

CAPÍTULO 4

EMISIONES DE LA INDUSTRIA DE LOS METALES

Autores

Sección 4.1

Jerry Marks (Estados Unidos)

Sección 4.2

Jonathan Lubetsky (Estados Unidos) y Bruce A. Steiner (Estados Unidos)

Sección 4.3

Tor Faerden (Noruega), Jonathan S. Lubetsky (Estados Unidos), Tor Lindstad (Noruega), Sverre E. Olsen (Noruega) y Gabriella Tranell (Noruega)

Sección 4.4

Jerry Marks (Estados Unidos), William Kojo Agyemang-Bonsu (República de Gana), Mauricio Firmento Born (Brasil), Laurel Green (Australia), Halvor Kvande (Noruega), Kenneth Martchek (Estados Unidos) y Sally Rand (Estados Unidos)

Sección 4.5

Gabriella Tranell (Noruega) y Tom Tripp (Estados Unidos)

Sección 4.6

Jonathan S. Lubetsky (Estados Unidos) y Jerry Marks (Estados Unidos)

Sección 4.7

Jonathan S. Lubetsky (Estados Unidos)

Autores colaboradores

Sección 4.2

Robert Lanza (Estados Unidos)

Sección 4.4

Vince Van Son (Estados Unidos), Pablo Alonso (Francia), Ron Knapp (Australia), Stéphane Gauthier (Canadá), Michel Lalonde (Canadá), Hézio Ávila de Oliveira (Brasil) y Chris Bayliss (Reino Unido)

Índice

4	Emisiones de la industria de los metales	4.9
4.1	Introducción	4.9
4.2	Producción de hierro y acero y de coque metalúrgico	4.10
4.2.1	Introducción.....	4.12
4.2.2	Cuestiones metodológicas	4.18
4.2.2.1	Elección del método: Producción de coque metalúrgico	4.18
4.2.2.2	Elección del método: producción de hierro y acero.....	4.20
4.2.2.3	Elección de los factores de emisión	4.26
4.2.2.4	Elección de los datos de la actividad	4.30
4.2.2.5	Exhaustividad	4.31
4.2.2.6	Desarrollo de una serie temporal coherente.....	4.32
4.2.3	Evaluación de incertidumbre	4.33
4.2.4	Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación	4.33
4.2.4.1	Garantía de calidad / Control de calidad (GC/CC)	4.33
4.2.4.2	Generación de informes y documentación.....	4.34
4.3	Producción de ferroaleaciones	4.36
4.3.1	Introducción.....	4.36
4.3.2	Cuestiones metodológicas	4.36
4.3.2.1	Elección del método	4.36
4.3.2.2	Elección de los factores de emisión	4.41
4.3.2.3	Elección de los datos de la actividad	4.44
4.3.2.4	Exhaustividad	4.44
4.3.2.5	Desarrollo de una serie temporal coherente.....	4.44
4.3.3	Evaluación de la incertidumbre	4.44
4.3.3.1	Incertidumbres del factor de emisión.....	4.44
4.3.3.2	Incertidumbres en los datos de la actividad	4.45
4.3.4	Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación	4.45
4.3.4.1	Garantía de calidad / Control de calidad (GC/CC)	4.45
4.3.4.2	Generación de informes y documentación.....	4.46
4.4	Producción primaria del aluminio	4.47
4.4.1	Introducción.....	4.47
4.4.2	Cuestiones metodológicas	4.47
4.4.2.1	Elección del método para las emisiones de CO ₂ provenientes de la producción primaria de aluminio	4.47
4.4.2.2	Elección de los factores de emisión para las emisiones de CO ₂ provenientes de la producción de aluminio primario.....	4.51

4.4.2.3	Elección del método para los PFC.....	4.54
4.4.2.4	Elección de los factores de emisión para los PFC	4.58
4.4.2.5	Elección de los datos de la actividad	4.60
4.4.2.6	Exhaustividad	4.61
4.4.2.7	Desarrollo de una serie temporal coherente.....	4.61
4.4.3	Evaluación de incertidumbre.....	4.61
4.4.3.1	Incertidumbres del factor de emisión.....	4.62
4.4.3.2	Incertidumbres en los datos de la actividad	4.62
4.4.4	Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación	4.63
4.4.4.1	Garantía de calidad / Control de calidad (GC/CC)	4.63
4.4.4.2	Generación de informes y documentación.....	4.63
4.5	Producción de magnesio	4.65
4.5.1	Introducción.....	4.65
4.5.2	Cuestiones metodológicas	4.67
4.5.2.1	Elección del método	4.67
4.5.2.2	Elección de los factores de emisión.....	4.72
4.5.2.3	Elección de los datos de la actividad	4.74
4.5.2.4	Exhaustividad	4.74
4.5.2.5	Desarrollo de una serie temporal coherente.....	4.75
4.5.3	Evaluación de incertidumbre.....	4.75
4.5.4	Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación	4.76
4.5.4.1	Garantía de calidad / Control de calidad (GC/CC)	4.76
4.5.4.2	Generación de informes y documentación.....	4.77
4.6	Producción de plomo	4.79
4.6.1	Introducción.....	4.79
4.6.2	Cuestiones metodológicas	4.79
4.6.2.1	Elección del método	4.79
4.6.2.2	Elección de los factores de emisión.....	4.81
4.6.2.3	Elección de los datos de la actividad	4.83
4.6.2.4	Exhaustividad	4.83
4.6.2.5	Desarrollo de una serie temporal coherente.....	4.83
4.6.3	Evaluación de incertidumbre.....	4.83
4.6.3.1	Incertidumbres del factor de emisión.....	4.84
4.6.3.2	Incertidumbres en los datos de la actividad	4.84
4.6.4	Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación	4.84
4.6.4.1	Garantía de calidad / Control de calidad (GC/CC)	4.84
4.6.4.2	Generación de informes y documentación.....	4.85
4.7	Producción de Cinc	4.86
4.7.1	Introducción.....	4.86

4.7.2	Cuestiones metodológicas	4.86
4.7.2.1	Elección del método	4.86
4.7.2.2	Elección de los factores de emisión	4.88
4.7.2.3	Elección de los datos de la actividad	4.88
4.7.2.4	Exhaustividad	4.90
4.7.2.5	Desarrollo de una serie temporal coherente.....	4.90
4.7.3	Evaluación de incertidumbre	4.90
4.7.3.1	Incertidumbres del factor de emisión.....	4.90
4.7.3.2	Incertidumbres en los datos de la actividad	4.90
4.7.4	Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación	4.91
4.7.4.1	Garantía de calidad / Control de calidad (GC/CC)	4.91
4.7.4.2	Generación de informes y documentación.....	4.91
Referencias	4.93

Ecuaciones

Ecuación 4.1	Emisiones provenientes de la producción de coque (Nivel 1)	4.18
Ecuación 4.2	Emisiones de CO ₂ provenientes de la producción local de coque (Nivel 2)	4.19
Ecuación 4.3	Emisiones de CO ₂ provenientes de la producción de coque fuera del sitio (Nivel 2)	4.19
Ecuación 4.4	Emisiones de CO ₂ provenientes de la producción de hierro y acero (Nivel 1)	4.22
Ecuación 4.5	Emisiones de CO ₂ provenientes de la producción de arrabio no procesado en acero (Nivel 1).....	4.23
Ecuación 4.6	Emisiones de CO ₂ provenientes de la producción de hierro reducido directo (Nivel 1)	4.23
Ecuación 4.7	Emisiones de CO ₂ provenientes de la producción de sinterizado (Nivel 1).....	4.23
Ecuación 4.8	Emisiones de CO ₂ provenientes de la producción de pelets (Nivel 1).....	4.23
Ecuación 4.9	Emisiones de CO ₂ provenientes de la producción de hierro y acero (Nivel 2)	4.24
Ecuación 4.10	Emisiones de CO ₂ provenientes de la producción de sinterizado (Nivel 2).....	4.24
Ecuación 4.11	Emisiones de CO ₂ provenientes de la producción de hierro reducido directo (Nivel 2).....	4.25
Ecuación 4.12	Emisiones de CH ₄ provenientes de la producción de sinterizado (Nivel 1).....	4.26
Ecuación 4.13	Emisiones de CH ₄ provenientes de la producción de arrabio en los altos hornos (Nivel 1) ..	4.26
Ecuación 4.14	Emisiones de CH ₄ provenientes de la producción de hierro reducido directo (Nivel 1).....	4.26
Ecuación 4.15	Emisiones de CO ₂ para la producción de ferroaleaciones por el método de Nivel 1	4.37
Ecuación 4.16	Emisiones de CO ₂ para la producción de ferroaleaciones por el método de Nivel 2	4.37
Ecuación 4.17	Emisiones de CO ₂ para la producción de ferroaleaciones por el método de Nivel 3	4.38
Ecuación 4.18	Emisiones de CH ₄ para la producción de ferroaleaciones por el método de Nivel 1	4.41
Ecuación 4.19	Contenido de carbono de los agentes reductores de ferroaleaciones	4.42
Ecuación 4.20	Emisiones de CO ₂ de proceso del consumo de ánodos y/o pasta de ánodos (metodo de Nivel 1)	4.49
Ecuación 4.21	Emisiones de CO ₂ provenientes del consumo de ánodos precocidos (metodos de Nivel 2 y Nivel 3).....	4.49
Ecuación 4.22	Emisiones de CO ₂ provenientes de la combustión de volátiles de brea (métodos de Nivel 2 y Nivel 3).....	4.50

Ecuación 4.23	Emisiones de CO ₂ provenientes del material de compactado de los hornos de precocido (métodos de Nivel 2 y Nivel 3).....	4.50
Ecuación 4.24	Emisiones de CO ₂ provenientes del consumo de pasta de ánodos (metodos de Nivel 2 y Nivel 3).....	4.51
Ecuación 4.25	Emisiones de PFC (método de Nivel 1).....	4.56
Ecuación 4.26	Emisiones de PFC por el método de la pendiente (metodos de Nivel 2 y Nivel 3).....	4.56
Ecuación 4.27	Emisiones de PFC por el método de la sobre tensión (metodos de Nivel 2 y Nivel 3).....	4.57
Ecuación 4.28	Emisiones de CO ₂ provenientes de la producción de magnesio primario (Nivel 1)	4.67
Ecuación 4.29	Emisiones de CO ₂ provenientes de la producción de magnesio primario (Nivel 2)	4.68
Ecuación 4.30	Emisiones de SF ₆ provenientes del moldeo del magnesio (Nivel 1).....	4.68
Ecuación 4.31	Emisiones de SF ₆ provenientes del moldeo del magnesio (Nivel 2).....	4.69
Ecuación 4.32	Emisiones de CO ₂ provenientes de la producción de plomo.....	4.80
Ecuación 4.33	Emisiones de CO ₂ provenientes de la producción de cinc (Nivel 1).....	4.87
Ecuación 4.34	Emisiones de CO ₂ provenientes de la producción de cinc (Nivel 1).....	4.87

Figuras

Figura 4.1	Ilustración de los procesos principales de producción integrada de hierro y acero*	4.11
Figura 4.2	Ilustración del proceso de producción del coque (emisiones declaradas en la Categoría 1A del Sector Energía)	4.14
Figura 4.3	Ilustración del proceso de producción de sinterizado.....	4.15
Figura 4.4	Ilustración del proceso de producción de arrabio.....	4.16
Figura 4.5	Ilustración del proceso de producción de acero.....	4.17
Figure 4.6	Estimación de las emisiones de CO ₂ generadas por la producción de coque metalúrgico	4.20
Figura 4.7	Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de CO ₂ provenientes de la producción de hierro y acero	4.21
Figura 4.8	Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de CH ₄ provenientes de la producción de hierro y acero	4.22
Figura 4.9	Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de CO ₂ provenientes de la producción de ferroaleaciones.....	4.39
Figura 4.10	Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de CH ₄ provenientes de la producción de aleaciones de FeSi y Si	4.40
Figura 4.11	Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de CO ₂ provenientes de la producción de aluminio primario	4.48
Figura 4.12	Árbol de decisión para el cálculo de las emisiones de PFC provenientes de la producción de aluminio primario	4.58
Figura 4.13	Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de CO ₂ provenientes de la calcinación de las materias primas en el proceso de producción del magnesio.....	4.70
Figura 4.14	Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de SF ₆ provenientes del procesamiento del magnesio	4.71
Figura 4.15	Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de CO ₂ provenientes de la producción de plomo	4.80

Figura 4.16 Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de CO₂ provenientes de la producción de cinc 4.89

Cuadros

Cuadro 4.1 Factores por defecto de emisión de CO₂ de Nivel 1 para la producción de coque y de hierro y acero..... 4.27

Cuadro 4.2 Factores por defecto de emisión de CH₄ de Nivel 1 para la producción de coque y de hierro y acero 4.29

Cuadro 4.3 Contenido de carbono específico de los materiales para el Nivel 2 en la producción de hierro y acero y de coque 4.29

Cuadro 4.4 Intervalos de incertidumbre 4.33

Cuadro 4.5 Factores genéricos de emisión de CO₂ para la producción de ferroaleaciones 4.41

Cuadro 4.6 Factores de emisión de CO₂ para la producción de ferroaleaciones 4.42

Cuadro 4.7 Factores de emisión por defecto para el CH₄ 4.43

Cuadro 4.8 Factores de emisión para el CH₄ 4.43

Cuadro 4.9 Intervalos de incertidumbre 4.45

Cuadro 4.10 Factores de emisión de Nivel 1 específicos de la tecnología para calcular las emisiones de dióxido de carbono generadas por el consumo de ánodos o de pasta de ánodos 4.52

Cuadro 4.11 Fuentes de los datos e incertidumbres para los parámetros utilizados en los métodos de Nivel 2 o 3 para las emisiones de CO₂ de las celdas de ánodos precocidos 4.52

Cuadro 4.12 Fuentes de los datos e incertidumbres para los parámetros utilizados en los métodos de Nivel 2 o 3 para las emisiones de CO₂ generadas por la combustión de volátiles de breá 4.53

Cuadro 4.13 Fuentes de los datos e incertidumbres para los parámetros utilizados en los métodos de Nivel 2 o 3 para las emisiones de CO₂ generadas por el material de compactado del horno de precocido 4.53

Cuadro 4.14 Fuentes de los datos e incertidumbres para los parámetros utilizados en los métodos de Nivel 2 o 3 para las emisiones de CO₂ generadas por las celdas Söderberg..... 4.54

Cuadro 4.15 Factores de emisión por defecto e intervalos de incertidumbre para el cálculo de las emisiones de PFC generadas por la producción de aluminio por tipo de tecnología de celda (método de Nivel 1)..... 4.59

Cuadro 4.16 Coeficientes de pendiente y de sobre tensión específicos de la tecnología para el cálculo de las emisiones de PFC generadas por la producción de aluminio (método de Nivel 2) 4.60

Cuadro 4.17 Información declarativa de *buena práctica* para las emisiones de CO₂ y PFC de la producción de aluminio, por Nivel 4.64

Cuadro 4.18 Posibles emisiones de GEI relacionadas con la producción y el procesamiento del magnesio ... 4.65

Cuadro 4.19 Factores de emisión para la producción de metal Mg primario específicas de los minerales..... 4.72

Cuadro 4.20 Factores de emisión de SF₆ para los procesos de moldeo del magnesio (Nivel 1) 4.73

Cuadro 4.21 Factores genéricos de emisión de CO₂ para la producción de plomo por fuente y tipo de horno..... 4.82

Cuadro 4.22 Contenido de carbono específico de los materiales para la producción de plomo 4.82

Cuadro 4.23 Intervalos de incertidumbre 4.84

Cuadro 4.24 Factores de emisión de CO₂ de Nivel 1 para la producción de cinc 4.88

Cuadro 4.25 Intervalos de incertidumbre 4.90

Recuadros

Recuadro 4.1 Definiciones de los términos y/o símbolos utilizados en las ecuaciones de esta sección	4.37
Recuadro 4.2 Descripción del efecto anódico.....	4.54

4 EMISIONES DE LA INDUSTRIA DE LOS METALES

4.1 INTRODUCCIÓN

Las siguientes Secciones 4.2 hasta 4.7 ofrecen orientaciones para estimar las emisiones de gases de efecto invernadero que resultan de la producción de los metales.

- La Sección 4.2 cubre las emisiones de la producción de hierro y acero, así como la del coque metalúrgico;
- La Sección 4.3 cubre las emisiones de la producción de ferrosaleaciones;
- La Sección 4.4 cubre las emisiones de la producción de aluminio;
- La Sección 4.5 cubre las emisiones de la producción de magnesio;
- La Sección 4.6 cubre las emisiones de la producción de plomo;
- La Sección 4.7 cubre las emisiones de la producción de cinc.

Tanto en este capítulo como en el Volumen 2 sobre el Sector Energía, hay que cuidar de no efectuar cálculos dobles ni omitir emisiones de dióxido de carbono (CO₂) pues las emisiones de CO₂ que resultan de la función del carbono, tanto como reactivo en los procesos y como fuente de calor para sostener las reacciones químicas involucradas en los procesos metalúrgicos, están estrechamente relacionadas en muchos casos. En los casos en los que en una planta de producción de metales haya tecnologías de captura instaladas, el CO₂ capturado debe restarse del cálculo de emisiones de nivel superior. En toda metodología que tome en cuenta la captura de CO₂, debe considerarse que las emisiones del CO₂ capturado en el proceso pueden estar relacionadas, tanto con la combustión como con el proceso. En los casos en los que las emisiones debidas a la combustión y al proceso deban declararse por separado, como en el caso de la producción del hierro y del acero, los compiladores del inventario deben garantizar que las mismas cantidades de CO₂ no sean contabilizadas por partida doble. En estos casos, la cantidad total de CO₂ capturado debe declararse preferentemente en las categorías correspondientes de combustión de energía y de fuente IPPU, en proporción con las cantidades de CO₂ generado en cada categoría de fuente. La hipótesis por defecto es que no hay captura ni almacenamiento (CCS) de CO₂. Para más información sobre la captura y el almacenamiento de CO₂ refiérase al Volumen 3, Sección 1.2.2 y para mayores detalles, al Volumen 2, Sección 2.3.4.

4.2 PRODUCCIÓN DE HIERRO Y ACERO Y DE COQUE METALÚRGICO

La producción de hierro y acero conduce a emisiones de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), y óxido nitroso (N₂O). En este capítulo se presentan una orientación para estimar las emisiones de CO₂ y CH₄.¹

A grandes rasgos, la industria del hierro y del acero está constituida por:

- Instalaciones principales que producen, a la vez, hierro y acero;
- Instalaciones secundarias de fabricación de acero;
- Plantas de producción de hierro; y
- Producción de coque metalúrgico fuera de la instalación;

La Figura 4.1 ilustra el proceso principal de producción de hierro y acero: producción de coque metalúrgico, de sinterizado, de pelets, procesamiento del mineral de hierro, fabricación de hierro, de acero, moldeo del acero y, muy a menudo, la combustión de gases de alto horno y de horno de coque para otros propósitos. El proceso principal puede desarrollarse en lo que se denomina una instalación «integrada» que incluye típicamente los altos hornos y los hornos básicos de oxígeno para la fabricación de acero (BOF, del inglés, *Basic Oxygen Furnace*), o bien, en algunos casos, los hornos de reverbero (OHF, del inglés, *Open Hearth Furnace*). Es común también que una parte de la producción se realice fuera de la planta, bajo la responsabilidad de otro operador, tal como el de una instalación de producción de coque fuera del sitio.

En algunos países existen plantas de producción de coque que no están integradas a la producción de hierro y acero (esto es, están «fuera del sitio»). En este capítulo se presenta una orientación para estimar las emisiones de CO₂ y CH₄ provenientes de toda la producción de coque, con el fin de garantizar la coherencia y la exhaustividad. Los países deben estimar por separado, aplicando métodos de nivel superior, las emisiones de la producción in situ y fuera del sitio de coque pues los productos derivados de la producción in situ (p. ej., gas de horno de coque, cisco de coque, etc.) se utilizan a menudo durante la producción del hierro y del acero.

Fabricación primaria y secundaria del acero

La producción del acero puede realizarse en plantas integradas a partir del mineral de hierro, o bien en instalaciones secundarias que producen acero principalmente a partir de chatarra de acero reciclada. Las instalaciones integradas suelen incluir la producción del coque, los altos hornos y los hornos básicos de oxígeno para la fabricación del acero (BOF) o, en algunos casos, los hornos de reverbero (OHF). El acero bruto se produce en un horno básico de oxígeno a partir del arrabio producido por el alto horno y luego se procesa para obtener productos acabados de acero. El arrabio puede procesarse también directamente para obtener productos de hierro. La fabricación secundaria de acero se realiza muy a menudo en hornos de arco eléctrico (EAF, del inglés, *Electric Arc Furnace*). En 2003, los BOF daban cuenta de alrededor de un 63 por ciento de la producción mundial de acero y los EAF de un 33 por ciento, aproximadamente; los AHF daban cuenta del 4 por ciento restante, pero en la actualidad está disminuyendo.

Producción de hierro:

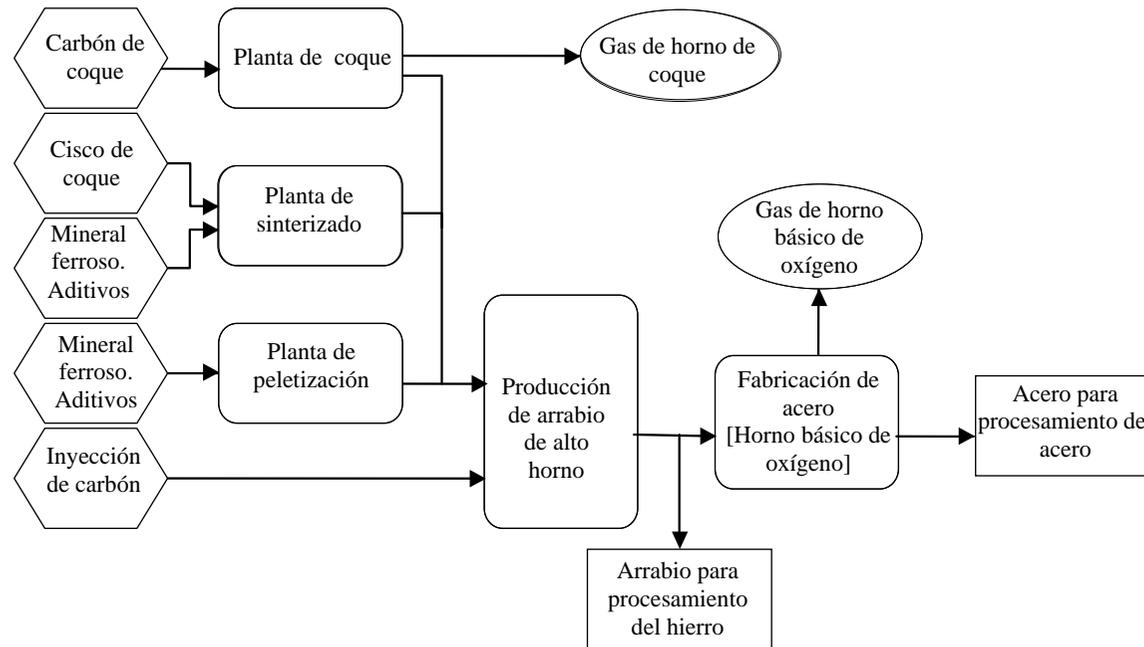
La producción de hierro puede tener lugar en instalaciones integradas o en instalaciones separadas fuera del sitio que usan altos hornos y BOF. Además de la producción de hierro en los altos hornos, el hierro puede producirse a través del proceso de reducción directa. La reducción directa consiste en la reducción del mineral de hierro en hierro metálico en estado sólido, a temperaturas de proceso inferiores a los 1 000 °C.

Producción de coque metalúrgico:

La producción de coque metalúrgico se considera un uso energético del combustible fósil y, por lo tanto, las emisiones deben declararse en la Categoría 1A del Sector Energía. Sin embargo, las metodologías se presentan aquí, en el Volumen 3, pues los datos de la actividad para estimar las emisiones de usos energéticos y no energéticos en la producción integrada del hierro y del acero presentan una superposición parcial significativa. Todo el combustible consumido en esta categoría de fuente no asignado como entrada a las plantas de sinterización, debe considerarse como quema de combustible, el cual se toma en cuenta y se declara en el Sector Energía (véase el Volumen 2: Energía).

¹ No se proporcionan metodologías para las emisiones de N₂O. Es probable que estas emisiones sean pequeñas, pero los países pueden calcular las estimaciones, siempre y cuando hayan desarrollado métodos específicos para el país, basados en los datos investigados.

Figura 4.1 Ilustración de los procesos principales de producción integrada de hierro y acero*



* Modificado a partir de : «The Sevilla Process: A Driver for Environmental Performance in Industry» (El proceso de Sevilla: Un impulso para el rendimiento ambiental de la industria) , Stuttgart, 6 y 7 de abril de 2000, BREF on the Production of Iron and Steel – conclusion on BAT, Dr. Harald Schoenberger, Regional State Government Office Freiburg, abril de 2000 (Schoenberger, 2000)

4.2.1 Introducción

PRODUCCIÓN DE COQUE METALÚRGICO:

El coque metalúrgico se utiliza principalmente en los altos hornos para fabricar hierro. Se emplea también en otros procesos metalúrgicos tales como la fabricación de hierro fundido. El coque metalúrgico es el producto sólido obtenido de la carbonización a altas temperaturas del carbón, principalmente el carbón de coque. Su contenido de humedad y de materias volátiles es bajo. Por carbón de coque se designa al carbón bituminoso con una calidad que permita la producción de un coque adecuado para ser aportado a la carga de un alto horno. Su poder calórico bruto es superior a 5 700 kcal/kg. (23 865 kJ/kg.) cuando está libre de cenizas, aunque húmedo. El gas de horno de coque es un producto derivado de la fabricación del coque metalúrgico para la producción del hierro y del acero. En la Figura 4.2 se ilustra el proceso de producción del coque y las fuentes asociadas de emisiones de CH₄ y CO₂.

Nótese que el gas de horno de coque puede quemarse para calentar los hornos de coque o transferirse internamente en la planta de hierro y acero, así como utilizarse en la producción de sinterizado o en el proceso de producción del hierro. El gas de horno de coque puede transferirse también fuera de la instalación (p. ej., hacia el sistema de distribución de gas natural) y emplearse como fuente de energía. La combustión del coque en los altos hornos durante el proceso de fabricación del hierro y del acero produce gas de alto horno, el cual puede recuperarse después y transferirse desde la forja de hierro y acero hacia la planta local de coque y quemarse para calentar los hornos de coque o utilizarse en la producción de sinterizado. La combustión de gas de alto horno y de gas de horno de coque es la fuente principal de emisiones CO₂ y CH₄ de en la producción del coque.

PRODUCCIÓN DE SINTERIZADO

El mineral de hierro y otros materiales que contienen hierro puede aglomerarse en las plantas de sinterización de las plantas integradas de hierro y acero, antes de introducirlo en el alto horno. La alimentación al proceso en las plantas de sinterización puede incluir mineral de hierro fino, aditivos (p. ej., cal, olivina) y materiales reciclados que contienen hierro provenientes de los procesos posteriores de fabricación de hierro y acero (p. ej., polvos provenientes de la limpieza de los altos hornos). El cisco de coque (coque de horno de coque de baja gradación constituido por partículas de un tamaño de <5 mm) es el material de proceso más utilizado en las plantas de sinterización. Puede producirse en los hornos de coque de las plantas integradas de hierro y acero, o bien puede comprarse a productores fuera del sitio. El gas de alto horno o el gas de horno de coque producido internamente durante la producción integrada de hierro y acero pueden utilizarse en las plantas de sinterización. La operación de las plantas de sinterización produce emisiones de dióxido de carbono provenientes de la oxidación del cisco de coque y de otras entradas. Las descargas gaseosas de la producción de sinterizado contienen también metano y otros hidrocarburos. En la Figura 4.3 se ilustra el proceso de producción del sinterizado.

PRODUCCIÓN DE PELETS

Los pelets se forman a partir de materias primas que contienen hierro (esto es, mineral fino y aditivos), en un proceso a muy altas temperaturas que los reduce a esferas de 9-16 mm de diámetro. El proceso incluye el molido, el secado, la granulación y el tratamiento térmico de las materias primas. Las plantas de peletización están ubicadas principalmente en las minas de hierro o en los puertos de embarque, pero pueden formar parte de las instalaciones de una planta integrada de hierro y acero. En las plantas de peletización, como combustible puede usarse el gas natural o el carbón; en las plantas situadas dentro de una instalación integrada de hierro y acero, puede usarse el gas de horno de coque. El consumo de energía para el proceso, así como las emisiones asociadas de CO₂, depende, en parte, de la calidad del hierro y de las otras materias primas utilizadas en el proceso. Las emisiones de CO₂ dependen también del contenido de carbono y del poder calórico de los combustibles empleados en el proceso.

FABRICACIÓN DEL HIERRO Y FUNCIÓN DEL COQUE

La mayor parte del CO₂ emitido por la industria del hierro y del acero está asociado con la producción de hierro y, más específicamente, con el uso del carbono para convertir el mineral de hierro en hierro metálico. En la figura 4.4 se describe el proceso de fabricación del hierro y las fuentes asociadas de emisiones. El carbono se suministra al alto horno principalmente bajo la forma de coque producido a partir del carbón coquizable de grado metalúrgico (pero puede darse también bajo la forma de carbón vegetal de leña o de otras formas de carbono). El carbono cumple una doble función en el proceso de fabricación del hierro: primeramente como agente reductor para convertir los óxidos de hierro en hierro, pero también como fuente de energía para proporcionar calor cuando el carbono y el oxígeno reaccionan en forma exotérmica. El gas de alto horno se produce durante la combustión del coque en el alto horno. Típicamente, se recupera y utiliza como combustible, en parte dentro de la planta y en parte en otros procesos de la industria del acero, o bien, en centrales eléctricas equipadas para quemarlo. También, el gas de alto horno puede recuperarse para transferirse desde la forja de hierro y acero

hacia la planta interna de coque y quemarse para obtener energía dentro de los hornos de coque. El gas de alto horno puede transferirse igualmente fuera de la instalación y emplearse como fuente de energía, tanto dentro del horno como al quemarlo para calentar el aire inyectado. El gas de horno de oxígeno para aceros se obtiene como producto derivado de la producción del acero en un horno básico de oxígeno (BOF) y se recupera a la salida del horno. Todo el carbono utilizado en los altos hornos debe considerarse fuente de emisiones relacionadas con procesos IPPU.

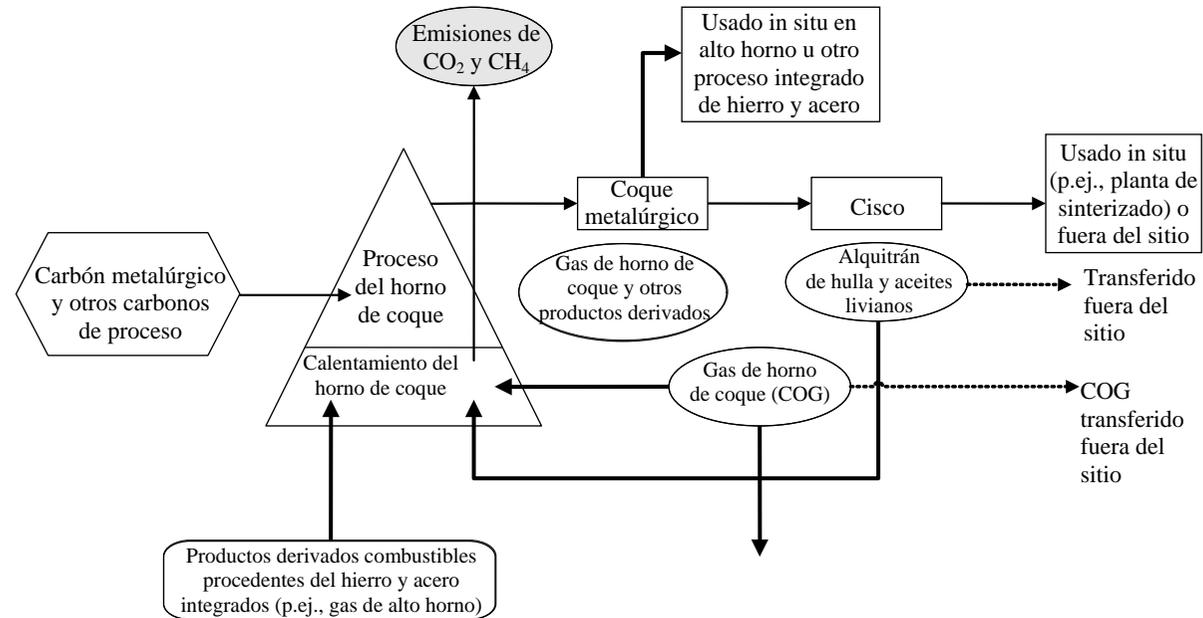
Además, el hierro puede producirse mediante un proceso de reducción directa. La reducción directa implica la reducción del mineral de hierro en hierro metálico en el estado sólido a temperaturas inferiores a 1 000 °C. El proceso de reducción directa produce un producto sólido denominado hierro reducido directo (DRI, del inglés, *Direct Reduced Iron*). El contenido de carbono del DRI es inferior al 2 por ciento. El DRI se emplea normalmente en reemplazo de la chatarra metálica para la fabricación de acero por la vía del horno de arco eléctrico, pero puede utilizarse también como alimentación al proceso de fabricación de hierro en alto horno. Cuando el DRI debe ser almacenado o transportado, puede también fundirse en forma de ladrillos, y se denomina hierro briquetado en caliente (HBI, del inglés, *Hot Briquetted Iron*). Los compiladores del inventario pueden estimar las emisiones de CO₂ de estos procesos a partir del consumo de energía y del contenido de carbono del combustible (p. ej., gas natural, carbón).

LA FABRICACIÓN DEL ACERO

La producción de acero en los BOF comienza por la carga del recipiente con un 70–90 por ciento de hierro fundido y un 10–30 por ciento de chatarra de acero. El oxígeno de gran pureza se combina luego con el carbono contenido en el hierro para desatar una reacción exotérmica que funde la carga, al tiempo que el contenido de carbono disminuye. El hierro de alto horno contiene generalmente un 3–4 por ciento de carbono, el cual debe ser reducido a menos de un 1 por ciento, refinado y aleado para producir el grado de acero deseado.

La producción de acero en un EAF se realiza típicamente mediante una carga de 100 por ciento de chatarra de acero reciclado, el cual se funde utilizando la energía eléctrica que se aplica a la carga mediante electrodos de carbono; luego se refina y se alea para producir el grado de acero deseado. Aunque los EAF pueden estar ubicados en las plantas integradas, debido a que dependen fundamentalmente de la chatarra de acero y no de la chatarra de hierro como materia prima, constituyen típicamente operaciones autónomas. Puesto que el proceso en EAF consiste principalmente en la fundición de chatarra y no en la reducción de óxidos, la función del carbono no es tan dominante como en el caso del proceso en alto horno y/o en BOF. En la mayoría de los EAF cargados con chatarra, las emisiones de CO₂ están asociadas principalmente con el consumo de electrodos de carbono. Todo el carbono utilizado en los EAF y en otros procesos de fabricación de acero debe considerarse fuente de emisiones relacionadas con los procesos IPPU. En la figura 4.5 se describe el proceso de fabricación del acero y las fuentes de emisiones asociadas.

Figura 4.2 Ilustración del proceso de producción del coque (emisiones declaradas en la Categoría 1A del Sector Energía)



Nota :

Las líneas en negra se aplican sólo a la producción de coque *in situ* en una planta integrada de hierro y acero. Las líneas punteadas corresponden a las transferencias de materiales hacia «procesos fuera del sitio». Los «procesos fuera del sitio» no incluyen los procesos de producción integrada de hierro y acero que se consideran de la categoría «in situ».

Figura 4.3 Ilustración del proceso de producción de sinterizado

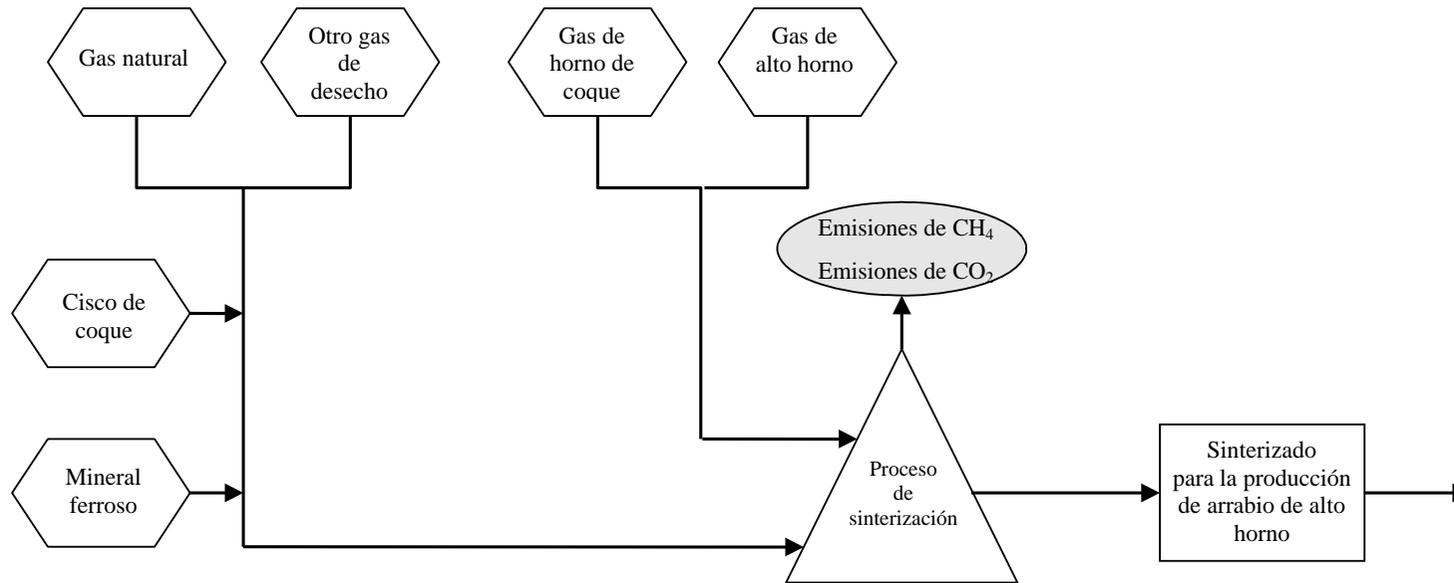
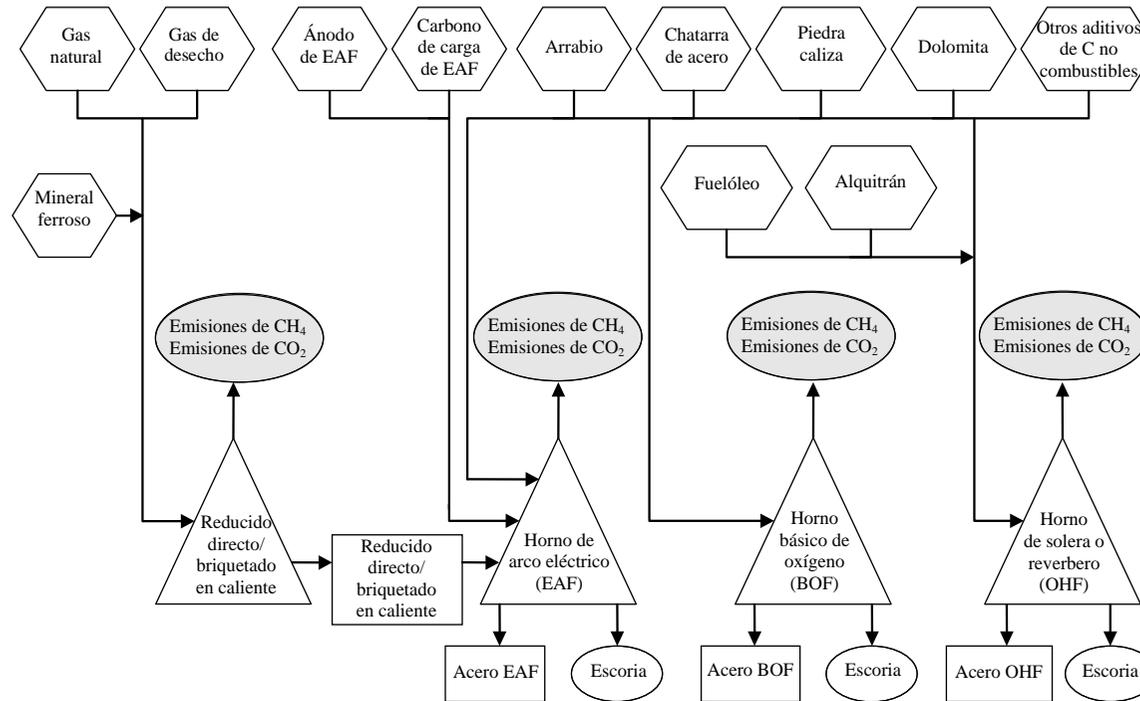


Figura 4.5 Ilustración del proceso de producción de acero



4.2.2 Cuestiones metodológicas

4.2.2.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO: PRODUCCIÓN DE COQUE METALÚRGICO

En las *Directrices del IPCC* se bosquejan tres niveles para calcular las emisiones de CO₂ y dos niveles para calcular las emisiones de CH₄ procedentes de la producción de coque. La elección de un método de *buena práctica* para la estimación de las emisiones de CO₂ depende de las circunstancias nacionales, como se indica en el árbol de decisión de la Figura 4.6, Estimación de las emisiones de CO₂ de la producción del coque metalúrgico. Para las emisiones de CH₄, utilice el árbol de decisión de la Figura 4.8. El coque metalúrgico se produce ya sea en una instalación para hierro y acero («in situ») o en instalaciones separadas («fuera del sitio»). En el método de Nivel 1, las emisiones se calculan a partir de toda la producción de coque, mediante factores de emisión por defecto que se aplican a la producción nacional de coque. En el método de Nivel 2, para estimar las emisiones de CO₂, se distingue entre la producción de coque in situ y la producción fuera del sitio. Se usan datos nacionales de la actividad sobre el consumo y la producción de materiales de proceso (p. ej., carbón coquizable consumido, coque producido y productos de alquitrán de hulla producido). Como se analizó más arriba, el método de Nivel 2 no es aplicable a la estimación de emisiones de CH₄. Para el método de Nivel 3, se requieren datos sobre las emisiones de CO₂ y las emisiones de CH₄ específicos de la planta, o bien, datos de la actividad específicos de la planta.

