

FICHA INTRODUCTORIA C

Metodologías de estimación de las emisiones por combustión

El Inventario Nacional emplea los siguientes métodos para estimar las emisiones de los procesos de combustión en el grupo SNAP 01 (combustión en la producción y transformación de energía):

- Medición directa de las propias emisiones, normalmente aplicado al SO₂, al NO_x y a las TSP (y en el caso de las centrales térmicas también se miden CO y NH₃ y, en las que queman carbones, se han realizado eventualmente mediciones de Metales Pesados).
- Balance estequiométrico de masas (normalmente aplicado al CO₂ y, a veces, al SO₂).
- Procedimientos de factor de emisión simple, empleando valores por defecto (normalmente aplicados a NMVOC, CH₄, CO, N₂O y, a veces, NO_x, Metales Pesados, Dioxinas, hidrocarburos aromáticos policíclicos -PAHs- y PCBs).
- Procedimientos avanzados de factor de emisión (aplicados, en ocasiones, al SO₂).

C.1. Mediciones directas

Este procedimiento de estimación se basa en las mediciones realizadas a la salida de la chimenea. Cuando se dispone de esta información, los datos medidos suelen presentarse como la distribución anual de las concentraciones medias horarias o semihorarias del contaminante contenido en el flujo de gases emitidos por la chimenea. Si no existe una correlación entre la concentración del contaminante con el nivel de carga ("load factor") de operación de la instalación, la emisión total anual (expresada en toneladas por año) puede calcularse mediante la expresión siguiente:

$$E[t/a] = V[m^3/a] \cdot c[mg/m^3] \cdot 10^{-9}$$

donde:

- V representa el volumen total anual de gases emitidos por la chimenea
- c es el promedio anual de la concentración del contaminante considerado (considerando las técnicas de reducción instaladas)
- 10⁻⁹ es un factor de conversión de unidades.

El volumen V viene dado por la fórmula:

$$V[m^3/a] = V_{GE}[m^3/kg] \cdot CON_{comb}[kg/a]$$

donde:

- V_{GE} representa el volumen seco, en m³, de los gases emitidos por la chimenea por kg de combustible
- CON_{comb} es el consumo anual de combustible (referido al conjunto de todas las instalaciones de combustión cuyos gases se canalizan a esa chimenea).

Si no se dispone de la medida de V_{GE}, se puede estimar el volumen seco de gases emitidos por la chimenea mediante la ecuación:

$$V_{GE}[m^3/kg] \approx 1,852 \cdot C_C + 0,682 \cdot C_S + 0,8 \cdot C_{N_2} + V_{N_{aire}} + V_{excO_{aire}}$$

donde:

- las concentraciones de carbono (C_C), azufre (C_S), y nitrógeno (C_{N₂}) en el combustible se expresan en kg por kg de combustible
- V_{N_{aire}} y V_{excO_{aire}} son respectivamente los volúmenes (m³) de nitrógeno y de oxígeno por kg de combustible en los gases de salida de la combustión.

Si, por el contrario, la concentración horaria o semihoraria varía con la carga de operación, la emisión total debe calcularse como el sumatorio, extendido a todos los intervalos horarios o semihorarios del año, conforme se indica en la siguiente expresión:

$$E[t/a] = \sum_h V[m^3/h] \cdot c_h[mg/m^3] \cdot 10^{-9}$$

C.2. Balance de masas

Este procedimiento de estimación se aplica habitualmente en el Inventario Nacional para estimar las emisiones de CO₂ y SO₂.

Dependiendo del contaminante y del conocimiento del tipo de instalación, clase de combustible y técnicas de reducción de emisiones, el balance se articula en un algoritmo más o menos desarrollado.

C.2.1. Cálculo de los factores de emisión de CO₂

Para la determinación de las emisiones de CO₂ se suele aplicar el siguiente algoritmo de estimación:

$$FE_{CO_2}[\text{g/GJ}] = 44/12 \cdot C_{\text{comb}} \cdot \varepsilon \cdot (1/H_U) \cdot 10^6$$

donde

FE_{CO_2} : factor de emisión especificado (en g/GJ)

C_{comb} : ratio de carbono en el combustible (kg de C/kg de combustible)

ε : fracción de carbono oxidado

H_U : el poder calorífico inferior (en GJ/tonelada de combustible).

