

Estimación de emisiones y transferencias de contaminantes para las FFJJ

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
Subsecretaría de Gestión para la Protección al Ambiental
Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire y RETC

Problemática actual

La Cédula de Operación Anual (COA) es una fuente de información en materia de medio ambiente utilizada por diferentes organismos, por lo que es de suma importancia contar con **información certera y fidedigna**.

Es por ello que surge la necesidad de desarrollar una **guía y herramientas** para la **correcta estimación de emisiones y transferencias** en los siguientes medios:



Atmósfera

Las emisiones a la atmósfera (aire) principalmente se estiman mediante:



Método directo
(medición)

Procesos
específicos
NOM's




$$E = DA \times FE$$

Factores de emisión

Uso de
combustible

Procesos, Ej.:
Galvanoplastia

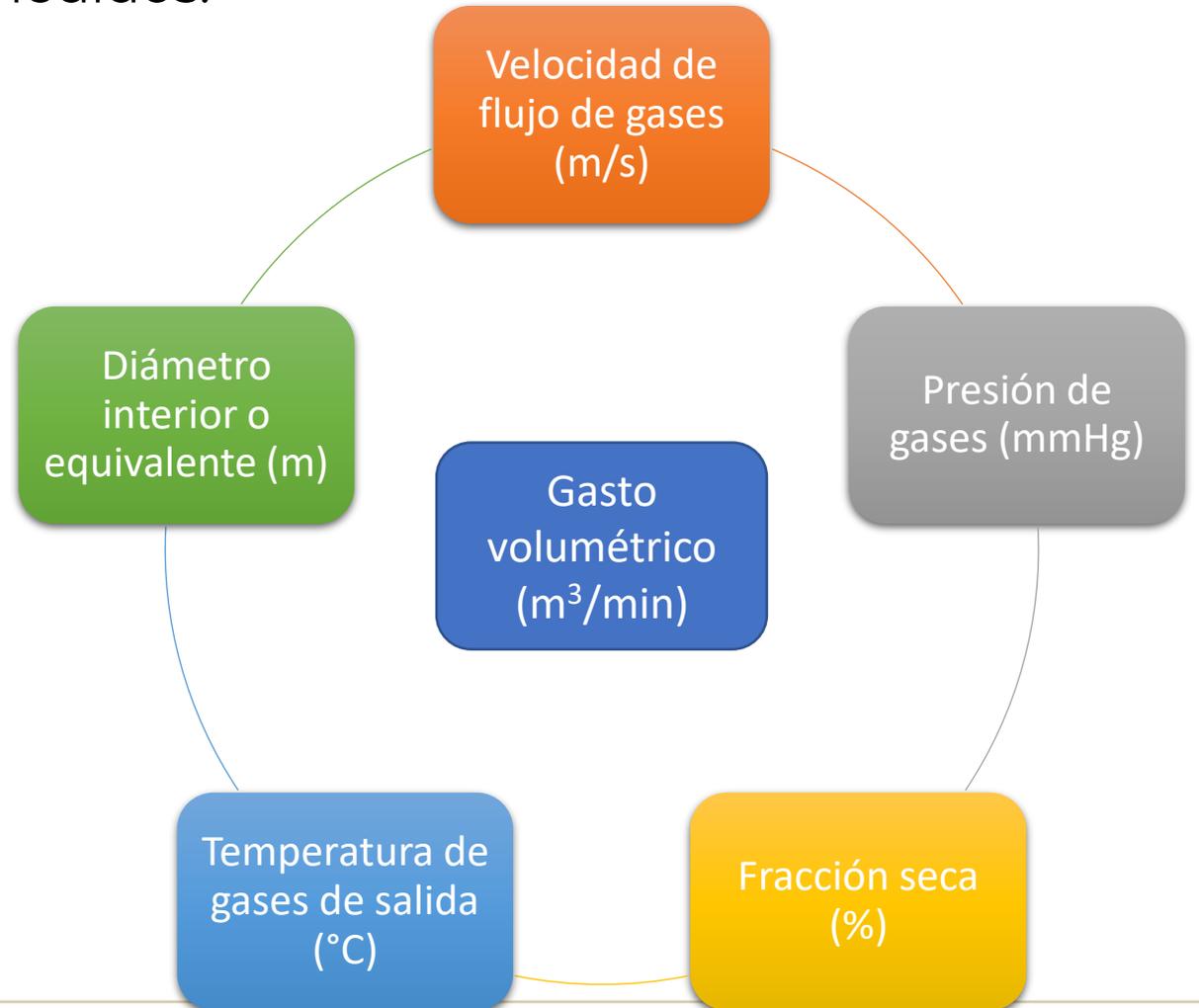
Compuestos
orgánicos
volátiles

Método directo

Para la medición directa se tiene que contar con un **análisis de chimenea** en donde se tengan los principales parámetros medidos:

Isocinético para Partículas

En ocasiones los laboratorios no reportan la velocidad de flujo de gases (m/s), ni el gasto volumétrico (m³/min).