MÉTODO DE NIVEL 1 – FACTORES DE EMISIÓN BASADOS EN LA PRODUCCIÓN

La Ecuación 4.1 permite calcular las emisiones provenientes de toda la producción de coque. En el método de Nivel 1 se supone que todo el coque producido localmente en las instalaciones para el hierro y el acero se utiliza localmente. El método de Nivel 1 consiste en multiplicar los factores de emisión por defecto por las toneladas de coque producido. Las emisiones deben declararse en el Sector Energía.

<p>ECUACIÓN 4.1 EMISIONES PROVENIENTES DE LA PRODUCCIÓN DE COQUE (NIVEL 1) $E_{CO_2} = Coque \cdot EF_{CO_2}$ y $E_{CH_4} = Coque \cdot EF_{CH_4}$ (a declarar en el Sector Energía)</p>
--

Donde:

E_{CO_2} o E_{CH_4} = emisiones de CO₂ o de CH₄ generadas por la producción de coque, toneladas de CO₂ o toneladas de CH₄

Coque = cantidad de coque producido nacionalmente, toneladas

EF= factor de emisión, toneladas de CO₂/tonelada de producción de coque o toneladas de CH₄/tonelada de producción de coque

Nota: En el método de Nivel 1 se supone que todos los productos derivados del horno de coque se transfieren fuera de la instalación y que todo el gas de horno de coque producido se quema localmente para recuperar energía.

MÉTODO DE NIVEL 2

El método de Nivel 2 es apropiado si se dispone de estadísticas nacionales sobre las entradas y salidas de los procesos de la producción integrada o no integrada del coque. Con el Nivel 2 se obtiene una estimación más exacta que con el Nivel 1, pues se toma en cuenta la cantidad efectiva de entradas y salidas en vez de hacer suposiciones.

Como está expresado en las Ecuaciones 4.2 y 4.3, en el Nivel 2 las emisiones de CO₂ de la producción local de coque se estiman aparte de la producción fuera del sitio. Esta separación se debe a los requisitos en la superposición de los datos al estimar las emisiones de la producción local de coque y las emisiones de la producción de hierro y acero.

ECUACIÓN 4.2
EMISIONES DE CO₂ PROVENIENTES DE LA PRODUCCIÓN LOCAL DE COQUE (NIVEL 2)

$$E_{CO_2, energía} = \left[CC \cdot C_{CC} + \sum_a (PM_a \cdot C_a) + BG \cdot C_{BG} - CO \cdot C_{CO} - COG \cdot C_{COG} - \sum_b (COB_b \cdot C_b) \right] \cdot \frac{44}{12}$$

Donde:

$E_{CO_2, energía}$ = emisiones de CO₂ a partir de la producción local de coque a ser declarada en el Sector Energía, toneladas

CC = cantidad de carbón coquizable consumido en la producción local de coque en instalaciones integradas de producción de hierro y acero, toneladas

PM_a = cantidad de otro material de proceso *a*, diferente de los enumerados como términos separados, tales como el gas natural y el fuelóleo, consumido para la producción local de coque y de sinterizado en instalaciones integradas de producción de hierro y acero, toneladas

BG = cantidad de gas de alto horno consumido en los hornos de coque, m³ (u otras unidades como toneladas o GJ. La conversión de la unidad debe ser coherente con el Volumen 2: Energía)

CO = cantidad de coque producido localmente en instalaciones integradas de producción de hierro y acero, toneladas

COG = cantidad de gas de horno de coque transferido fuera de la instalación, m³ (u otras unidades como toneladas o GJ. La conversión de la unidad debe ser coherente con el Volumen 2: Energía)

COB_b = cantidad de producto derivado *b* del horno de coque, transferido fuera de la instalación o hacia otras instalaciones fuera del sitio, toneladas

C_x = contenido de carbono del material de entrada o salida *x*, toneladas de C/(unidad para el material *x*) [p. ej., toneladas de C/tonelada]

Para la producción fuera del sitio de coque, el compilador del inventario debe utilizar la Ecuación 4.3. El total de las emisiones corresponde a la suma de las emisiones de todas las plantas, utilizando tanto la Ecuación 4.2 como la 4.3.

ECUACIÓN 4.3
EMISIONES DE CO₂ PROVENIENTES DE LA PRODUCCIÓN DE COQUE FUERA DEL SITIO (NIVEL 2)

$$E_{CO_2, energía} = \left[CC \cdot C_{CC} + \sum_a (PM_a \cdot C_a) - NIC \cdot C_{NIC} - COG \cdot C_{COG} - \sum_b (COB_b \cdot C_b) \right] \cdot \frac{44}{12}$$

Donde:

$E_{CO_2, energía}$ = emisiones de CO₂ a partir de la producción local de coque a ser declarada en el Sector Energía, toneladas

CC = cantidad de carbón coquizable utilizado en las instalaciones no integradas de producción de coque, toneladas

PM_a = cantidad de otros materiales de proceso *a*, diferentes del carbón coquizable, tales como el gas natural y el fuelóleo consumido nacionalmente en instalaciones no integradas de producción de coque, toneladas

NIC = cantidad de coque producido fuera del sitio en las instalaciones no integradas de producción de coque al nivel nacional, toneladas

COG = cantidad de gas de horno de coque producido fuera del sitio en las instalaciones no integradas de producción de coque al nivel nacional y que se transfiere a otras instalaciones, m³ (u otra unidad como toneladas o GJ. La conversión de la unidad debe ser coherente con el Volumen 2: Energía)

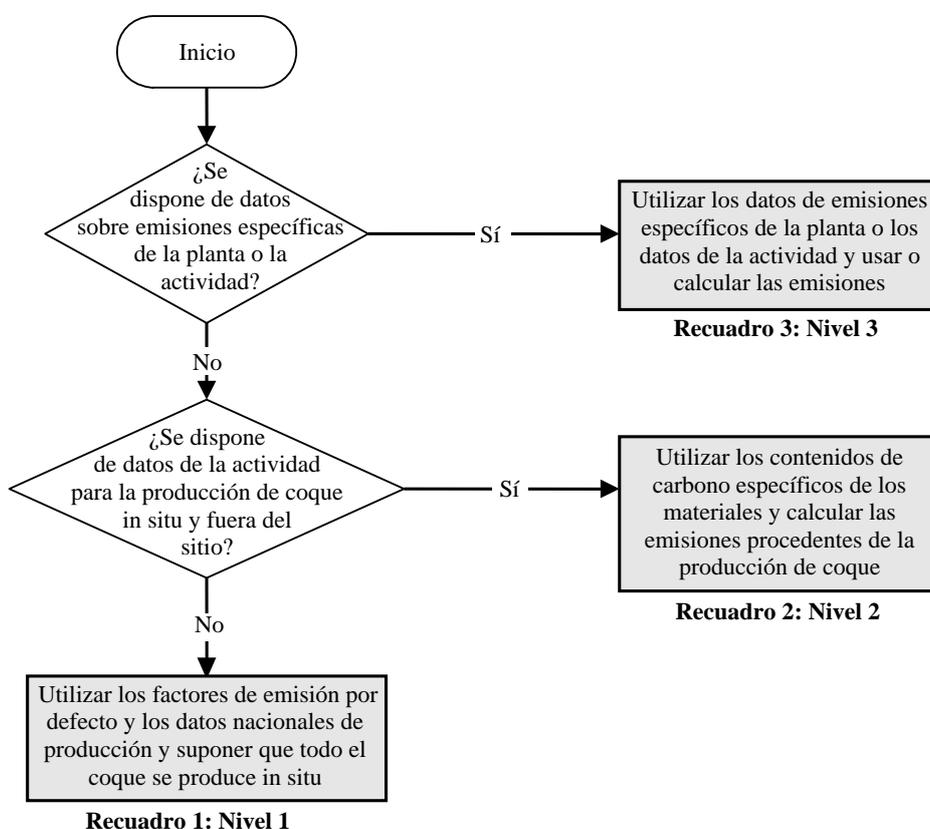
COB_b = cantidad de producto derivado *b* del horno de coque, producido al nivel nacional en instalaciones fuera del sitio y no integradas, transferido hacia otras instalaciones fuera del sitio, toneladas

C_x = contenido de carbono del material de entrada o salida x , toneladas de C/(unidad para el material x)
 [p. ej., toneladas de C/tonelada]

MÉTODO DE NIVEL 3

A diferencia del método de Nivel 2, el método de Nivel 3 utiliza datos específicos de planta pues las plantas pueden diferir sustancialmente en cuanto a la tecnología y a las condiciones de los procesos. Si se dispone de datos de emisiones de CO₂/CH₄ efectivamente medidos en las plantas de producción de coque in situ y fuera del sitio, estos datos pueden agregarse y usarse directamente para dar cuenta de las emisiones nacionales de la producción de coque metalúrgico, empleando el método de Nivel 3. El total de las emisiones nacionales corresponderá a la suma de las emisiones declaradas por cada instalación. Si no se dispone de datos sobre las emisiones de CO₂ específicos de las instalaciones, las emisiones de CO₂ pueden calcularse a partir de los datos de la actividad específicos de las plantas mediante el método de Nivel 2, con las Ecuaciones 4.2 y 4.3. El total de las emisiones nacionales corresponde a la suma de las emisiones declaradas por cada instalación.

Figure 4.6 Estimación de las emisiones de CO₂ generadas por la producción de coque metalúrgico

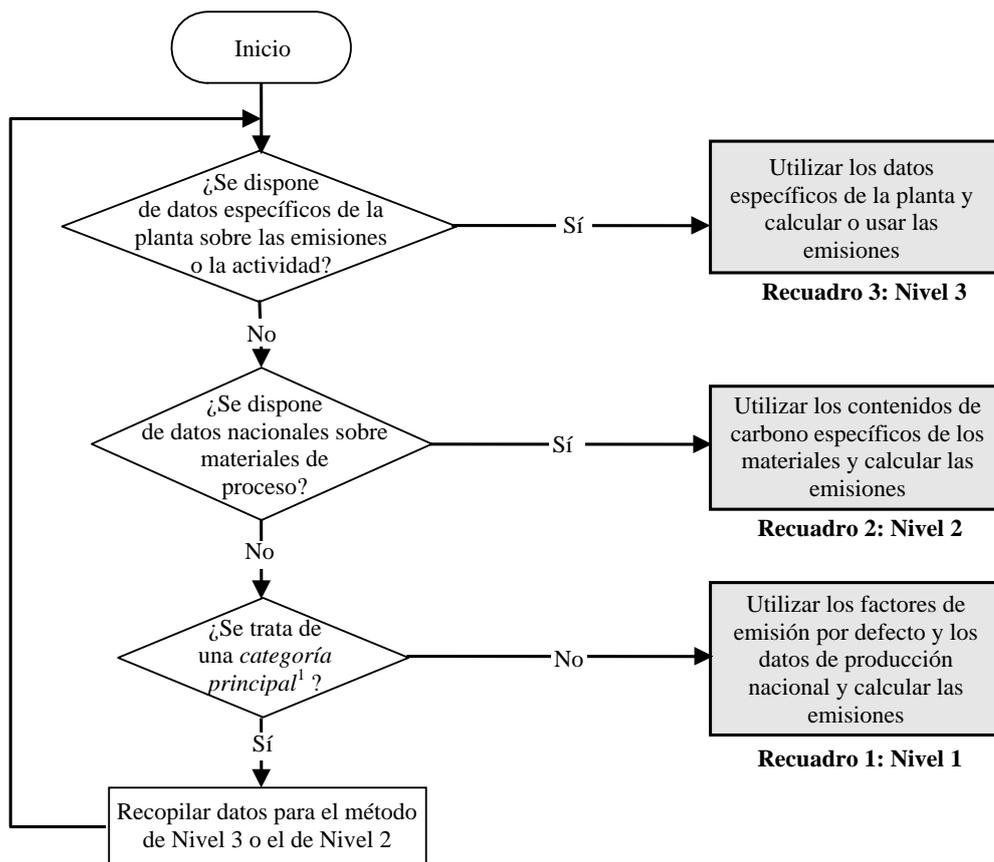


4.2.2.2 ELECCIÓN DEL MÉTODO: PRODUCCIÓN DE HIERRO Y ACERO

En estas *Directrices* se bosquejan tres niveles para calcular las emisiones de CO₂ y dos niveles para calcular las emisiones de CH₄ provenientes de la producción del hierro y del acero. La elección de un método de *buena práctica* depende de las circunstancias nacionales, tal como se indica en el árbol de decisión de la Figura 4.7 para las emisiones de CO₂ y de la Figura 4.8 para las emisiones de CH₄: Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de CO₂ de la producción de hierro y acero y Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de CH₄ de la producción de hierro y acero. El método de Nivel 1 se basa en datos sobre la producción nacional y en factores de emisión por defecto. Puede conducir a errores debido a que depende de hipótesis en vez de datos reales sobre las cantidades de las entradas en el sector de la producción de sinterizado y de la producción de

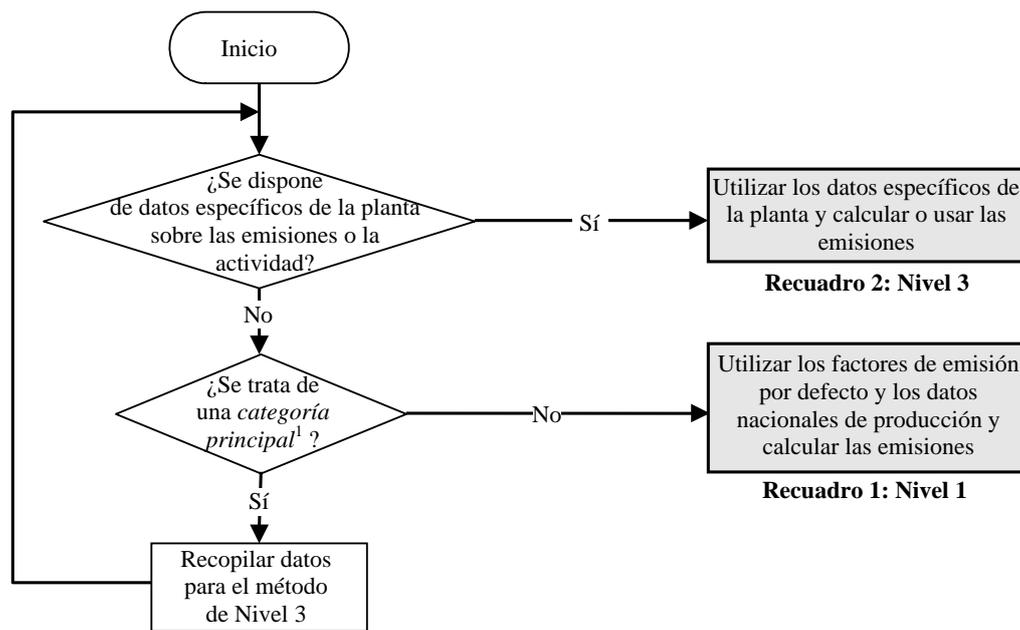
hierro y acero que contribuyen a las emisiones de CO₂. Por lo tanto, el Nivel 1 es apropiado sólo si la producción de hierro y acero no constituye una *categoría principal*. Se proveen factores de emisión por defecto para la producción de sinterizado, la fabricación de hierro en altos hornos, la producción de hierro reducido directo, la producción de pelets y para cada método de fabricación del acero. Las fuentes primarias de emisiones son la fabricación de hierro en altos hornos y la fabricación de acero. El método de Nivel 2 para estimar las emisiones de CO₂ de la producción de hierro y acero se basa en datos sobre el consumo conocido de materias primas, incluidos los agentes reductores, y en datos genéricos de la industria. Emplea el método del equilibrio de masas y los contenidos de carbono específicos de los materiales. El método de Nivel 2 no es aplicable a la estimación de las emisiones de CH₄. Para estimar las emisiones de CO₂ y CH₄, el método de Nivel 3 requiere datos sobre las emisiones específicas de las plantas o datos de la actividad agregados al nivel nacional.

Figura 4.7 **Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de CO₂ provenientes de la producción de hierro y acero**



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

Figura 4.8 **Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de CH₄ provenientes de la producción de hierro y acero**



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).

METODOLOGÍA PARA ESTIMAR LAS EMISIONES DE CO₂

Método de Nivel 1 – factores de emisión basados en la producción

El método de Nivel 1 para las emisiones de la producción de hierro y acero consiste en multiplicar los factores de emisión por defecto por los datos sobre la producción nacional, como se muestra en la Ecuación 4.4. Debido a las amplias variaciones en las emisiones por unidad de producción de acero, que dependen del método de producción, es una *buena práctica* determinar la fracción de acero que se produce en los diferentes procesos de fabricación, calcular las emisiones para cada proceso y sumar luego las estimaciones. En la Ecuación 4.4 se considera la producción de acero a partir de hornos básicos de oxígeno (BOF), hornos de arco eléctrico (EAF) y hornos de solera (OHF, del inglés, en *Open Hearth Furnaces*). Para el caso de que no se disponga de datos de la actividad sobre la producción de acero para cada proceso, en el Cuadro 4.1 de la Sección 4.2.2.3 se proporciona la parte del total nacional de la producción de acero que se atribuye por defecto a cada uno de estos tres procesos de fabricación.

La Ecuación 4.5 permite calcular las emisiones de la producción de arrabio que no se convierte en acero. Es preferible estimar las emisiones de esta producción por separado, pues los factores de emisión para la producción integrada de hierro y acero (procesos BOF y OHF) toman en cuenta las emisiones de ambas etapas.

La Ecuación 4.6 permite calcular las emisiones de CO₂ de la producción de hierro reducido directo (DRI) para el método de Nivel 1, utilizando un factor de emisión de CO₂.

Es también una *buena práctica* estimar separadamente, mediante las Ecuaciones 4.7 y 4.8, las emisiones de la producción de sinterizado y de la producción nacional de pelets. Las Ecuaciones 4.7 y 4.8 deben usarse si el compilador del inventario no posee información detallada sobre los materiales de proceso utilizados. Si se conocen dichos materiales, las emisiones deben calcularse mediante el método de Nivel 2.

El total de las emisiones corresponde a la suma de los resultados de las Ecuaciones 4.4 a 4.8.

<p>ECUACIÓN 4.4</p> <p>EMISIONES DE CO₂ PROVENIENTES DE LA PRODUCCIÓN DE HIERRO Y ACERO (NIVEL 1)</p> <p>Hierro y acero: $E_{CO_2, no-energía} = BOF \cdot EF_{BOF} + EAF \cdot EF_{EAF} + OHF \cdot EF_{OHF}$</p>
--

ECUACIÓN 4.5**EMISIONES DE CO₂ PROVENIENTES DE LA PRODUCCIÓN DE ARRABIO NO PROCESADO EN ACERO (NIVEL 1)**

$$\text{Producción de arrabio: } E_{CO_2, no-energía} = IP \bullet EF_{IP}$$

ECUACIÓN 4.6**EMISIONES DE CO₂ PROVENIENTES DE LA PRODUCCIÓN DE HIERRO REDUCIDO DIRECTO (NIVEL 1)**

$$\text{Hierro reducido directo: } E_{CO_2, no-energía} = DRI \bullet EF_{DRI}$$

ECUACIÓN 4.7**EMISIONES DE CO₂ PROVENIENTES DE LA PRODUCCIÓN DE SINTERIZADO (NIVEL 1)**

$$\text{Producción de sinterizado: } E_{CO_2, no-energía} = SI \bullet EF_{SI}$$

ECUACIÓN 4.8**EMISIONES DE CO₂ PROVENIENTES DE LA PRODUCCIÓN DE PELETS (NIVEL 1)**

$$\text{Producción de pelets: } E_{CO_2, no-energía} = P \bullet EF_P$$

Donde:

$E_{CO_2, no-energía}$ = emisiones de CO₂ a ser declaradas en el Sector IPPU, toneladas

BOF= cantidad de acero crudo producido en BOF, toneladas

EAF= cantidad de acero crudo producido en EAF, toneladas

OHF= cantidad de acero crudo producido en OHF, toneladas

IP = cantidad de producción de arrabio no convertido en acero, toneladas

DRI = cantidad de hierro reducido directo producido nacionalmente, toneladas

SI = cantidad de sinterizado producido nacionalmente, toneladas

P = cantidad de pelets producido nacionalmente, toneladas

EF_x = factor de emisión, toneladas de CO₂/tonelada de x producido

Método de Nivel 2

El método de Nivel 2 es el apropiado si el compilador del inventario tiene acceso a los datos nacionales sobre el uso de los materiales de proceso para la producción del hierro y del acero, la producción de sinterizado, la producción de pelets y la producción de hierro reducido directo. Además, como se analiza en la Sección 4.2.2.5, hay un cierto número de otras entradas y salidas de los procesos que pueden considerarse en el Nivel 2. Estos datos pueden obtenerse de los organismos gubernamentales responsables de la elaboración de las estadísticas sobre fabricación y sobre energía, de las asociaciones comerciales e industriales o de las compañías de hierro y acero individuales. Con el Nivel 2 se obtiene una estimación más exacta que con el Nivel 1, pues se toma en cuenta la cantidad real de entradas que contribuyen a las emisiones de CO₂.

Al calcular las emisiones de la producción de pelets, puede utilizarse el consumo de energía, el poder calórico y el contenido de carbono del combustible, de manera análoga al caso de las otras metodologías.

ECUACIÓN 4.9

EMISIONES DE CO₂ PROVENIENTES DE LA PRODUCCIÓN DE HIERRO Y ACERO (NIVEL 2)

$$E_{CO_2, no-energía} = \left[PC \cdot C_{PC} + \sum_a (COB_a \cdot C_a) + CI \cdot C_{CI} + L \cdot C_L + D \cdot C_D + CE \cdot C_{CE} + \sum_b (O_b \cdot C_b) + COG \cdot C_{COG} - S \cdot C_S - IP \cdot C_{IP} - BG \cdot C_{BG} \right] \cdot \frac{44}{12}$$

ECUACIÓN 4.10

EMISIONES DE CO₂ PROVENIENTES DE LA PRODUCCIÓN DE SINTERIZADO (NIVEL 2)

$$E_{CO_2, no-energía} = \left[CBR \cdot C_{CBR} + COG \cdot C_{COG} + BG \cdot C_{BG} + \sum_a (PM_a \cdot C_a) - SOG \cdot C_{SOG} \right] \cdot \frac{44}{12}$$

Donde, para la producción de hierro y acero:

$E_{CO_2, no-energía}$ = emisiones de CO₂ a ser declaradas en el Sector IPPU, toneladas

PC = cantidad de coque consumido en la producción de hierro y acero (excluida la producción de sinterizado), toneladas

COB_a = cantidad de producto derivado *a* de horno de coque local consumido en alto horno, toneladas

CI = cantidad de carbón inyectado directamente al alto horno, toneladas

L = cantidad de piedra caliza consumida en la producción de hierro y acero, toneladas

D = cantidad de dolomita consumida en la producción de hierro y acero, toneladas

CE = cantidad de electrodos de carbono consumidos en los EAF, toneladas

O_b = cantidad de otro carbonáceo y material de proceso *b*, consumidos en la producción de hierro y acero, tales como sinterizado o plásticos de desecho, toneladas

COG = cantidad de gas de horno de coque transferido fuera de la instalación, m³ (u otras unidades como toneladas o GJ. La conversión de la unidad debe ser coherente con el Volumen 2: Energía)

S = cantidad de acero producido, toneladas

IP = cantidad de producción de hierro no convertido en acero, toneladas

BG = cantidad de gas de alto horno transferido fuera de la instalación, m³ (u otras unidades como toneladas o GJ. La conversión de la unidad debe ser coherente con el Volumen 2: Energía)

C_x = contenido de carbono del material de entrada o salida *x*, toneladas de C/(unidad para el material *x*) [p. ej., toneladas de C/tonelada]

Donde, para la producción de sinterizado:

$E_{CO_2, no-energía}$ = emisiones de CO₂ a ser declaradas en el Sector IPPU, toneladas

CBR = cantidad de cisco de coque comprada o producida localmente, utilizada para la producción de sinterizado, toneladas

COG = cantidad de gas de horno de coque consumido en los altos hornos para la producción de sinterizado, m³ (u otras unidades como toneladas o GJ. La conversión de la unidad debe ser coherente con el Volumen 2: Energía)

BG = cantidad de gas de alto horno consumido para la producción de sinterizado, m³ (u otras unidades como toneladas o GJ. La conversión de la unidad debe ser coherente con el Volumen 2: Energía)

PM_a = cantidad de otro material de proceso *a*, diferente de los enumerados como elementos separados, tales como el gas natural y el fuelóleo, consumido para la producción local de coque y de sinterizado en instalaciones integradas de producción de coque, hierro y acero, toneladas

SOG = cantidad de descargas gaseosas del sinterizado transferidas fuera de la instalación, ya sea hacia instalaciones de producción de hierro y acero u otras instalaciones, m³ (u otras unidades como toneladas o GJ. La conversión de la unidad debe ser coherente con el Volumen 2: Energía)

C_x = contenido de carbono del material de entrada o salida x , toneladas de C/(unidad para el material x)
[p. ej., toneladas de C/tonelada]

La Ecuación 4.11 permite calcular las emisiones de CO₂ de la producción de hierro reducido directo para el método de Nivel 2 basado en el consumo de combustible y en el contenido de carbono del combustible. Las emisiones de la producción de DRI se derivan a partir de la quema de combustibles, cisco de coque, coque metalúrgico u otros materiales carbonáceos y deben declararse como emisiones del Sector IPPU.

ECUACIÓN 4.11
EMISIONES DE CO₂ PROVENIENTES DE LA PRODUCCIÓN DE HIERRO REDUCIDO DIRECTO (NIVEL 2)

$$E_{CO_2, no-energía} = (DRI_{NG} \cdot C_{NG} + DRI_{BZ} \cdot C_{BZ} + DRI_{CK} \cdot C_{CK}) \cdot \frac{44}{12}$$

Donde:

$E_{CO_2, no-energía}$ = emisiones de CO₂ a ser declaradas en el Sector IPPU, toneladas

DRI_{NG} = cantidad de gas natural utilizado en la producción de hierro reducido directo, GJ

DRI_{BZ} = cantidad de cisco de coque utilizada en la producción de hierro reducido directo, GJ

DRI_{CK} = cantidad de coque metalúrgico utilizado en la producción de hierro reducido directo, GJ

C_{NG} = contenido de carbono del gas natural, tonelada de C/GJ

C_{BZ} = contenido de carbono del cisco de coque, tonelada de C/GJ

C_{CK} = contenido de carbono del coque metalúrgico, tonelada de C/GJ

Método de Nivel 3

A diferencia del método de Nivel 2, en el de Nivel 3 se emplean datos específicos de la planta. El método de Nivel 3 proporciona estimaciones aún más exactas de las emisiones que el método de Nivel 2, pues las plantas pueden diferir sustancialmente en cuanto a la tecnología y a las condiciones de los procesos. Si se dispone de datos sobre emisiones de CO₂ medidas efectivamente en las instalaciones de fabricación de hierro y acero, éstos pueden agregarse para dar cuenta de las emisiones nacionales de CO₂. Si no se dispone de datos sobre las emisiones de CO₂ específicas de las instalaciones, las emisiones de CO₂ pueden calcularse a partir de los datos de la actividad específicos de las plantas sobre los agentes reductores individuales, los gases de escape y otros materiales de proceso y productos. El total de las emisiones nacionales corresponde a la suma de las emisiones declaradas por cada instalación. En las Ecuaciones 4.9 hasta 4.11 se describen los parámetros necesarios para dar cuenta de las emisiones específicas de las plantas, al emplear el método de Nivel 3, y de los datos de actividad específicos de la planta al nivel de la instalación. Para el método de Nivel 3 se requieren los contenidos de carbono específicos de la planta correspondientes a cada material.

METODOLOGÍA PARA EL CH₄

Cuando en el horno de producción de sinterizado o de hierro se calientan materiales que contienen carbono, se liberan compuestos volátiles, incluido el metano. En los hornos abiertos o parcialmente cubiertos, la mayoría de los compuestos volátiles se quema por encima de la carga, en la campana extractora y en los conductos de evacuación de las descargas gaseosas, produciendo CO₂, pero algunos permanecen sin reaccionar, como el CH₄ y los compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano (COVDM). Las cantidades dependen de la operación del horno. La carga por pulverización reduce las cantidades de CH₄, en comparación con la carga por lotes. El aumento de la temperatura en la campana de extracción (con menos aire parásito) reduce aún más el contenido de CH₄.

En esta sección se describe un método por defecto de Nivel 1 y un método de Nivel 3 más avanzado, al nivel de la instalación, para el CH₄ proveniente de la producción de sinterizado o de la producción de hierro; ambos son similares a los métodos descritos para estimar las emisiones de CO₂. No existe un método de Nivel 2. El CH₄ puede ser emitido también en el proceso de fabricación del acero, pero se supone que estas emisiones son insignificantes. Por esto, aquí no se discuten las emisiones de CH₄ de los procesos de fabricación de acero.

La metodología de Nivel 1 para el CH₄ se basa en factores de emisión y en las estadísticas nacionales de producción.

ECUACIÓN 4.12
EMISIONES DE CH₄ PROVENIENTES DE LA PRODUCCIÓN DE SINTERIZADO (NIVEL 1)

Producción de sinterizado: $E_{CH_4, no-energía} = SI \cdot EF_{SI}$

ECUACIÓN 4.13
EMISIONES DE CH₄ PROVENIENTES DE LA PRODUCCIÓN DE ARRABIO EN LOS ALTOS HORNOS (NIVEL 1)

Producción de arrabio: $E_{CH_4, no-energía} = PI \cdot EF_{PI}$

ECUACIÓN 4.14
EMISIONES DE CH₄ PROVENIENTES DE LA PRODUCCIÓN DE HIERRO REDUCIDO DIRECTO (NIVEL 1)

Producción de hierro reducido directo: $E_{CH_4, no-energía} = DRI \cdot EF_{DRI}$

Donde:

$E_{CH_4, no-energía}$ = emisiones de CH₄ a ser declaradas en el Sector IPPU, kg.

SI = cantidad de sinterizado producido nacionalmente, toneladas

PI = cantidad de hierro producido nacionalmente, incluido el hierro convertido en acero y no convertido en acero, toneladas

DRI = cantidad de hierro reducido directo producido nacionalmente, toneladas

EF_x = factor de emisión, kg. de CH₄/tonelada de x producido

En el método de Nivel 3 se utilizan datos sobre las emisiones específicas de la planta. Si se dispone de datos sobre emisiones de CH₄ medidas efectivamente para la producción de coque, pueden agregarse para dar cuenta de las emisiones nacionales de CH₄. El total de las emisiones nacionales corresponde a la suma de las emisiones declaradas por cada instalación.

4.2.2.3 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

MÉTODO DE NIVEL 1

Factores de emisión para el dióxido de carbono

En el Cuadro 4.1 se proporcionan factores de emisión por defecto para la producción de coque, sinterizado, pellets, hierro y acero. Los factores de emisión para los tres métodos de fabricación de acero están basados en un dictamen de expertos inspirado en las prácticas típicas para las diferentes posibilidades de producción de acero enumeradas. Los factores de emisión por defecto dan cuenta de todas las entradas de carbono al alto horno. Se supone, basándose en el Documento de referencia relacionado con la producción de hierro y acero de la Oficina europea de Prevención y control integrado de la contaminación (European IPPC Bureau, 2001) (designado en esta sección como «Documento IPPC I&S BAT») que la mayor parte de la entrada de carbono al alto horno proviene del coque (60-90 por ciento).

El factor de emisión por defecto para el CO₂ proveniente de la producción de coque se ha derivado promediando los datos específicos de planta sobre emisiones de CO₂ declarados en el Documento IPPC I&S BAT para 11 plantas europeas de producción de coque. En el Documento IPPC I&S BAT, Cuadro 6.2, las emisiones de CO₂ están declaradas en unidades de kilogramos de CO₂ por tonelada de acero líquido producido. Las emisiones de CO₂ varían en un intervalo de 175 a 200 kg. de CO₂ por tonelada de acero líquido. Los factores de conversión proporcionados en el Cuadro 6.2 del Documento del IPPC son de 940 kg. de arrabio por tonelada de acero líquido y de 358 kg. de coque por tonelada de arrabio. Basándose en estos factores de conversión, el promedio de las emisiones de CO₂ de las 11 plantas europeas de coque, es de 0,56 toneladas de CO₂ por tonelada de coque producido.

El factor de emisión para el CO₂ proveniente de las plantas de sinterizado se ha derivado promediando los datos específicos de planta sobre emisiones de CO₂ declarados en el Documento IPPC I&S BAT para cuatro plantas europeas de sinterizado. En el Documento IPPC I&S BAT, Cuadro 4,1, las emisiones de CO₂ están declaradas en unidades de kilogramos de CO₂ por tonelada de acero líquido producido. Las emisiones de CO₂ varían en un

intervalo de 205 a 240 kg. de CO₂ por tonelada de acero líquido. Los factores de conversión proporcionados en el Cuadro 4.1 del Documento IPPC I&S BAT son de 940 kg. de arrabio por tonelada de acero líquido y de 1160 kg. de sinterizado por tonelada de arrabio. Basándose en estos factores de conversión, el promedio de las emisiones de CO₂ de las cuatro plantas europeas de sinterizado es de 0,2 kg. de CO₂ por kilogramo de sinterizado producido.

El factor de emisión para el CO₂ proveniente de la fabricación de hierro en alto horno se ha derivado promediando los datos específicos de planta sobre las emisiones de CO₂ declarados en el Documento IPPC I&S BAT para las plantas europeas de producción de sinterizado. En los Cuadros 7.2 y 7.3 del Documento IPPC I&S BAT, los contenidos de CO₂ y de CO del gas de alto horno producido por el proceso de fabricación del hierro, están declarados en unidades de kilogramos de CO₂ por tonelada de arrabio producido y de kilogramos de CO por tonelada de arrabio producido. El contenido de CO₂ varía en un intervalo de 400 a 900 kg. de CO₂ por tonelada de arrabio producido y el contenido de CO varía en un intervalo de 300 a 700 kg. de CO por tonelada de arrabio producido. Basándose en la hipótesis de que todo el gas de alto horno se quema para recuperar energía (y produce CO₂) dentro de la forja integrada de hierro y acero, y de que no se transfiere gas de alto horno fuera de la instalación, se obtiene un factor de emisión de 1,35 kg. de CO₂ por kilogramo de arrabio producido.

CUADRO 4.1		
FACTORES POR DEFECTO DE EMISIÓN DE CO₂ DE NIVEL 1 PARA LA PRODUCCIÓN DE COQUE Y DE HIERRO Y ACERO		
Proceso	Factor de emisión	Fuente
Producción de sinterizado (tonelada de CO ₂ por tonelada de sinterizado producido)	0,20	Producción de sinterizado: European IPPC Bureau (2001), Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Best Available Techniques Reference Document on the Production of Iron and Steel, diciembre de 2001, Cuadro 4.1, Página 29. http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm
Horno de coque (tonelada de CO ₂ por tonelada de coque producido)	0,56	Producción de coque: European IPPC Bureau (2001), Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Best Available Techniques Reference Document on the Production of Iron and Steel, diciembre de 2001, Cuadro 6.2, Página 122. http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm
Producción de hierro (tonelada de CO ₂ por tonelada de arrabio producido)	1,35	Producción de hierro: European IPPC Bureau (2001), Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Best Available Techniques Reference Document on the Production of Iron and Steel, diciembre de 2001, Cuadro 7.2, Página 7.3. http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm
Producción de hierro reducido directo (tonelada de CO ₂ por tonelada de DRI producido)	0,70	Producción de hierro reducido directo: European IPPC Bureau (2001), Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Best Available Techniques Reference Document on the Production of Iron and Steel, diciembre de 2001, Cuadro 10.1, Página 322 y Cuadro 10.4, Página 331. http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm
Producción de pelets (tonelada de CO ₂ por tonelada de pelets producido)	0,03	Producción de pelets: European IPPC Bureau (2001), Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Best Available Techniques Reference Document on the Production of Iron and Steel, diciembre de 2001, Cuadro 5.1, Página 95. http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm

CUADRO 4.1		
FACTORES POR DEFECTO DE EMISIÓN DE CO₂ DE NIVEL 1 PARA LA PRODUCCIÓN DE COQUE Y DE HIERRO Y ACERO		
Método de fabricación de acero		
Horno básico de oxígeno (BOF) (tonelada de CO ₂ por tonelada de acero producido)	1,46	Producción de acero: Consenso de expertos y IISI Environmental Performance Indicators 2003 STEEL (International Iron and Steel Institute, 2004)
Horno de arco eléctrico (EAF) (tonelada de CO ₂ por tonelada de acero producido) **	0,08	Producción de acero: Consenso de expertos y IISI Environmental Performance Indicators 2003 STEEL (International Iron and Steel Institute, 2004)
Horno de solera (OHF) (tonelada de CO ₂ por tonelada de acero producido)	1,72	Producción de acero: Consenso de expertos y IISI Environmental Performance Indicators 2003 STEEL (International Iron and Steel Institute, 2004)
Factor promedio global (65% BOF, 30% EAF, 5% OHF) (tonelada de CO ₂ por tonelada de acero producido)	1,06	Producción de acero: Consenso de expertos y IISI Environmental Performance Indicators 2003 STEEL (International Iron and Steel Institute, 2004)
Factor basado en datos internacionales de 2003, en los que los BOF daban cuenta de aproximadamente un 63 por ciento de la producción de acero al nivel mundial y los EAF de un 33 por ciento; los AHF daban cuenta del 4 por ciento restante, pero en la actualidad éste está disminuyendo.		
** El factor de emisión para la fabricación de acero en EAF no incluye las emisiones de la producción de hierro. Los factores de emisión para la fabricación de acero en BOF y OHF sí incluyen las emisiones de la producción de hierro en altos hornos.		
Nótese que en este cuadro, el factor de emisión de CO ₂ para la fabricación de acero en EAF se basa en la producción de acero a partir de chatarra metálica y, por lo tanto, el factor de emisión EAF no da cuenta de ninguna emisión de CO ₂ proveniente de la fabricación de hierro en alto horno. Por esto, el factor de emisión de CO ₂ de Nivel 1 para los EAF indicado aquí, no es aplicable a los EAF que usan arrabio como materia prima.		

El factor de emisión para la producción de pelets está basado en el Documento IPPC I&S BAT, el cual proporciona un intervalo para el factor de emisión que va de 15,6 a 31,8 kg. de CO₂ por tonelada de producto. Sin embargo, el factor de emisión de CO₂ para un proceso específico depende de las características de las materias primas y de los combustibles utilizados en el proceso. El factor de emisión podrá variar según el combustible primario que se utilice, ya sea carbón, gas natural o gas de horno de coque. El factor de emisión «por defecto» propuesto se sitúa en el extremo superior del intervalo, o sea, 30 kg. de CO₂ por tonelada de producto, y debe emplearse si el compilador del inventario desconoce todo acerca de los combustibles o materias primas que se han utilizado. Si el compilador del inventario sabe cuáles son las entradas utilizadas, las emisiones de CO₂ deben calcularse mediante el método de Nivel 2, dando cuenta del consumo de combustible, del poder calórico y del contenido de carbono del combustible.