Los valores de C_{comb} y de H_U deben ser tomados como específicos para cada tipo de combustible utilizado. Si bien el Manual de Referencia IPCC 1996 especificaba unos valores por defecto para la fracción de carbono oxidado (ε) en cada tipo de combustible (sólido, líquido o gaseoso), en la actualidad el Inventario Nacional considera $\varepsilon = 1$ por defecto (independientemente del combustible empleado), tras su adaptación a la Guía IPCC 2006. No obstante, según indica esta misma Guía, en caso de conocerse valores concretos, éstos deberán incluirse en los cálculos, por lo que el Inventario Nacional utilizará información específica sobre fracciones de carbono oxidado en el caso de que se disponga de la misma y siempre coherente con los datos validados y reportados bajo el Esquema del Comercio de Derechos de Emisiones (ETS).

Debe tenerse en cuenta que en la aplicación de la fórmula anterior se considera que todo el carbono oxidado se emite como CO₂ (CO₂ final). Este supuesto está de acuerdo con el planteamiento de las metodologías IPCC y EMEP/EEA, y en consecuencia con ellas debe evitarse la doble contabilización que se produciría si se añadiera a la estimación de CO₂ así obtenida la conversión a CO₂ final de otros gases del Inventario que contienen carbono (COVNM, CH₄, CO).

C.2.2. Cálculo de los factores de emisión de SO₂

En el Libro Guía EMEP/EEA 2016 se recomienda que los factores de emisión de los óxidos de azufre se calculen a partir del contenido en azufre del combustible quemado, asumiendo un 100% de conversión en SO₂ y sin tener en cuenta la retención en cenizas, mediante la aplicación del siguiente algoritmo:

$$EF_{SO_2}[\text{g/GJ}] = [S] \times 20.000 / PCI$$

donde

EF_{SO_2} : factor de emisión de SO₂ (en g/GJ)

[S]: contenido en azufre del combustible (% en peso)

PCI: poder calorífico inferior del combustible (en GJ/tonelada de combustible).

En el Inventario Nacional, esta forma de cálculo se emplea sobre todo en el caso de los combustibles líquidos y algunos gaseosos.

C.3. Factores de emisión por defecto

Este procedimiento, aplicando un factor de emisión simple, se basa en el conocimiento de situaciones análogas (técnicas de combustión, combustibles utilizados, etc.) a aquella de la que se quiere efectuar la estimación, empleando los factores de emisión por defecto que se hayan publicados en las distintas metodologías o bibliografía. Estos factores vienen expresados habitualmente en masa de contaminante por unidad de poder calorífico inferior (PCI) del combustible utilizado.

Para el caso particular del NH₃ no se dispone para los combustibles fósiles de factores referidos al propio proceso de combustión, sino que las emisiones resultan de la utilización de amoníaco cuando se usan técnicas de reducción catalíticas selectivas para controlar las emisiones de NO_x.

C.4. Procedimientos avanzados de factor de emisión

Este procedimiento debe desarrollarse a nivel de cada instalación de combustión. Si la planta dispone de varias instalaciones, las emisiones totales deberán obtenerse por agregación de las estimadas para cada instalación de combustión.

Este modelo de estimación basado en factores avanzados (aplicado en algunos casos para el SO₂) requiere la siguiente información de base:

- El tipo de instalación/caldera;
- El tipo de técnica/s primaria/s de reducción de las emisiones;
- El tipo de técnica/s secundaria/s de reducción de las emisiones;

- Las características del/os combustible/s utilizado/s (contenido de azufre, nitrógeno, carbono, hidrógeno, oxígeno, volátiles, y poder calorífico inferior).

El procedimiento de estimación comprende las siguientes etapas:

- *Etapa 1:* Se calculan las cantidades máximas liberables como SO₂, bajo el supuesto de conversión estequiométrica a ese compuesto, de todo el azufre contenido en el combustible.
- *Etapa 2:* Se toman en consideración las medidas primarias de reducción de las emisiones.
- *Etapa 3:* Se toman en consideración las medidas secundarias de reducción de las emisiones.

