y de dolomita ( $\pm 1$  a  $\pm 5$  por ciento).

### 2.5.2.2 Incertidumbres en los datos de la actividad

Las incertidumbres en los datos de la actividad son mayores que las incertidumbres asociadas a los factores de emisión. Al suponer que el consumo de carbonatos se atribuye a los sectores y/o industrias consumidoras apropiadas, la incertidumbre asociada al pesaje o a las proporciones de carbonatos, para toda industria considerada, es de un 1 a un 3 por ciento. La incertidumbre del análisis químico global en relación con el contenido y la identidad de los carbonatos, también es de un 1 a un 3 por ciento. La incertidumbre asociada al empleo de los métodos de Nivel 1 y de Nivel 2, incluida la hipótesis de una repartición de piedra caliza y de dolomita de un 85/15 por ciento, varía según las circunstancias del país.

Los datos de la actividad para el uso de la piedra caliza y de la dolomita pueden ser muy difíciles de recopilar pues existe una variedad de usos en diferentes industrias, algunas de las cuales producen emisiones y otras no. Las estadísticas nacionales pueden incluir una categoría de uso final «otros usos no especificados» (o bien otra categoría similar) y puede resultar difícil atribuir los «otros usos no especificados» al sector de consumo apropiado. Donde no se puedan identificar correctamente todos los usos, aumenta la incertidumbre.

## 2.5.3 Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación

### 2.5.3.1 Garantía de calidad / Control de calidad (GC/CC)

#### COMPARACIÓN DE LAS ESTIMACIONES DE EMISIONES OBTENIDAS CON LOS DIFERENTES MÉTODOS

Las estimaciones de emisiones derivadas de cualquier Nivel pueden compararse con las de otros Niveles, aun cuando el método del Nivel 3 pueda estar dando cuenta de especies de carbonatos adicionales no incluidas en los análisis de Nivel 1 ni de Nivel 2. Si se supone que la misma fracción de calcinación alcanzada se emplea para todos los Niveles, las emisiones estimadas con los métodos respectivos serán probablemente similares en magnitud, si se considera que la piedra caliza y la dolomita tienden a contribuir con el mayor porcentaje de emisiones para estas fuentes.

#### VERIFICACIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Dado que la piedra caliza, la dolomita y otros carbonatos se consumen en una variedad de industrias, puede que haya una cantidad de fuentes de datos diferentes disponibles que contengan información sobre el consumo de carbonatos en las industrias respectivas. Por ejemplo, los datos para el consumo de piedra caliza en varias instalaciones de la industria del hierro y del acero podrían compararse para ver si la cantidad de fundentes utilizados es similar, en proporción a la producción al nivel de las instalaciones.

También, la información específica de la planta sobre el uso de piedra caliza, dolomita y otros carbonatos como fundentes puede compararse con las estadísticas de las asociaciones industriales. Estas estadísticas pueden, a su vez, compararse con las estadísticas de nivel nacional sobre la piedra caliza, la dolomita y otros consumos de carbonatos.

Suele ser útil examinar las tendencias de los datos de la actividad a través del tiempo para ver si se producen grandes fluctuaciones de un año para otro. Los compiladores del inventario deben ser cautos al sacar

conclusiones basadas en los datos de tendencias, pues en estas estadísticas puede haber grandes fluctuaciones entre año y año.

### 2.5.3.2 Generación de informes y documentación

El inventario debe incluir resúmenes de los métodos utilizados y referencias sobre las fuentes de datos, de modo que las estimaciones de emisiones declaradas resulten transparentes y que puedan reproducirse los pasos para calcularlas. Tal como se ha señalado anteriormente, la consideración más importante que los compiladores del inventario deben tener en mente al declarar las emisiones de otros usos de carbonatos en los procesos es que las emisiones deben ser declaradas allí donde los carbonatos son consumidos.

#### NIVEL 1 Y NIVEL 2

Se debe proporcionar información sobre la cantidad de piedra caliza y de dolomita consumida por cada industria. Si se desconoce el desglose de los carbonatos consumidos en una industria en particular y se utiliza una atribución por defecto de 85 por ciento de piedra caliza y 15 por ciento de dolomita, esto debe documentarse.

#### NIVEL 3

La documentación requerida por el método de Nivel 3 es análoga a la de las otras categorías de fuente de este capítulo para las cuales las emisiones se calculan basándose en las entradas de carbonatos.

## Referencias

- ASTM (1996). ASTM International. Standard Specification for Quicklime, Hydrated Lime, and Limestone for Chemical Uses, Designation: C911-96, Table 1.
- ASTM (2004a). ASTM International. Standard Specification for Portland Cement, Designation: C-150-02.
- ASTM (2004b). ASTM International. Standard Specification for Blended Hydraulic Cements: C-595-03.
- Boyd, D. C. and Thompson, D. A. (1980) "Glass", Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, Third Edition, Volume 11, pp 826-827.
- Boynton, R. S. (1980). Chemistry and Technology of Lime and Limestone, 2nd edition, John Wiley and Sons, Inc., New York, USA.
- CRC Handbook of Chemistry and Physics (2004). (David R. Lide, Ed in Chief); CRC Press, Boca Raton, FL; Sec. 1, p.12-14
- DIN (1994). Deutsche Industrie Norm. DIN 1164-1 Zement, Teil 1: Zusammensetzung, Anforderungen. Edition 1994-10.
- EU-BREF Ceramics (2005). Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on Best Available Techniques in the Ceramic Manufacturing Industry. (<http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>)
- Hendriks *et al.* (1998). Proceedings of the 4th International Conference of GHG Control Technologies. August 30-September 2. Interlaken.
- Miller, M. (1999a). US Geological Survey, Calculations based on Boynton, 1980.
- Miller, M. (1999b). U.S. Geological Survey. Calculations based on ASTM, 1996b and Schwarzkopf, 1985.
- Schwarzkopf, F. (1985). Lime Burning Technology (2nd Edition), Table 2, June 1985.
- Van Oss, H. (2005). Personal communication with Hendrik van Oss, January 2005.
- Van Oss, H. and Padovani, A. (2002). Cement Manufacture and the Environment. Part I: Chemistry and Technology. *Journal of Industrial Ecology*. Vol.6, Number 1, page 89-105.
- WBCSD (2005). World Business Council for Sustainable Development The Cement CO<sub>2</sub> Protocol: CO<sub>2</sub> Accounting and Reporting Standard for the Cement Industry. Version 2. June 2005