Para los efectos de los cálculos de emisiones de Nivel 1, se supone que el combustible por defecto para la producción de hierro reducido directo es el gas natural. Los procesos basados en el gas natural dan cuenta de la mayor parte de la capacidad instalada para la producción de hierro reducido directo (DRI) a escala mundial, y un 63 por ciento de esta capacidad corresponde al proceso MIDREX. El consumo de combustible para la producción de hierro reducido directo mediante el proceso MIDREX es típicamente de 10,5 a 14,5 GJ de gas natural/tonelada métrica de DRI sólido, suponiendo una operación al 100 por ciento de mineral de hierro en bruto. Se ha declarado que el consumo de combustible para la producción de hierro briquetado en caliente a partir de finos de hierro es de 12,5 GJ de gas natural por tonelada de producto mediante el proceso FINMET y de 14 GJ de gas natural por tonelada de producto mediante el proceso CIRCORED. El consumo de energía por defecto de 12,5 GJ de gas natural por tonelada de DRI producido y el contenido de carbono por defecto del gas natural de 15,3 kg. de carbono por GJ de gas natural corresponden a un factor de emisión de CO₂ de 191,3 kg. de carbono por tonelada de DRI producido (0,7 toneladas de CO₂ por tonelada de DRI producido).

Factores de emisión para el metano

En el siguiente Cuadro 4.2 se proporcionan factores de emisión de CH₄ por defecto. El factor de emisión por defecto para el CH₄ de Nivel 1 proveniente de la producción de coque se ha derivado promediando los datos específicos de planta sobre emisiones de CH₄ declarados en el Documento IPPC I&S BAT para 11 plantas europeas de producción de coque. En el Documento IPPC I&S BAT, Cuadro 6.2 y Cuadro 6.3, las emisiones de CH₄ están declaradas en unidades de gramos de CH₄ por tonelada de acero líquido producido. Las emisiones de CH₄ declaradas varían en un intervalo de 27 a 32 gramos de CH₄ por tonelada de acero líquido. Basándose en estos factores de conversión, el promedio de las emisiones de CH₄ de las 11 plantas europeas de coque, es de 0,1 gramos de CH₄ por tonelada de coque producido.

El factor de emisión de CH₄ de Nivel 1 para la producción de sinterizado se ha derivado promediando los datos sobre emisiones de CH₄ específicos de planta declarados en la Guía de inventario de emisiones de *EMEP/CORINAIR* (EEA, 2005) para las plantas europeas de sinterizado y en otros informes de inventarios sobre emisiones. Las emisiones de CH₄ para las plantas de sinterizado y peletización están declaradas en el Cuadro 8.2a de la guía de inventario de emisiones de *EMEP/CORINAIR*. Para las plantas de sinterizado que usan cisco de coque, se ha declarado un factor de emisión de 50 mg de CH₄ por MJ y un intervalo de valores de entrada de coque que va de 38 a 55 kg. de coque por tonelada de sinterizado. Esto corresponde a un factor de emisión promedio de 0,07 kg. de CH₄ por tonelada de sinterizado, al usar un valor por defecto de 28,2 TJ/Gg de coque. Se ha declarado un factor de emisión de 0,05 kg. de CH₄ por tonelada de sinterizado para plantas de sinterizado que operan en Finlandia. (Pipatti, 2001)

CUADRO 4.2		
FACTORES POR DEFECTO DE EMISIÓN DE CH₄ DE NIVEL 1 PARA LA PRODUCCIÓN DE COQUE Y DE HIERRO Y ACERO		
Proceso	Factor de emisión	Fuente
Producción de coque	0,1 g por tonelada de coque producido	Producción de coque: European IPPC Bureau (2001), Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) <i>Best Available Techniques Reference Document on the Production of Iron and Steel</i> , diciembre de 2001, Cuadro 6.2-3, Página 122. http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm
Producción de sinterizado	0,07 kg. por tonelada de sinterizado producido	<i>EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook (EEA, 2005)</i> . Procesos con contacto: <i>Plantas de sinterizado y peletización: Sinter and Pelletizing Plants (Except Combustion 030301)</i> , Cuadro 8.2a, <i>Emission factors for gaseous compounds</i>
Producción de DRI	1 kg. /TJ (sobre una base calórica neta)	Factor de emisión por defecto del Volumen Energía para las Emisiones de CH ₄ de la combustión de gas natural. [Véase Cuadro 2.3 del Volumen 2, Capítulo 2.]

MÉTODO DE NIVEL 2

Debe utilizarse el contenido de carbono por defecto del Cuadro 4.3 si el compilador del inventario no posee información sobre las condiciones en las instalaciones de fabricación de hierro y acero y de producción de coque, pero posee datos detallados de la actividad sobre los materiales de proceso y sobre las transferencias fuera de la instalación. El método de Nivel 2, tal como está descrito en la Ecuación 4.2 para la producción integrada de coque, en las Ecuaciones 4.9 a 4.11 para la producción de hierro y acero y en la Ecuación 4.3 para la producción no integrada de coque, incluye los principales flujos de materiales de la fabricación de hierro y acero y de la producción de coque que dan lugar a emisiones. Los contenidos de carbono del Cuadro 4.3 se basan en los valores provistos en los Cuadros 1.2 y 1.3 del Volumen 2, Capítulo 1.

CUADRO 4.3	
CONTENIDO DE CARBONO ESPECÍFICO DE LOS MATERIALES PARA EL NIVEL 2 EN LA PRODUCCIÓN DE HIERRO Y ACERO Y DE COQUE (KG. DE C/KG.)	
Materiales de proceso	Contenido de carbono
Gas de alto horno	0,17
Carbón vegetal*	0,91
Carbón ¹	0,67
Alquitrán de hulla	0,62
Coque	0,83
Gas de horno de coque	0,47
Carbón coquizable	0,73
Hierro reducido directo (DRI)	0,02
Dolomita	0,13
Electrodos de carbono para EAF ²	0,82
Carbono de carga en el EAF ³	0,83
Fuelóleo ⁴	0,86

CUADRO 4.3
CONTENIDO DE CARBONO ESPECÍFICO DE LOS MATERIALES PARA EL NIVEL 2
EN LA PRODUCCIÓN DE HIERRO Y ACERO Y DE COQUE (KG. DE C/KG.)

Coque para gas	0,83
Hierro briquetado en caliente	0,02
Piedra caliza	0,12
Gas natural	0,73
Gas de horno de oxígeno para aceros	0,35
Coque de petróleo	0,87
Arrabio comprado	0,04
Chatarra de hierro	0,04
Acero	0,01

Fuente: Los valores por defecto son coherentes con los que se presentan en el Volumen 2 y han sido calculados según hipótesis indicadas más abajo. En los Cuadros 1.2 y 1.3 del Volumen 2, Capítulo 1, se dan referencias completas para los datos sobre contenido de carbono.

Notas:

¹ Otro carbón bituminoso supuesto

² Supuesto 80 por ciento de coque de petróleo y 20 por ciento de alquitrán de hulla

³ Supuesto coque de horno de coque

⁴ Supuesto gasóleo/combustible diésel

* La cantidad de emisiones de CO₂ a partir del carbón vegetal puede calcularse usando este valor de contenido de carbono, pero debe declararse como nula en los inventarios nacionales sobre gases de efecto invernadero. (Véase la Sección 1.2 del Volumen 1.)

MÉTODOS DE NIVEL 3

El método de Nivel 3 se basa en estimaciones agregadas de emisiones específicas de planta o en la aplicación de las ecuaciones del método de Nivel 2 al nivel específico de la planta. El compilador del inventario debe garantizar que cada instalación haya documentado los factores de emisión y los contenidos de carbono utilizados y que estos factores de emisión correspondan a los procesos y a los materiales utilizados en la instalación. Para el método de Nivel 3 se requieren los contenidos de carbono y los cuocientes de masa producción/consumo para todos los materiales de proceso y las transferencias fuera de la instalación, tales como las que se enumeran en el Cuadro 4.3. Aún cuando en el Cuadro 4.3 se proporcionan contenidos de carbono por defecto, para el Nivel 3 es una *buena práctica* ajustar estos valores para que reflejen las variaciones al nivel de la planta respecto de los valores por defecto representados en el cuadro. Los factores por defecto enumerados en el Cuadro 4.3 son apropiados para el método de Nivel 3 sólo si la información específica de la planta indica que corresponden a las condiciones reales. Se anticipa que para el método de Nivel 3, los datos específicos de la planta incluyen tanto los datos sobre los contenidos de carbono como los datos sobre los cuocientes de masa producción/consumo y que, en consecuencia, en la mayoría de los casos los valores por defecto del Cuadro 4.3 no serán aplicados al método de Nivel 3.

4.2.2.4 ELECCIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

MÉTODO DE NIVEL 1

Para el método de Nivel 1 se requiere sólo la cantidad de acero producido por tipo de proceso en el país, la cantidad total de arrabio producido que no se convierte en acero y la cantidad total de coque, de hierro reducido directo, de pelets y de sinterizado producidos; en este caso, se supone que la cantidad total de coque se produce en instalaciones integradas de producción de coque. Estos datos pueden obtenerse de los organismos gubernamentales responsables de las estadísticas sobre fabricación, de las asociaciones comerciales e industriales o de las compañías de hierro y acero individuales. Si en un país sólo se dispone de datos agregados, debe usarse un factor de ponderación. La producción total de acero crudo se define como la salida total de lingotes utilizables, de productos semi acabados de moldeo en continuo y de acero líquido para moldeos.

MÉTODO DE NIVEL 2

Para el método de Nivel 2 se requiere la cantidad total de hierro y acero, de gas de horno de coque, de gas de alto horno y de materiales de proceso, tales como la piedra caliza, utilizados en el país para la producción de hierro y acero, de hierro reducido directo y de sinterizado, además de la cantidad total de la producción de coque in situ y fuera del sitio. Estos datos pueden obtenerse de los organismos gubernamentales responsables de las estadísticas

sobre fabricación o energía, de las asociaciones comerciales e industriales o de las compañías de hierro y acero individuales. Estas cantidades pueden multiplicarse entonces por el contenido de carbono por defecto apropiado, tomado del Cuadro 4.3, y sumarse para determinar el total de emisiones de CO₂ del sector. Sin embargo, se prefiere recolectar datos de la actividad al nivel de las plantas (Nivel 3). Si ésta no constituye una *categoría principal* y si no se dispone de datos sobre el total de agentes reductores y de materiales de proceso para todas las industrias, las emisiones pueden estimarse mediante el método de Nivel 1.

MÉTODO DE NIVEL 3

Para el método de Nivel 3 se requiere recopilar, compilar y agregar los datos específicos de las instalaciones sobre emisiones medidas y sobre los cocientes de masa producción/consumo y el contenido de carbono de los materiales de proceso. El método de Nivel 3 puede basarse en un método de equilibrio de masas específico de la planta (para las emisiones de CO₂) o en datos específicos de la planta obtenidos por monitoreo continuo y directo de las emisiones (tanto para las emisiones de CO₂ como para las de CH₄). El método de Nivel 3 puede requerir también de datos de la actividad recolectados al nivel de las plantas y agregados para los sectores. Los datos específicos de planta deben agregarse preferentemente a partir de datos suministrados por las compañías individuales de producción de hierro y acero y de coque. De esta manera, las cantidades de materiales de proceso se determinan más exactamente. Estos datos pueden obtenerse de los organismos gubernamentales responsables de las estadísticas sobre fabricación o energía, o bien, de las asociaciones comerciales e industriales. Las cantidades apropiadas pueden multiplicarse entonces por los datos sobre contenido de carbono específicos de la instalación y sumarse para determinar el total de emisiones de CO₂ de los sectores; así, el total de las emisiones será más exacto que el obtenido mediante el método de Nivel 2. Este método permite también alcanzar una mayor exactitud al facilitar que las compañías individuales aporten datos específicos de planta más exactos y/o utilicen contenidos de carbono más pertinentes que pueden diferir de los factores por defecto empleados en el método de Nivel 2.

4.2.2.5 EXHAUSTIVIDAD

RELACIÓN CON EL SECTOR ENERGÍA

Al estimar las emisiones de esta categoría de fuente: producción de coque (Energía) y producción de hierro y acero (IPPU), existe un riesgo de cómputo doble o de omisión tanto en los Procesos industriales como en el Sector Energía. Puesto que la utilización primaria de las fuentes de carbono (donde predomina el coque, pero abarca también al carbón, el petróleo, el gas natural, la piedra caliza, etc.) corresponde a la producción de arrabio, las emisiones de CO₂ y CH₄ provenientes de la producción de hierro y acero, incluida la producción de sinterizado, se consideran emisiones de procesos industriales y deben declararse como tales. Las emisiones de CO₂ y CH₄ provenientes de la producción de coque (tanto el consumo de combustible como las pérdidas de conversión) se clasifican como producción de energía y deben declararse como tales. Sin embargo, en el caso de la producción integrada de hierro y acero con producción local de coque, puede haber flujos de productos derivados (p. ej., gas de horno de coque, gas de alto horno, productos derivados de horno de coque) entre la planta de producción de coque y la instalación de producción de hierro y acero, lo cual crea problemas de eventuales cómputos dobles. El carbono consumido en forma de gas de horno de coque en una planta de fabricación de hierro y acero y las emisiones de CO₂ y CH₄ resultantes deben categorizarse como emisiones IPPU y declararse como tales. El carbono consumido en forma de gas de alto horno en una planta local de producción de coque y las emisiones de CO₂ y CH₄ resultantes deben categorizarse como emisiones de Energía y declararse como tales. La identificación de estos flujos de carbono requiere un buen conocimiento del inventario en esa categoría de fuente.

Debido a la función dominante del coque, es importante considerar la existencia de la fabricación de coque en una instalación y definir los límites de un balance de carbono en una instalación de fabricación de hierro y acero, para cerciorarse de que las emisiones de CO₂ no sean contabilizadas por partida doble. Las emisiones de CO₂ y CH₄ asociadas con la fabricación de coque in situ y fuera del sitio deben declararse en el Sector Energía (véase el Volumen 2).

OTRAS FORMAS DE CARBONO

Aunque la manera dominante de producir hierro crudo o arrabio es mediante el uso del coque en un alto horno, se pueden emplear también otras formas de carbono (p. ej., carbón pulverizado, derivados del carbón, plásticos o neumáticos reciclados, gas natural o fuelóleo) para sustituir una fracción del coque en el alto horno. En estos casos, estos materiales deben contabilizarse como fuentes de carbono de proceso, al igual que el coque, y deben tomarse precauciones para restar estos materiales de cualquier estadística sobre energía que los incluya. El hierro puede producirse también en otros tipos de reactores de fabricación de hierro, aparte de los altos hornos, que utilizan a menudo gas natural o carbón en vez de coque; estas fuentes de carbono deben contabilizarse de la misma manera que el coque, pues sirven para los mismos propósitos.

En la mayoría de los altos hornos, el proceso de fabricación de hierro es asistido mediante el uso de flujos de carbonatos (piedra caliza o dolomita). Debido a que estos materiales son necesarios al proceso en tanto que materias primas, deben contabilizarse como parte del inventario sobre la fabricación de hierro y acero. Pero, se insiste otra vez, deben tomarse precauciones para no contabilizar por partida doble las emisiones asociadas con el uso de la piedra caliza y la dolomita, si éstas están contabilizadas por separado en el sector de los minerales. (Véase en este volumen, la Sección 2.5, Otros usos de los carbonatos en los procesos.)

SINTERIZADO

Algunas instalaciones integradas emplean también las plantas de sinterizado para convertir finos que contienen hierro en aglomerados (o sinterizados) para utilizarlos como materia prima en el alto horno. Típicamente, los finos de coque (o cisco de coque) se usan como combustible en el proceso de sinterización y constituyen fuentes de emisiones de CO₂ y CH₄. Si los finos de coque se producen en una planta de coque dentro de la instalación y las emisiones de CO₂ y CH₄ son contabilizadas en el carbón que ingresa en la planta, o bien, si el cisco de coque se contabiliza en cambio como coque comprado, las emisiones de CO₂ y CH₄ provenientes del coque utilizado en la sinterización no deben contabilizarse por partida doble. Las emisiones de la producción de sinterizado se categorizan como emisiones IPPU y deben declararse como tales.

GASES DE ESCAPE

Es importante no contabilizar por partida doble el uso de los gases de productos derivados de los altos hornos —tales como el gas de alto horno o las descargas gaseosas recuperadas de los BOF— ni como energía en el sector energía, ni en calidad de fuentes de CO₂, si han sido ya contabilizados como emisiones de procesos. Las emisiones de los procesos deben incluir todas las entradas de carbono al alto horno que se utilizan como agentes reductores primarios. En la situación de una típica planta totalmente integrada de coque y de hierro y acero, podrán necesitarse ajustes en los productos derivados del horno de coque y en el contenido de carbono del acero despachado para la venta, lo cual deberá mencionarse claramente en la descripción de las fuentes. En algunos casos, puede ser también necesario realizar ajustes para el gas de alto horno o para el hierro que pueda venderse o transferirse fuera de la planta. El flujo del proceso para los gases de escape se ilustra claramente en las Figuras 4.1 a 4.5.

CONSUMO DE ELECTRODOS

El consumo de electrodos para los hornos EAF alcanza los 3,5 kg./tonelada. Sin embargo, según las características de los materiales cargados, a los EAF se les puede añadir algo de carbono (típicamente, cerca de 20 kg./tonelada) para fines de control del proceso, o bien, éste puede estar contenido en los mismos materiales cargados en forma de sustitutos del hierro, una tendencia cada vez más frecuente. En estos casos, las emisiones de CO₂ y CH₄ de estos materiales con carbono adicional deben considerarse como relacionadas con el proceso y deben contabilizarse en el inventario, pues no es muy probable que su contenido de carbono haya sido contabilizado en algún otro lugar del inventario. Además, si se usa gas natural como agente reductor para optimizar las reacciones en un EAF, éste debe contabilizarse como fuente de carbono, puesto que todos los materiales de proceso utilizados en la fabricación de hierro y acero se declaran como emisiones del sector IPPU.

Una parte de la producción de aceros especiales se realiza en hornos eléctricos de inducción, en cuyo caso la carga es 100 por ciento chatarra de acero y no hay electrodos de carbono. En este proceso de fabricación de acero no hay emisiones apreciables de CO₂ ni de CH₄.

PROCESO OHF

Aunque los OHF ya no son de uso común, en algunos países puede ser necesario inventariar las emisiones de CO₂ y CH₄ provenientes de este tipo de proceso de fabricación de acero. Un horno de solera o de reverbero se carga típicamente, tanto con hierro fundido como con chatarra, como en el caso del BOF, y el oxígeno se inyecta en el horno; pero la reducción del carbono contenido en el hierro y en la fundición de la carga se obtiene también mediante la inyección de combustibles fósiles (p. ej., gas natural, fuelóleo, carbón o alquitrán) por encima de la superficie del baño de materias primas. El carbono del hierro puede ignorarse, como en el caso del BOF, pues ya se ha contabilizado como fuente de carbono para la fabricación de hierro. Con todo, el carbono de los combustibles utilizados en el horno de solera debe contabilizarse como emisión del sector IPPU.

4.2.2.6 DESARROLLO DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Las emisiones de la producción de coque, la producción de sinterizado y la producción de hierro y acero deben calcularse mediante el mismo método para cada año de la serie temporal. Allí donde no se disponga de datos para sostener un método más riguroso aplicable a todos los años de la serie temporal, deben recalcularse los vacíos según la orientación del Volumen 1, Capítulo 5, Coherencia de la serie temporal y repetición de los cálculos.

4.2.3 Evaluación de incertidumbre

Los factores de emisión por defecto para la producción de coque y de hierro y acero utilizados en el Nivel 1 pueden tener una incertidumbre de ± 25 por ciento. Se estima que los contenidos de carbono específicos de los materiales para el Nivel 2 poseen una incertidumbre del 10 por ciento. Cuando se dispone de datos sobre el contenido de carbono específico de la planta y sobre el cociente de masa, el error esperado en los factores de emisión de Nivel 3 es de un 5 por ciento. En el Cuadro 4.4 se presenta un panorama general sobre las incertidumbres asociadas a los factores de emisión, a los contenidos de carbono y a los datos de la actividad.

CUADRO 4.4 INTERVALOS DE INCERTIDUMBRE		
Método	Fuente de los datos	Intervalo de incertidumbre
Nivel 1	Factores de emisión por defecto	$\pm 25\%$
	Datos nacionales de producción	$\pm 10\%$
Nivel 2	Contenidos de carbono específicos de los materiales, por defecto	$\pm 10\%$
	Datos nacionales sobre agentes reductores y materiales de proceso	$\pm 10\%$
Nivel 3	Derivado por la compañía = datos sobre materiales de proceso	$\pm 5\%$
	Datos sobre las mediciones de CO ₂ y CH ₄ específicos de la compañía	$\pm 5\%$
	Factores de emisión específicos de la compañía	$\pm 5\%$

Para el Nivel 1, el tipo de datos de la actividad más importante es la cantidad de acero producido mediante cada método. Las estadísticas nacionales deberían estar disponibles y tener una incertidumbre probable de ± 10 por ciento. Para el Nivel 2, la cantidad total de agentes reductores y de materiales de proceso utilizados en la producción de hierro y acero debería tener un error probable del 10 por ciento. En el Nivel 3 se requiere de información específica de la planta sobre las cantidades de agentes reductores y de materiales de procesos (alrededor de un 5 por ciento de incertidumbre). Por igual, en los datos sobre emisiones reales para el Nivel 3 la incertidumbre esperada es de ± 5 por ciento. La incertidumbre del Nivel 3 puede derivarse de una manera más exacta basándose en el análisis de los datos efectivamente recibidos.

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

4.2.4.1 GARANTÍA DE CALIDAD / CONTROL DE CALIDAD (GC/CC)

Es una *buena práctica* efectuar verificaciones de control de calidad como se indica en el Volumen 1, Capítulo 6, así como una revisión de expertos de las estimaciones de emisiones. También pueden ser aplicables verificaciones adicionales de control de calidad, como las esbozadas en el Volumen 1, Capítulo 6 y procedimientos de garantía de calidad, en particular si al determinar las emisiones de esta categoría de fuente se utilizan métodos de nivel superior. Se alienta a los compiladores del inventario a utilizar un método de GC/CC de nivel superior para las *categorías principales* identificadas en el Volumen 1, Capítulo 4.

Además de la orientación del Volumen 1, se bosquejan a continuación los procedimientos específicos pertinentes para esta categoría de fuente.

Revisión de los factores de emisión y de los contenidos de carbono

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

Verificación de los datos de actividad específicos de la planta

Para los datos específicos de la planta, los compiladores del inventario deben revisar las incoherencias entre plantas para establecer si éstas reflejan la presencia de errores, de técnicas de medición diferentes, o bien resultan de diferencias reales en las emisiones, en las condiciones de funcionamiento o en las tecnologías.

Los compiladores deben garantizar que los factores de emisión y los datos de la actividad se determinen de acuerdo con los métodos de medición internacionalmente reconocidos y probados. Si las prácticas de medición no cumplen con este criterio, entonces la utilización de estas emisiones o datos de la actividad debe evaluarse cuidadosamente, deben reconsiderarse las estimaciones de incertidumbre y documentarse las calificaciones. Es también posible que en los sitios donde están en vigor altos estándares de mediciones y de GC/CC, la incertidumbre en la estimación de emisiones sea revisada a la baja.

Revisión de expertos

En un proceso de revisión, los compiladores del inventario deben incluir las principales organizaciones industriales y comerciales relacionadas con la producción del hierro y del acero. Este proceso debe comenzar durante la etapa inicial del desarrollo del inventario, de modo que contribuya al desarrollo y la revisión de los métodos y a la adquisición de los datos.

Para esta categoría de fuente puede ser útil recurrir también a revisores independientes, particularmente en relación con la recopilación inicial de datos, el trabajo de medición, la transcripción, los cálculos y la documentación.

Verificación de los datos de la actividad

Para todos los niveles, los compiladores del inventario deben realizar verificaciones apoyándose en el Volumen 2, Capítulo 2 (Combustión estacionaria del Sector Energía), para garantizar que las emisiones provenientes de los agentes reductores y de los materiales de proceso (carbón, coque, gas natural, etc.) no sean contabilizadas por partida doble ni omitidas.

Los compiladores deben examinar toda incoherencia entre los datos de diferentes plantas para establecer si éstas reflejan la presencia de errores, de técnicas de medición diferentes, o bien resultan de diferencias reales en las emisiones, en las condiciones de funcionamiento o en las tecnologías. Es particularmente pertinente para las estimaciones específicas de plantas sobre las cantidades de agentes reductores o sobre los contenidos de carbono declarados para los materiales de proceso.

Allí donde se disponga de datos comerciales sobre el consumo de materiales de proceso, los compiladores deben comparar la agregación de las estimaciones agregadas al nivel de plantas con los totales de la industria.

4.2.4.2 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, como se indica en el Volumen 1, Sección 6.11. No resulta práctico incluir toda la documentación en el informe sobre el inventario nacional. Sin embargo, el inventario debe incluir resúmenes de los métodos utilizados y referencias a las fuentes de datos, de modo que las estimaciones de emisiones declaradas resulten transparentes y que las etapas de su cálculo puedan ser reproducidas.

MÉTODO DE NIVEL 1

Además de declarar las emisiones estimadas, es una *buena práctica* declarar el total de la producción de acero por proceso y los factores de emisión correspondientes, así como declarar la cantidad de hierro producido que no se convierte en acero. Nótese que en el cuadro correspondiente, las emisiones declaradas son sólo una parte del total de emisiones del sector y que las emisiones de la producción de coque están categorizadas como emisiones de energía y declaradas en el Volumen 2, Capítulo 2, Combustión estacionaria del Sector Energía.

MÉTODOS DE NIVEL 2

Es una *buena práctica* documentar las emisiones estimadas o calculadas, todos los datos de la actividad con sus correspondientes factores de emisión, así como cualquier hipótesis o dato que justifique el uso de factores de emisión alternativos. Para las emisiones de la producción integrada de coque, debe darse una explicación clara sobre la vinculación con las estimaciones de la categoría de fuente 1A (Quema de combustibles), con el fin de demostrar que no se ha incurrido en el cómputo doble ni en omisiones.

MÉTODO DE NIVEL 3

Es una *buena práctica* documentar las emisiones calculadas y la fuente de todos los datos, tomando en cuenta la necesidad de proteger la confidencialidad de los datos para determinadas plantas si los datos son comercialmente sensibles o de una naturaleza relacionada con la propiedad industrial. Además, para todos los niveles, los

compiladores del inventario deben documentar toda la información necesaria para reproducir las estimaciones, así como los procedimientos de GC/CC.

4.3 PRODUCCIÓN DE FERROALEACIONES

4.3.1 Introducción

Ferroaleación es el término utilizado para describir las aleaciones concentradas de hierro con uno o más metales, tales como silicio, manganeso, cromo, molibdeno, vanadio y tungsteno. La producción de silicio metálico se incluye generalmente en el grupo de las ferroaleaciones pues el proceso de producción es bastante similar al proceso del ferrosilicio. Se utilizan estas aleaciones para desoxidar y modificar las propiedades materiales del acero. Las plantas de ferroaleaciones fabrican compuestos concentrados que se suministran a las plantas de producción de acero para incorporarlos a las aleaciones de acero. El silicio metálico se utiliza en las aleaciones de aluminio, para producir siliconas y en la electrónica. La producción de ferroaleaciones emplea un proceso de reducción metalúrgica que genera emisiones significativas de dióxido de carbono.

En la producción de ferroaleaciones, para obtener la reducción y la fundición, se mezclan y calientan a altas temperaturas el mineral bruto, los materiales con carbono y los materiales que producen escorias. Los agentes reductores carbonáceos son, por lo general, el carbón y el coque, pero el carbono biológico (carbón vegetal y madera) son utilizados también comúnmente como fuentes de carbono primarias o secundarias. Las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) y metano (CH_4) de la producción de coque se estiman en la Sección 4.2 y se declaran dentro del Sector Energía. Se emplean hornos de arco eléctrico sumergido con electrodos de grafito o electrodos Söderberg consumibles. El calor es producido por los arcos eléctricos y por la resistencia de los materiales de carga. Los hornos pueden ser abiertos, semi cubiertos o cubiertos. Una tecnología empleada comúnmente es la del horno abierto de arco eléctrico sumergido (EAF). En el EAF, realiza el calentamiento la corriente que pasa a través de los electrodos de grafito suspendidos de una armazón de acero en forma de cúpula con revestimientos refractarios alineados. La reducción de los óxidos metálicos por el carbono ocurre cuando se consumen el coque y los electrodos de grafito. El carbono de los electrodos captura el oxígeno de los óxidos metálicos para formar CO, al tiempo que los minerales se reducen en metales básicos fundidos. Los componentes metálicos se combinan entonces en la solución.

Además de las emisiones que se originan en los agentes reductores y en los electrodos, la calcinación de los flujos de carbonatos tales como la piedra caliza o la dolomita, si es el caso, también contribuye a la emisión de gases de efecto invernadero.

Las emisiones primarias en los hornos de arco cubiertos consisten casi completamente en CO, por oposición al CO_2 , debido a la intensidad del medio reductor. Este CO se emplea para producir energía en calderas, o bien se quema en antorcha. Se supone que la energía producida se utiliza internamente en la planta y que el contenido de carbono del CO se convierte ulteriormente en CO_2 dentro de la planta.

El gas CO producido en los hornos abiertos o semi cubiertos se quema en CO_2 por encima del nivel de la carga. Se supone que todo el CO que se emite hacia la atmósfera se convierte en CO_2 algunos días más tarde. Aunque el CO_2 es el principal gas de efecto invernadero generado por la producción de ferroaleaciones, investigaciones recientes han mostrado que el CH_4 y el N_2O dan cuenta de una emisión de efecto invernadero equivalente a hasta un 5 por ciento de las emisiones de CO_2 originadas en la producción de ferrosilicio (FeSi) y de silicio metálico (metal-Si). En esta sección se presentan metodologías para estimar las emisiones de CO_2 y CH_4 . Deben investigarse estas emisiones mejor para la producción de ferroaleaciones y deben efectuarse más mediciones de estas emisiones para la producción de FeSi y de metal-Si.

4.3.2 Cuestiones metodológicas

4.3.2.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO

METODOLOGÍA PARA EL CO_2

En las *Directrices del IPCC* se bosquejan varios métodos para calcular las emisiones de CO_2 generadas por la producción de las ferroaleaciones. Para lo efectos prácticos, en esta sección se adopta el método del equilibrio de masas, en el cual todo el CO emitido se declara como CO_2 emitido. La elección de un método de *buena práctica* depende de las circunstancias nacionales, tal como se indica en el árbol de decisión del Figura 4.9. En el método de Nivel 1, las emisiones se calculan a partir de los factores de emisión generales que se aplican a la producción total de ferroaleaciones de un país. El método de Nivel 1 es muy simple y puede conducir a errores debido a que depende de hipótesis en vez de basarse en datos efectivos. Por lo tanto, es apropiado sólo cuando la producción de ferroaleaciones no es una *categoría principal*. En el método de Nivel 2, las emisiones se calculan a partir del consumo conocido de agentes reductores, obtenido preferentemente de los datos sobre consumos específicos de

las plantas o, en su defecto, de datos globales de la industria mediante el empleo de factores de emisión similares a los que se utilizan para estimar las emisiones de la combustión. El método de Nivel 3 se basa en datos específicos de las plantas relativos a las emisiones.

Método de Nivel 1: factores de emisión basados en la producción

El método de estimación más simple consiste en multiplicar los factores de emisión por defecto por el tipo de ferroaleación, como se muestra en la Ecuación 4.15.

ECUACIÓN 4.15
EMISIONES DE CO₂ PARA LA PRODUCCIÓN DE FERROALEACIONES POR EL MÉTODO DE NIVEL 1

$$E_{CO_2} = \sum_i (MP_i \cdot EF_i)$$

Donde:

E_{CO_2} = emisiones de CO₂, toneladas

MP_i = producción de la ferroaleación de tipo i , toneladas

EF_i = factor de emisión de CO₂ genérico para la ferroaleación i , toneladas de CO₂/tonelada de ferroaleación producida

Método de Nivel 2: factores de emisión basados en la producción, específicos de las materias primas

Un método alternativo es el de usar factores de emisión para los agentes reductores. Para las demás materias primas y productos deben considerarse los contenidos de carbono.

RECUADRO 4.1
DEFINICIONES DE LOS TÉRMINOS Y/O SÍMBOLOS UTILIZADOS EN LAS ECUACIONES DE ESTA SECCIÓN

Contenido significa fracción de peso, en todas las ecuaciones

Σ significa la suma sobre todos los índices i, h, j, k o l

ECUACIÓN 4.16
EMISIONES DE CO₂ PARA LA PRODUCCIÓN DE FERROALEACIONES POR EL MÉTODO DE NIVEL 2

$$E_{CO_2} = \sum_i (M_{\text{agente reductor},i} \cdot EF_{\text{agente reductor},i}) + \sum_h (M_{\text{mineral},h} \cdot C_{\text{Contenido}_{\text{mineral},h}}) \cdot \frac{44}{12}$$

$$+ \sum_j (M_{\text{material de escorificación},j} \cdot C_{\text{Contenido}_{\text{material de escorificación},j}}) \cdot \frac{44}{12}$$

$$- \sum_k (M_{\text{producto},k} \cdot C_{\text{Contenido}_{\text{producto},k}}) \cdot \frac{44}{12}$$

$$- \sum_l (M_{\text{corriente de salida no producto},l} \cdot C_{\text{Contenido}_{\text{corriente de salida no producto},l}}) \cdot \frac{44}{12}$$

Donde:

E_{CO_2} = emisiones de CO₂ originadas por la producción de ferroaleaciones, toneladas

$M_{\text{agente reductor},i}$ = masa del agente reductor i , toneladas

$EF_{\text{agente reductor},i}$ = factor de emisión del agente reductor i , toneladas de CO₂/tonelada de agente reductor

$M_{\text{mineral},h}$ = masa del mineral h , toneladas

$C_{\text{Contenido}_{\text{mineral},h}}$ = contenido de carbono del mineral h , toneladas de C/tonelada de mineral

$M_{\text{material de escorificación},j}$ = masa del material de escorificación j , toneladas

$C_{\text{Contenido}_{\text{material de escorificación},j}}$ = contenido de carbono del material de escorificación j , toneladas de C/tonelada de material

$M_{\text{producto}, k}$ = masa del producto k , toneladas

$C_{\text{Contenido}_{\text{producto}, h}}$ = contenido de carbono del producto k , toneladas de C/tonelada de producto

$M_{\text{corriente de salida no producto}, l}$ = masa de la corriente de salida no producto l , toneladas

$C_{\text{Contenido}_{\text{corriente de salida no producto}, l}}$ = contenido de carbono de la corriente de salida no producto l , toneladas de C/tonelada

La constante 44/12 es el factor de multiplicación para la masa de CO₂ emitido por cada unidad de masa del total de carbono utilizado.

Método de Nivel 3: cálculos basados en las cantidades y en los análisis de los agentes reductores

Los productores utilizan carbón y coque con diferentes contenidos de cenizas, carbono fijo y compuestos volátiles. Más aún, las cantidades de carbono varían en los minerales carbonatados y en los materiales de escorificación. El método más exacto es, por lo tanto, calcular las emisiones de CO₂ a partir de la cantidad total de carbono contenida en los agentes reductores, la pasta de electrodos, los minerales, los materiales de escorificación y los productos, y se realiza este cálculo para cada ferroaleación producida.

ECUACIÓN 4.17
EMISIONES DE CO₂ PARA LA PRODUCCIÓN DE FERROALEACIONES POR EL MÉTODO DE NIVEL 3

$$E_{CO_2} = \sum_i (M_{\text{agente reductor}, i} \cdot C_{\text{Contenido}_{\text{agente reductor}, i}}) \cdot \frac{44}{12} + \sum_h (M_{\text{mineral}, h} \cdot C_{\text{Contenido}_{\text{mineral}, h}}) \cdot \frac{44}{12} + \sum_j (M_{\text{material de escorificación}, j} \cdot C_{\text{Contenido}_{\text{material de escorificación}, j}}) \cdot \frac{44}{12} - \sum_k (M_{\text{producto}, k} \cdot C_{\text{Contenido}_{\text{producto}, k}}) \cdot \frac{44}{12} - \sum_l (M_{\text{corriente de salida no producto}, l} \cdot C_{\text{Contenido}_{\text{corriente de salida no producto}, l}}) \cdot \frac{44}{12}$$

Donde:

E_{CO_2} = emisiones de CO₂ originadas por la producción de ferroaleaciones, toneladas

$M_{\text{agente reductor}, i}$ = masa del agente reductor i , toneladas

$C_{\text{Contenido}_{\text{agente reductor}, i}}$ = contenido de carbono del agente reductor i , toneladas de C/tonelada de agente reductor

$M_{\text{mineral}, h}$ = masa del mineral h , toneladas

$C_{\text{Contenido}_{\text{mineral}, h}}$ = contenido de carbono del mineral h , toneladas de C/tonelada de mineral

$M_{\text{material de escorificación}, j}$ = masa del material de escorificación j , toneladas

$C_{\text{Contenido}_{\text{material de escorificación}, j}}$ = contenido de carbono del material de escorificación j , toneladas de C/tonelada de material

$M_{\text{producto}, k}$ = masa del producto k , toneladas

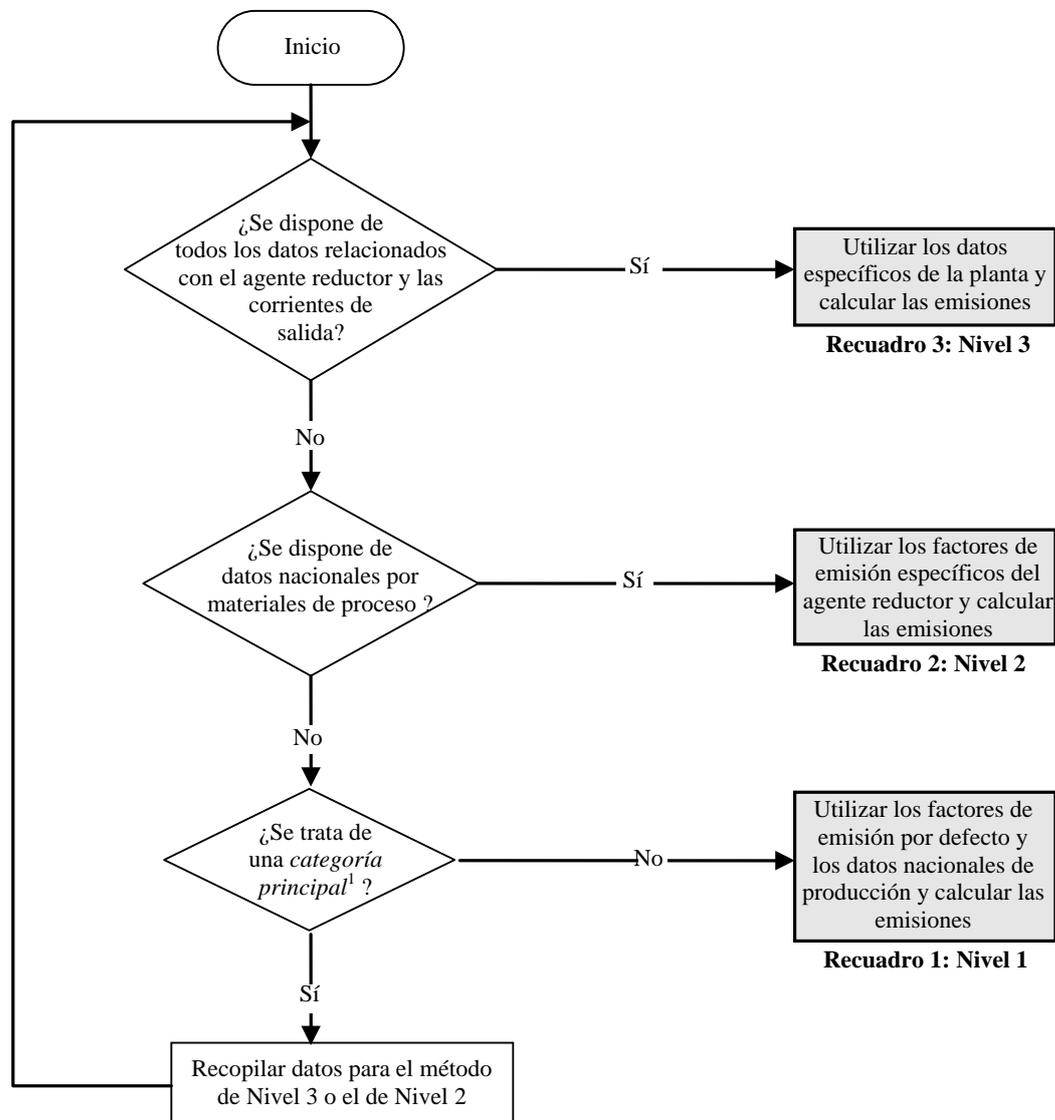
$C_{\text{Contenido}_{\text{producto}, h}}$ = contenido de carbono del producto k , toneladas de C/tonelada de producto

$M_{\text{corriente de salida no producto}, l}$ = masa de la corriente de salida no producto l , toneladas

$C_{\text{Contenido}_{\text{corriente de salida no producto}, l}}$ = contenido de carbono de la corriente de salida no producto l , toneladas de C/tonelada

La constante 44/12 es el factor de multiplicación para la masa de CO₂ emitido por cada unidad de masa del total de carbono utilizado. El cálculo ofrece una buena exactitud si se dispone de los análisis sobre el total del carbono contenido en todos los agentes reductores.