C.4.1. Cálculo de los factores de emisión avanzados de SO₂

La ecuación para el factor de emisión de SO₂ (FE_{SO₂}), puede expresarse en la forma siguiente:

$$FE_{SO_2}[\text{g/GJ}] = 2 \cdot S_{\text{comb}} \cdot (1-\alpha_s)(1-\eta_{\text{sec}}\beta) \cdot (1/H_U) \cdot 10^6$$

donde:

S_{comb}: contenido de azufre en el combustible (expresado en kg de azufre por kg de combustible)

α_s: retención de azufre en la ceniza. Es el ratio entre la diferencia de la concentración de dióxido de azufre calculada a partir del azufre contenido en el combustible (C_{max}) y el dióxido de azufre contenido en los gases de la combustión antes de pasar por el dispositivo de reducción de la emisión (si lo hay) (C_{eff}), y dividida esta diferencia entre la concentración de dióxido de azufre calculada a partir del contenido total de azufre en el combustible (C_{max}), es decir, α_s = (C_{max} - C_{eff})/C_{max}.

η_{sec}: eficacia de la reducción de las medidas secundarias. proporción entre la concentración del contaminante en los gases a la salida y a la entrada del dispositivo de reducción de la emisión (calculada en condiciones de operación a plena carga).

β: aplicabilidad efectiva de las medidas secundarias. Es el ratio entre las horas de operación a plena carga funcionando con la tecnología de control de emisiones y las horas totales de operación a plena carga de la instalación de combustión.

H_U: poder calorífico inferior del combustible (en MJ por kg de combustible).

A continuación se presenta el esquema del procedimiento de estimación:

- 1) Se calcula, de acuerdo con la ecuación siguiente, la cantidad máxima de dióxido de azufre, SO_{2,max}, obtenible por reacción estequiométrica del azufre contenido en el combustible, S_{comb}, con el oxígeno:

$$SO_{2,\text{max}} [\text{kg/kg}] = 2 \cdot S_{\text{comb}}$$

- 2) La estimación anterior de SO_{2,max} se minorra multiplicándola por el factor (1-α_s), siendo α_s el coeficiente unitario de retención de azufre en las cenizas, dando como resultado la cantidad de dióxido de azufre emitible, SO_{2,cald}, por la instalación de combustión, usando el tipo de combustible considerado, según se expresa en la ecuación siguiente:

$$SO_{2,\text{cald}}[\text{kg/kg}] = SO_{2,\text{max}} \cdot (1-\alpha_s)$$

- 3) La cantidad SO_{2,cald} es ulteriormente minorada multiplicándola por el factor (1- η_{sec}β), siendo η_{sec} la eficacia de reducción de las medidas secundarias y β el grado de aplicabilidad efectiva de las mismas, dando como resultado la cantidad de dióxido de azufre emitida, SO_{2,sec}, tras la aplicación de las medidas secundarias, según se expresa en la ecuación siguiente:

$$SO_{2,\text{sec}}[\text{kg/kg}] = SO_{2,\text{cald}} \cdot (1-\eta_{\text{sec}}\beta)$$

- 4) A partir de la cantidad SO_{2,sec} anteriormente estimada se calculan los factores de emisión de SO₂ bajo dos versiones:
 - i. en masa por volumen de gas emitido FC_{SO₂}

$$FC_{SO_2}[\text{mg/m}^3] = SO_{2,\text{sec}} \cdot (1/V_{GE}) \cdot 10^6$$

- ii. en masa por energía del combustible FE_{SO₂}

$$FE_{SO_2}[\text{g/GJ}] = SO_{2,\text{sec}} \cdot (1/H_U) \cdot 10^6$$

donde en las expresiones anteriores, V_{GE} es el volumen seco de gases emitidos (en m³/kg) y H_U es el poder calorífico inferior del combustible (en MJ/kg)

Para la aplicación del algoritmo anterior deben usarse en la medida de lo posible valores específicos (de la instalación) para los parámetros referidos en las fórmulas. No obstante, en la tabla 7, Apartado 4.2, Capítulo B111 del Libro Guía EMEP/CORINAIR 2007 se presentan valores por defecto de dichos parámetros, para el caso en que no se disponga de los mismos.

Para el caso de combustión de carbones el Libro Guía EMEP/CORINAIR 2007 proporciona información de valores por defecto de los parámetros S_{comb} y de H_U , así como del parámetro α_S .

Para otros combustibles (líquidos, gaseosos, biomasa y residuos) se deberán utilizar valores específicos del parámetro de contenido en azufre en el combustible (S_{comb}). La retención de azufre en cenizas (α_S) no es en este caso relevante. Los valores por defecto de β y η_{sec} se encuentran en EMEP/CORINAIR 2007.

Octubre 2017

Ficha Técnica