Figura 4.9 **Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de CO₂ provenientes de la producción de ferroaleaciones**



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).

METODOLOGÍA PARA EL CH₄ Y ANÁLISIS DE LAS EMISIONES DE N₂O

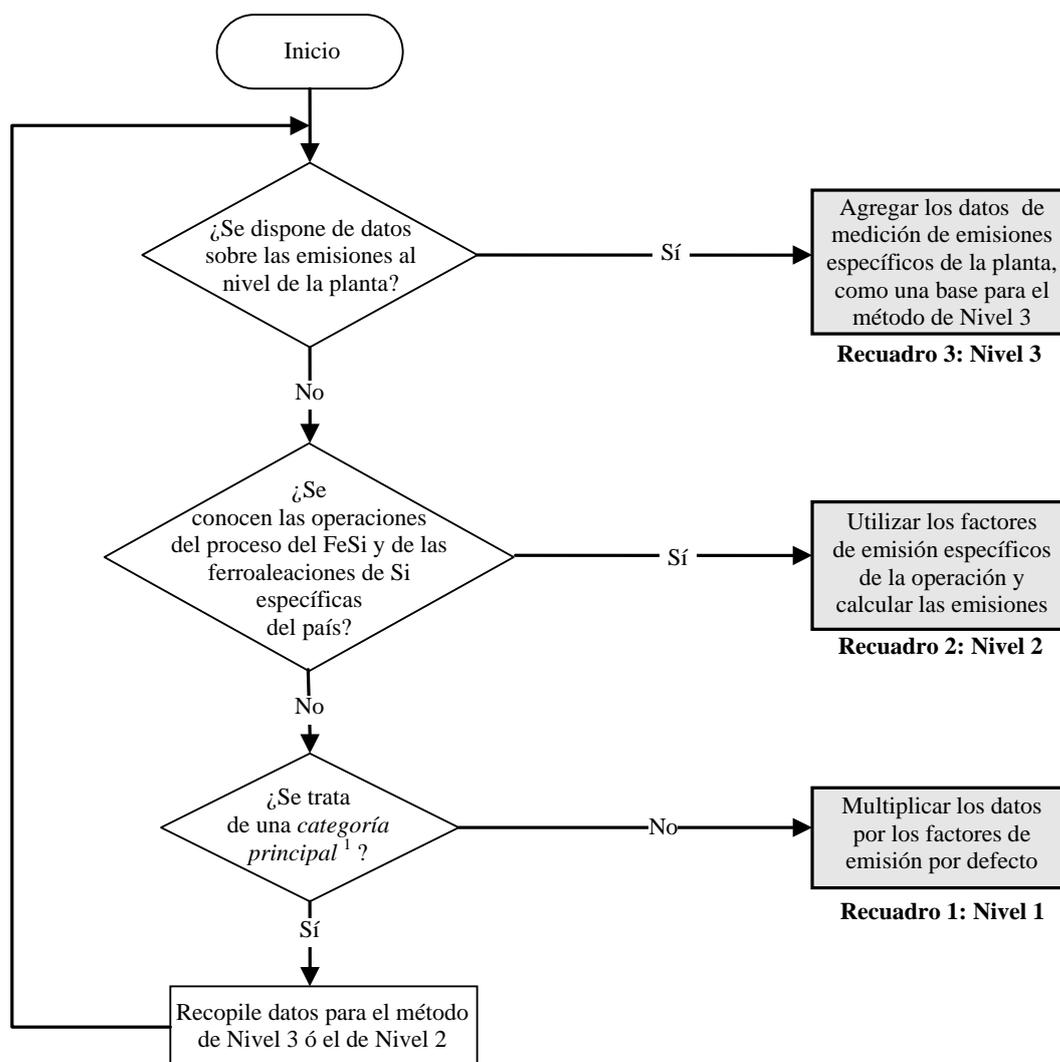
El calentamiento de los materiales carbonáceos en el horno libera compuestos volátiles, incluido el metano. En los hornos abiertos o parcialmente cubiertos —que predominan en la **producción de ferroaleaciones FeSi y Si**— la mayoría de los compuestos volátiles se queman por encima de la carga y generan CO₂, en la campana extractora y en los conductos de evacuación de las descargas gaseosas, pero algunos permanecen sin reaccionar, como el CH₄ y los compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano (COVDM). Las cantidades dependen de la operación en el horno. La carga por pulverización reduce las cantidades de CH₄ comparada con la carga por lotes. El aumento de la temperatura en la campana de extracción (con menos aire parásito) reduce aún más el contenido de CH₄.

En las *Directrices del IPCC* se bosquejan varios métodos para calcular las emisiones de CH₄ generadas por la producción de las ferroaleaciones FeSi y Si. La elección de un método de *buena práctica* depende de las circunstancias nacionales, tal como se indica en el árbol de decisión de la Figura 4.10. En el método de Nivel 1,

las emisiones se calculan a partir de factores de emisión generales que se aplican a la producción total de ferroaleaciones de un país. El método de Nivel 1 es muy simple y puede conducir a errores debido al hecho de que depende de hipótesis en vez de apoyarse en datos reales. Por ello, sólo debe emplearse cuando la producción de ferroaleaciones no es una *categoría principal*. En el método de Nivel 2, las emisiones se calculan a partir de los factores de emisión específicos de la operación. En el método de Nivel 3 se utilizan datos sobre emisiones específico de la instalación.

Los errores asociados con las estimaciones o con las mediciones de las emisiones de N₂O generadas por la industria de las ferroaleaciones son muy grandes y, por lo tanto, no se proporciona ninguna metodología.

Figura 4.10 **Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de CH₄ provenientes de la producción de aleaciones de FeSi y Si**



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: factores de emisión basados en la producción de aleaciones de FeSi y Si

El método de estimación más simple consiste en multiplicar los factores de emisión por defecto por el tipo de aleación de Si.

El total de emisiones se calcula según:

ECUACIÓN 4.18
EMISIONES DE CH₄ PARA LA PRODUCCIÓN DE FERROALEACIONES POR EL MÉTODO DE NIVEL 1

$$E_{CH_4} = \sum_i (MP_i \cdot EF_i)$$

Donde:

E_{CH_4} = emisiones de CH₄, kg.

MP_i = producción de la aleación de Si i , toneladas

EF_i = factor de emisión genérico para la aleación de Si i , kg. de CH₄/tonelada de aleación de Si producida específica

Método de Nivel 2: factores de emisión basados en la producción de aleaciones de FeSi y Si, específicos de la operación

El método de Nivel 2 también está basado en factores de emisión pero, a diferencia del método de Nivel 1, éstos son específicos de la operación.

Método de Nivel 3: mediciones directas

Se exhorta a los compiladores del inventario a medir las emisiones de CH₄, allí donde la industria de las ferroaleaciones constituye una *categoría principal*.

4.3.2.2 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

FACTORES DE EMISIÓN PARA EL CO₂

Método de Nivel 1: factores de emisión basados en la producción

Cuando los únicos datos disponibles sean las estadísticas sobre la producción nacional de ferroaleaciones, es una *buena práctica* utilizar los factores de emisión por defecto. Sin embargo, debido a una amplia disparidad en los factores, que dependen del tipo de producción de ferroaleaciones, es necesario determinar cuánto tonelaje se produce y con qué método, para luego sumar el producto de los factores presentados en el Cuadro 4.5 y los tonelajes apropiados de producción. Estos factores se basan en el dictamen de expertos, donde se ha recurrido a las prácticas típicas para las situaciones de producción de ferroaleaciones enumeradas. Estos factores no pueden utilizarse si en la producción de FeSi y de metal-Si se emplea carbono biogénico, con excepción de las virutas de madera.

CUADRO 4.5
FACTORES GENÉRICOS DE EMISIÓN DE CO₂ PARA LA PRODUCCIÓN DE FERROALEACIONES
(TONELADAS DE CO₂/TONELADA DE PRODUCTO)

Tipo de ferroaleación	Factor de emisión
Ferrosilicio 45% Si	2,5
Ferrosilicio 65 % Si	3,6
Ferrosilicio 75% Si	4,0
Ferrosilicio 90% Si	4,8
Ferromanganesos (7% C)	1,3
Ferromanganesos (1% C)	1,5
Silicomanganeso	1,4
Metal silicio	5,0
Ferrocromo	1,3 (1,6 con una planta de sinterizado)

Fuente: IPCC (1997), IPCC (2000), Olsen (2004) and Lindstad (2004)

Estos factores de emisión por defecto han sido evaluados por Olsen (2004) para las aleaciones de manganeso, por Lindstad (2004) para las de silicio y por Olsen, Monsen y Lindstad (1998) para el FeCr.

Para las aleaciones de FeMn, los factores de emisión se basan en la producción, donde las materias primas que contienen Mn son una mezcla de minerales de óxidos, minerales carbonatados y sinterizado de Mn importado. Si el sinterizado se produce en el extranjero, no aporta nada al inventario nacional sobre gases de efecto invernadero. Las emisiones de la producción de sinterizado deben declararse allí donde tenga lugar la producción.

El factor para el FeSi90 y el metal-Si está basado en un consumo Fijo C de 110 por ciento de la cantidad estequiométrica necesaria para reducir el SiO₂. Para las demás aleaciones de FeSi, el factor se basa en un 114 por ciento de la cantidad estequiométrica de Fijo C.

Método de Nivel 2: factores de emisión específicos de las materias primas, basados en la producción

En el Cuadro 4.6 se proporcionan los factores de emisión para los agentes reductores utilizados en la producción de aleaciones de manganeso y de silicio. Los factores han sido evaluados por Olsen (2004) para la producción de aleaciones de manganeso y por Lidstad (2004) para la producción de aleaciones de silicio.

CUADRO 4.6 FACTORES DE EMISIÓN DE CO₂ PARA LA PRODUCCIÓN DE FERROALEACIONES ()	
Agente reductor (uso)	Factor de emisión
Carbón (para FeSi y metal-Si)	3,1
Carbón (para otras ferroaleaciones)	* (véase más abajo)
Coque (para FeMn y SiMn)	3,2-3,3
Coque (para Si y FeSi)	3,3-3,4
Coque (para otras ferroaleaciones)	* (véase más abajo)
Electrodos precocidos	3,54
Pasta de electrodos	3,4
Coque de petróleo	3,5
*: Se alienta a los compiladores del inventario a utilizar valores específicos del productor basados en la mezcla de carbón promedio y/o el coque para cada productor de ferroaleaciones. Fuente: Olsen (2004), Lindstad (2004)	

Método de Nivel 3: cálculos basados en las cantidades y en los análisis de los agentes reductores

Para el método de Nivel 3, es necesario determinar el contenido de carbono de los agentes reductores empleados en los procesos de producción. Pero la mayoría de los productores de ferroaleaciones analizan solamente sobre la base del porcentaje de cenizas y compuestos volátiles, y calculan:

$$\text{Fijo C \%} = 100 \% - \% \text{ de cenizas} - \% \text{ de volátiles.}$$

En este caso, el CContenido de los agentes reductores se calcula mediante la ecuación siguiente.

<p>ECUACIÓN 4.19</p> <p>CONTENIDO DE CARBONO DE LOS AGENTES REDUCTORES DE FERROALEACIONES</p> $C_{\text{Contenido agente reductor}, i} = F_{\text{Fijo C}, i} + F_{\text{volátiles}, i} \cdot C_v$
--

Donde:

$C_{\text{Contenido agente reductor}, i}$ = contenido de carbono del agente reductor i , toneladas de C/tonelada de agente reductor

$F_{\text{Fijo C}, i}$ = fracción de masa de Fijo C en el agente reductor i , toneladas de C/ tonelada de agente reductor

$F_{\text{volátiles}, i}$ = fracción de masa de compuestos volátiles en el agente reductor i , toneladas de volátiles/ tonelada de agente reductor

C_v = contenido de carbono de los compuestos volátiles, toneladas de C/tonelada de volátiles
 (A menos que se disponga de otra información, se utiliza $C_v = 0,65$ para el carbón y $0,80$ para el coque.)

FACTORES DE EMISIÓN PARA EL CH₄

Método de Nivel 1: factores de emisión basados en la producción de aleaciones de FeSi y Si

Cuando los únicos datos disponibles sean las estadísticas sobre la producción nacional de ferroaleaciones, es una *buena práctica* utilizar los factores de emisión por defecto. Sin embargo, debido a una amplia disparidad en los factores, que dependen del tipo de producción de ferroaleaciones, es necesario determinar cuánto tonelaje se produce y con qué método, para luego sumar el producto de los factores presentados en el Cuadro 4.7 por los tonelajes apropiados de producción. Los factores de emisión por defecto para el CH₄ se basan en los promedios de un pequeño número de mediciones específicas de las operaciones (que se muestran en el Cuadro 4.7 para el Nivel 2) efectuadas por SINTF y DNC principalmente en 1995 y 1998 (FFF (2000)).

CUADRO 4.7 FACTORES DE EMISIÓN POR DEFECTO PARA EL CH ₄ (kg. de CH ₄ /tonelada de producto)		
Emisión	Aleación	Factor de emisión
CH ₄	Metal-Si	1,2
	FeSi 90	1,1
	FeSi 75	1,0
	FeSi 65	1,0
Fuente: FFF (2000)		

Método de Nivel 2: factores de emisión basados en la producción de aleaciones de FeSi y Si, específicos de la operación

El método de Nivel 2 también se basa en factores de emisión pero, a diferencia del método de Nivel 1, éstos son específicos de la operación. Por lo demás, el procedimiento es el mismo que el de la Ecuación 4.18, utilizando los valores del Cuadro 4.8.

CUADRO 4.8 FACTORES DE EMISIÓN PARA EL CH ₄ (kg. de CH ₄ /tonelada de producto)				
Emisión	Aleación	Operación en el horno		
		Carga por lotes	Carga por pulverización ¹⁾	Carga por pulverización y >750°C ²⁾
CH ₄	Metal-Si	1,5	1,2	0,7
	FeSi 90	1,4	1,1	0,6
	FeSi 75	1,3	1,0	0,5
	FeSi 65	1,3	1,0	0,5
¹⁾ La carga por pulverización es una carga intermitente cada minuto. ²⁾ Temperatura en el conducto de evacuación de las descargas gaseosas, medida donde la termocupla no esté expuesta directamente a la radiación de combustión de la campana extractora del horno.				

Método de Nivel 3: Mediciones directas

El Nivel 3 se basa en mediciones en vez de en factores de emisión El compilador del inventario debe consultar la orientación sobre las mediciones al nivel de plantas presentada en el Volumen 1, Capítulo 2 y sobre el proceso de GC/CC de las mediciones en el volumen 1, Capítulo 6.

4.3.2.3 ELECCIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

MÉTODO DE NIVEL 1

Para el método de Nivel 3 se requiere solamente la cantidad de ferroaleaciones producidas en el país, por tipo de producto. Estos datos pueden obtenerse de los organismos gubernamentales responsables de las estadísticas sobre fabricación, de las asociaciones comerciales e industriales o de las compañías de ferroaleaciones individuales. Para estimar las emisiones del sector, estos tonelajes pueden entonces multiplicarse por los factores de emisión correspondientes del Cuadro 4.5, para el CO₂ y del Cuadro 4.7, para el CH₄.

MÉTODO DE NIVEL 2

Para el método de Nivel 2 se requiere la cantidad total de agentes reductores y de otros materiales de proceso empleados para la producción de ferroaleaciones en el país, así como del conocimiento de los procesos utilizados. Estos datos pueden obtenerse de los organismos gubernamentales responsables de las estadísticas sobre fabricación, de las asociaciones comerciales e industriales o de las compañías de ferroaleaciones individuales. Estas cantidades pueden entonces multiplicarse por el factor genérico de emisión apropiado, tomado de los Cuadros 4.6 y 4.8, y sumarse para determinar el total de emisiones de CO₂ y CH₄ del sector. Sin embargo, es preferible recopilar datos de la actividad al nivel de las plantas.

MÉTODO DE NIVEL 3

Para el método de Nivel 3 se requiere recolectar, compilar y agregar datos sobre emisiones específicas de la planta. Es posible que estos datos se obtengan directamente de las compañías.

4.3.2.4 EXHAUSTIVIDAD

Al estimar las emisiones de CO₂ provenientes de esta categoría de fuente, existe un riesgo de cómputo doble o de omisión tanto en el Sector Procesos industriales como en el Sector Energía. Dado que el uso principal de las fuentes de carbono (carbón, coque, piedra caliza, dolomita, etc.) es para producir ferroaleaciones, las emisiones se consideran emisiones de procesos industriales y deben declararse como tales. Se debe recordar que el riesgo del cómputo doble es particularmente elevado para el método de Nivel 1. Toda desviación al declarar emisiones como provenientes de un proceso industrial debe mencionarse explícitamente en el inventario y debe efectuarse una verificación de cómputo doble y/o de exhaustividad.

4.3.2.5 DESARROLLO DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Las emisiones originadas por la producción de ferroaleaciones deben calcularse utilizando el mismo método para cada año de la serie temporal. Allí donde no se disponga de datos para sostener un método de Nivel 3 para todos los años de la serie temporal, deben recalcularse los vacíos según la orientación del Volumen 1, Capítulo 5.

4.3.3 Evaluación de la incertidumbre

Las incertidumbres en la producción de ferroaleaciones resultan esencialmente de las incertidumbres asociadas con los datos de la actividad y, en menor medida, de la incertidumbre relacionada con el factor de emisión. Aunque algunas ferroaleaciones se producen usando madera u otra biomasa como fuente de carbono, no se dispone de información ni de datos relacionados con estas prácticas. Las emisiones de las ferroaleaciones producidas con madera u otra biomasa no deben contabilizarse bajo esta fuente pues el carbono contenido en la madera es de origen biogénico. Las emisiones de las ferroaleaciones producidas mediante entradas de carbón coquizable o de grafito podrían contabilizarse en las tendencias nacionales, pero pueden producir cantidades diferentes de CO₂ por unidad de ferroaleación producida, en comparación con el uso del coque de petróleo.

4.3.3.1 INCERTIDUMBRES DEL FACTOR DE EMISIÓN

Para el Nivel 3, en los datos sobre emisiones reales la incertidumbre esperada es inferior al 5 por ciento. Para el Nivel 2, en los factores de emisión específicos de los materiales el error esperado es del orden del 10 por ciento, lo cual representa una incertidumbre general menor que para el Nivel 1. El error esperado en los factores de emisión está dentro del 10 por ciento o menor que un 5 por ciento, si se dispone de datos sobre los contenidos de carbono específicos de la planta. Los factores de emisión por defecto empleados en el Nivel 1 pueden presentar una incertidumbre del 25 al 50 por ciento.

4.3.3.2 INCERTIDUMBRES EN LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Para el Nivel 1, el tipo de datos de la actividad más importante es la cantidad de ferroaleaciones producidas por tipo de producto. Las estadísticas nacionales deben estar disponibles y tener una incertidumbre probable inferior al 5 por ciento. En el Nivel 2, cuando se dispone de información específica de la planta sobre las cantidades de agentes reductores y de materiales de procesos como los que se aplican al Nivel 2, la incertidumbre no debería exceder el 5 por ciento.

CUADRO 4.9 INTERVALOS DE INCERTIDUMBRE		
Método	Fuente de los datos	Intervalo de incertidumbre
Nivel 1	Datos nacionales de producción	< 5%
	Factores de emisión por defecto	< 25 %
Nivel 2	Agentes reductores y Materiales de procesos derivados por las compañías	< 5%
	Datos nacionales sobre Agentes reductores y Materiales de proceso	< 5%
	Factores de emisión específicos de las compañías	< 5%
	Factores de emisión por defecto específicos de los materiales	< 10%
Nivel 3	Datos sobre las mediciones de CO ₂ específicos de la compañía	< 5%

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

4.3.4.1 GARANTÍA DE CALIDAD / CONTROL DE CALIDAD (GC/CC)

Es una *buena práctica* efectuar verificaciones de control de calidad como se indica en el Volumen 1, Capítulo 6, así como una revisión de expertos de las estimaciones de emisiones. También pueden ser aplicables verificaciones adicionales de control de calidad, como las planteadas en el Volumen 1, Capítulo 6 y procedimientos de garantía de calidad, en particular si al determinar las emisiones de esta categoría de fuente se utilizan métodos de nivel superior. Se alienta a los compiladores del inventario a utilizar un método de GC/CC de nivel superior para las *categorías principales* identificados en el Volumen 1, Capítulo 4.

Además de la orientación del Volumen 1, se plantean a continuación los procedimientos específicos pertinentes para esta categoría de fuente.

Revisión de los factores de emisión

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

Verificación de los datos de actividad específicos de la instalación

Para los datos específicos de la planta, los compiladores del inventario deben revisar las incoherencias entre plantas para establecer si reflejan la presencia de errores, de técnicas de medición diferentes, o bien resultan de diferencias reales en las emisiones, en las condiciones de funcionamiento o en las tecnologías. Para la producción de ferroaleaciones, los compiladores deben comparar los datos de la planta con los de otras plantas.

Los compiladores deben garantizar que los factores de emisión y los datos de la actividad se determinen de acuerdo con los métodos de medición internacionalmente reconocidos y probados. Si las prácticas de medición no cumplen con este criterio, entonces la utilización de estas emisiones o datos de actividad debe evaluarse cuidadosamente, deben reconsiderarse las estimaciones de incertidumbre y deben documentarse las calificaciones. Es también posible que en los sitios donde están en vigor parámetros altos de medición y de GC/CC, la incertidumbre en la estimación de emisiones sea revisada a la baja.

Revisión de expertos

Los compiladores del inventario deben incluir en el proceso de revisión las principales organizaciones industriales y comerciales relacionadas con la producción de ferroaleaciones. Este proceso debe comenzar durante la etapa inicial del desarrollo del inventario, de modo que contribuya al desarrollo y a la revisión de los métodos y a la adquisición de los datos.

Para esta categoría de fuente puede ser útil recurrir también a revisores independientes, particularmente en relación con la recopilación inicial de datos, el trabajo de medición, la transcripción, los cálculos y la documentación.

Verificación de los datos de actividad

Para todos los niveles, los compiladores deben realizar verificaciones apoyándose en el Volumen 2, Capítulo 2(Combustión estacionaria del Sector Energía), para garantizar que las emisiones provenientes de los agentes reductores y de los materiales de proceso (carbón, coque, gas natural, etc.) no sean contabilizadas por partida doble ni omitidas.

Los compiladores deben examinar toda incoherencia entre los datos de diferentes plantas para establecer si reflejan la presencia de errores, de técnicas de medición diferentes, o bien resultan de diferencias reales en las emisiones, en las condiciones de funcionamiento o en las tecnologías. Esto es particularmente pertinente para las estimaciones específicas de plantas sobre las cantidades de agentes reductores o sobre los contenidos de carbono declarados para los materiales de proceso.

Allí donde se disponga de datos comerciales sobre el consumo de materiales de proceso, los compiladores del inventario deben comparar la agregación de las estimaciones al nivel de plantas con los totales de la industria.

4.3.4.2 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, como se indica en el Volumen 1, Sección 6.11. No resulta práctico incluir toda la documentación en el informe sobre el inventario nacional. Sin embargo, el inventario debe incluir resúmenes de los métodos utilizados y referencias a las fuentes de datos, de modo que las estimaciones de emisiones resulten transparentes y que las etapas de su cálculo puedan ser reproducidas.

MÉTODO DE NIVEL 1

Además de declarar las estimaciones de emisiones, es una *buena práctica* declarar la producción total de ferroaleaciones por proceso y los correspondientes factores de emisión utilizados. Nótese que en el cuadro correspondiente, las emisiones declaradas son sólo una parte del total de emisiones del sector y que el resto se declara en otros lugares del Volumen 2, Capítulo 2, Combustión estacionaria del Sector Energía.

MÉTODOS DE NIVEL 2

Es una *buena práctica* documentar las emisiones estimadas o calculadas, todos los datos de la actividad con sus correspondientes factores de emisión, así como cualquier hipótesis o dato que justifique el uso de factores de emisión alternativos. Debe darse una explicación clara sobre la vinculación con las estimaciones del Subsector Quema de combustibles, con el fin de demostrar que no se ha incurrido en cálculos dobles ni en omisiones.

MÉTODO DE NIVEL 3

Es una *buena práctica* documentar las emisiones calculadas y la fuente de todos los datos, tomando en cuenta la necesidad de proteger la confidencialidad de los datos para determinadas plantas si los datos son comercialmente sensibles o de una naturaleza relacionada con la propiedad industrial. Además, para todos los niveles, los compiladores del inventario deben documentar toda la información necesaria para reproducir las estimaciones, así como los procedimientos de GC/CC.

4.4 PRODUCCIÓN PRIMARIA DEL ALUMINIO

4.4.1 Introducción

Esta sección cubre las emisiones de proceso generadas por la producción primaria de aluminio². Al nivel mundial, el aluminio primario se produce exclusivamente mediante el proceso electrolítico Hall-Heroult. En este proceso, las celdas electrolíticas de reducción difieren en la forma y en la configuración del ánodo de carbono y del sistema de alimentación de la alúmina, y pertenecen a uno de los cuatro tipos de tecnología: de ánodo precocido central (CWPB, del inglés, *Centre-Worked Prebake*)³, de ánodo precocido lateral (SWPB, del inglés, *Side-Worked Prebake*), Söderberg a barra horizontal (HSS, del inglés, *Horizontal Stud Söderberg*) y Söderberg a barra vertical (VSS, del inglés, en *Vertical Stud Söderberg*).

Las emisiones de proceso más significativas son:

Emisiones de dióxido de carbono (CO₂) generadas por el consumo de los ánodos de carbono en la reacción que convierte el óxido de aluminio en aluminio metálico;

Emisiones de perfluorocarbonos (PFC) de CF₄ and C₂F₆ generadas durante los efectos de ánodo.

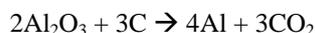
Se emiten también cantidades más pequeñas de emisiones de proceso de CO, SO₂ y COVDM. El SF₆ no se emite durante el proceso electrolítico y se emplea sólo muy raramente en el proceso de fabricación del aluminio, cuando se emiten reducidas cantidades, al adicionar fundente a las aleaciones especiales de magnesio y aluminio⁴.

Los árboles de decisión de las Figuras 4.11 y 4.12 proporcionan orientación para seleccionar una metodología de estimación de las emisiones generadas por la producción de aluminio. Todos los compiladores del inventario de los países donde haya producción de aluminio deben ser capaces de implementar el método de Nivel 1 a un mínimo nivel y, por lo mismo, garantizar la exhaustividad de los informes producidos. Aunque en este capítulo se presentan factores de emisión por defecto, tanto para las emisiones de CO₂ y como para las emisiones de PFC, los países deben realizar todos los esfuerzos necesarios para utilizar los métodos de Nivel superior, pues los índices de emisión pueden variar considerablemente y las incertidumbres asociadas con los factores de Nivel 1 son muy altas. Los fundidores de aluminio recolectan rutinariamente los datos de proceso necesarios para los cálculos de los factores de emisión de Nivel 2.

4.4.2 Cuestiones metodológicas

4.4.2.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO PARA LAS EMISIONES DE CO₂ PROVENIENTES DE LA PRODUCCIÓN PRIMARIA DE ALUMINIO

En condiciones normales de operación, el aluminio se produce en el cátodo y el carbono se consume en el ánodo mediante la reacción de reducción electrolítica:



La mayor parte de las emisiones de dióxido de carbono proceden de la reacción de electrólisis del ánodo del carbono con la alúmina (Al₂O₃). El consumo de ánodos de carbono precocidos y de pasta de Söderberg es la

² Las emisiones generadas por la combustión de combustibles fósiles asociada con la producción primaria del aluminio, la extracción de la bauxita, la refinación del mineral de bauxita y la producción de aluminio a partir de fuentes de reciclado, están cubiertas en el Volumen 2: Energía. Por igual, las emisiones de dióxido de carbono asociadas con la producción de electricidad a partir de la quema de combustibles fósiles para producir aluminio, están cubiertas también en el Volumen 2.

³ Incluidas las celdas precocidas con alimentación puntual (*Point Feed Prebake*) y las celdas de barra precocida fragmentada (*Bar Broken Prebake*).

⁴ Una encuesta del IAI de 2004 no encontró pruebas de que el SF₆ fuera emitido en la fundición de aluminio primario realizada mediante el proceso de producción electrolítico Hall-Heroult.

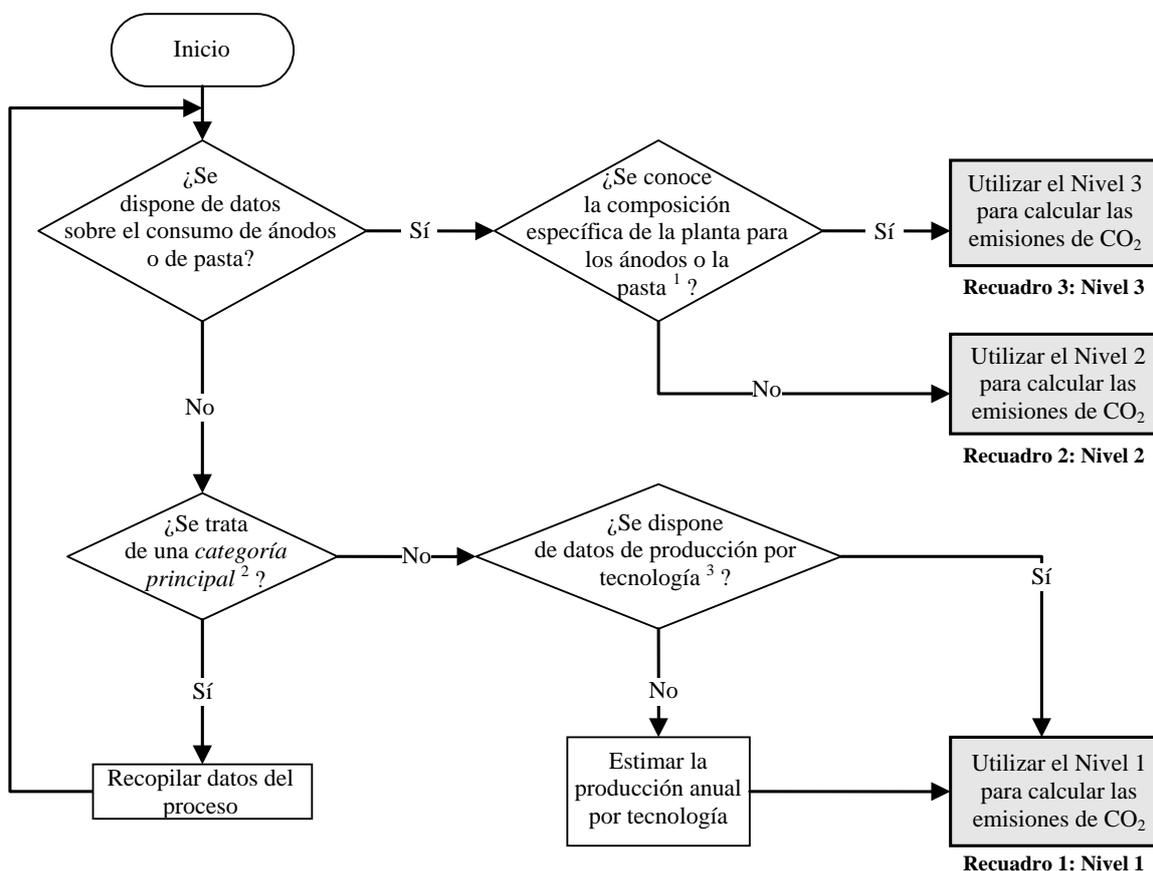
principal fuente de las emisiones de dióxido de carbono relacionadas con el proceso generadas por la producción de aluminio primario. Otras fuentes de emisiones de dióxido de carbono relacionadas con el proceso asociadas al cocido de los ánodos precocidos dan cuenta de menos del 10 por ciento de las emisiones no energéticas de dióxido de carbono.

Las reacciones que conducen a las emisiones de dióxido de carbono son bien conocidas y las emisiones están muy bien vinculadas al tonelaje de aluminio producido a través de las ecuaciones electroquímicas fundamentales para la reducción de la alúmina en un ánodo de carbono y para la oxidación por medio de procesos térmicos. Estos dos procesos fundamentales que producen dióxido de carbono están incluidos en los procedimientos rutinarios de monitoreo de los parámetros de proceso que se efectúan en las instalaciones de producción: el consumo neto de ánodos de carbono en las instalaciones con ánodo precocido o el consumo de pasta de ánodo en las instalaciones de tipo Söderberg.

Para el cálculo de las emisiones de CO₂, se requiere una diferenciación de los datos de producción por tipo de tecnología: Söderberg o de ánodo precocido. No es necesario diferenciar más finamente respecto del tipo específico de tecnología Söderberg o de ánodo precocido.

El árbol de decisión presentado en la Figura 4.11 describe la *buena práctica* al escoger la metodología de inventario para el CO₂ más apropiada para las circunstancias nacionales.

Figura 4.11 **Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de CO₂ provenientes de la producción de aluminio primario**



Nota:

1. Véase Instituto Internacional del Aluminio, *The Aluminium Sector Greenhouse Gas Protocol*, 2005.
2. 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).
3. Para el cálculo de las emisiones de CO₂, los datos de la producción requieren la diferenciación de las tecnologías como Söderberg o precocido. No es necesario diferenciar más en términos de tipo de tecnología Söderberg o de precocido.

Método de Nivel 1 para las emisiones de CO₂

En el método de Nivel 1, para calcular las emisiones de CO₂ sólo se utilizan caracterizaciones amplias de la tecnología de las celdas (ánodo precocido o Söderberg), a título de estimaciones de orden inferior para las

emisiones de CO₂ emanadas de la producción de aluminio. Dada la incertidumbre asociada al método de Nivel 1, es una *buen práctica* emplear métodos de nivel superior si las emisiones de CO₂ del aluminio primario corresponden a una *categoría principal*.

El total de emisiones de CO₂ se calcula según la Ecuación 4.20.

ECUACIÓN 4.20
EMISIONES DE CO₂ DE PROCESO DEL CONSUMO DE ÁNODOS Y/O PASTA DE ÁNODOS
(MÉTODO DE NIVEL 1)

$$E_{CO_2} = EF_P \cdot MP_P + EF_S \cdot MP_S$$

Donde:

E_{CO₂} = emisiones de CO₂ originadas en el consumo de ánodos y/o pasta de ánodos, toneladas de CO₂

EF_P = factor de emisión específico de la tecnología de precocidos, (toneladas de CO₂/tonelada de *aluminio* producido)

MP_P = producción de metal del proceso de ánodos precocidos (toneladas de Al)

EF_S = factor de emisión específico de la tecnología Sørderberg, (toneladas de CO₂/tonelada de aluminio producido)

MP_S = producción de metal del proceso Sørderberg (toneladas de Al)

Métodos de Nivel 2 o Nivel 3 para las emisiones de CO₂

Tanto para el proceso de ánodos precocidos como para el proceso Sørderberg, las emisiones de CO₂ se calculan mediante el método del equilibrio de masas, en el cual se supone que el contenido de carbono del consumo neto de ánodos o de pasta de ánodos se emite en última instancia como CO₂. En el método de Nivel 2, tanto para el proceso de ánodos precocidos como para el proceso Sørderberg se emplean valores industriales típicos para las impurezas, mientras que en el método de Nivel 3 se emplean las concentraciones de impurezas reales. La elección entre el método de Nivel 2 y el de Nivel 3 depende de los datos disponibles sobre la composición de los ánodos o de la pasta de ánodos al nivel de las plantas individuales.

Emisiones de CO₂ originadas en las celdas de ánodos precocidos (CWPB y SWPB):

En los métodos de Nivel 2 y 3, las emisiones de CO₂ originadas en las celdas de ánodos precocidos se calculan según la Ecuación 4.21. En el Nivel 3, se requieren datos específicos de las operaciones para todos los componentes de la Ecuación 4.21, mientras que el Nivel 2 se basa en valores por defecto para los mismos componentes. Más abajo, en la Sección 4.4.2.2 se proporcionan más detalles sobre el uso de estos parámetros.

ECUACIÓN 4.21
EMISIONES DE CO₂ PROVENIENTES DEL CONSUMO DE ÁNODOS PRECOCIDOS
(MÉTODOS DE NIVEL 2 Y NIVEL 3)

$$E_{CO_2} = NAC \cdot MP \cdot \frac{100 - S_a - Ceniza_a}{100} \cdot \frac{44}{12}$$

Donde:

E_{CO₂} = emisiones de CO₂ generadas por el consumo de ánodos precocidos, toneladas de CO₂

MP = producción total de metal, toneladas de Al

NAC = consumo neto de ánodos precocidos por tonelada de aluminio, toneladas de C/tonelada de Al

S_a = contenido de azufre en los ánodos precocidos, % del peso

Ceniza_a = contenido de ceniza en los ánodos precocidos, % del peso

44/12 = masa molecular del CO₂: razón de masa atómica del carbono, adimensional

Debe aplicarse la Ecuación 4.21 a cada fundidor de ánodos precocidos del país y los resultados deben sumarse para obtener el total de las emisiones nacionales. Es posible emplear un método híbrido de Nivel 2/3 si no se dispone de datos sobre el contenido de azufre o de ceniza para cada fundidor.

Las emisiones provenientes de la quema de combustibles fósiles utilizada en la producción de ánodos precocidos están cubiertas en el Volumen 2: Energía. Sin embargo, otras dos fuentes de emisiones de CO₂ están asociadas

con los hornos de precocido: la combustión de materias volátiles liberadas durante la operación de cocido y la combustión del material de compactado del horno de precocido (coque). Las Ecuaciones 4.22 y 4.23 pueden utilizarse para el cálculo de tales emisiones.⁵

ECUACIÓN 4.22
EMISIONES DE CO₂ PROVENIENTES DE LA COMBUSTIÓN DE VOLÁTILES DE BREA
(MÉTODOS DE NIVEL 2 Y NIVEL 3)

$$E_{CO_2} = (GA - H_w - BA - WT) \cdot \frac{44}{12}$$

Donde:

E_{CO_2} = emisiones de CO₂ generadas por la combustión de volátiles de brea, toneladas de CO₂

GA = peso inicial de los ánodos verdes, toneladas

H_w = contenido de hidrógeno en los ánodos verdes, toneladas

BA = producción de ánodos cocidos, toneladas

WT = alquitrán de desecho recolectado, toneladas

ECUACIÓN 4.23
EMISIONES DE CO₂ PROVENIENTES DEL MATERIAL DE COMPACTADO DE LOS HORNOS DE
PRECOCIDO
(MÉTODOS DE NIVEL 2 Y NIVEL 3)

$$E_{CO_2} = PCC \cdot BA \cdot \frac{100 - S_{pc} - Ceniza_{pc}}{100} \cdot \frac{44}{12}$$

Donde:

E_{CO_2} = emisiones de CO₂ generadas por el material de compactado del horno de precocido, toneladas de CO₂

PCC = consumo de coque para compactado, toneladas/tonelada de BA

BA = producción de ánodos cocidos, toneladas

S_{pc} = contenido de azufre en el coque para compactado, % del peso

$Ceniza_{pc}$ = contenido de ceniza en el coque para compactado, % del peso

Emisiones de CO₂ originadas en las celdas Söderberg (VSS y HSS):

En los métodos de Nivel 2 y 3, las emisiones de CO₂ originadas en las celdas Söderberg se calculan según la Ecuación 4.24. En el Nivel 3, se requieren datos específicos de la planta en operaciones para todos los componentes de la Ecuación 4.24, mientras que el Nivel 2 se basa en valores por defecto para algunos componentes. Más abajo, en la Sección 4.4.2.2 se proporcionan más detalles sobre los parámetros que deben emplearse:

⁵ Para mayor información sobre la aplicación de estas ecuaciones para estimar las emisiones de la combustión de materias volátiles, véase el Protocolo de gases de efecto invernadero de IAI (IAI, 2005a).

ECUACIÓN 4.24⁶
EMISIONES DE CO₂ PROVENIENTES DEL CONSUMO DE PASTA DE ÁNODOS
(METODOS DE NIVEL 2 Y NIVEL 3)

$$E_{CO_2} = \left(PC \cdot MP - \frac{CSM \cdot MP}{1000} - \frac{BC}{100} \cdot PC \cdot MP \cdot \frac{S_p + Ceniza_p + H_p}{100} - \frac{100 - BC}{100} \cdot PC \cdot MP \cdot \frac{S_c + Ceniza_c}{100} - MP \cdot CD \right) \cdot \frac{44}{12}$$

Donde:

E_{CO_2} = emisiones de CO₂ generadas por el consumo de pasta de ánodos, toneladas de CO₂

MP = producción total de metal, toneladas de Al

PC = consumo de pasta de ánodos, toneladas/tonelada de Al

CSM = emisiones de materia soluble en ciclohexano, kg./tonelada de Al

BC = contenido de aglomerante en la pasta de ánodos, % del peso

S_p = contenido de azufre en la brea, % del peso

$Ceniza_p$ = contenido de ceniza en la brea, % del peso

H_p = contenido de hidrógeno en la brea, % del peso

S_c = contenido de azufre en el coque calcinado, % del peso

$Ceniza_c$ = contenido de ceniza en el coque calcinado, % del peso

CD = carbono contenido en el polvo espumado de las celdas Söderberg, toneladas de C/tonelada de Al

44/12 = masa molecular del CO₂; razón de masa atómica del carbono, adimensional

La Ecuación 4.24 debe aplicarse a cada fundidor que utilice el proceso Söderberg en el país y los resultados deben sumarse para obtener el total de las emisiones nacionales. Es posible emplear un método híbrido de Nivel 2/3 si no se dispone de datos sobre el contenido de azufre o de ceniza para cada fundidor.

4.4.2.2 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN PARA LAS EMISIONES DE CO₂ PROVENIENTES DE LA PRODUCCIÓN DE ALUMINIO PRIMARIO

Método de Nivel 1 para las emisiones de CO₂

En el Cuadro 4.10 se enumeran los factores de emisión por defecto para el CO₂ por tonelada de aluminio. Los factores de emisión de 1,6 y de 1,7 para las tecnologías de ánodos precocidos y Söderberg se basan en los datos del estudio mundial del *Instituto Internacional del Aluminio* (IAI, del inglés, *International Aluminium Institute*) (*Life Cycle Assessment of Aluminium*, 2000).

⁶ Un método alternativo aceptable es el de utilizar el parámetro de «coquización de la brea», en vez de deducir valores medidos o por defecto para S_p , H_p , $Ceniza_p$ y CSM de la Ecuación 4.24. El valor de coquización de la brea es un parámetro determinado generalmente para muchas instalaciones con celdas Söderberg y en ASTM D2416 se describe una metodología estándar para efectuar la prueba de coquización de la brea.

CUADRO 4.10 FACTORES DE EMISIÓN DE NIVEL 1 ESPECÍFICOS DE LA TECNOLOGÍA PARA CALCULAR LAS EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO GENERADAS POR EL CONSUMO DE ÁNODOS O DE PASTA DE ÁNODOS		
Tecnología	Factor de emisión (toneladas de CO ₂ /tonelada de Al)	Incertidumbre (+/-%)
Ánodos precocidos ⁷	1,6	10
Søderberg	1,7	10

Fuente: Instituto Internacional del Aluminio, *Life Cycle Assessment of Aluminium* (IAI, 2000).

Factores de emisión de Nivel 2 y 3 para las emisiones de CO₂

Emisiones de CO₂ originadas en las celdas de ánodos precocidos (CWPB y SWPB):

Los factores más significativos de la Ecuación 4.21 son la producción de metal y el consumo neto de ánodos para la tecnología de ánodos precocidos. Estos dos parámetros deben recopilarse en las plantas operacionales individuales para utilizarlos con el Nivel 2 o Nivel 3. Los otros términos de la ecuación efectúan ajustes menores para los componentes no carbonáceos de los ánodos (por ejemplo, azufre y ceniza) y, por lo tanto, no son críticos. El Nivel 3 está basado en el uso de datos específicos de las instalaciones para estos componentes menores, mientras que el método de Nivel 2 está basado en los valores por defecto enumerados en los Cuadros 4.11 a 4.13. El Nivel 3 mejora la exactitud de los resultados, pero no se espera que esta mejora sobrepase el 5 por ciento. Dada su importancia económica, por lo general las instalaciones de producción de aluminio primario registran el carbono consumido por tonelada de aluminio producido. Las plantas que utilizan celdas de ánodos precocidos se refieren a este consumo como «consumo neto de ánodos o consumo neto de carbono» y las que usan las celdas Søderberg lo designan «consumo de pasta de ánodos».

CUADRO 4.11 FUENTES DE LOS DATOS E INCERTIDUMBRES PARA LOS PARÁMETROS UTILIZADOS EN LOS MÉTODOS DE NIVEL 2 O 3 PARA LAS EMISIONES DE CO ₂ DE LAS CELDAS DE ÁNODOS PRECOCIDOS (CWPB Y SWPB), VÉASE ECUACIÓN 4.21				
Parámetro	Método de Nivel 2		Método de Nivel 3	
	Fuente de los datos	Incertidumbre (+/-%)	Fuente de los datos	Incertidumbre (+/-%)
MP: producción total de metal (toneladas de aluminio por año)	Registros de las instalaciones individuales	2	Registros de las instalaciones individuales	2
NAC: NAC = consumo neto de ánodos por tonelada de aluminio (toneladas por tonelada de Al)	Registros de las instalaciones individuales	5	Registros de las instalaciones individuales	5
S _a : S _a = contenido de azufre en los ánodos precocidos (% del peso)	Utilizar valor industrial típico, 2	50	Registros de las instalaciones individuales	10
Ceniza _a : contenido de ceniza en los ánodos cocidos (% del peso)	Utilizar valor industrial típico, 0,4	85	Registros de las instalaciones individuales	10

Fuente: IAI (2005b).

⁷ El factor de emisión para las celdas de ánodos precocidos incluye las emisiones de CO₂ provenientes de la combustión de volátiles de brea y del coque para compactado durante el cocido de los ánodos.

CUADRO 4.12
FUENTES DE LOS DATOS E INCERTIDUMBRES PARA LOS PARÁMETROS UTILIZADOS EN LOS MÉTODOS DE NIVEL 2 O 3 PARA LAS EMISIONES DE CO₂ GENERADAS POR LA COMBUSTIÓN DE VOLÁTILES DE BREA (CWPB Y SWPB), VÉASE LA ECUACIÓN 4.22

Parámetro	Método de Nivel 2		Método de Nivel 3	
	Fuente de los datos	Incertidumbre (+/-%)	Fuente de los datos	Incertidumbre (+/-%)
GA: peso inicial de los ánodos verdes procesados (<i>toneladas de ánodos verdes por año</i>)	Registros de las instalaciones individuales	2	Registros de las instalaciones individuales	2
H _w : contenido de hidrógeno en los ánodos verdes (<i>toneladas</i>)	Utilizar valor industrial típico, 0,005 • GA	50	Registros de las instalaciones individuales	10
BA: producción de ánodos cocidos (<i>toneladas por año</i>)	Registros de las instalaciones individuales	2	Registros de las instalaciones individuales	2
WT: alquitrán de desecho recolectado (<i>toneladas</i>) a) Hornos Riedhammer b) Todos los demás hornos	Utilizar valor industrial típico, a) 0,005 • GA b) insignificant e	50	Registros de las instalaciones individuales	20

Fuente: IAI (2005b).

CUADRO 4.13
FUENTES DE LOS DATOS E INCERTIDUMBRES PARA LOS PARÁMETROS UTILIZADOS EN LOS MÉTODOS DE NIVEL 2 O 3 PARA LAS EMISIONES DE CO₂ GENERADAS POR EL MATERIAL DE COMPACTADO DEL HORNO DE PRECOCIDO (CWPB Y SWPB), VÉASE LA ECUACIÓN 4.23

Parámetro	Método de Nivel 2		Método de Nivel 3	
	Fuente de los datos	Incertidumbre (+/-%)	Fuente de los datos	Incertidumbre (+/-%)
PCC: consumo de coque para compactado (<i>toneladas por tonelada de BA</i>)	Utilizar valor industrial típico, 0,015	25	Registros de las instalaciones individuales	2
BA: producción de ánodos cocidos (<i>toneladas por año</i>)	Registros de las instalaciones individuales	2	Registros de las instalaciones individuales	2
S _{pc} : contenido de azufre en el coque para compactado (<i>% del peso</i>)	Utilizar valor industrial típico, 2	50	Registros de las instalaciones individuales	10
Ceniza _{pc} : contenido de ceniza en el coque de compactado (<i>% del peso</i>)	Utilizar valor industrial típico, 2,5	95	Registros de las instalaciones individuales	10

Fuente: IAI (2005b).

Emisiones de CO₂ originadas en las celdas Søderberg (VSS y HSS):

El contenido de aglomerante en la pasta, BC, varía típicamente en menos del 1 por ciento y forma parte del funcionamiento por instalación. Es un término importante de la Ecuación 4.24 porque el contenido de carbono de la brea, que es un aglomerante, es menor que el del coque, el cual compone el resto de la pasta. Se ha señalado anteriormente que para el consumo de ánodos precocidos, los componentes más importantes de la Ecuación 4.24 son la producción de metal y el consumo de pasta. Los demás términos de la Ecuación 4.24 introducen pequeñas correcciones basadas en las impurezas y en diferencias menores en el contenido de carbono de los materiales. El método de Nivel 3 está basado en el uso de datos operacionales específicos de las instalaciones para estos componentes menores, mientras que el método de Nivel 2 está basado en los valores por defecto enumerados en el Cuadro 4.14. El Nivel 3 mejora la exactitud de los resultados; sin embargo, es probable que el impacto sobre los resultados sea inferior a un 5 por ciento.

CUADRO 4.14
FUENTES DE LOS DATOS E INCERTIDUMBRES PARA LOS PARÁMETROS UTILIZADOS EN LOS MÉTODOS DE NIVEL 2 O 3
PARA LAS EMISIONES DE CO₂ GENERADAS POR LAS CELDAS SØDERBERG (VSS Y HSS)

Parámetro	Método de Nivel 2		Método de Nivel 3	
	Fuente de los datos	Incertidumbre en los datos (+/-%)	Fuente de los datos	Incertidumbre en los datos (+/-%)
MP: producción total de metal (<i>toneladas de aluminio por año</i>)	Registros de las instalaciones individuales	2	Registros de las instalaciones individuales	2
PC : consumo de pasta (<i>toneladas por tonelada de Al</i>)	Registros de las instalaciones individuales	2-5	Registros de las instalaciones individuales	2-5
CSM: emisiones de materia soluble en ciclohexano (<i>kg. por tonelada de Al</i>)	Utilizar valor industrial típico, HSS – 4,0 VSS – 0,5	30	Registros de las instalaciones individuales	15
BC: contenido de aglomerante en la pasta (<i>% del peso</i>)	Utilizar valor industrial típico, Pasta seca – 24 Pasta húmeda – 27	25	Registros de las instalaciones individuales	5
S _p : contenido de azufre en la brea (<i>% del peso</i>)	Utilizar valor industrial típico, 0,6	20	Registros de las instalaciones individuales	10
Ceniza _p : contenido de ceniza en la brea (<i>% del peso</i>)	Utilizar valor industrial típico, 0,2	20	Registros de las instalaciones individuales	10
H _p : contenido de hidrógeno en la brea (<i>% del peso</i>)	Utilizar valor industrial típico, 3,3	50	Registros de las instalaciones individuales	10
S _c : contenido de azufre en el coque calcinado (<i>% del peso</i>)	Utilizar valor industrial típico, 1,9	20	Registros de las instalaciones individuales	10
Ceniza _c : contenido de ceniza en el coque calcinado (<i>% del peso</i>)	Utilizar valor industrial típico, 0,2	50	Registros de las instalaciones individuales	10
CD: carbono en el polvo del ánodo (<i>toneladas de carbono por tonelada de Al</i>)	Utilizar valor industrial típico, 0,01	99	Registros de las instalaciones individuales	30

4.4.2.3 ELECCIÓN DEL MÉTODO PARA LOS PFC

Durante la electrólisis, la alúmina se disuelve en un fundido de fluoruro que contiene alrededor de un 80 por ciento de su peso en criolita . Los perfluorocarbonos (CF₄ y C₂F₆, denominados colectivamente PFC) se forman a partir de la reacción del ánodo de carbono con el fundido de criolita durante una situación de perturbación del proceso conocida como «efecto anódico». El efecto anódico ocurre cuando la concentración de alúmina en el electrolito es demasiado baja para sostener la reacción de ánodo estándar.

RECUADRO 4.2
DESCRIPCIÓN DEL EFECTO ANÓDICO

Un efecto anódico es una condición de perturbación del proceso en la cual una cantidad insuficiente de alúmina se disuelve en el electrolito, y provoca un aumento de la tensión por encima del intervalo de funcionamiento normal, lo cual se traduce en la emisión de gases que contienen PFC.

Para los PFC, tanto el Nivel 2 como el Nivel 3 están basados en datos de proceso específicos de las plantas sobre los efectos anódicos, los cuales se recopilan regularmente. Al escoger un método para los PFC, debe notarse que la incertidumbre asociada con las metodologías de nivel superior es significativamente inferior que para el Nivel

1, por lo cual se recomienda fuertemente usar el Nivel 2 y el Nivel 3 si se trata de una *categoría principal*. Según el tipo de tecnología de producción, la incertidumbre de los métodos para los PFC varía en un intervalo que va de los varios cientos por ciento para el método Nivel 1, hasta menos de veinte por ciento para el método de Nivel 3. Para el inventario de los PFC, debe utilizarse la metodología de Nivel 3 con coeficientes de pendiente o de sobre tensión calculados a partir de datos sobre mediciones obtenidas mediante buenas prácticas de medición (U.S. EPA e IAI, 2003). La comunicación con los productores de aluminio primario permite determinar la disponibilidad de los datos de proceso, los cuales determinan, a su vez, el método que habrá de emplearse para calcular las emisiones.

En las plantas, el rendimiento del efecto anódico se mide rutinariamente en términos de minutos por día de uso de la celda o en términos de sobre tensión de efecto anódico.

Las emisiones de PFC están directamente relacionadas con el rendimiento del efecto anódico a través de un coeficiente, ya sea el coeficiente de pendiente o de sobre tensión.

El árbol de decisión presentado en la Figura 4.12 describe la *buena práctica* al escoger la metodología de inventario para los PFC más apropiada para las circunstancias nacionales. En el caso de las instalaciones altamente eficientes que emiten muy pequeñas cantidades de PFC, es probable que, en comparación con el método de Nivel 2, el método de Nivel 3 no aporte una mejora significativa al inventario general de gases de efecto invernadero de la instalación.⁸ En consecuencia, es una *buena práctica* identificar estas instalaciones antes de seleccionar los métodos, con miras a priorizar los recursos. Los parámetros que identifican a estas instalaciones de alta eficiencia dependen del tipo de datos de proceso que se recolectan en la instalación. Las instalaciones de alta eficiencia son las que operan con menos de 0,2 minutos de efecto anódico por día-celda, para el caso en que se midan los minutos de efecto anódico. Cuando se registra la sobre tensión, las instalaciones de alta eficiencia operan con menos de 1,4 mV de sobre tensión. Además, en estas instalaciones de alta eficiencia resulta difícil medir con exactitud el coeficiente para los PFC de Nivel 3, pues la bajísima frecuencia de los efectos anódicos requiere de un largo tiempo para obtener resultados estadísticamente sólidos. La calificación de una instalación como instalación de alta eficiencia debe evaluarse anualmente debido a factores económicos, tales como los arranques repetidos de las líneas de producción luego de un período de inactividad, o bien, debido a factores de proceso, tales como los periodos de interrupción energética que pueden provocar aumentos temporales de la frecuencia del efecto anódico. Además, las instalaciones que pueden no cumplir inicialmente con los requisitos de alta eficiencia, con el tiempo pueden adquirir la calificación de instalaciones de alta eficiencia, a través de la implementación de nuevas tecnologías o mejorando las prácticas de trabajo. Nótese que en todos los casos, la aplicación de Niveles diferentes para años diferentes reexige la implementación cuidadosa con el fin de garantizar la coherencia de la serie temporal.

Para todas las demás plantas, es preferible aplicar el método de Nivel 3, pues los coeficientes específicos de planta conducirán a estimaciones más exactas. Si no se han realizado mediciones de los PFC para determinar un coeficiente específico de planta, se puede emplear el método de Nivel 2, hasta que las mediciones hayan sido efectuadas y que los coeficientes de Nivel 3 hayan sido establecidos. Los países pueden utilizar una combinación de los métodos de Nivel 2 y 3, según el tipo de datos disponibles en cada planta.

Método de Nivel 1: uso de factores de emisión por defecto basados en la tecnología

El método de Nivel 1 utiliza factores de emisión por defecto basados en la tecnología para los cuatro tipos principales de producción (CWPB, SWPB, VSS y HSS). El total de emisiones de PFC se calcula según la Ecuación 4.25. El nivel de incertidumbre del método de Nivel 1 es mucho mayor porque el rendimiento del efecto anódico de una instalación individual, que es el determinante principal de los efectos de ánodo y, por ende, de las emisiones de PFC, no se toma en cuenta directamente. El Nivel 1 puede ser coherente con la *buena*

⁸ Los niveles de los parámetros de proceso que definen a las instalaciones como de alta eficiencia para las emisiones de PFC, son el resultado combinado de la magnitud y de la incertidumbre en el coeficiente de Nivel 2. Los niveles se calculan utilizando los extremos positivos y negativos del límite de 95% de confianza para el coeficiente de Nivel 2, como sustituto del intervalo de valores probables de los coeficientes de Nivel 3 para estas instalaciones. La diferencia eventual se establece luego para las emisiones globales de gases de efecto invernadero desde una planta de producción, considerando a la vez las emisiones de PFC y de CO₂. Cuando las instalaciones operan con parámetros de proceso a niveles de efecto anódico inferiores o iguales a los señalados para las instalaciones de alta eficiencia, el impacto de un cambio del método de Nivel 2 al método de Nivel 3 para los PFC no produce un cambio superior al 5% en las emisiones de gases de efecto invernadero ponderadas en función de su potencial de calentamiento atmosférico. Según los datos del estudio del IAI 2004 sobre el efecto anódico, las emisiones de PFC desde las instalaciones de alta eficiencia dan cuenta de menos del 3% de las emisiones mundiales de PFC.

práctica sólo cuando los PFC generados por la producción de aluminio primario no constituyen una *categoría principal* y cuando no se dispone de datos pertinentes de las instalaciones en funcionamiento.

ECUACIÓN 4.25
EMISIONES DE PFC (MÉTODO DE NIVEL 1)

$$E_{CF_4} = \sum_i (EF_{CF_4,i} \cdot MP_i)$$

$$E_{C_2F_6} = \sum_i^y (EF_{C_2F_6,i} \cdot MP_i)$$

Donde:

E_{CF_4} = emisiones de CF_4 generadas por la producción de aluminio, kg. de CF_4

$E_{C_2F_6}$ = emisiones de C_2F_6 generadas por la producción de aluminio, kg. de C_2F_6

$EF_{CF_4,i}$ = factor de emisión por defecto por tipo de tecnología de celda i para el CF_4 , kg. de CF_4 /tonelada de Al

$EF_{C_2F_6,i}$ = factor de emisión por defecto por tipo de tecnología de celda i para el C_2F_6 , kg. de C_2F_6 /tonelada de Al

MP_i = producción de metal por tipo de tecnología de celda i , toneladas de Al

Métodos de Nivel 2 y 3: basados en el rendimiento del efecto anódico

Existen dos ecuaciones diferentes para estimar las emisiones de CF_4 para una planta individual y ambas se basan en la relación existente entre el efecto anódico y el rendimiento. Éstas son: la ecuación del coeficiente de pendiente y la ecuación del coeficiente de sobre tensión. Ambos tipos de coeficiente están basados en mediciones directas de los PFC. En el Nivel 2 se hace uso de un coeficiente promedio obtenido de las mediciones en muchas instalaciones, mientras que el Nivel 3 se basa en mediciones efectuadas en la planta individual. Puesto que los mecanismos del proceso que producen emisiones de PFC son similares para el CF_4 y el C_2F_6 , al estimar las emisiones de PFC, ambos gases deben considerarse conjuntamente. En todos los métodos descritos aquí, las emisiones de C_2F_6 se calculan como fracción de las emisiones de CF_4 .

Si se logra establecer una relación entre los datos de proceso del efecto anódico y las emisiones de PFC, para calcular estas emisiones se pueden usar los datos de proceso recolectados en forma continua en vez de medir directamente los PFC. La elección entre las dos relaciones de estimación depende de la tecnología de control del proceso que esté en vigor. Cuando se registran los minutos de efecto anódico por día-celda, debe utilizarse la Ecuación 4.26 y cuando se registran los datos relativos a la sobre tensión, debe emplearse la Ecuación 4.27.

Coeficiente de pendiente: El coeficiente de pendiente representa los kg. de CF_4 por tonelada de aluminio producido, dividido por los minutos de efecto anódico por día-celda⁹. Puesto que las emisiones de PFC se miden por tonelada de aluminio producido, incluye los efectos de la intensidad de corriente en la celda y de la eficiencia actual del proceso, los dos factores que determinan la cantidad de aluminio producido en la celda. La Ecuación 4.26 describe el método de la pendiente tanto para el CF_4 como para el C_2F_6 .

ECUACIÓN 4.26
EMISIONES DE PFC POR EL MÉTODO DE LA PENDIENTE (MÉTODOS DE NIVEL 2 Y NIVEL 3)

$$E_{CF_4} = S_{CF_4} \cdot AEM \cdot MP$$

$$E_{C_2F_6} = E_{CF_4} \cdot F_{C_2F_6/CF_4}$$

Donde:

E_{CF_4} = emisiones de CF_4 generadas por la producción de aluminio, kg. de CF_4

$E_{C_2F_6}$ = emisiones de C_2F_6 generadas por la producción de aluminio, kg. de C_2F_6

S_{CF_4} = coeficiente de pendiente para el CF_4 , (kg. de CF_4 /tonelada de Al)/(minutos-EA/día-celda)

AEM = minutos de efecto anódico por día-celda, minutos-EA/día-celda

⁹ El término «día-celda» se refiere a la cantidad de celdas en operación multiplicada por la cantidad de días de operación.

MP = producción total de metal, toneladas de Al

$F_{C_2F_6/CF_4}$ = fracción de peso del C_2F_6 respecto del CF_4 , kg. de C_2F_6 /kg. de CF_4

Coefficiente de sobre tensión: algunos sistemas de control del proceso caracterizan el efecto anódico calculando una estadística de la sobre tensión de efecto anódico (AEO, del inglés, *Anode Effect Overvoltage*)¹⁰ La AEO se define como la tensión de celda adicional, por encima de la tensión planificada de operación, que se ha determinado como un buen índice de predicción de las emisiones de PFC cuando la registra el sistema de control del proceso. La tecnología AEO de control del proceso está en uso en muchas fundiciones modernas. La sobre tensión AEO se calcula sumando el producto del tiempo y de la tensión que sobrepasa la tensión planificada de operación y dividiendo esta cifra por el tiempo durante el cual se han recolectado los datos.

ECUACIÓN 4.27

EMISIONES DE PFC POR EL MÉTODO DE LA SOBRE TENSIÓN (METODOS DE NIVEL 2 Y NIVEL 3)

$$E_{CF_4} = OVC \cdot \frac{AEO}{CE/100} \cdot MP$$

y

$$E_{C_2F_6} = E_{CF_4} \cdot F_{C_2F_6/CF_4}$$

Donde:

E_{CF_4} = emisiones de CF_4 generadas por la producción de aluminio, kg. de CF_4

$E_{C_2F_6}$ = emisiones de C_2F_6 generadas por la producción de aluminio, kg. de C_2F_6

OVC = coeficiente de sobre tensión para el CF_4 , (kg. de CF_4 /tonelada de Al)/mV

AEO = sobre tensión de efecto anódico, mV

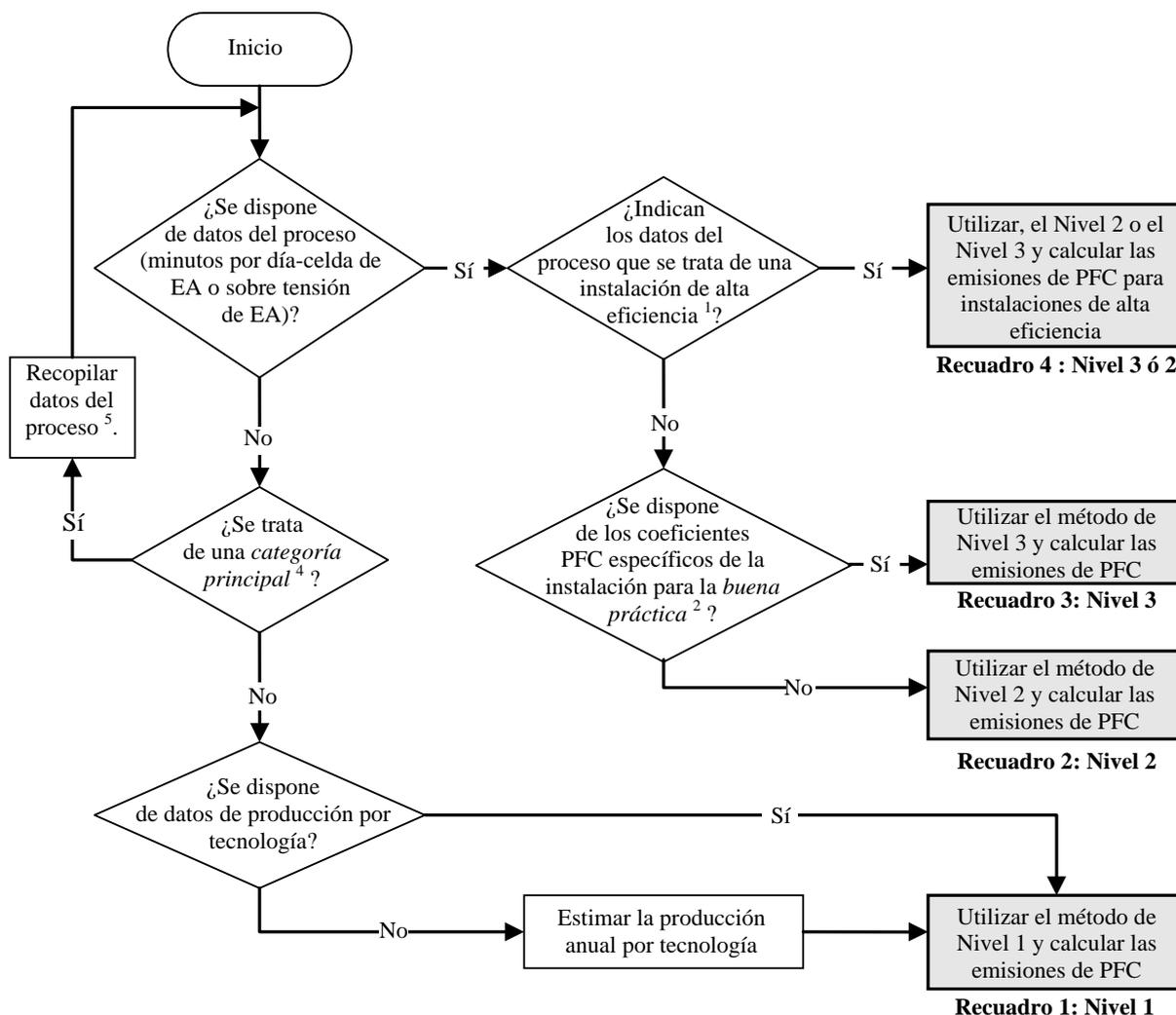
CE = eficiencia expresada actual del proceso de producción de aluminio, porcentaje (p. ej., 95 por ciento)

MP = producción total de metal, toneladas de Al

$F_{C_2F_6/CF_4}$ = fracción de peso del C_2F_6 respecto del CF_4 , kg. de C_2F_6 /kg. de CF_4

¹⁰ Los sistemas de control por computadora determinan, ya sea una sobretensión «positiva» o una sobre tensión «algebraica», según la versión del software utilizado. El uso de la expresión «sobre tensión» no debe confundirse con el de la terminología clásica de la electroquímica, donde ésta designa generalmente la tensión adicional necesaria para que ocurra una reacción electroquímica.

Figura 4.12 **Árbol de decisión para el cálculo de las emisiones de PFC provenientes de la producción de aluminio primario**



Nota :

1. Las instalaciones de alta eficiencia emiten cantidades tan pequeñas de PFC que, a través del uso del método de Nivel 3 en vez del método de Nivel 2, no se pueden esperar mejoras significativas para el inventario general de GEI de la instalación. Las instalaciones de alta eficiencia se definen, según cuáles datos de proceso se recopilen, como aquellas que operan con menos de 0,2 minutos por día-celda de efecto anódico, o menos de 1,4 mV de sobre tensión. En tales instalaciones, al cambiar del método de Nivel 2 al método de Nivel 3 para los PFC, las mejoras en la exactitud del inventario de GEI de la instalación es inferior al 5 por ciento.
2. En el *IAI GHG Protocol* (IAI, 2005) se detallan las *buenas prácticas* para obtener los coeficientes de la ecuación para los PFC específicos de la instalación.
3. En este caso, debe usarse el método de Nivel 2 hasta que se pueda disponer de coeficientes de Nivel 3 específicos del sitio y se emplee el método de Nivel 3, a menos que las emisiones de PFC se desvanezcan, en cuyo caso las instalaciones pueden escoger el uso del Nivel 2 ó 3, indistintamente.
4. Para un análisis de las categorías principales y el uso de los árboles de decisión, Véase Volumen 1 Capítulo 4. Opción metodológica e identificación de Categorías principales (considérese la Sección 4.1.2 sobre recursos limitados).
- 5; Para las categorías principales es una buena práctica recopilar datos sobre el efecto anódico del proceso y la actividad de producción al nivel de producción individual de la instalación.
6. Las plantas de aluminio primario registran regularmente datos de la actividad, incluidos los datos del proceso de producción de metal y del efecto anódico que facilitan, al menos, el método de cálculo de Nivel 2. Para los PFC, al usar los métodos de Nivel 1 pueden producirse errores de magnitud 10 veces superiores.

4.4.2.4 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN PARA LOS PFC

Nivel 1: factores de emisión por defecto basados en la tecnología

Los factores de emisión por defecto para el método de Nivel 1 se presentan en el Cuadro 4.15.

CUADRO 4.15
FACTORES DE EMISIÓN POR DEFECTO E INTERVALOS DE INCERTIDUMBRE PARA EL CÁLCULO DE LAS EMISIONES DE PFC
GENERADAS POR LA PRODUCCIÓN DE ALUMINIO POR TIPO DE TECNOLOGÍA DE CELDA (MÉTODO DE NIVEL 1)

Tecnología	CF ₄		C ₂ F ₆	
	EF _{CF4} (kg./tonelada de Al) ^a	Intervalo de incertidumbre (%) ^b	EF _{C2F6} (kg./tonelada de Al) ^c	Intervalo de incertidumbre (%) ^d
CWPB	0,4	-99/+380	0,04	-99/+380
SWPB	1,6	-40/+150	0,4	-40/+150
VSS	0,8	-70/+260	0,04	-70/+260
HSS	0,4	-80/+180	0,03	-80/+180

^a Valores de CF₄ por defecto calculados de la mediana del rendimiento del efecto anódico, tomados de los datos del estudio *1990 IAI survey data* (IAI, 2001).

^b Incertidumbre basada en el intervalo de las emisiones específicas de CF₄ calculadas por tecnología, tomada de los datos del estudio *1990 IAI survey data* (IAI, 2001).

^c Valores por defecto para el C₂F₆ calculados a partir del promedio global de la razón C₂F₆:CF₄ por tecnología, multiplicados por el factor de emisión de CF₄ por defecto.

^d Intervalo de incertidumbre basado en el promedio global de la razón C₂F₆:CF₄ por tecnología, multiplicado por el valor máximo y el valor mínimo de las emisiones específicas de CF₄, tomados de los datos del estudio *1990 IAI survey data* (IAI, 2001).

Nota: Estos factores de emisión por defecto deben utilizarse sólo en ausencia de datos de Nivel 2 o 3.

Nivel 2: factor de emisión de los PFC basado en una relación específica de la tecnología, entre el rendimiento del efecto anódico y las emisiones de los PFC

El método de Nivel 2 está basado en el uso de coeficientes, ya sea el de pendiente específica de la tecnología o el de sobre tensión, para las tecnologías de celda de reducción y de control del proceso que sean aplicables y que se enumeran en el Cuadro 4.16.¹¹

¹¹ Estos coeficientes de pendiente han sido derivados a partir de mediciones de PFC y estableciendo la correlación entre las emisiones de PFC y los minutos por día-celda de efecto anódico medidos en más de cien fundiciones de aluminio. Los valores del Cuadro 4.16 son los factores específicos de las tecnologías establecidos a partir de datos sobre mediciones disponibles desde marzo de 2005, fecha de elaboración de este documento. Es importante tener presente que los coeficientes de pendiente de Nivel 2 se basan en los minutos de efecto anódico por día-celda, tal como se define en el *IAI GHG Protocol* (IAI, 2005a). Es una *buena práctica* referirse a los datos más actuales para calcular las emisiones de PFC, como se señala en el *IAI GHG Protocol*, y a la base de datos de factores de emisión del IPCC.

CUADRO 4.16 COEFICIENTES DE PENDIENTE Y DE SOBRE TENSIÓN ESPECÍFICOS DE LA TECNOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE LAS EMISIONES DE PFC GENERADAS POR LA PRODUCCIÓN DE ALUMINIO (MÉTODO DE NIVEL 2)						
Tecnología ^a	Coeficiente de pendiente ^{b, c} [(kg. de PFC/t _{Al}) / (minutos-EA/día-celda)]		Coeficiente de sobretensión ^{b, c, d} [(kg. CF ₄ /t _{Al}) / (mV)]		Fracción de peso C ₂ F ₆ / CF ₄	
	CF ₄	Incertidumbre (+/-%)	CF ₄	Incertidumbre (+/-%)	C ₂ F ₆ /CF ₄	Incertidumbre (+/-%)
CWPB	0,143	6	1,16	24	0,121	11
SWPB	0,272	15	3,65	43	0,252	23
VSS	0,092	17	no pertinente	no pertinente	0,053	15
HSS	0,099	44	no pertinente	no pertinente	0,085	48

^a Precocido central (CWPB, del inglés, *Centre-Worked Prebake*), Precocido lateral (SWPB, del inglés, *Side-Worked Prebake*), Søderberg a barra horizontal (HSS, del inglés, *Horizontal Stud Søderberg*) y Søderberg a barra vertical (VSS, del inglés, *Vertical Stud Søderberg*).

^b Fuente: Mediciones declaradas al IAI, mediciones respaldadas por US EPA y múltiples mediciones en instalaciones (U.S. EPA e IAI, 2003).

^c En cada coeficiente de pendiente y de sobre tensión se integra una supuesta eficiencia de recolección de las emisiones, de la manera siguiente: CWPB 98%, SWPB 90%, VSS 85%, HSS 90%. Estas eficiencias de recolección se han supuesto basándose en las fracciones de recolección de PFC medidas, en las eficiencias de recolección de gases fluorados medidas y en la opinión de expertos.

^d Los coeficientes señalados reflejan mediciones efectuadas en algunas instalaciones que registran sobre tensiones positivas y otras que registran sobre tensiones algebraicas. Aún no se ha establecido una relación robusta entre la sobre tensión positiva y la sobre tensión algebraica. La sobre tensión positiva proporciona una mejor correlación con las emisiones de PFC que la sobre tensión algebraica. Los coeficientes de sobre tensión no son pertinentes para las tecnologías VSS y HSS.

Nivel 3: factor de emisión de los PFC basado en una relación específica de la instalación, entre rendimiento del efecto anódico y las emisiones de PFC

El método de nivel 3 se basa en un coeficiente de pendiente o de sobre tensión de efecto anódico específico de la planta. Este coeficiente caracteriza la relación que existe entre el rendimiento del efecto anódico de la planta y las emisiones de PFC medidas mediante mediciones continuas o periódicas, coherentes con las prácticas de medición establecidas (U.S. EPA and IAI, 2003) y con el protocolo sobre GEI del Instituto Internacional del Aluminio, *International Aluminium Institute GHG Protocol* (IAI, 2005a).

4.4.2.5 ELECCIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Las estadísticas sobre la producción deben estar disponibles en cada instalación para permitir el uso de los métodos de Nivel 1, tanto para las emisiones de CO₂ como para las de PFC. Es probable que la incertidumbre en las toneladas de aluminio producido sea baja en la mayoría de los países. Dado que se espera una disponibilidad universal de los datos de producción, los datos sobre capacidad de producción deben utilizarse sólo para verificar las estadísticas de producción.

Los métodos de *buena práctica* para las emisiones de PFC requieren datos exactos sobre los minutos de efecto anódico o datos exactos respecto de la sobre tensión (AEO) para todos los tipos de celdas. Las estadísticas anuales deben basarse en el promedio ponderado respecto de la producción de los datos mensuales sobre el efecto anódico. Tanto el Nivel 2 como el Nivel 3 emplean los minutos de efecto anódico por día-celda o la sobre tensión del efecto anódico, así como los datos de producción de aluminio. Se debe consultar a las compañías productoras de aluminio individuales o los grupos industriales, las asociaciones nacionales del aluminio o el Instituto Internacional del Aluminio, para garantizar que los datos estén disponibles y expresados en un formato utilizable para la estimación del inventario.

Para las emisiones de CO₂, todos los fundidores de aluminio recopilan datos conformes con los métodos de Nivel 2 o 3. Los fundidores Søderberg recolectan datos sobre el consumo de pasta de ánodos, mientras que los fundidores que emplean precocidos registran el consumo de ánodos cocidos. Los métodos de Nivel 2 y 3 emplean las mismas ecuaciones para el cálculo de las emisiones de CO₂; sin embargo, el método de Nivel 3 utiliza datos específicos de la planta sobre la composición de los materiales anódicos, mientras que el método de Nivel 2 usa promedios industriales de datos sobre consumo de ánodos.

4.4.2.6 EXHAUSTIVIDAD

En general, las instalaciones de aluminio primario disponen de buenos registros sobre las toneladas de aluminio producido a través de toda la serie temporal cubierta por el inventario. Además, por lo general, los datos sobre consumo de carbono deben estar disponibles para el mismo período. Los datos de proceso sobre el efecto anódico pueden estar incompletos para toda la serie temporal y quizá sea necesario tomar medidas, como las descritas en la Sección 4.4.2.7, Desarrollo de una serie temporal coherente, para calcular las emisiones de PFC para algunas porciones del periodo del inventario. La producción de aluminio primario utiliza también grandes cantidades de energía eléctrica y deben tomarse precauciones para evitar omisiones del dióxido de carbono asociado con las entradas de electricidad, o bien, para evitar cálculos dobles de este dióxido de carbono.

4.4.2.7 DESARROLLO DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Típicamente, las estadísticas sobre producción de aluminio deberían estar disponibles para toda la trayectoria de la planta. El desarrollo de una serie temporal coherente para las emisiones de dióxido de carbono no debería presentar problemas, dado que la mayoría de las plantas han medido y registrado el consumo de ánodos o de pasta. Si faltan datos sobre el consumo de ánodos o de pasta, las emisiones de dióxido de carbono pueden estimarse a partir de la producción de aluminio con el método de Nivel 1.

Los mejores resultados para una serie temporal se obtienen de una serie temporal completa de datos de la actividad relacionados con los PFC, tales como los minutos de efecto anódico por día-celda o la sobre tensión de efecto anódico. Debido a que las emisiones de PFC se constituyeron en un área de interés mayor para la industria mundial del aluminio sólo en los inicios de los años 1990, algunas plantas pueden poseer información limitada acerca de los datos del efecto anódico requeridos para implementar las prácticas de inventario de los PFC de Nivel 2 o 3, sobre la totalidad del periodo cubierto por el inventario. Al revertir los cálculos de emisiones de PFC hacia los métodos de Nivel 1, pueden introducirse errores y discontinuidades sustanciales para los años en los que no se dispone de datos de la actividad. Para una instalación y una disponibilidad dadas de datos detallados de proceso, la idoneidad de la aplicación retrospectiva de los factores de emisión de PFC, de Nivel 2 o de Nivel 3, varía según las condiciones específicas. Generalmente, se prefiere emplear métodos de predicción retrospectiva de Nivel 2 o de Nivel 3 que utilizan el empalme o los datos sustitutos, en vez de aplicar factores de emisión de Nivel 1. En particular, allí donde se disponga sólo de datos sobre la frecuencia del efecto anódico y no se disponga de datos sobre su duración, es una *buena práctica* empalmar o extrapolar retroactivamente las emisiones de PFC por tonelada de aluminio, basándose en los datos sobre la frecuencia del efecto anódico. En la actualidad, muchas plantas están realizando mediciones de PFC que facilitan la implementación de los métodos de inventario de los PFC de Nivel 3. Hay varios problemas que repercuten sobre la posibilidad de extrapolar los factores de emisión de PFC de Nivel 3 a periodos anteriores del inventario. Entre los factores que deben considerarse se incluyen las situaciones siguientes: si se han implementado mejoras tecnológicas en la instalación, si hubo cambios sustanciales en las prácticas de trabajo, si han ocurrido cambios en los cálculos de los datos pertinentes del proceso subyacente y en la calidad de las mediciones efectuadas para determinar los coeficientes de Nivel 3. Es una *buena práctica* consultar a los representantes de las instalaciones operacionales, fuere directamente o a través de las organizaciones regionales o internacionales que representan a la industria, para desarrollar la mejor estrategia para abordar el grupo específico de sitios operacionales incluidos en el inventario nacional. Informaciones útiles adicionales sobre los métodos de empalme y detalles relacionados con la construcción de una serie temporal para el aluminio primario están disponibles en el *IAI* (IAI, 2005). También, en el Instituto Internacional del Aluminio (Londres, Reino Unido) se puede acceder a la asesoría de expertos en relación con las emisiones de gases de efecto invernadero y con las emisiones industriales típicas provenientes de la producción de aluminio.

4.4.3 Evaluación de incertidumbre

En función de la elección de métodos de Nivel 1, 2 o 3, existen diferencias mayores respecto de la incertidumbre para las emisiones de PFC. Las diferencias en la incertidumbre que resulta de la elección del método son mucho menores para las emisiones de dióxido de carbono que para las emisiones de PFC. Para las emisiones generadas por la producción de aluminio, no hay otras causas que expliquen las diferencias de un país o región, que las que resultan de los tipos específicos de tecnologías de producción y de las prácticas de trabajo en uso en el país o la región. Estas diferencias se reflejan en las metodologías de cálculo descritas más arriba.

4.4.3.1 INCERTIDUMBRES DEL FACTOR DE EMISIÓN

La incertidumbre en los factores de emisión que se usan para calcular las emisiones de dióxido de carbono generadas por el consumo de ánodos o de pasta, debe ser inferior al ± 5 por ciento, tanto para el método de Nivel 2 como para el de Nivel 3, e inferior al ± 10 por ciento para el método de Nivel 1. Las reacciones que conducen a las emisiones de dióxido de carbono son bien conocidas y las emisiones están muy bien vinculadas al tonelaje de aluminio producido a través de las ecuaciones electroquímicas fundamentales para la reducción de la alúmina en un ánodo de carbono y para la oxidación por medio de procesos térmicos. Estos dos procesos fundamentales que producen dióxido de carbono están incluidos en los parámetros de proceso que se monitorean rutinariamente en las plantas de producción: el consumo neto de carbono y/o de pasta de ánodo. La fuente principal de incertidumbre corresponde al consumo neto de carbono para las tecnologías de precocidos y el consumo de pasta para las celdas Söderberg. Ambos factores se monitorean cuidadosamente y constituyen factores importantes del desempeño económico de una instalación. Al pasar de los métodos de Nivel 1 a los de Nivel 2, se pueden lograr mejoras en la exactitud de los inventarios sobre emisiones de dióxido de carbono pues existe un intervalo de rendimientos de las instalaciones de reducción respecto del consumo de los materiales de los ánodos de carbono. Las mejoras esperadas en la exactitud respecto del método Nivel 2, son menos significativas al escoger el método de Nivel 3. Esto se debe a que los factores principales del cálculo son el consumo neto de carbono de los ánodos o de pasta y la producción de aluminio. La incertidumbre de estos dos componentes de la ecuación del cálculo es baja, del orden del 2 al 5 por ciento, y en los métodos de Nivel 2 y Nivel 3, estas incertidumbres dominan el cálculo general de las emisiones de dióxido de carbono. En los cálculos de estos parámetros, tanto de Nivel 2 como de Nivel 3, se emplean datos específicos de la planta. El método de Nivel 3 es un refinamiento de los cálculos que usa la composición real de los materiales de los ánodos de carbono. Aunque puede darse una variabilidad considerable en los componentes de los materiales de ánodo, esta variabilidad no contribuye significativamente al cálculo general de las emisiones de dióxido de carbono.

Al considerar los cambios en las incertidumbres del inventario sobre emisiones de PFC, cuando se pasa del Nivel 1 al Nivel 2 y al 3, las mayores reducciones de incertidumbre se obtienen al escoger los métodos de Nivel 2 o 3 en vez del método de Nivel 1. El alto nivel de incertidumbre en el método de Nivel 1 es el resultado directo de la gran variabilidad en el rendimiento del efecto anódico entre los operadores que usan una tecnología de producción similar. El método de Nivel 1 se basa en el uso de un único coeficiente por defecto para todos los operadores por tipo de tecnología. Puesto que puede haber variaciones por factores de 10 en el rendimiento del efecto anódico (frecuencia y duración) entre operadores que emplean la misma tecnología (IAI, 2005c), la utilización del método de Nivel 1 puede producir incertidumbres de la misma magnitud. Hay un impacto menor sobre los niveles de incertidumbre al escoger el método de Nivel 3, en reemplazo del método de Nivel 2; sin embargo, el nivel de la reducción de incertidumbre depende del tipo de tecnología de celda. La incertidumbre para los coeficientes promedio de la industria varía en un intervalo que va de un ± 6 por ciento para la CWPB, la tecnología más ampliamente medida y utilizada, hasta un ± 44 por ciento para la tecnología HSS. Tanto el método de Nivel 2 como el de Nivel 3 se basan en mediciones directas de PFC que permiten establecer una relación entre el rendimiento del efecto anódico y las emisiones específicas de PFC. El método de Nivel 2 utiliza un coeficiente de ecuación promedio de la industria, mientras que el método de Nivel 3 emplea un coeficiente específico de la planta basado en mediciones directas de PFC efectuadas en la planta. A medida que se realicen más mediciones de instalaciones, en particular en aquellas que operan con tecnologías Söderberg, la incertidumbre en los coeficientes promedio debería disminuir. La incertidumbre más baja para los cálculos de emisiones de PFC se obtiene mediante el método de Nivel 3. Sin embargo, para alcanzar esta incertidumbre inferior en los cálculos de emisiones de PFC de Nivel 3, es importante emplear *buenas prácticas* al efectuar las mediciones de PFC específicas de la instalación. Las *buenas prácticas* de medición han sido establecidas y documentadas en un protocolo disponible a nivel mundial (USEPA/IAI, 2003). Cuando estos coeficientes de Nivel 3 se determinan de manera apropiada, poseen una incertidumbre de ± 15 por ciento en el momento de efectuar la medición de los coeficientes.

4.4.3.2 INCERTIDUMBRES EN LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Hay muy poca incertidumbre, menos del 1 por ciento, en los datos sobre la producción anual de aluminio. Se estima que la incertidumbre asociada al registro del consumo de carbono, como consumo de ánodos precocidos o de coque y de pasta de ánodos, es sólo ligeramente superior a la de la producción de aluminio: menos de un 2 por ciento. El otro componente de las emisiones específicas de la instalación calculadas mediante los métodos de Nivel 2 o de Nivel 3, corresponde a los datos de la actividad relacionados con el efecto anódico, esto es, ya sea los minutos de efecto anódico por día-celda o la sobre tensión del efecto anódico. Típicamente, estos parámetros son registrados por el sistema de control del proceso como parte de las operaciones en casi todas las plantas de producción de aluminio y las incertidumbres asociadas a estos datos son bajas.

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

4.4.4.1 GARANTÍA DE CALIDAD / CONTROL DE CALIDAD (GC/CC)

En todas las instalaciones de producción de aluminio, es una *buena práctica* mantener registros de todos los datos de la actividad necesarios para realizar los cálculos de los factores de emisión, como se sugiere en estas directrices. Estos registros incluirán la producción de aluminio, el rendimiento del efecto anódico y el consumo de materiales carbonáceos utilizados, en las celdas con ánodos precocidos o en las celdas Söderberg. Además, el Instituto Internacional del Aluminio mantiene resúmenes mundiales de datos agregados de la actividad sobre estos mismos parámetros y los datos regionales están disponibles en las asociaciones regionales del aluminio. Es una *buena práctica* agregar las estimaciones de emisiones de cada fundidor para estimar el total nacional de emisiones. Sin embargo, si no se dispone de datos de producción al nivel del fundidor, se pueden usar los datos sobre su capacidad de producción junto con la producción agregada nacional para estimar la producción del fundidor.

Es una *buena práctica* verificar los factores de emisión de CO₂ por tonelada de aluminio de las instalaciones, comparándolos con el intervalo esperado de variación que se pueda predecir a partir de las variaciones señaladas en los Cuadros 4.10 y 4.11 para las emisiones específicas de dióxido de carbono. Por igual, los coeficientes de la ecuación de base utilizados para calcular los factores de emisión de PFC por tonelada de aluminio, deben compararse con los que se señalan en el Cuadro 4.15. Se sugiere que todo valor de inventario que esté fuera del intervalo de confianza del 95 por ciento de la varianza de la población de datos sea confirmado con la fuente de los datos.

El empleo de métodos de medición estándar mejora la coherencia de los datos resultantes y el conocimiento de las propiedades estadísticas de los datos. Para el aluminio primario, la norma reconocida internacionalmente es el protocolo *EPA/IAI Protocol for Measurement of Tetrafluoromethane (CF₄) and Hexafluoroethane (C₂F₆) Emissions from Primary Aluminum Production* (U.S. EPA and IAI, 2003 Protocolo para la medición de las emisiones de tetrafluorometano (CF₄) y hexafluoroetano (C₂F₆) provenientes de la producción primaria del aluminio). Los compiladores del inventario deben instar a las plantas a utilizar este método para desarrollar los coeficientes de la ecuación de Nivel 3 para los PFC. Las diferencias significativas entre los coeficientes calculados basándose en las mediciones de PFC y los coeficientes promedio de la industria de Nivel 2 para tecnologías de reducción similares, deben suscitar revisiones más profundas y verificaciones de los cálculos. Las grandes diferencias deben explicarse y documentarse. Un conjunto de datos internacionales sobre rendimiento anódico que puede emplearse para identificar los datos extremos atípicos está disponible en el Instituto Internacional del Aluminio. Además, al evaluar la idoneidad de los datos declarados, debe consultarse una base de datos actualizada sobre mediciones de PFC que lleva también el IAI.

Los cambios inter anuales en las emisiones de dióxido de carbono por tonelada de aluminio no deben sobrepasar el ± 10 por ciento, basándose en la coherencia de los procesos subyacentes que producen dióxido de carbono. Por el contrario, los cambios inter anuales en las emisiones de PFC por tonelada de aluminio pueden variar dentro del orden de hasta un ± 100 por ciento. Los aumentos en las emisiones específicas de PFC pueden ser el resultado de las inestabilidades del proceso. Los aumentos en la frecuencia y duración del efecto anódico pueden ser el resultado de factores tales como las interrupciones no anticipadas de energía, los cambios en las fuentes de los materiales de alimentación en alúmina, los problemas operacionales en las celdas y los aumentos en la intensidad de la corriente de línea para aumentar la producción de aluminio. Las disminuciones de emisiones específicas de PFC pueden ser el resultado de disminuciones en la frecuencia y duración del efecto anódico debido a cambios en los algoritmos computadorizados que se emplean en el control del proceso en las celdas, mejoramientos en la tecnología de celdas, tales como la instalación de alimentadores por puntos, mejoras en las prácticas de trabajo y un mejor control de las materias primas.

4.4.4.2 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, como se indica en el Volumen 1, Capítulo 6, Garantía de calidad y Control de calidad, Documentación interna y Archivo. A continuación se indican algunos ejemplos de documentación y generación de informes pertinentes para esta categoría de fuente:

No resulta práctico incluir toda la documentación en el informe sobre el inventario nacional. Sin embargo, el inventario debe incluir resúmenes de los métodos utilizados y referencias a las fuentes de datos, de modo que las

estimaciones de emisiones declaradas resulten transparentes y que las etapas de su cálculo puedan ser reproducidas. Para mejorar la transparencia, es una *buena práctica* declarar las emisiones de PFC de la producción de aluminio en forma separada de otras categorías de fuentes. Además, es una *buena práctica* que las emisiones de se declaren separadamente sobre la *base de las masas*.

La información de soporte necesaria para garantizar la transparencia en las estimaciones de emisiones declaradas, se muestra en el siguiente Cuadro 4.17, Información declarativa de *buena práctica* para las emisiones de PFC de la producción de aluminio, por Nivel.

Gran parte de los datos sobre producción y procesos es considerada como propiedad industrial por los operadores, particularmente cuando en un país sólo hay un número reducido de plantas. Es una *buena práctica* aplicar técnicas apropiadas, incluyendo la agregación de los datos, para garantizar la protección de los datos confidenciales.

CUADRO 4.17			
INFORMACIÓN DECLARATIVA DE BUENA PRÁCTICA PARA LAS EMISIONES DE CO₂ Y PFC DE LA PRODUCCIÓN DE ALUMINIO, POR NIVEL			
Datos	Nivel 3	Nivel 2	Nivel 1
PFC			
Producción nacional anual (por tecnología CWPB, SWPB, HSS o VSS)			X
Producción anual por fundidor (por tecnología CWPB, SWPB, HSS o VSS)	X	X	
Minutos de efecto anódico por día-celda o sobre tensión de efecto anódico (mV)	X	X	
Coefficientes de emisión específicos de la instalación vinculados al rendimiento del efecto anódico	X		
Coefficientes de emisión específicos de la tecnología vinculados al rendimiento del efecto anódico		X	
Coefficientes de emisión por defecto de la tecnología			X
Documentación de soporte	X	X	X
CO₂			
Producción nacional anual (por tecnología de precocido o Søderberg)			X
Producción anual por fundidor (por tecnología de precocido o Søderberg)	X	X	
Consumo neto de ánodos en celdas de precocido o consumo de pasta en celdas Søderberg	X	X	
Niveles de impureza en materiales de carbono y polvo de carbono en celdas Søderberg	X		

4.5 PRODUCCIÓN DE MAGNESIO

4.5.1 Introducción

En la industria del magnesio hay una serie de gases y de fuentes potenciales de emisión. La cantidad y el tipo de emisiones generadas por la industria del magnesio se corresponden con las materias primas utilizadas para la producción de magnesio metálico primario y/o con el tipo de mezcla de gases de cobertura empleada en las fundiciones de moldeo y reciclado, para evitar la oxidación del magnesio fundido. Es una *buena práctica* considerar todos los segmentos de la industria del magnesio y sus emisiones relacionadas, en lo posible de manera desagregada. En el Cuadro 4.18 se enumeran las posibles emisiones de gases de efecto invernadero que pueden asociarse con la producción y el moldeo de metal magnesio primario y secundario.

El magnesio primario se refiere al magnesio metálico derivado de fuentes minerales. El magnesio primario puede producirse, ya sea mediante electrólisis, o bien, por un proceso de reducción térmica. Las materias primas utilizadas para la producción de magnesio primario son la dolomita, la magnesita, la carnalita, la serpentina, las salmueras o el agua de mar. El procesamiento de las materias primas carbonatadas (magnesita y dolomita) libera CO₂ durante la fabricación. El CO₂ es liberado durante la calcinación de los minerales basados en carbonatos (dolomita/magnesita), una etapa de tratamiento previo al proceso principal de reducción electrolítica y/o térmica. Este proceso es similar al de la generación de CO₂ en la industria de los minerales (véase Capítulo 2).

La producción de magnesio secundario incluye la recuperación y el reciclado de magnesio metálico a partir de una variedad de materiales de chatarra que contienen magnesio: por ejemplo, componentes reciclados postconsumo, virutas y desechos de maquinado, chatarras de moldeos, residuos de horno, etc. Los procesos de moldeo del magnesio pueden emplear metal proveniente de la producción, tanto de magnesio primario como de magnesio secundario. Los procesos de moldeo implican la manipulación de magnesio puro fundido y/o de aleaciones con un alto contenido de magnesio. El magnesio fundido (se subentiende que designa también a las aleaciones con un alto contenido de magnesio) puede moldearse mediante una variedad de métodos que incluyen el moldeo por gravedad, moldeo en arena, moldeo por inyección a presión y otros.

Todo el magnesio fundido arde espontáneamente en presencia de oxígeno atmosférico. La producción y el moldeo de todo metal de magnesio requieren de un sistema de protección para evitar que arda. Entre los diversos sistemas de protección comúnmente utilizados se hallan aquellos que emplean componentes gaseosos con valores elevados de PCA, tales como el SF₆, que se escapa típicamente hacia la atmósfera. Todas las fuentes y los diferentes procesos de moldeo de magnesio metálico requieren métodos de protección y tendrán, por lo tanto, potenciales similares de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

CUADRO 4.18 POSIBLES EMISIONES DE GEI RELACIONADAS CON LA PRODUCCIÓN Y EL PROCESAMIENTO DEL MAGNESIO				
PROCESO	EMISIÓN POTENCIAL DE GEI ASOCIADA AL PROCESO			
	SF ₆	HFC	CO ₂	Otros*
Preparación de la materias primas para la producción primaria				
Baso en la dolomita y/o magnesita	-	-	X	-
Otras materias primas	-	-	-	-
Moldeo (primario y secundario)				
Moldeo primario de lingotes	X	X	X	X
Moldeo por inyección a presión	X	X	X	X
Moldeo por gravedad	X	X	X	X
Otros métodos de moldeo	X	X	X	X
Producción secundaria de Mg**	X	X	X	X
* Otros incluye las cetonas fluoradas y varios productos fluorados de descomposición, p. ej., PFC				
** Incluye los procesos que implican el reciclado y/o la recuperación de magnesio metálico				

La producción secundaria de magnesio (reciclado), la manipulación, la fundición y el moldeo de metal fundido se protegen contra la oxidación, a través de todo el proceso, mediante sistemas de protección tales como la cobertura gaseosa antioxidante que contiene SF₆ o SO₂ (un gas de transporte (generalmente aire y/o CO₂) y SF₆ o SO₂¹²), o bien, en algunos casos, fundente. Las aleaciones con alto contenido de magnesio se protegen también generalmente mediante una cobertura gaseosa que contiene SF₆. Debido a los desarrollos tecnológicos recientes y a los esfuerzos por reemplazar el SF₆, la industria del magnesio ha introducido gases de cobertura alternativos. Está previsto que en la próxima década, dos de las alternativas más comunes para el SF₆ sean el hidrocarburo fluorado HFC-134^a y la cetona fluorada FK 5-1-12 (C₃F₇C(O)C₂F₅), comercializada bajo el nombre de marca Novec™612¹³, y el hecho que los productores y/o procesadores individuales de magnesio escojan uno u otro gas de cobertura estará fuertemente influido por las circunstancias nacionales y/o regionales (Tranell *et al.*, 2004).

EMISIONES DE CO₂ DE LA PRODUCCIÓN PRIMARIA

Como se indica en el Cuadro 4.18, los minerales que contienen magnesio y que liberan CO₂ durante la calcinación, son la dolomita (Mg•Ca(CO₃)₂) y la magnesita (MgCO₃). Por cada kilogramo de magnesio producido, durante la calcinación se emiten teóricamente 3,62 kg.¹⁴ (dolomita) o 1,81 kg. (magnesita) de CO₂. Las emisiones efectivas de CO₂ por kilogramo de magnesio producido serán superiores a la emisión teórica debido a las pérdidas de magnesio en la cadena de proceso.

PROCESOS DE MOLDEO DEL MAGNESIO (PRIMARIO Y SECUNDARIO)

En los procesos de moldeo del magnesio, el tamaño y el tipo de emisión de GEI depende del sistema de cobertura gaseosa que se utilice para proteger el magnesio líquido. Además de las emisiones del compuesto de protección activo (SF₆, HFC-134a o FK 5-1-12) en el propio gas de cobertura, puede haber emisiones de varios productos fluorados de descomposición (p. ej., PFC) y potencialmente, también en el gas de transporte (según que se haya escogido aire y/o CO₂ o N₂).

SF₆

Se ha supuesto comúnmente que el SF₆ en el gas de cobertura de magnesio es inerte y que, por lo tanto, esencialmente todo el SF₆ que se utiliza en la industria del magnesio será emitido. Sin embargo, recientes estudios independientes (Bartos *et al.*, 2003 y Tranell *et al.*, 2004) han demostrado que el SF₆ se destruye, en un cierto grado, al contacto con el magnesio líquido y/o gaseoso a las temperaturas comunes de retención y/o procesamiento del magnesio. La fracción de SF₆ destruido en el horno, así como el tipo y/o la cantidad de productos gaseosos secundarios generados en la reacción con el magnesio, dependen de las condiciones propias de la operación, tales como la concentración del SF₆ en el gas de cobertura, el índice de flujo total del gas de cobertura, el área de la superficie reactiva del magnesio, el tipo de gas de transporte utilizado, las prácticas de carga del horno, etc.

HFC-134a, FK 5-1-12 y productos de descomposición (p. ej., PFC)

Tanto el HFC-134a como el FK 5-1-12 son termodinámicamente menos estables (y, por lo tanto, poseen un PCA mucho más bajo) que el SF₆. Se espera, entonces, que estos gases se descompongan y/o reaccionen de manera extensiva al contacto con el magnesio líquido y/o gaseoso, y así conduzcan a la producción de varios gases fluorados (p. ej., PFC). Tranell *et al.*, 2004 hallaron que, como regla general, cuando el SF₆ es reemplazado por HFC-134a, se necesita menos de la mitad de la cantidad de compuesto fluorado activo, sobre una base molar, para proteger una superficie de magnesio dada (bajo condiciones, en todo lo demás, idénticas). Cuando el SF₆ se reemplaza por FK 5-1-12, se necesita menos de un cuarto de la cantidad de compuesto activo. Se ha informado que, como es el caso para el SF₆, la cantidad de compuesto activo en el gas de cobertura entrante que se destruye en el horno depende de condiciones tales como la concentración en el gas de cobertura, la tasa de flujo total del gas de cobertura, el área de la superficie reactiva del magnesio, el tipo de gas de transporte utilizado, las prácticas de carga, etc. Nótese que las emisiones de PFC como productos de descomposición podrían ser más significativas, en términos de equivalente CO₂, que las emisiones de FK 5-1-12, dados sus efectos radiativos relativos¹⁵.

¹² En coherencia con el alcance de estas Directrices esbozado en el Volumen 1, en este capítulo no se proporcionan métodos para estimar las emisiones de SO₂.

¹³ El FK 5-1-12 (C₃F₇C(O)C₂F₅), comercializado como Novec™612, es una cetona fluorada producida por 3M (Milbrath, 2002).

¹⁴ Representa un caso en que el mineral posee un cociente estequiométrico Mg/Ca igual a 1.

¹⁵ El valor de PCA del FK 5-1-12 no ha sido identificado en el Tercer informe de evaluación del IPCC (IPCC, 2001) (TAR, del inglés, en *IPCC Third Assessment Report*), pero se estima que sea similar al del CO₂, según el productor de este gas.

Gases de transporte

Muchos sistemas de gases de cobertura emplean el CO₂ como gas de transporte —solo o combinado con aire seco— para diluir el compuesto fluorado activo y reducir la presión parcial del oxígeno en el horno. Que todo el CO₂ utilizado en el gas de cobertura sea emitido como CO₂, es una hipótesis cuantitativamente razonable. La cantidad de dióxido de carbono utilizado como gas de cobertura es mucho menor que la de los agentes activos usuales en el sistema de gas de cobertura y, por lo general, puede desecharse.

4.5.2 Cuestiones metodológicas

4.5.2.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO

EMISIONES DE CO₂ DE LA PRODUCCIÓN PRIMARIA

La elección de un método de *buena práctica* para la preparación del inventario de emisiones de dióxido de carbono generadas por el segmento de producción primaria de magnesio (materias primas), depende de las circunstancias nacionales. El árbol de decisión (véase la Figura 4.13, Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de CO₂ de la producción primaria de magnesio) describe las *buenas prácticas* al adaptar los métodos a estas circunstancias específicas del país.

Nivel 1

El método de Nivel 1 se apoya en los datos sobre la producción primaria nacional y en el conocimiento de las materias primas utilizadas en el país. Los datos nacionales de producción pueden no estar disponibles de manera pública pues hay un número limitado de países que producen magnesio y sólo unos pocos productores individuales —a menudo, uno por país— lo cual conduce frecuentemente a designar los datos sobre la producción nacional como confidenciales. Ante la ausencia de estadísticas nacionales sobre la producción primaria de magnesio, las asociaciones industriales, tales como la Asociación Internacional del Magnesio (<http://www.intlmag.org/>), pueden estar en condiciones de proveer estadísticas regionales. En caso de carencia de otros datos, puede ser posible estimar la producción primaria de magnesio a partir de los datos sobre las ventas nacionales anuales de metal magnesio. Este método posee una incertidumbre elevada pues no toma en cuenta el magnesio utilizado en la fabricación nacional de productos.

Las emisiones de CO₂ se calculan utilizando la Ecuación 4.28.

<p>ECUACIÓN 4.28</p> <p>EMISIONES DE CO₂ PROVENIENTES DE LA PRODUCCIÓN DE MAGNESIO PRIMARIO (NIVEL 1)</p> $E_{CO_2} = (P_d \cdot EF_d + P_{mg} \cdot EF_{mg}) \cdot 10^{-3}$

Donde:

E_{CO_2} = emisiones de CO₂ generadas por la producción de magnesio primario, Gg

P_d = producción de magnesio primario a partir de la dolomita, toneladas

P_{mg} = producción de magnesio primario a partir de la magnesita, toneladas

EF_d = factor de emisión por defecto para las emisiones de CO₂ generadas por la producción de magnesio primario a partir de la dolomita, toneladas de CO₂/tonelada de Mg primario producido

EF_{mg} = factor de emisión por defecto para las emisiones de CO₂ generadas por la producción de magnesio primario a partir de la magnesita, toneladas de CO₂/tonelada de Mg primario producido

Nivel 2

El método de Nivel 2 para determinar las emisiones de CO₂ generadas por la producción de magnesio primario implica recolectar factores de emisión empíricos y específicos de las compañías y/o plantas, además de los datos de producción específicos de la compañía. Los factores de emisión específicos de la compañía pueden diferir sustancialmente de los factores de emisión por defecto, según la manipulación de los materiales de proceso. Esta recolección debe efectuarse si las emisiones corresponden a una *categoría principal*.

Las emisiones de CO₂ se calculan utilizando la Ecuación 4.29.

ECUACIÓN 4.29
EMISIONES DE CO₂ PROVENIENTES DE LA PRODUCCIÓN DE MAGNESIO PRIMARIO (NIVEL 2)

$$E_{CO_2} = \sum_i (P_i \cdot EF_i) \cdot 10^{-3}$$

Donde:

E_{CO_2} = emisiones de CO₂ generadas por la producción de magnesio primario, Gg

P_i = magnesio primario producido en la planta i , toneladas

EF_i = factor de emisión específico de la compañía y/o planta para las emisiones de CO₂ generadas por la producción de magnesio primario obtenido de la compañía y/o planta i , toneladas de CO₂/tonelada de Mg primario producido

Nivel 3

Si se dispone de datos sobre las emisiones de CO₂ medidas efectivamente de las plantas individuales de magnesio primario, éstos pueden agregarse y emplearse directamente para dar cuenta de las emisiones nacionales.

PROCESOS DE MOLDEO DEL MAGNESIO (PRIMARIO Y SECUNDARIO)

SF₆

La elección de un método de *buena práctica* para la preparación del inventario de emisiones de SF₆ generadas por el segmento de fundición de magnesio, depende también de las circunstancias nacionales. El árbol de decisión (véase la Figura 4.14, Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de SF₆ del procesamiento del magnesio) describe las *buenas prácticas* al adaptar los métodos a estas circunstancias específicas del país.

Nivel 1 – factores de emisión por defecto

El método de Nivel 1 está basado en la cantidad total de magnesio que se funde o se manipula en el país (Ecuación 4.30). La hipótesis fundamental en el método de Nivel 1 es que el consumo de SF₆ en el segmento del magnesio se emite como SF₆. Como se ha describe en la Sección 4.5.1, esta hipótesis tenderá a sobreestimar las emisiones de GEI, pero la sobreestimación se mantendrá dentro del intervalo de incertidumbre general indicado en la Sección 4.5.3. El método básico de Nivel 1 utiliza un valor único como base para el cálculo de la emisión por defecto cuando el SF₆ se emplea para proteger de la oxidación, a pesar del hecho de que el consumo de SF₆ varía sustancialmente entre las diferentes operaciones de moldeo y entre los diferentes operadores (a veces por órdenes de magnitud). El método de Nivel 1 debe utilizarse sólo cuando el compilador del inventario no tiene conocimiento del tipo de operación de manipulación o de moldeo (reciclado, moldeo de tochos o moldeo por inyección a presión, etc.)

ECUACIÓN 4.30
EMISIONES DE SF₆ PROVENIENTES DEL MOLDEO DEL MAGNESIO (NIVEL 1)

$$E_{SF_6} = MGc \cdot EF_{SF_6} \cdot 10^{-3}$$

Donde:

E_{SF_6} = emisiones de SF₆ generadas por el moldeo del magnesio, toneladas

MGc = cantidad total de magnesio manipulado o moldeo en el país, toneladas

EF_{SF_6} = factor de emisión por defecto para las emisiones de SF₆ generadas por el moldeo del magnesio, kg. de SF₆/tonelada de Mg moldeo

Nivel 2 – consumo de SF₆ específico de la compañía

Al igual que para el método de Nivel 1, en el Nivel 2 se supone que todo el SF₆ consumido es emitido ulteriormente. Sin embargo, en vez de utilizar la cantidad de magnesio moldeo, en el método de Nivel 2 se utilizan los datos de consumo nacional (o subnacional) de SF₆ en la industria del magnesio que hayan sido declarados por la industria o que estén disponibles por intermedio de otras fuentes tales como las estadísticas nacionales (Ecuación 4.21).

Normalmente, la aplicación más exacta del método es la de recolectar datos directos sobre el consumo de SF₆ de todos los usuarios individuales del gas en la industria del magnesio. Si no se dispone de datos directos, un método alternativo, aunque menos exacto, es el de estimar la parte del consumo anual de SF₆ que sea atribuible a

la industria del magnesio. Exige recopilar datos anuales sobre las ventas nacionales de SF₆ y supone que todo el gas SF₆ vendido a la industria del magnesio es emitido dentro del año.

ECUACIÓN 4.31
EMISIONES DE SF₆ PROVENIENTES DEL MOLDEO DEL MAGNESIO (NIVEL 2)

$$E_{SF_6} = C_{SF_6}$$

Donde:

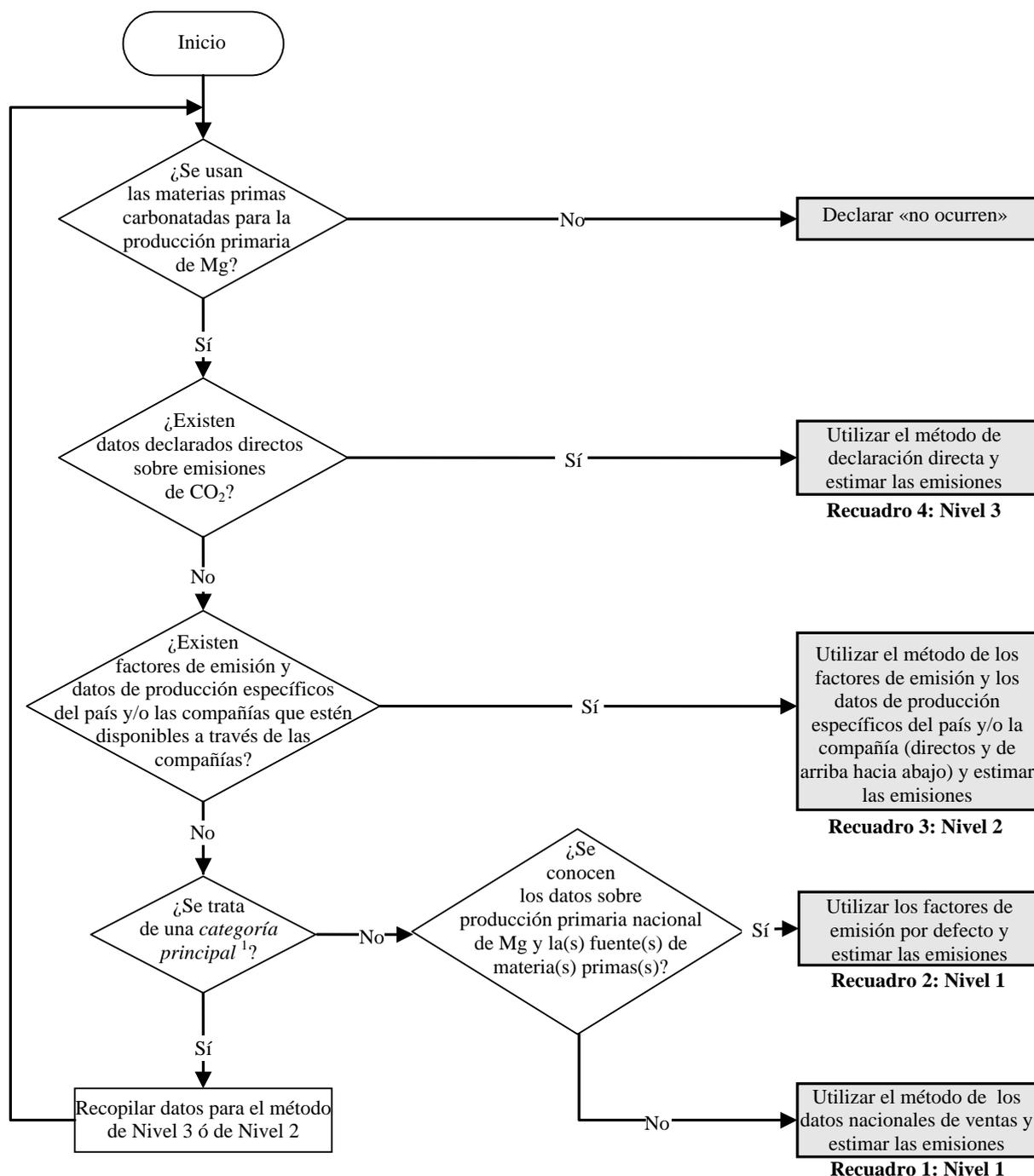
E_{SF_6} = emisiones de SF₆ generadas por el moldeo del magnesio, toneladas

C_{SF_6} = consumo de SF₆ en fundidores y fundiciones de magnesio, toneladas

Nivel 3 – método de medición directa

Si se dispone de datos sobre emisiones de CO₂ reales medidas de las instalaciones individuales de procesamiento del magnesio, éstos pueden agregarse y emplearse directamente para dar cuenta de las emisiones nacionales. Al declararlas, es una *buena práctica* incluir la destrucción de SF₆ y la formación de productos gaseosos secundarios.

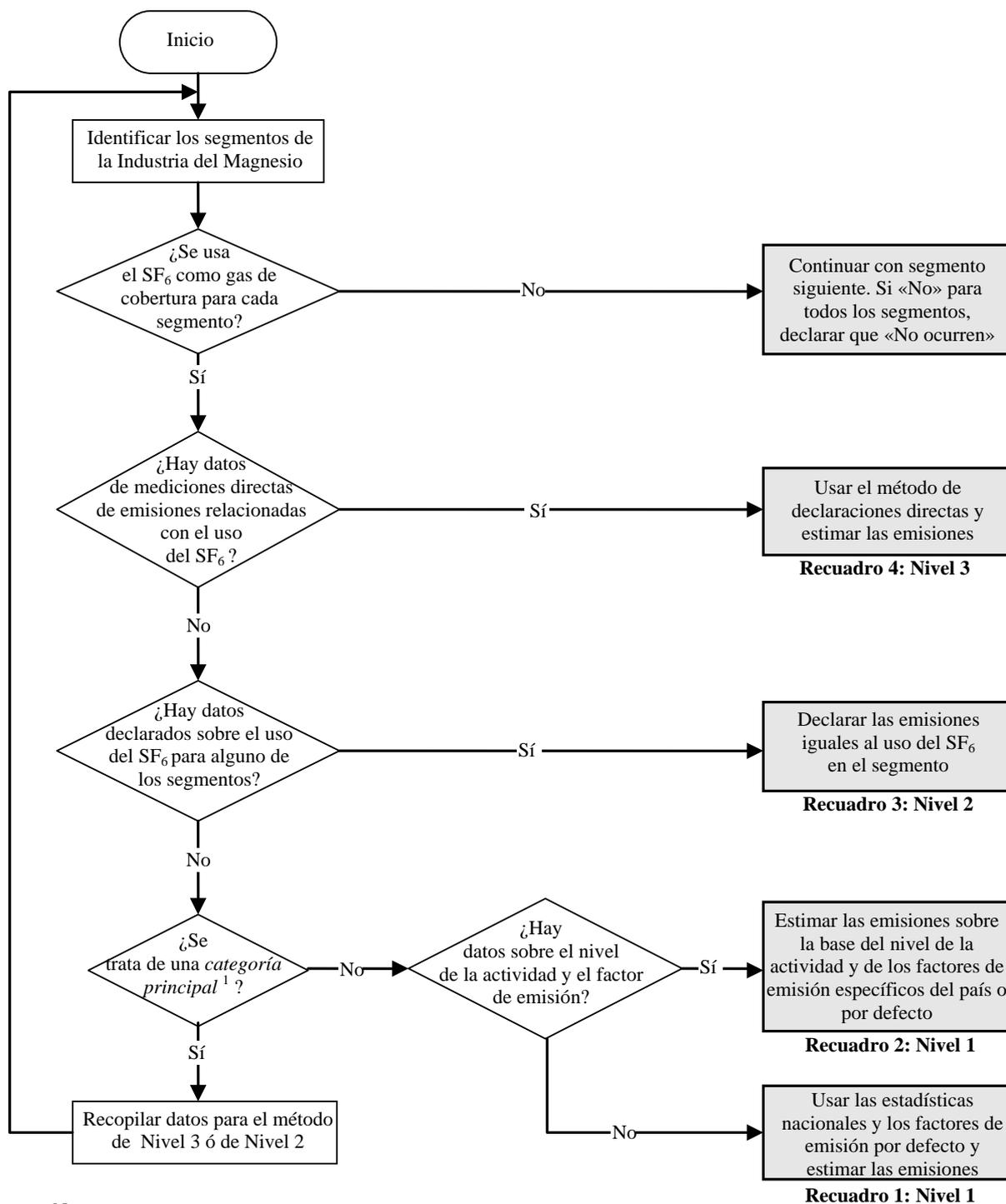
Figura 4.13 **Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de CO₂ provenientes de la calcinación de las materias primas en el proceso de producción del magnesio**



Nota :

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

Figura 4.14 **Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de SF₆ provenientes del procesamiento del magnesio**



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).

HFC-134a, FK 5-1-12 y productos de descomposición (p. ej., PFC)

Como se describe en la Sección 4.5.1, el uso industrial de componentes fluorados, exceptuado el SF₆, para proteger el magnesio de la oxidación, comenzó en 2003-2004. Como tal, la experiencia industrial en el uso de estos compuestos con fines de protección del magnesio es todavía limitada. Incluso las plantas individuales disponen de pocos datos históricos, cuando los tienen, sobre las emisiones reales de estos otros compuestos fluorados generadas por sus operaciones. Aunque en la industria existe la idea general de que el volumen de uso de estos gases alternativos será menor que el del SF₆, en la actualidad no se dispone de datos en los cuales se puedan basar los factores de emisión. En consecuencia, no es posible desarrollar actualmente un método basado en un factor de emisión (Nivel 1 o 2) para declarar las emisiones.

Sin embargo, si las emisiones de GEI provenientes del uso de gases de cobertura para el magnesio constituyen una *categoría principal* nacional, es una buena práctica recolectar mediciones directas o mediciones indirectas significativas de emisiones de GEI (emisiones fugitivas de HFC134-a y FK 5-1-12, así como emisiones de PFC como productos de descomposición) desde las fundiciones de magnesio que utilizan HFC-134a o FK 5-1-12 como gases de cobertura. Esto es coherente con el método de Nivel 3.

Gases de transporte

La contribución del dióxido de carbono como gas de transporte utilizado en los sistemas de protección de gases de cobertura constituye una fracción pequeña del potencial de calentamiento atmosférico. En general, estas emisiones pueden ignorarse.

4.5.2.2 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

EMISIONES DE CO₂ DE LA PRODUCCIÓN PRIMARIA

Nivel 1 – factores de emisión por defecto

Como se ha mencionado anteriormente, en el método de Nivel 1, las emisiones se calculan a partir de factores de emisión por defecto que se aplican a la producción total de magnesio primario de un país. Los factores de emisión por defecto (Cuadro 4.19) toman en cuenta el tipo de material utilizado y los cocientes estequiométricos han sido ajustados mediante datos empíricos para las pérdidas genéricas del proceso de fabricación. La emisión de CO₂ resultante por tonelada de magnesio producido es considerablemente superior al volumen teórico descrito en la Sección 4.5.1.

CUADRO 4.19 FACTORES DE EMISIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE METAL MG PRIMARIO ESPECÍFICAS DE LOS MINERALES	
Materia prima	Toneladas de emisión de CO ₂ /tonelada de Mg primario producido
Dolomita	5,13
Magnesita	2,83

Nivel 2 – factores de emisión específicos del país y/o la compañía

El método de Nivel 2 para determinar las emisiones de CO₂ generadas por la producción de magnesio primario implica recolectar factores de emisión empíricos y específicos de las compañías y/o plantas. Los factores de emisión específicos de la compañía pueden diferir sustancialmente de los factores de emisión por defecto, según los procedimientos de manipulación de los materiales de proceso. Esta recolección debe efectuarse si las emisiones corresponden a una *categoría principal*.

Nivel 3 – método de medición directa

Si se dispone de datos sobre las emisiones de CO₂ medidas efectivamente de las instalaciones individuales de magnesio primario, éstos pueden agregarse y emplearse directamente para dar cuenta de las emisiones nacionales.

PROCESOS DE MOLDEO DEL MAGNESIO (PRIMARIO Y SECUNDARIO)

SF₆

Nivel 1 – factores de emisión por defecto

La hipótesis fundamental para el método de Nivel 1 es que todo el consumo de SF₆ en este segmento de la industria se emite, aunque, como se describe en la Sección 4.5.1, esta hipótesis tenderá a sobreestimar las emisiones de GEI. En el método de Nivel 1 se supone también que no se conoce el tipo de operación de manipulación o de moldeo del magnesio (reciclado, moldeo de tochos o moldeo por inyección a presión, etc.) Bajo las condiciones recomendadas para el moldeo por inyección a presión, los índices de consumo son cercanos a 1 kg. de SF₆ por tonelada de magnesio producido o moldeo (Gjestland and Magers, 1996). Aunque el consumo de SF₆ varía sustancialmente entre las diferentes operaciones de moldeo y entre los diferentes operadores (a veces por órdenes de magnitud), el método básico de Nivel 1 emplea este valor como base para el cálculo del factor de emisión por defecto cuando el SF₆ se emplea para proteger el magnesio de la oxidación. Si los procesos de fabricación de magnesio nacionales están bien documentados, una aplicación más exacta del método de Nivel 1 consiste en desagregar los datos de la producción y los factores de emisión según los diferentes procesos de fabricación. Estos factores de emisión deben relacionar las emisiones de SF₆ con la producción de magnesio, al mismo nivel de desagregación que el de los datos de la actividad disponibles (p. ej., nacional, subnacional). Los factores nacionales de emisión basados en mediciones de planta son preferibles a los factores por defecto internacionales porque reflejan las condiciones específicas del país. Esa información puede obtenerse por intermedio de las asociaciones industriales, o mediante sondeos o estudios.

CUADRO 4.20 FACTORES DE EMISIÓN DE SF ₆ PARA LOS PROCESOS DE MOLDEO DEL MAGNESIO (NIVEL 1)	
Sistema de moldeo	kg. de emisión de SF ₆ por tonelada de Mg moldeo
Todos los procesos de moldeo	1,0
Fuente: Gjestland y Magers (1996)	

Nivel 2 – consumo de SF₆ específico de la compañía

Al igual que para el método de Nivel 1, el principio fundamental para el método de Nivel 2 es que todo el SF₆ consumido se emite. Sin embargo, se supone además que los datos de consumo nacional (o subnacional) de SF₆ en la industria del magnesio son declarados por la industria o disponibles por intermedio de otras fuentes tales como las estadísticas nacionales.

Normalmente, la aplicación más exacta del método es recolectar datos directos sobre el consumo de SF₆ de todos los usuarios individuales del gas en la industria del magnesio. Si no se dispone de datos directos, un método alternativo -aunque menos exacto- es estimar la parte del consumo anual de SF₆ que sea atribuible a la industria del magnesio. Exige recopilar datos anuales sobre las ventas nacionales de SF₆ y suponer que todo el gas SF₆ vendido a la industria del magnesio es emitido dentro del año.

Nivel 3 – método de la medición directa

Si se dispone de datos sobre emisiones reales medidas de las instalaciones individuales de procesamiento del magnesio, éstos pueden agregarse y emplearse directamente para dar cuenta de las emisiones nacionales. Al declarar estas emisiones, es una *buena práctica* incluir la destrucción del SF₆ y la formación de productos gaseosos secundarios.

HFC-134a, FK 5-1-12 y productos de descomposición (p. ej., PFC)

Como se ha descrito anteriormente, hay pocos datos históricos disponibles sobre los cuales basar los factores de emisión. Sin embargo, si las emisiones de GEI provenientes del uso de gases de cobertura para el magnesio constituyen una *categoría principal* nacional, es una *buena práctica*, a los fines del inventario, recolectar mediciones directas o mediciones indirectas fiables de las emisiones de GEI (emisiones fugitivas de HFC134-a y FK 5-1-12, así como emisiones de PFC como productos de descomposición) desde las fundiciones de magnesio que utilizan HFC-134a o FK 5-1-12 como gases de cobertura. Puede considerarse un método de Nivel 3. Con el tiempo, podrán usarse las mediciones de Nivel 3 como medio para desarrollar factores de emisión que podrán ser utilizados para el Nivel 2.

Gases de transporte

Como se ha mencionado ya en este capítulo, el aporte del dióxido de carbono como gas de transporte utilizado en los sistemas de protección de gases de cobertura constituye una fracción pequeña del potencial de calentamiento atmosférico. En general, estas emisiones pueden desecharse.

4.5.2.3 ELECCIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

EMISIONES DE CO₂ DE LA PRODUCCIÓN PRIMARIA

Para el método de Nivel 1, los compiladores del inventario necesitan adquirir datos sobre la producción primaria nacional y conocimientos sobre las materias primas utilizadas en el país. Como se ha discutido en la Sección 4.5.2.1, puede suceder que estos datos no estén disponibles de manera pública y, por lo tanto, que sean difíciles de obtener, sobre todo en el caso de las pequeñas unidades de producción (las de tipo de reducción térmica, en particular) en los países en desarrollo. Los datos aproximados sobre la producción nacional de magnesio pueden estar disponibles a través de las asociaciones industriales tales como la Asociación Internacional del Magnesio. Para el método de Nivel 2, los compiladores del inventario deben recolectar datos sobre la producción de magnesio primario y sobre las materias primas carbonatadas de cada compañía y/o planta. En el método de Nivel 3, los datos de la actividad consisten en las emisiones directas medidas y declaradas.

PROCESOS DE MOLDEO DEL MAGNESIO (PRIMARIO Y SECUNDARIO)

SF₆

Para el método de Nivel 1, es una *buena práctica* desagregar los datos de producción por segmentos que utilizan el SF₆, en la medida de lo posible (p. ej., producción primaria, reciclado, moldeo de tochos, moldeo por inyección a presión, moldeo por gravedad, etc.), y aplicar los factores de emisión específicos disponibles de los segmentos. Allí donde no se disponga de datos desagregados, para realizar las estimaciones pueden usarse datos de producción más agregados, en lo posible combinando las salidas de varios procesos diferentes. A falta de datos sobre consumo de SF₆ o sobre producción de magnesio, la alternativa es recolectar datos nacionales anuales sobre las ventas de SF₆ a las industrias del magnesio. Los productores de SF₆ pueden estar en condiciones de proveer estos datos directamente o éstos pueden estar disponibles en las estadísticas nacionales. Al estimar la parte consumida por la industria del magnesio, es una *buena práctica* considerar los datos sobre el consumo de SF₆ por otras industrias que lo utilizan (p. ej., equipos eléctricos).

En los métodos de Nivel 3 y 2, los datos de actividad consisten en las emisiones declaradas de SF₆ (y de productos gaseosos secundarios) o los totales de consumo de SF₆ de cada planta. Para el método de Nivel 1 se necesitan datos sobre la producción de magnesio, ya sea nacionales o de las plantas individuales. Allí donde se declare un uso directo de SF₆ en un segmento, es una *buena práctica* evaluar la parte de la producción representada por las plantas que lo declaren directamente. Para las demás plantas, es una *buena práctica* utilizar las estimaciones de emisiones basadas en la producción.

HFC-134a, FK 5-1-12 y productos de descomposición (p. ej., PFC)

En el método de Nivel 3, los datos de la actividad consisten en las emisiones directas medidas y declaradas. No se proporciona ninguna orientación para los métodos de Nivel 1 o 2 y, por lo tanto, los datos de la actividad no son necesarios.

Gases de transporte

Al efectuar declaraciones de inventario, es una *buena práctica* que los datos de la actividad escogidos para los gases de transporte sean análogos a los de los compuestos activos utilizados. Es decir, si el CO₂ se utiliza como gas de transporte para el SF₆, los datos de la actividad del CO₂ deben reflejar los datos de actividad del SF₆. Si el CO₂ se utiliza como gas de transporte para el HFC-134a o el FK 5-1-12, los datos de la actividad deben reflejar los del HFC-134a o del FK 5-1-12.

4.5.2.4 EXHAUSTIVIDAD

Las declaraciones directas incompletas o los datos de la actividad incompletos no deben constituir un problema serio para la producción primaria en los países desarrollados. Típicamente, en los países desarrollados existe un reducido número de productores de magnesio primario bien conocidos y es muy probable que lleven buenos registros. En los países en desarrollo, los problemas de exhaustividad aparecen en los segmentos de moldeo,

donde las plantas están distribuidas más extensamente y poseen un amplio espectro de capacidades y tecnologías. Algunas plantas pueden suministrar a mercados nicho que no están cubiertos por los conjuntos de datos nacionales. El compilador del inventario debe confirmar la ausencia de estimaciones para estas industrias más pequeñas en vez de suponer simplemente que las emisiones no se producen. Es también una *buena práctica* emprender encuestas periódicas sobre la industria y establecer vínculos estrechos con las asociaciones industriales internacionales y locales, para verificar la exhaustividad de las estimaciones.

Debido a que los sistemas alternativos de gases de cobertura (no SF₆) los descomponen en varios productos derivados fluorados, puede suceder que una cierta parte no contabilizada del potencial de calentamiento atmosférico no esté descrita. No se espera que sea significativo.

Dado que una fracción cada vez mayor de la producción primaria mundial, así como el procesamiento del magnesio, ocurre en muchas unidades pequeñas de producción en países con economías en desarrollo, es esperable que la exhaustividad se transforme en un problema significativo.

Los compiladores del inventario deben abordar con cautela la posibilidad de cómputos dobles en las emisiones provenientes de la calcinación de las materias primas que contienen carbonato de magnesio, durante la producción de magnesio primario, así como en las emisiones asociadas con la calcinación de la piedra caliza, la dolomita y otros minerales carbonáceos (véase el Capítulo 2, Otros usos de carbonatos en los procesos, en este volumen). Todas las emisiones asociadas con la calcinación de carbonatos para la producción de magnesio primario deben declararse como emisiones de GEI provenientes de la producción de magnesio.

4.5.2.5 DESARROLLO DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Típicamente, los datos de la historia de una planta estarán disponibles bajo la forma de estadísticas sobre su producción general de magnesio. Sin embargo, en algunos casos, los datos históricos de producción pueden no estar disponibles debido a la ausencia de registros iniciales o a cambios en la estructura de la industria en los periodos intermediarios. En este caso se pueden usar datos obtenidos de fuentes internacionales.

Pueden surgir problemas al establecer una serie temporal coherente para las emisiones de CO₂ generadas por la producción de magnesio primario, pues estas emisiones pueden no haber sido declaradas para años anteriores al 2006 (las directrices para declararlas no existían en las *Directrices revisadas de 1996* (IPCC, 1997)). Se puede suponer, sin embargo, que para la mayoría de las instalaciones de producción de magnesio primario, el nivel de las emisiones de CO₂ por tonelada de magnesio producido permanece relativamente constante a través del tiempo.

En términos de las emisiones de SF₆, para establecer una serie temporal coherente por el método de Nivel 1, es de *buena práctica* multiplicar los datos históricos de la actividad por los factores de emisión por defecto subnacionales y/o nacionales actualmente en uso. Nótese que, típicamente, los factores de emisión específicos de las plantas deberían disminuir con el tiempo debido a una mayor conciencia ambiental, a factores económicos y al mejoramiento de las tecnologías y de las prácticas.

Puesto que la industria del magnesio no ha utilizado de manera significativa los gases de cobertura HFC-134a y FK 5-1-12 en ningún país antes de 2003, es probable que las emisiones históricas correspondientes sean nulas. Dado el nivel de complejidad de las declaraciones de emisiones relacionadas con el uso de estos gases, el desarrollo de una serie temporal coherente constituye un verdadero desafío para los compiladores del inventario.

Es una *buena práctica* evaluar los factores de emisión históricos apropiados siguiendo las orientaciones del Volumen 1, Capítulo 5. Para garantizar la coherencia a través del tiempo, es una *buena práctica* recalcular las estimaciones de emisiones empleando métodos utilizados previamente y métodos nuevos, para garantizar que toda tendencia en las emisiones sea real y no un resultado de los cambios en las metodologías de estimación. Es de *buena práctica* documentar las hipótesis para todos los casos y mantenerlas en el archivo del compilador del inventario.

4.5.3 Evaluación de incertidumbre

EMISIONES DE CO₂ DE LA PRODUCCIÓN PRIMARIA

Al nivel de las plantas, se deben documentar bien los análisis, los tipos y los usos de las materias primas, así como el tonelaje del magnesio producido. Típicamente, los datos de actividad declarados directamente y requeridos por los métodos de Nivel 2 y 3 para todos los gases, son exactos dentro de un margen del 5 por ciento. Al nivel de los inventarios nacionales, la exactitud en los datos de la actividad sobre la producción de magnesio y las emisiones es comparable con la de otras estadísticas de producción (vale decir, ± 5 por ciento). La incertidumbre adicional se introduce a través de la estimación de la parte de la producción que no se declara directamente.

PROCESOS DE MOLDEO DEL MAGNESIO (PRIMARIO Y SECUNDARIO)

SF₆

En el método de Nivel 1, agregar la producción de los diferentes segmentos secundarios y usar el factor de emisión por defecto introduce incertidumbre. Por ejemplo, los datos nacionales sobre las operaciones de moldeo pueden no estar diferenciados en segmentos de moldeo por inyección a presión y de moldeo por gravedad, a pesar de sus diferentes índices de emisión de SF₆. En consecuencia, este método proporciona, por defecto, una aproximación muy pobre de las emisiones reales. Dado que las diferentes operaciones de manipulación y moldeo pueden utilizar concentraciones de SF₆ en el gas de cobertura que difieren en órdenes de magnitud, al emplear el método de Nivel 1, las incertidumbres pueden variar también por órdenes de magnitud. Para los métodos de Nivel 1 y 2, hay también un nivel de incertidumbre asociado con la hipótesis de que el 100 por ciento del SF₆ utilizado es emitido. En una típica operación de moldeo, la incertidumbre asociada con esta hipótesis debe situarse dentro de un 30 por ciento (Bartos *et al.*, 2003).

Para el método de Nivel 2, la incertidumbre asociada con el uso de SF₆ al nivel de las plantas es muy reducida, ya que el uso del SF₆ se mide con facilidad y exactitud a partir de los datos de compras. (Por lo general, una estimación de incertidumbre inferior al 5 por ciento resulta apropiada para los datos declarados directamente.)

Para el método de Nivel 3, las incertidumbres surgen principalmente de la exactitud y/o calibración de los equipos de monitoreo. Los métodos típicos de análisis de los gases, tales como la espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR, del inglés, *Fourier Transformed Infra Red Spectroscopy*) operan generalmente con una exactitud estimada de ± 10 por ciento. Además del FTIR y de técnicas analíticas similares, habrá más incertidumbre causada por problemas relacionados con la representatividad de las muestras y con la calibración, las cuales pueden aumentar la incertidumbre general del FTIR hasta un ± 20 por ciento.

HFC-134a, FK 5-1-12 y productos de descomposición (p. ej., PFC)

Al igual que para el método de Nivel 3 respecto del SF₆, en los procesos que emplean los gases de cobertura HFC-134a o FK 5-1-12, las incertidumbres principales están asociadas con la exactitud y/o calibración de los equipos de monitoreo. Las incertidumbres son aproximadamente de un ± 10 por ciento.

Gases de transporte

La incertidumbre más grande está asociada con el método de Nivel 1, donde se considera que las emisiones de CO₂ generadas por los gases de cobertura son insignificantes. Es particularmente cierto si una planta emplea una mezcla de gases de transporte muy rica en CO₂. Los otros niveles poseen las mismas incertidumbres que las relacionadas con el SF₆.

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

4.5.4.1 GARANTÍA DE CALIDAD / CONTROL DE CALIDAD (GC/CC)

Es una *buena práctica* efectuar verificaciones de control de calidad como se indica en el Volumen 1, Capítulo 6, así como una revisión de expertos de las estimaciones de emisiones. También pueden ser aplicables verificaciones adicionales de control de calidad, como las esbozadas en el Volumen 1, Capítulo 6, así como procedimientos adicionales de garantía de calidad, en particular para métodos de nivel superior. Se alienta a los compiladores del inventario a utilizar un método de GC/CC de nivel superior para las *categorías principales*, según lo identificado en el Volumen 1, Capítulo 4.

En la sección siguiente se esbozan procedimientos adicionales específicos para la producción de magnesio:

Comparación de las estimaciones de emisiones mediante diferentes métodos

Si las emisiones han sido calculadas utilizando datos de las plantas individuales, los compiladores deben comparar las estimaciones con las emisiones calculadas mediante los datos sobre la producción nacional de magnesio, o bien, (en el caso del SF₆) mediante los datos de consumo atribuidos al uso del magnesio. Los resultados de esta comparación deben ser registrados y toda discrepancia debe ser investigada.

Revisión de los datos al nivel de la planta

La siguiente información específica de plantas debe archivarse para facilitar una revisión independiente:

- Volúmenes de producción de magnesio y tipos de procesos;

- Consumo y/o composición de los gases de cobertura con potencial de calentamiento atmosférico (SF₆, HFC-134a, FK 5-1-12, CO₂, etc.) o producción de magnesio (donde se utilizan factores);
- Resultados de GC/CC al nivel de plantas (incluida la documentación sobre el muestreo, el método de medición y los resultados de las mediciones para los datos al nivel de plantas);
- Resultados de GC/CC realizado por una organización de agrupamiento (p. ej., una asociación industrial tal como la Asociación Internacional del Magnesio);
- El método utilizado para los cálculos y las estimaciones; y
- Donde sea pertinente, una lista de las hipótesis formuladas al atribuir el uso nacional del SF₆, HFC-134a, FK 5-1-12, u otros gases de cobertura de interés o al atribuir la producción al nivel de plantas.

Los compiladores del inventario deben determinar si se han utilizado las normas internacionales de medición para declarar el consumo de gases de cobertura que producen calentamiento atmosférico (SF₆, HFC-134a, FK 5-1-12, etc.) o los datos de producción de magnesio al nivel de las plantas individuales. Si no se siguieron métodos estándar ni procedimientos de GC/CC, entonces se debe reconsiderar el uso de estos datos de la actividad.

Revisión de los datos de la actividad

Las actividades de GC/CC asociadas con la referencia a los datos sobre producción de magnesio deben ser evaluadas y referenciadas. Los compiladores del inventario deben verificar si la asociación comercial o entidad que ha compilado los datos nacionales de producción ha utilizado procedimientos de GC/CC aceptables. Si se considera que los procedimientos de GC/CC son aceptables, los compiladores deben referir la actividad de GC como parte de la documentación de GC/CC.

Evaluación de los factores de emisión

Allí donde se emplean factores específicos de las compañías y/o de los países, los compiladores del inventario deben revisar el nivel de GC asociado a los datos subyacentes. Es una *buena práctica* que los compiladores efectúen verificaciones cruzadas de los factores por defecto de nivel nacional para determinar si son representativos o no.

Revisión de pares

Los compiladores del inventario deben involucrar a expertos de la industria del magnesio en una revisión metódica de las estimaciones del inventario, prestando atención a eventuales problemas de confidencialidad. Los datos históricos sobre producción pueden ser menos sensibles a la divulgación pública que los datos actuales y pueden utilizarse para una revisión externa de pares sobre las emisiones al nivel de las plantas.

Verificación de los datos de emisiones de SF₆

Los compiladores deben sumar las cantidades de SF₆ utilizadas por los diferentes sectores industriales (p. ej., magnesio, equipos eléctricos) y comparar este valor con el uso total de SF₆ en el país, obtenido de los datos sobre importaciones y/o exportaciones y producción. Esto proporciona un límite superior para las emisiones potenciales.¹⁶

4.5.4.2 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, como se indica en el Volumen 1, Sección 6.11. No resulta práctico incluir toda la documentación en el informe sobre el inventario nacional. Sin embargo, el inventario debe incluir resúmenes de los métodos utilizados y referencias a las fuentes de datos, de modo que las estimaciones de emisiones declaradas resulten transparentes y que las etapas de su cálculo puedan ser reproducidas.

Para mejorar la transparencia, es una *buena práctica* declarar las estimaciones de emisiones de la categoría de fuente del magnesio por separado, por segmentos industriales, tales como producción primaria, producción secundaria y moldeo.

¹⁶ Puede que no sea siempre el caso que tales datos agregados sobre el consumo provean un límite superior para las emisiones. Es posible, según las características nacionales de las industrias consumidoras de SF₆, que en algunos años las emisiones reales de SF₆ sean superiores al consumo de SF₆. Por ejemplo, el consumo en el moldeo por inyección a presión puede ser muy bajo, puede que no haya mucha fabricación de semiconductores, pero un banco considerable de SF₆ puede haberse desarrollado a través de los años en los equipos eléctricos. En este caso, las fugas desde el banco, combinadas con las emisiones producto del desmantelamiento de los equipos, pueden conducir a emisiones efectivas que sobrepasan el consumo de SF₆ (emisiones potenciales). Véase también la Sección 8.2 sobre emisiones de SF₆ provenientes de los equipos eléctricos.

La información adicional siguiente puede proporcionar un nivel razonable de transparencia en los informes:

Declaración directa

- Número de plantas de magnesio que declaran;
- Tipos de procesos y de fabricación empleados;
- Magnesio y productos de magnesio producidos;
- Emisiones de SF₆ asociadas con el segmento del magnesio;
- Uso de gases de cobertura con potencial de calentamiento atmosférico; y
- Datos sobre el factor de emisión (y referencias) para cada gas de cobertura protector con potencial de calentamiento atmosférico.

Estimación de emisiones potenciales basada en las ventas nacionales de gases de cobertura

- Consumo nacional de SF₆ (y referencia);
- Uso nacional de HFC-134a atribuido al sector del magnesio;
- Uso nacional de FK 5-1-12 atribuido al sector del magnesio;
- Hipótesis formuladas para asignar el SF₆, HFC-134a, FK 5-1-12 utilizado al magnesio;
- Estimación del porcentaje nacional de SF₆, HFC-134a, FK 5-1-12 utilizado en el magnesio (y referencia); y
- Todas las demás hipótesis formuladas.

En la mayoría de los países, la industria del magnesio está representada por un reducido número de plantas. En esta industria, los datos sobre niveles de actividad y sobre emisiones de gases de cobertura (que estén directamente relacionados con los niveles de la actividad) pueden ser considerados información comercial confidencial y las declaraciones públicas pueden estar sujetas a consideraciones de confidencialidad.

4.6 PRODUCCIÓN DE PLOMO

4.6.1 Introducción

PROCESOS DE PRODUCCIÓN PRIMARIA

Existen dos procesos primarios para la producción de plomo en bruto a partir de concentrados de plomo. El primer tipo es el de la sinterización/fundición, que consiste en etapas secuenciales de sinterización y de fundición y que representa alrededor del 78 por ciento de la producción primaria de plomo. El segundo tipo es el de la fundición directa, que elimina la etapa de sinterización y constituye el 22 por ciento restante de la producción primaria de plomo en el mundo desarrollado. (Sjardin, 2003)

En el proceso de sinterización/fundición, la sinterización inicial mezcla los concentrados de plomo con sinterizados reciclados, piedra caliza y sílice, oxígeno y lodos con alto contenido de plomo, para eliminar el azufre y los metales volátiles mediante la combustión (Metallurgical Industry, 1995). El proceso, que produce un sinterizado tostado compuesto de óxido de plomo y otros óxidos metálicos, resulta en la emisión de dióxido de azufre (SO₂) y dióxido de carbono (CO₂) relacionado con la energía, proveniente del gas natural utilizado para encender los óxidos de plomo. El sinterizado tostado se introduce en un alto horno junto con minerales que contienen otros metales, aire, productos derivados de fundición y coque metalúrgico (Metallurgical Industry, 1995). El coque se quema al reaccionar con el aire y produce monóxido de carbono (CO) que es el que provoca la reacción de reducción química del óxido de plomo (DOE, 2002). El proceso de fundición ocurre, ya sea en un alto horno tradicional o en un horno de fundición *Imperial Smelting Furnace* (ISF) y es la reducción del óxido de plomo durante el proceso la que produce las emisiones de CO₂ (Sjardin, 2003).

El proceso de sinterización produce plomo en bruto fundido (Metallurgical Industry, 1995). En el proceso de fundición directa, la etapa de sinterización es omitida y el concentrado de plomo y otros materiales entran directamente a un horno en el cual son fundidos y oxidados (Sjardin, 2003). Para el proceso de fundición directa se emplean una variedad de hornos, entre los cuales los hornos Isasmelt-Ausmelt, Queneau-Schumann-Lurgi, y Kaldo que se utilizan para la fundición en baño y el horno Kivcet, que se usa para la fundición flash. En el proceso se emplean una serie de agentes reductores que incluyen el carbón, el coque metalúrgico y el gas natural, en cantidades diferentes para cada horno, lo cual resulta en diferentes niveles de emisiones de CO₂ para cada tipo de horno (Sjardin, 2003; LDA, 2002). El proceso de fundición directa, al evitar el proceso de sinterizado, ofrece ventajas ambientales y significativas reducciones de costos; por lo tanto, se espera que en el futuro forme parte de una creciente porción de la producción de plomo primario de refinería.

PROCESOS DE PRODUCCIÓN SECUNDARIA

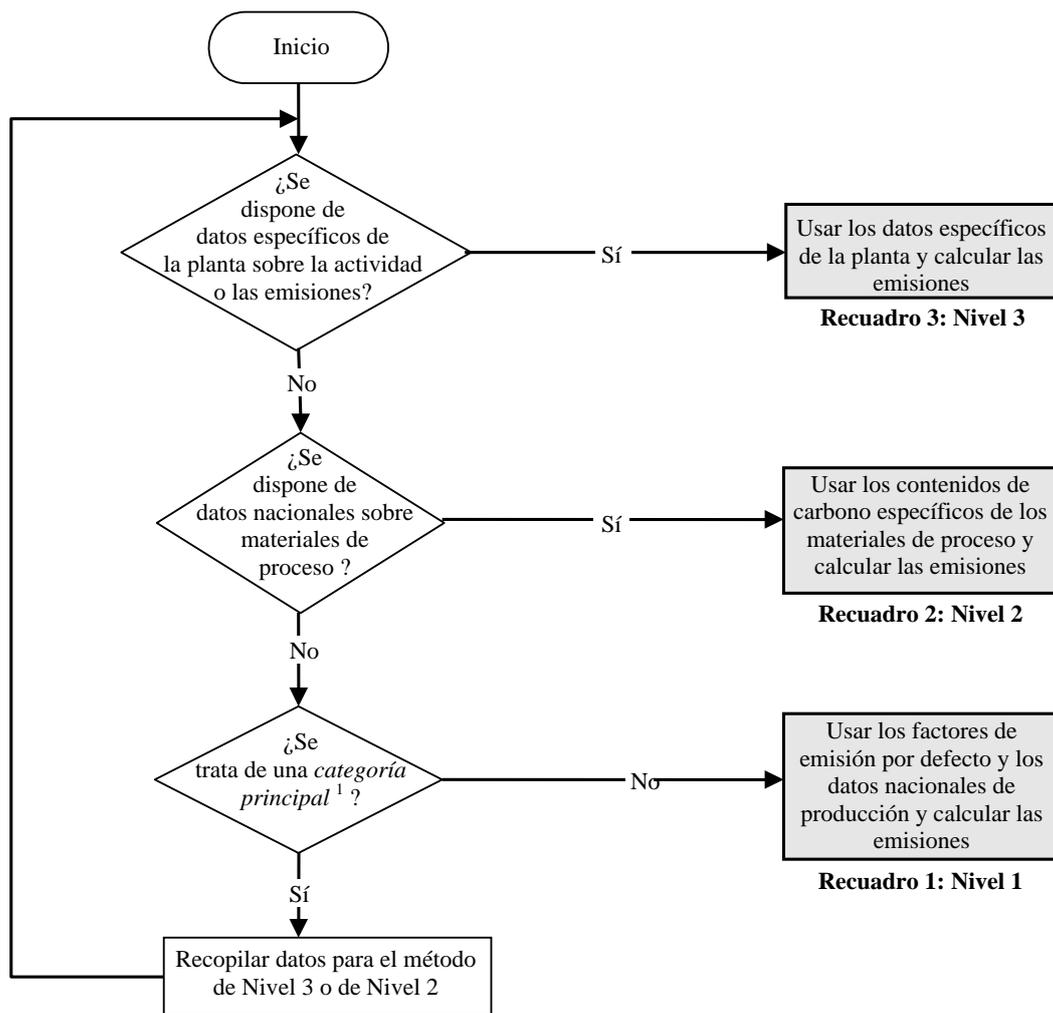
La producción secundaria de plomo refinado consiste en el procesamiento del plomo reciclado con el fin de prepararlo para su reutilización. La gran mayoría de este plomo reciclado proviene de la chatarra de plomo de las baterías ácidas. Las baterías ácidas de plomo, ya sea se trituran con molino de martillo y se introducen en el proceso de fundición con o sin desulfurización, o bien, se funden enteras (Sjardin, 2003). Los altos hornos tradicionales, los *Imperial Smelting Furnaces*, los hornos al arco eléctrico, los hornos de resistencia eléctrica, los de reverbero, los Isasmelt, Queneau-Schumann-Lurgi y Kivcet, pueden ser utilizados para fundir estas baterías o la chatarra de plomo reciclado (Sjardin, 2003). Al igual que en el caso de los hornos utilizados para la producción primaria de plomo en bruto, estos hornos generan diferentes niveles de emisiones de CO₂ a partir del uso de diferentes tipos y cantidades de agentes reductores. Los agentes reductores primarios son el carbón, el gas natural y el coque metalúrgico, aunque el horno de resistencia eléctrica emplea coque de petróleo (Sjardin, 2003).

4.6.2 Cuestiones metodológicas

4.6.2.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO

En las *Directrices del IPCC* se bosquejan tres métodos para calcular las emisiones de CO₂ generadas por la producción de plomo. La elección de un método de *buena práctica* depende de las circunstancias nacionales, tal como se indica en el árbol de decisión del Figura 4.15. El método de Nivel 1 emplea factores de emisión generales que se aplican a la producción total de plomo de un país para calcular las emisiones y es el menos exacto. Este método es apropiado sólo cuando la producción de plomo no es una *categoría principal*. El método de Nivel 2 emplea datos sobre los materiales de proceso específicos del país, tanto para la producción primaria como para la secundaria, que se multiplican por el contenido apropiado de carbono de los materiales. El método de Nivel 3 requiere datos de mediciones sobre actividades o emisiones específicas de la instalación.

Figura 4.15 **Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de CO₂ provenientes de la producción de plomo**



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 más simple de estimación consiste en multiplicar los factores de emisión por defecto por la producción de plomo. Cuando los únicos datos disponibles sean las estadísticas sobre la producción nacional de plomo, es una *buena práctica* utilizar los factores de emisión por defecto. La Ecuación 4.32 permite calcular las emisiones totales de dióxido de carbono generadas por la producción de plomo mediante la suma de las emisiones por fuente y dando cuenta de las emisiones provenientes del tratamiento previo de las sustancias de alimentación al proceso. Si no es posible diferenciar el tipo de proceso de producción, se debe usar el factor de emisión por defecto. Este factor se basa en la hipótesis de que el 80 por ciento de la producción (incluidas, tanto la primaria como la secundaria) se funde en hornos *Imperial Smelting Furnaces* o en altos hornos, mientras que el 20 por ciento restante se funde empleando el método de fundición directa en hornos Kivcet, Ausmelt y Queneau-Schumann-Lurgi. Esta hipótesis es coherente con los datos mundiales de producción de plomo (Sjardin, 2003).

ECUACIÓN 4.32
EMISIONES DE CO₂ PROVENIENTES DE LA PRODUCCIÓN DE PLOMO

$$E_{CO_2} = DS \cdot EF_{DS} + ISF \cdot EF_{ISF} + S \cdot EF_S$$

Donde:

E_{CO_2} = emisiones de CO₂ generadas por la producción de plomo, toneladas

DS = cantidad de plomo producido por fundición directa, toneladas

EF_{DS} = factor de emisión para la fundición directa, toneladas de CO₂/tonelada de producto de plomo

ISF = cantidad de plomo producido en hornos *Imperial Smelting Furnaces*, toneladas

EF_{ISF} = factor de emisión para los hornos *Imperial Smelting Furnaces*, toneladas de CO₂/tonelada de producto de plomo

S = cantidad de plomo producido a partir de materiales secundarios, toneladas

EF_S = factor de emisión para los materiales secundarios, toneladas de CO₂/tonelada de producto de plomo

Los factores de emisión de CO₂ utilizados en la Ecuación 4.32 se presentan en el Cuadro 4.21.

MÉTODO DE NIVEL 2

En el método de Nivel 2 se reconoce que existen diferencias sustanciales de emisiones de dióxido de carbono para la producción de plomo, según la metodología de producción y la fuente de las materias primas, ya sea de las fuentes secundarias tales como las baterías recicladas, o bien, de los minerales para la producción primaria. Las fuentes secundarias de plomo pueden recibir un tratamiento previo para eliminar las impurezas, lo que genera emisiones de dióxido de carbono. Las emisiones se pueden calcular empleando factores de emisión específicos del país basados en el uso de agentes reductores, en los tipos de hornos y en otros materiales de proceso de interés. Los factores pueden desarrollarse basándose en los contenidos de carbono propios de esos materiales. El Cuadro 4.22 proporciona los contenidos de carbono que pueden utilizarse para derivar los factores específicos del país. Estos datos pueden obtenerse de los organismos gubernamentales responsables de las estadísticas sobre fabricación, de las asociaciones comerciales e industriales o de las compañías individuales del plomo. El Nivel 2 es más exacto que el 1 porque toma en cuenta los materiales y la variedad de tipos de horno utilizados en el sector del plomo que contribuyen a las emisiones de CO₂ en un país en particular, en vez de suponer prácticas industriales generalizadas a escala mundial.

MÉTODO DE NIVEL 3

Si se dispone de datos reales sobre las emisiones de CO₂ medidas directamente de las plantas productoras de plomo, éstos pueden agregarse y emplearse directamente para dar cuenta de las emisiones nacionales mediante el método de Nivel 3. El total de las emisiones nacionales corresponde a la suma de las emisiones declaradas por cada planta. Si no se dispone de las emisiones de las instalaciones, deben calcularse las emisiones a partir de los datos específicos de la planta para los agentes reductores individuales y otros materiales de proceso. Para alcanzar un nivel de exactitud superior al del Nivel 2, es una *buena práctica* desarrollar estimaciones de emisiones al nivel de las plantas pues las plantas pueden diferir sustancialmente en sus tecnologías, en particular en la tecnología de los hornos. Estos datos pueden obtenerse de los organismos gubernamentales responsables de las estadísticas sobre fabricación o energía, o bien, de las asociaciones comerciales e industriales, pero se prefiere agregarlos a partir de los datos proporcionados por las plantas de plomo individuales.

4.6.2.2 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

MÉTODO DE NIVEL 1

Cuando los únicos datos disponibles sean las estadísticas sobre la producción nacional de plomo, es una *buena práctica* utilizar un factor de emisión por defecto de 0,52 toneladas de CO₂/tonelada de plomo (Sjardin 2003). Este valor por defecto debe utilizarse sólo cuando no se disponga de información sobre las cantidades relativas de plomo producido a partir de los materiales primarios y secundarios. Si se dispone de información, las emisiones deben calcularse mediante los factores apropiados del Cuadro 4.21 (Sjardin, 2003). La incertidumbre del factor por defecto es elevada y varía según la mezcla de métodos de producción y del porcentaje de procesamiento secundario. Además, el factor se basa en la hipótesis de que el 80 por ciento de la producción mundial de plomo (incluidas, tanto la primaria como la secundaria) se funde en hornos *Imperial Smelting Furnaces*, mientras que el 20 por ciento restante se funde empleando el método de fundición directa, en hornos Kivcet, Ausmelt y Queneau-Schumann-Lurgi (Sjardin, 2003).

CUADRO 4.21 FACTORES GENÉRICOS DE EMISIÓN DE CO₂ PARA LA PRODUCCIÓN DE PLOMO POR FUENTE Y TIPO DE HORNO (toneladas de CO₂/tonelada de producto)			
Producción en hornos <i>Imperial Smelt Furnace (ISF)</i>	Producción por fundición directa (DS)	Por tratamiento de materias primas secundarias	Factor de emisión por defecto (80% ISF, 20% DS)
0,59	0,25	0,2	0,52

Fuente: Sjardin (2003).

MÉTODO DE NIVEL 2

Este método ofrece la oportunidad de ajustar los factores de emisión para que reflejen las variaciones respecto de las normas supuestas, basándose en datos específicos de las plantas para el contenido de carbono de estos materiales y basándose en los tipos de horno utilizados. El contenido de carbono por defecto del Cuadro 4.22 debe utilizarse si el compilador de inventario no posee información sobre las condiciones en las plantas de plomo, pero posee datos detallados de la actividad sobre los materiales de proceso. Los valores por defecto del Cuadro 4.22 se han derivado de los valores por defecto de los Cuadros 1.2 y 1.3 del Volumen 2, Capítulo 1 y deben ser referidos para más información.

CUADRO 4.22 CONTENIDO DE CARBONO ESPECÍFICO DE LOS MATERIALES PARA LA PRODUCCIÓN DE PLOMO (kg. de carbono/kg.)	
Materiales de proceso	Contenido de carbono
Gas de alto horno	0,17
Carbón vegetal*	0,91
Carbón ¹	0,67
Alquitrán de hulla	0,62
Coque	0,83
Gas de horno de coque	0,47
Carbón coquizable	0,73
Electrodos de carbono para EAF ²	0,82
Carbono de carga en el EAF ³	0,83
Fuelóleo ⁴	0,86
Coque para gas	0,83
Gas natural	0,73
Coque de petróleo	0,87

Fuente: En los Cuadros 1.2 y 1.3 del Volumen 2, Capítulo 1, se incluyen referencias para los datos sobre contenido de carbono.

Notas:

¹ Supuesto otro carbón bituminoso

² Supuesto 80 por ciento de coque de petróleo y 20 por ciento de alquitrán de hulla

³ Supuesto coque de horno de coque

⁴ Supuesto gasóleo/combustible diésel

* La cantidad de emisiones de CO₂ a partir del carbón vegetal puede calcularse usando este valor de contenido de carbono, pero debe declararse como nula en los inventarios nacionales sobre gases de efecto invernadero. (Véase la Sección 1.2 del Volumen 1.)

MÉTODO DE NIVEL 3

El método de Nivel 3 está basado en estimaciones agregadas de emisiones o en la aplicación del método de Nivel 2 al nivel específico de la planta. El compilador del inventario de garantizar que cada planta haya documentado los factores de emisión y los contenidos de carbono utilizados, y que estos factores de emisión correspondan a los procesos y a los materiales allí utilizados. Para el método de Nivel 3 se requieren los contenidos de carbono y los cocientes de masa producción/consumo para todos los materiales de proceso y las transferencias fuera de la instalación, tales como las que se enumeran en el Cuadro 4.22. Aún cuando en el Cuadro 4.22 se proporcionan

contenidos de carbono por defecto, para el Nivel 3 es una *buen práctica* ajustar estos valores para que reflejen las variaciones al nivel de la planta respecto de los valores por defecto representados en el cuadro. Los factores por defecto del Cuadro 4.22 son apropiados para el método de Nivel 3 sólo si la información específica de la planta indica que corresponden a las condiciones reales. Se anticipa que para el método de Nivel 3, los datos específicos de la planta incluyen, tanto los datos sobre los contenidos de carbono, como los datos sobre los cocientes de masa producción/consumo y que, en consecuencia, en la mayoría de los casos los valores por defecto del Cuadro 4.22 no serán aplicados al método de Nivel 3.

4.6.2.3 ELECCIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

MÉTODO DE NIVEL 1

Para el método de Nivel 1 se requiere solamente la cantidad de plomo producido en el país y, si está disponible, la cantidad producida por tipo de horno. Estos datos pueden obtenerse de los organismos gubernamentales responsables de las estadísticas sobre fabricación, de las asociaciones comerciales e industriales o de las compañías de plomo individuales. Estos tonelajes pueden entonces multiplicarse por los factores de emisión correspondientes del Cuadro 4.21, para estimar las emisiones de CO₂ del sector o el factor por defecto si el tipo de horno no está disponible.

MÉTODO DE NIVEL 2

Para el método de Nivel 2 se requiere la cantidad total de agentes reductores y de otros materiales de proceso empleados para la producción de plomo en el país. Estos datos pueden obtenerse de los organismos gubernamentales responsables de las estadísticas sobre fabricación, de las asociaciones comerciales e industriales o de las compañías individuales de plomo. Estas cantidades pueden entonces multiplicarse por el contenido de carbono apropiado, tomado del Cuadro 4.22, y sumarse para determinar el total de emisiones de CO₂ del sector. Sin embargo, se prefieren los datos de la actividad recolectados al nivel de las plantas (Nivel 3). Si ésta no constituye una *categoría principal* y si no se dispone de datos sobre el total de agentes reductores y de materiales de proceso para todas las industrias, las emisiones pueden estimarse mediante el método de Nivel 1.

MÉTODO DE NIVEL 3

Para el método de Nivel 3 se requiere recolectar, compilar y agregar datos sobre las emisiones o las actividades específicas de las instalaciones. El método de Nivel 3 puede requerir también de datos de la actividad recolectados al nivel de las plantas y agregados para el sector. De esta manera, las cantidades de agentes reductores y los tipos de horno utilizados se determinan con mayor exactitud. Estos datos pueden obtenerse de los organismos gubernamentales responsables de las estadísticas sobre fabricación o energía o de las asociaciones comerciales e industriales, pero se prefiere agregarlos a partir de los datos proporcionados por las plantas individuales de plomo. Este método permite también alcanzar una mayor exactitud al permitir que las compañías individuales aporten datos específicos de planta más exactos y/o utilicen factores de emisión más pertinentes para reflejar el contenido de carbono y los tipos de hornos que pueden diferir de los factores por defecto empleados en el método de Nivel 2.

4.6.2.4 EXHAUSTIVIDAD

Al estimar las emisiones de CO₂ provenientes de esta categoría de fuente, existe el riesgo de cómputo doble o de omisión tanto en el Sector IPPU como en el Sector Energía. Como orientación general, todas las emisiones de proceso provenientes de la producción de plomo deben declararse en el Sector IPPU.

4.6.2.5 DESARROLLO DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Las emisiones originadas por la producción de plomo deben calcularse utilizando el mismo método para todos los años de la serie temporal. Allí donde no se disponga de datos para sostener un método de Nivel 3 para todos los años de la serie temporal, deben recalcularse los vacíos según la orientación del Volumen 1, Capítulo 5, Coherencia de la serie temporal y repetición de los cálculos.

4.6.3 Evaluación de incertidumbre

Las incertidumbres en la producción del plomo resultan esencialmente de las incertidumbres asociadas con los datos de la actividad y de la incertidumbre relacionada con el factor de emisión. En el Cuadro 4.23 se presenta un panorama general de las incertidumbres asociadas a los factores de emisión y a los datos de la actividad.

4.6.3.1 INCERTIDUMBRES DEL FACTOR DE EMISIÓN

Los factores de emisión por defecto empleados en el Nivel 1 pueden tener una incertidumbre de ± 50 por ciento. Se estima que los contenidos de carbono para el Nivel 2 poseen una incertidumbre de ± 15 por ciento. Cuando se dispone de datos sobre el contenido de carbono específico de la planta, se espera que el error en los factores de emisión específicos de la unidad de Nivel 3 sea de un 5 por ciento.

4.6.3.2 INCERTIDUMBRES EN LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Las estadísticas de la producción nacional deben estar disponibles y tener una incertidumbre probable de ± 10 por ciento. Para el Nivel 2, la cantidad total de agentes reductores y de materiales de proceso utilizada en la producción del plomo deben tener un error probable de 10 por ciento. El método de Nivel 3 requiere información específica sobre la producción de las plantas (alrededor del 5 por ciento de incertidumbre). Además, se espera que los datos sobre emisiones reales para el Nivel 3 tengan una incertidumbre de ± 5 por ciento.

CUADRO 4.23 INTERVALOS DE INCERTIDUMBRE		
Método	Fuente de los datos	Intervalo de incertidumbre
Nivel 1	Datos de producción nacional	$\pm 10\%$
	Factor de emisión por defecto	$\pm 50\%$
	Factores de emisión por tipo de proceso	$\pm 20\%$
Nivel 2	Cantidades y tipos de agentes de reducción utilizados	$\pm 10\%$
	Contenido de carbono de los materiales de proceso	$\pm 15\%$
Nivel 3	Derivado en la instalación = datos sobre materiales de proceso	$\pm 5\%$
	Datos sobre las mediciones de CO ₂ específicos de la instalación	$\pm 5\%$
	Factores de emisión específicos de las instalaciones	$\pm 5\%$

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

4.6.4.1 GARANTÍA DE CALIDAD / CONTROL DE CALIDAD (GC/CC)

Es una *buena práctica* efectuar verificaciones de control de calidad como se indica en el Volumen 1, Capítulo 6, así como una revisión de expertos de las estimaciones de emisiones. También pueden ser aplicables verificaciones adicionales de control de calidad, como las esbozadas en el Volumen 1, Capítulo 6 y procedimientos de garantía de calidad, en particular si al determinar las emisiones de esta categoría de fuente se utilizan métodos de nivel superior. Se alienta a los organismos responsables del inventario a utilizar un método de GC/CC de nivel superior para las *categorías principales* según se identifica en el Volumen 1, Capítulo 4.

Además de la orientación del Volumen 1, Capítulo 6 se bosquejan a continuación los procedimientos específicos pertinentes para esta categoría de fuente.

Revisión de los factores de emisión

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

Verificación de los datos de actividad específicos de la instalación

Para los datos específicos de la instalación, los compiladores deben revisar las incoherencias entre instalaciones para establecer si reflejan la presencia de errores, de técnicas de medición diferentes, o bien resultan de

diferencias reales en las emisiones, en las condiciones de funcionamiento o en las tecnologías. Para la producción del plomo, los compiladores deben comparar los datos de la planta con los de otras plantas.

Los compiladores deben garantizar que los factores de emisión y los datos de la actividad se determinen de acuerdo con los métodos de medición internacionalmente reconocidos y probados. Si las prácticas de medición no cumplen con este criterio, entonces la utilización de estas emisiones o datos de la actividad debe evaluarse cuidadosamente, deben reconsiderarse las estimaciones de incertidumbre y deben documentarse las calificaciones. Es también posible que en los sitios donde están en vigor parámetros altos de mediciones y de GC/CC, la incertidumbre en la estimación de emisiones sea revisada a la baja.

Revisión de expertos

En el proceso de revisión, los compiladores del inventario deben incluir las principales organizaciones industriales y comerciales relacionadas con la producción del plomo. Este proceso debe comenzar durante la etapa inicial del desarrollo del inventario, de modo que contribuya al desarrollo y la revisión de los métodos y a la adquisición de los datos.

Para esta categoría de fuente puede ser útil recurrir también a revisores independientes, particularmente en relación con la recopilación inicial de datos, el trabajo de medición, la transcripción, los cálculos y la documentación.

Verificación de los datos de la actividad

Para todos los Niveles, los compiladores del inventario deben realizar verificaciones apoyándose en el Volumen 2: Energía, para garantizar que las emisiones generadas por los agentes reductores y los materiales de proceso (carbón, coque, gas natural, etc.) no se contabilizan por partida doble ni omitidas.

Los compiladores del inventario deben examinar toda incoherencia entre los datos de diferentes plantas para establecer si reflejan la presencia de errores, de técnicas de medición diferentes, o bien resultan de diferencias reales en las emisiones, en las condiciones de funcionamiento o en las tecnologías. Es particularmente pertinente para las estimaciones específicas de plantas sobre las cantidades de agentes reductores o sobre los contenidos de carbono declarados para los materiales de proceso.

Allí donde se disponga de datos comerciales sobre el consumo de materiales de proceso, los compiladores del inventario deben comparar la agregación de las estimaciones al nivel de plantas con los totales de la industria.

4.6.4.2 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, como se indica en el Volumen 1, Sección 6.11. No resulta práctico incluir toda la documentación en el informe sobre el inventario nacional. Sin embargo, el inventario debe incluir resúmenes de los métodos utilizados y referencias a las fuentes de datos, de modo que las estimaciones de emisiones declaradas resulten transparentes y que las etapas de su cálculo puedan ser reproducidas.

MÉTODO DE NIVEL 1

Además de declarar las estimaciones de emisiones, es una *buena práctica* declarar la producción total de plomo por proceso y los correspondientes factores de emisión utilizados.

MÉTODO DE NIVEL 2

Es una *buena práctica* documentar las emisiones estimadas o calculadas, todos los datos de la actividad con sus correspondientes contenidos de carbono, así como cualquier hipótesis o dato que justifique los valores alternativos. Debe darse una explicación clara sobre la vinculación con el Volumen 2, Energía, con el fin de demostrar que no se ha incurrido en cálculos dobles ni en omisiones.

MÉTODO DE NIVEL 3

Es una *buena práctica* documentar las emisiones calculadas y la fuente de todos los datos, tomando en cuenta la necesidad de proteger la confidencialidad de los datos para instalaciones específicas, si los datos son comercialmente sensibles o de una naturaleza relacionada con la propiedad industrial. Además, para todos los niveles, los compiladores del inventario deben documentar toda la información necesaria para reproducir las estimaciones, así como los procedimientos de GC/CC.

4.7 PRODUCCIÓN DE CINC

4.7.1 Introducción

PROCESOS PRIMARIOS DE PRODUCCIÓN

Existen tres tipos de producción primaria de cinc. El primer método es un proceso metalúrgico llamado destilación electro-térmica. Se lo emplea para combinar el concentrado tostado y los productos secundarios de cinc en un sinterizado de alimentación que se quema para eliminar cinc, haluros, cadmio y otras impurezas. El sinterizado resultante, rico en óxido de cinc, se combina con el coque metalúrgico en un horno eléctrico de retorta que reduce los óxidos de cinc y produce cinc vaporizado que se captura en un condensador al vacío. La reacción de reducción produce la liberación de emisiones no energéticas de dióxido de carbono (CO₂). El proceso de destilación electro-térmica se emplea en los Estados Unidos y en el Japón. (Sjardin, 2003; European IPPC Bureau, 2001). El segundo método de producción de cinc es el proceso pirometalúrgico que implica el uso de un horno *Imperial Smelting Furnace*, el cual permite el tratamiento simultáneo del cinc y de los concentrados de cinc. El proceso resulta en la producción simultánea de plomo y de cinc y en la liberación de emisiones no energéticas de CO₂. El agente reductor de coque metalúrgico y/o carbón utilizado en este proceso debe ser atribuido al cinc y a la producción de cinc, de manera que no se incurra en cálculos dobles al efectuar los cálculos de las emisiones. Una atribución basada en la masa resulta en un factor de 0,74 toneladas de coque/tonelada de cinc. (Sjardin, 2003; European IPPC Bureau, 2001)

El tercer método de producción de cinc es el proceso electrolítico, que corresponde a una técnica hidrometalúrgica. En este proceso se calcina sulfuro de cinc, lo que produce óxido de cinc. El óxido de cinc se filtra luego en ácido sulfúrico y se purifica para eliminar las impurezas de hierro, cobre y cadmio. Seguidamente, se extrae el cinc de la solución mediante electrólisis. El proceso electrolítico no produce emisiones no energéticas de CO₂. (Sjardin, 2003; European IPPC Bureau, 2001)

PROCESOS SECUNDARIOS DE PRODUCCIÓN

Existen más de 40 tecnologías hidrometalúrgicas y pirometalúrgicas que pueden emplearse para recuperar el metal de cinc a partir de varios materiales. El método preferido para una situación dada depende de la fuente de cinc (nivel de contaminación y concentración del cinc) y del uso final deseado para el cinc recuperado. A menudo, el proceso consiste en la concentración del cinc (a través de una separación física y/o química), la sinterización, la fundición y el refinado. En algunos casos, el cinc de alta ley se retira del proceso luego de la concentración física y se consume en otras industrias, incluidas la fabricación de hierro y acero, la fabricación de latón y el moldeo del cinc por inyección a presión, sin pasar por el resto de las etapas del proceso. (Sjardin, 2003).

Las etapas de sinterizado, fundición y refinado son idénticas a las etapas utilizadas en los procesos de producción primaria de cinc, de modo que ciertos procesos de fundición son considerados como emisores desde el punto de vista de las emisiones no energéticas de CO₂, mientras que las etapas de sinterización y de refinación son consideradas como no emisoras. Cuando la etapa de concentración implica el uso de agentes reductores que contienen carbono y el uso de altas temperaturas para volatilizar o humear el cinc desde los materiales de fuente, el proceso puede liberar emisiones no energéticas de CO₂. El proceso de Waelz Kiln y el proceso de reducción de escorias o de humeado son dos de los métodos de concentración. El proceso de Waelz Kiln, que se emplea para concentrar cinc a partir de los polvos de los humos de salida, de lodos, de escorias y de otros materiales que contienen zinc, implica el uso del coque metalúrgico como agente reductor. Sin embargo, el cinc reducido se re-oxida durante el proceso y el coque metalúrgico sirve también como fuente de calor durante el proceso. El proceso de reducción de escorias o de humeado, que se usa estrictamente para concentrar el cinc de las escorias fundidas provenientes de la fundición de cobre y de cinc, implica el uso de carbón o de otra fuente de carbono como agente reductor. (Sjardin, 2003; European IPPC Bureau, 2001)

4.7.2 Cuestiones metodológicas

4.7.2.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO

En las *Directrices del IPCC* se bosquejan varios métodos para calcular las emisiones de CO₂ generadas por la producción del cinc. La elección de un método de *buena práctica* depende de las circunstancias nacionales, tal como se indica en el árbol de decisión de la Figura 4.16. El método de Nivel 3 puede utilizarse si se dispone de datos sobre mediciones de emisiones específicas de la instalación. El método de Nivel 2 utiliza factores de emisión específicos del país, tanto para el proceso de producción primaria como para el de producción

secundaria. El método de Nivel 1 es muy simple y puede conducir a errores debido a que depende de hipótesis en vez de apoyarse en datos reales. El método de Nivel 1 emplea factores de emisión generales que se aplican a la producción total de cinc del país al calcular las emisiones y es el método menos riguroso. Este método sólo debe emplearse cuando la producción de cinc no es una *categoría principal*.

MÉTODO DE NIVEL 1

El método más simple consiste en multiplicar los factores de emisión por defecto por el tipo de producto de cinc (Ecuación 4.33). Cuando los únicos datos disponibles sean las estadísticas sobre la producción nacional de cinc, es una *buena práctica* utilizar los factores de emisión por defecto. Si no se dispone de datos específicos de los materiales para calcular las emisiones mediante la metodología de Nivel 2, pero se conoce el tipo de proceso, los compiladores del inventario pueden calcular las emisiones mediante la Ecuación 4.34.

ECUACIÓN 4.33
EMISIONES DE CO₂ PROVENIENTES DE LA PRODUCCIÓN DE CINCO (NIVEL 1)

$$E_{CO_2} = Zn \cdot EF_{por\ defecto}$$

Donde:

E_{CO_2} = emisiones de CO₂ originadas por la producción de cinc, toneladas

Zn= cantidad de cinc producido, toneladas

$EF_{por\ defecto}$ = factor de emisión por defecto, toneladas de CO₂/tonelada de *cinc* producido

ECUACIÓN 4.34
EMISIONES DE CO₂ PROVENIENTES DE LA PRODUCCIÓN DE CINCO (NIVEL 1)

$$E_{CO_2} = ET \cdot EF_{ET} + PM \cdot EF_{PM} + WK \cdot EF_{WK}$$

Donde:

E_{CO_2} = emisiones de CO₂ originadas por la producción de cinc, toneladas

ET = cantidad de cinc producido por destilación electro-térmica, toneladas

EF_{ET} = factor de emisión para la destilación electro-térmica, toneladas de CO₂/tonelada de cinc producido

PM = cantidad de cinc producido por el proceso pirometalúrgico (proceso *Imperial Smelting Furnace*), toneladas

EF_{PM} = factor de emisión para el proceso pirometalúrgico, toneladas de CO₂/tonelada de cinc producido

WK = cantidad de cinc producido por el proceso Waelz Kiln, toneladas

EF_{WK} = factor de emisión para el proceso Waelz Kiln, toneladas de CO₂/tonelada de cinc producido

MÉTODO DE NIVEL 2

Es posible calcular las emisiones empleando un factor de emisión específico del país basado en estadísticas de planta agregadas sobre el uso de agentes reductores, tipos de hornos y otros materiales de proceso de interés y que se desarrolla basándose en factores de emisión por defecto aplicables a esos materiales. Estos datos pueden obtenerse de los organismos gubernamentales responsables de las estadísticas sobre fabricación, de las asociaciones comerciales e industriales o de las compañías de cinc individuales. El Nivel 2 es más exacto que el Nivel 1 porque toma en cuenta los materiales y la variedad de tipos de horno utilizados en el sector del cinc que contribuyen a las emisiones de CO₂ en un país en particular, en vez de suponer prácticas industriales generalizadas.

MÉTODO DE NIVEL 3

Si se dispone de datos reales sobre emisiones de CO₂ medidas de las instalaciones productoras de cinc, pueden agregarse y emplearse directamente para dar cuenta de las emisiones nacionales mediante el método de Nivel 3.

4.7.2.2 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

MÉTODO DE NIVEL 1

El factor de emisión para el proceso pirometalúrgico (*Imperial Smelting Furnace*) es un factor de emisión agregado y ponderado que abarca tanto la producción primaria de cinc como la producción secundaria en Europa (Sjardin, 2003). No había datos para determinar un factor de emisión para el proceso electro-térmico. Se ha desarrollado un factor de emisión basado en la cantidad de coque consumido por tonelada de polvo de EAF consumido en un horno Waelz Kiln, basándose en el balance de materiales proporcionado por Viklund-White (2000), en el cual Viklund-White observa que por cada tonelada métrica de polvo de EAF consumido, se consumen 400 kg. de coque.

CUADRO 4.24 FACTORES DE EMISIÓN DE CO ₂ DE NIVEL 1 PARA LA PRODUCCIÓN DE CINCO		
Proceso	Factor de emisión	Fuente
Waelz Kiln (toneladas de CO ₂ / tonelada de cinc)	3,66	Derivado de Viklund-White C. (2000) <i>The Use of LCA for the Environmental Evaluation of the Recycling of Galvanized Steel</i> . ISIJ International. Volumen 40 No. 3: 292-299.
Pirometalúrgico (<i>Imperial Smelting Furnace</i>) (toneladas de CO ₂ / tonelada de cinc)	0,43	Sjardin 2003. <i>CO₂ Emission Factors for Non-Energy Use in the Non-Ferrous Metal, Ferroalloys and Inorganics Industry</i> . Copernicus Institute, Utrecht, Países Bajos. Junio de 2003.
Electro-térmico	Desconocido	
Factor por defecto (toneladas de CO ₂ / tonelada de cinc)	1,72	el factor por defecto se basa en una ponderación de factores de emisión conocidos (60% Imperial Smelting, 40% Waelz Kiln)

MÉTODO DE NIVEL 2

El método de Nivel 2 requiere el cálculo de un factor de emisión específico del país, basado en la cantidad total de agentes reductores y de otros materiales de proceso que contienen carbono empleados para la producción de cinc en el país. Estos factores de emisión específicos del país deben basarse en estadísticas agregadas de las plantas respecto del uso de agentes reductores, en los tipos de hornos y en otros materiales de proceso de interés. Se ha desarrollado un factor de emisión basado en la cantidad de coque metalúrgico consumido por tonelada de polvo de EAF consumido: 0,4 toneladas de coque/tonelada de polvo EAF consumido (Viklund-White, 2000). Si se dispone de datos de la actividad, para calcular las emisiones se puede utilizar un factor de emisión de 1,23 toneladas de polvo EAF por tonelada de cinc. Cuando se produce cinc a partir de polvos de EAF en un horno Waelz Kiln, las complejidades del proceso sugieren que los factores de emisión son más exactos si están basados en la cantidad de polvo de EAF consumido, en vez del total de cinc producido. Esto se debe a que la cantidad de materiales de reducción (coque metalúrgico) consumidos depende directamente de la cantidad y del contenido de cinc en el polvo de EAF consumido. En el proceso de Waelz Kiln se utiliza un equipo de pesaje para controlar la cantidad de coque metalúrgico que entra en el horno de alta temperatura (Sjardin 2003; European IPPC Bureau 2001).

4.7.2.3 ELECCIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

MÉTODO DE NIVEL 1

Para el método de Nivel 1 se requiere solamente la cantidad de cinc producido en el país y, si la información está disponible, el tipo de proceso. Estos datos pueden obtenerse de los organismos gubernamentales responsables de las estadísticas sobre fabricación, de las asociaciones comerciales e industriales o de las compañías del cinc individuales. Estos tonelajes pueden multiplicarse entonces por los factores de emisión por defecto para estimar las emisiones de CO₂.

MÉTODO DE NIVEL 2

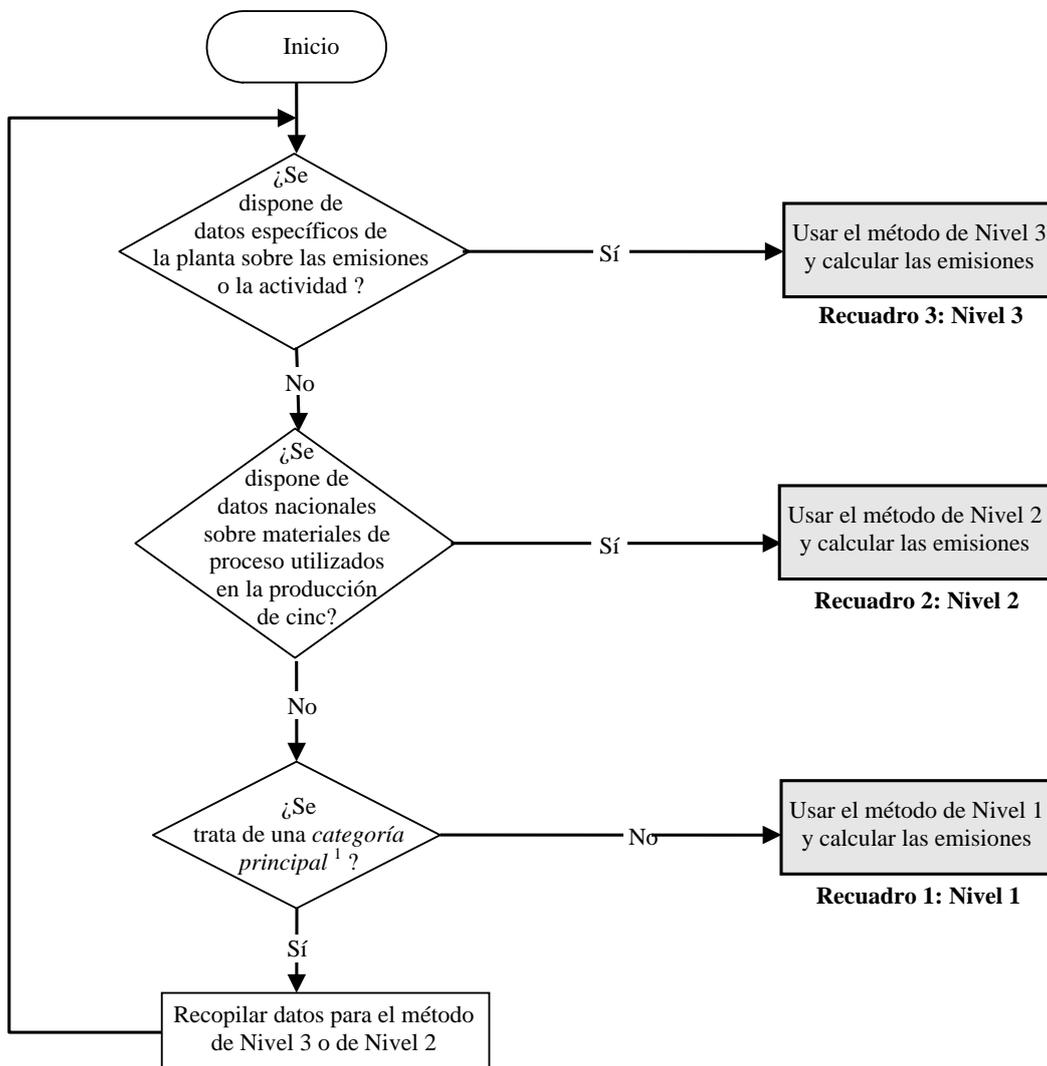
El método de Nivel 2 requiere el cálculo de un factor de emisión específico del país, basado en la cantidad total de agentes reductores y de otros materiales de proceso que contienen carbono empleados para la producción de

cinc en el país. Estos datos pueden obtenerse de los organismos gubernamentales responsables de las estadísticas sobre fabricación o energía de las asociaciones comerciales e industriales o de las compañías de cinc individuales. Estos factores de emisión específicos del país pueden multiplicarse entonces por la cantidad de producción para determinar el total de emisiones de CO₂ del sector. Si ésta no constituye una *categoría principal* y si no se dispone de datos sobre el total de agentes reductores y de materiales de proceso para todas las industrias, las emisiones pueden estimarse mediante el método de Nivel 1.

MÉTODO DE NIVEL 3

Para el método de Nivel 3 se requiere recolectar, compilar y agregar datos sobre las mediciones de las emisiones específicas de las instalaciones, si hubiere. Sin embargo, los datos de la actividad recolectados al nivel de las plantas pueden usarse también, con factores de emisión aparte para cada planta multiplicados por la producción específica de la planta. Si no constituye una *categoría principal* y si no se dispone de datos sobre el total de agentes reductores y de materiales de proceso para todas las industrias, las emisiones pueden estimarse mediante el método de Nivel 1.

Figura 4.16 **Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de CO₂ provenientes de la producción de cinc**



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).

4.7.2.4 EXHAUSTIVIDAD

Al estimar las emisiones provenientes de esta categoría de fuente, existe el riesgo de cómputo doble o de omisión tanto en el Sector Procesos industriales como en el Sector Energía. Es importante notar que el factor de emisión de Nivel 1 supone que las emisiones de CO₂ generadas por la combustión de los diferentes combustibles empleados para la producción de calor en los procesos de calcinación, sinterización, filtraje, fundición de purificación y refinado son capturadas dentro del CO₂ de las emisiones procedentes de la quema de combustibles fósiles. Al emplear las metodologías de Nivel 2 ó 3, se pueden evitar los cálculos dobles. La fuente más importante de eventuales cálculos dobles son las emisiones de la producción de coque, que se calculan en la Sección 4.2 y se declaran dentro del Sector Energía.

4.7.2.5 DESARROLLO DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Las emisiones originadas por la producción de cinc deben calcularse utilizando el mismo método para cada año de la serie temporal. Allí donde no se disponga de datos para sostener un método de Nivel 3 para todos los años de la serie temporal, deben recalcularse los vacíos según la orientación del Volumen 1, Orientación general y generación de informes.

4.7.3 Evaluación de incertidumbre

Las estimaciones de incertidumbre en la producción del cinc resultan esencialmente de las incertidumbres asociadas con los datos de la actividad y de la incertidumbre relacionada con el factor de emisión. En el Cuadro 4.25 se presenta un panorama general de las incertidumbres asociadas a los factores de emisión y a los datos de la actividad.

4.7.3.1 INCERTIDUMBRES DEL FACTOR DE EMISIÓN

Los factores de emisión por defecto empleados en el Nivel 1 pueden tener una incertidumbre del ± 50 por ciento. Se estima que los factores de emisión específicos del país para el Nivel 2 poseen una incertidumbre de 15 por ciento. Cuando se dispone de datos sobre el contenido de carbono específico de la planta, se espera que el error en los factores de emisión específicos de la unidad de Nivel 3 sea de un 5 por ciento.

4.7.3.2 INCERTIDUMBRES EN LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Las estadísticas sobre la producción nacional deben estar disponibles y tener una incertidumbre probable de ± 10 por ciento. Para el Nivel 2, la cantidad total de agentes reductores y de materiales de proceso utilizados en la producción del plomo deberían tener un error probable de 10 por ciento. Se espera que los datos sobre emisiones reales para el Nivel 3 tengan una incertidumbre de ± 5 por ciento.

CUADRO 4.25 INTERVALOS DE INCERTIDUMBRE		
Método	Fuente de los datos	Intervalo de incertidumbre
Nivel 1	Datos nacionales de producción	$\pm 10\%$
	Factores de emisión por defecto	$\pm 50\%$
	Factores de emisión específicos de los procesos	$\pm 20\%$
Nivel 2	Datos nacionales sobre Agentes reductores y Materiales de proceso	$\pm 10\%$
	Factores de emisión específicos del país	$\pm 15\%$
Nivel 3	Derivado en la instalación = datos sobre materiales de proceso	$\pm 5\%$
	Datos sobre las mediciones de CO ₂ específicos de la instalación	$\pm 5\%$
	Factores de emisión específicos de las instalaciones	$\pm 5\%$

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

4.7.4.1 GARANTÍA DE CALIDAD / CONTROL DE CALIDAD (GC/CC)

Es una *buena práctica* efectuar verificaciones de control de calidad como se indica en el Volumen 1, Capítulo 6, así como una revisión de expertos de las estimaciones de emisiones. Además de la orientación del Volumen 1, se presentan a continuación los procedimientos específicos pertinentes para esta categoría de fuente.

Revisión de los factores de emisión

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

Verificación de los datos de la actividad específicos de la instalación

Para los datos específicos de la instalación, los compiladores del inventario deben revisar las incoherencias existentes entre instalaciones, para establecer si reflejan la presencia de errores, de técnicas de medición diferentes, o bien resultan de diferencias reales en las emisiones, en las condiciones de funcionamiento o en las tecnologías. Para la producción de cinc, los compiladores deben comparar los datos de la planta con los de otras plantas.

Los compiladores deben garantizar que los factores de emisión y los datos de la actividad se determinen de acuerdo con los métodos de medición internacionalmente reconocidos y probados. Si las prácticas de medición no cumplen con este criterio, entonces la utilización de estas emisiones o datos de la actividad debe evaluarse cuidadosamente, deben reconsiderarse las estimaciones de incertidumbre y deben documentarse las calificaciones. Es también posible que en los sitios donde están en vigor parámetros altos de mediciones y de GC/CC, la incertidumbre en la estimación de emisiones sea revisada a la baja.

Revisión de expertos

Los compiladores del inventario deben incluir en el proceso de revisión las principales organizaciones industriales y comerciales relacionadas con la producción del cinc. Este proceso debe comenzar al inicio del desarrollo del inventario, de modo que contribuya al desarrollo y a la revisión de los métodos y a la adquisición de los datos.

Para esta categoría de fuente puede ser útil recurrir también a revisores independientes, particularmente en relación con la recolección inicial de datos, el trabajo de medición, la transcripción, los cálculos y la documentación.

Verificación de los datos de la actividad

Para todos los Niveles, los compiladores del inventario deben garantizar que las emisiones generadas por los agentes reductores y los materiales de proceso (carbón, coque, gas natural, etc.) no sean contabilizadas por partida doble ni omitidas.

Los compiladores deben examinar toda incoherencia existente entre los datos de diferentes plantas para establecer si reflejan la presencia de errores, de técnicas de medición diferentes, o bien resultan de diferencias reales en las emisiones, en las condiciones de funcionamiento o en las tecnologías. Esto es particularmente pertinente para las estimaciones específicas de plantas sobre las cantidades de agentes reductores o sobre los contenidos de carbono declarados para los materiales de proceso.

Allí donde se disponga de datos comerciales sobre el consumo de materiales de proceso, los compiladores deben comparar la agregación de las estimaciones al nivel de plantas con los totales de la industria.

4.7.4.2 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, como se indica en el Volumen 1, Sección 6.11. No resulta práctico incluir toda la documentación en el informe sobre el inventario nacional. Sin embargo, el inventario debe incluir

resúmenes de los métodos utilizados y referencias a las fuentes de datos, de modo que las estimaciones de emisiones resulten transparentes y que las etapas de su cálculo puedan ser reproducidas.

MÉTODO DE NIVEL 1

Además de declarar las estimaciones de emisiones, es una *buena práctica* declarar la producción total de cinco por proceso y los correspondientes factores de emisión utilizados.

MÉTODO DE NIVEL 2

Es una *buena práctica* documentar las emisiones estimadas o calculadas, todos los datos de la actividad con sus correspondientes factores de emisión, así como cualquier hipótesis o dato que justifique el uso de factores de emisión alternativos.

MÉTODO DE NIVEL 3

Es una *buena práctica* documentar las emisiones calculadas y la fuente de todos los datos, tomando en cuenta la necesidad de proteger la confidencialidad de los datos para instalaciones específicas, si los datos son comercialmente sensibles o de una naturaleza relacionada con la propiedad industrial. Además, para todos los niveles, los compiladores del inventario deben documentar toda la información necesaria para reproducir las estimaciones, así como los procedimientos de GC/CC.

Referencias

SECCIÓN 4.2

- EEA (2005). EMEP/CORINAIR. Emission Inventory Guidebook – 2005, European Environment Agency, Technical report No 30. Copenhagen, Denmark, (December 2005). Available from web site see: <http://reports.eea.eu.int/EMEP/CORINAIR4/en>
- European IPPC Bureau (2001). Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Best Available Techniques Reference Document on the Production of Iron and Steel, December 2001. <http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>
- International Iron and Steel Institute (2004). Steel Statistical Yearbook 2004: International Iron and Steel Institute, COMMITTEE ON ECONOMIC STUDIES, Brussels.
- Pipatti, R. (2001). Greenhouse Gas Emissions and Removals in Finland, Report No. 2094, VTT Technical Research Centre of Finland, Espoo, 2001. <http://virtual.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2001/T2094.pdf>
- Schoenberger, H. (2000). European Conference on “The Sevilla Process: A Driver for Environmental Performance in Industry” Stuttgart, 6 and 7 April 2000, BREF on the Production of Iron and Steel - conclusion on BAT, Dr. Harald Schoenberger, Regional State Governmental Office Freiburg, April 2000.

SECCIÓN 4.3

- FFF (2000). The Norwegian Ferroalloy Producers Research Association, “Emission factors standardized at meeting”, Oslo 2000.
- IPCC (1997). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories. Houghton J.T., Meira Filho L.G., Lim B., Tréanton K., Mamaty I., Bonduki Y., Griggs D.J. Callander B.A. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA, Paris, France.
- IPCC (2000). Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. Penman J., Kruger D., Galbally I., Hiraishi T., Nyenzi B., Emmanuel S., Buendia L., Hoppaus R., Martinsen T., Meijer J., Miwa K., Tanabe K. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA/IGES, Hayama, Japan.
- Lindstad, T. (2004). ‘CO₂ Emissions from the Production of Silicon Alloys’, STF80A04019, SINTEF, Trondheim 2004.
- Olsen, S.E., Monsen, B.E. and Lindstad, T. (1998). ‘CO₂ Emissions from the Production of Manganese and Chrome Alloys in Norway’, Electric Furnace Conference Proceedings Vol. 56, Iron & Steel Society, Warrendale PA 1998, pp 363-369.
- Olsen, S.E. (2004). ‘CO₂ Emissions from the Production of Manganese Alloys in Norway’, STF80A04010, SINTEF, Trondheim 2004.

SECCIÓN 4.4

- IAI (2000). International Aluminium Institute, International Aluminium Institute (2000) ‘Life Cycle Assessment of Aluminium’
- IAI (2001). International Aluminium Institute, Perfluorocarbon Emissions Reduction Programme 1990 - 2000, 2001, available at <http://www.world-aluminium.org/iai/publications/documents/pfc2000.pdf>.
- IAI (2005a). International Aluminium Institute, The Aluminium Sector Greenhouse Gas Protocol, http://www.world-aluminium.org/environment/climate/ghg_protocol.pdf, 2005.
- IAI (2005b). International Aluminium Institute, survey on composition of production materials, 2005 (unpublished)
- IAI (2005c). International Aluminium Institute, Annual Anode Effect Survey 2003, www.world-aluminium.org, 2005.
- U.S. EPA and IAI (2003), U.S. Environmental Protection Agency and International Aluminium Institute, USEPA/IAI Protocol for Measurement of PFCs from Primary Aluminium Production, EPA 43-R-03-006, May 2003.

SECCIÓN 4.5

- Bartos, S., Kantamaneni, R., Marks, J. and Laush, C. (2003). "Measured SF₆ Emissions from Magnesium Die Casting Operations," Magnesium Technology 2003, Proceedings of The Minerals, Metals & Materials Society (TMS) Conference, March 2003.
- Gjestland, H. and Magers, D. (1996). "Practical usage of sulphur hexafluoride for melt protection in the magnesium die casting industry" Proceedings of the 53rd International Magnesium Conference, 1996, Ube City, Japan
- IPCC (2001). Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881pp.
- Milbrath, D. (2002). "Development of 3M™ Novec™ 612 Magnesium Protection Fluid as a Substitute for SF₆ Over Molten Magnesium," International Conference on SF₆ and the Environment: Emission Reduction Technologies, November 21-22, 2002, San Diego, CA.
- Tranell, G and Engh, T.A. (2004). "Alternatives to SF₆ for the Magnesium Processor – A Technical, Environmental and Economic Assessment", Proceedings of the 61st Annual International Magnesium Association Conference, May 2004, New Orleans, LA, USA.

SECCIÓN 4.6

- DOE (2002). Mining Industry of the Future: Energy and Environmental Profile of the U.S. Mining Industry. Prepared by BCS, Inc for the U.S. Department of Energy's Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, December 2002.
- LDA (2002). Technical Notes: Primary Extraction of Lead., Lead Development Association International. Internet: <http://www.ldaint.org/technotes1.htm>
- Metallurgical Industry (1995). AP 42, Fifth Edition, Volume I, Chapter 12, <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch12/index.html>
- Sjardin, M. (2003). CO₂ Emission Factors for Non-Energy Use in the Non-Ferrous Metal, Ferroalloys and Inorganics Industry. Copernicus Institute, Utrecht, The Netherlands, June 2003.

SECCIÓN 4.7

- European IPPC Bureau (2001). Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Best Available Techniques Reference Document on the Non Ferrous Metals Industries, December 2001. <http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>
- Sjardin, M. (2003). CO₂ Emission Factors for Non-Energy Use in the Non-Ferrous Metal, Ferroalloys and Inorganics Industry. Copernicus Institute, Utrecht, The Netherlands, June 2003.
- Viklund-White C. (2000). The Use of LCA for the Environmental Evaluation of the Recycling of Galvanized Steel. *ISIJ International*. Volume 40 No. 3: 292-299.