Método directo

Para el método directo se usan dos formulas para estimar el flujo volumétrico de los gases en la chimenea, la primera a condiciones de chimenea:

Ecuación 1:

$$G_{vc} = \frac{\pi d^2}{4} * v \left[\frac{m}{s} \right] * \left(\frac{60 s}{1 min} \right) \quad \text{ó} \quad G_{vc} = v * \pi d^2 * 15 = \left(\frac{m^3}{min} \right)$$

La segunda lo estandariza a condiciones de referencia (25°C, 1 atm y de base seca).

Ecuación 2:

$$G_{CNBS} = G_{vc} * \left(\frac{T_r}{T_c + 273} \right) * \left(\frac{P_c}{P_r} \right) * \left(\frac{\%f_s}{100} \right)$$

Donde:

Tr: Temperatura de 25 °C (298 k)

Tc: Temperatura de la chimenea

Pr: Presión de referencia (760 mmHg)

Pc: Presión a condiciones de chimenea

%fs: Porcentaje de fracción seca

Cálculo del gasto volumétrico a condiciones de chimenea

El diámetro y la velocidad de flujo de gases se obtiene del estudio de análisis de chimenea:

Sustituimos los valores en la ecuación 1 del gasto volumétrico a condiciones de chimenea

$$G_{vc} = \frac{\pi(0.36 \text{ m})^2}{4} * 7.976 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] * \left(\frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \right)$$

El resultado es:

$$G_{vc} = 48.715 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$$

Determinación: Gasto Volumétrico y Gases de Combustión

PARAMETRO	UNICA	UNIDADES
TEMPERATURA PROMEDIO DE LOS GASES	194,9	°C
SECCION DE LA CHIMENEA	CIRCULAR	-
DIAMETRO DE LA CHIMENEA	0,3900	m
AREA TRANSVERSAL	0,1018	m ²
PRESION DE LA CHIMENEA	554,9834	mmHg
ANALISIS DE GASES DE COMBUSTION		
VOLUMEN DE CO ₂	9,2219	%
VOLUMEN DE CO	0,000033	%
VOLUMEN DE O ₂	3,8667	%
VOLUMEN DE N ₂	86,9114	%
FLUJO DE GASES DESCARGADOS		
FRACCION DE GAS HUMEDO	0,1344	-
FRACCION DE GAS SECCO	0,8858	-
PESO MOLECULAR DEL GAS	28,0676	g/gmol
DENSIDAD DE LOS GASES	1,2530	kg/m ³
VELOCIDAD PROMEDIO DE LOS GASES	7,9768	m/s
GASTO VOL. A CONDICIONES REALES	48,7142	m ³ /min
GASTO VOL. A CONDICIONES NORMALES	23,8359	m ³ /min
GASTO V. DE GASES SECCOS A COND. NORMALES	20,6369	m ³ /min

Cálculo del gasto volumétrico a condiciones de referencia

Para calcular el gasto volumétrico a condiciones de referencia (25°C, 1 atm y de base seca) necesitamos la fracción seca, la temperatura y la presión de chimenea, que podemos extraer de los estudios de análisis de chimenea

PARAMETRO	UNICA	UNIDADES
TEMPERATURA PROMEDIO DE LOS GASES	195,9	°C
SECCION DE LA CHIMENEA	CIRCULAR	-
DIAMETRO DE LA CHIMENEA	0,3900	m
AREA TRANSVERSAL	0,1018	m ²
PRESION DE LA CHIMENEA	554,9834	mmHg

FLUJO DE GASES DESCARGADOS		
FRACCION DE GAS HUMEDO	0,1344	-
FRACCION DE GAS SECO	0,8656	-
PESO MOLECULAR DEL GAS	28,0676	g/gmol
DENSIDAD DE LOS GASES	1,2530	kg/m ³
VELOCIDAD PROMEDIO DE LOS GASES	7,9768	m/s
GASTO VOL. A CONDICIONES REALES	48,7142	m ³ /min
GASTO VOL. A CONDICIONES NORMALES	23,8359	m ³ /min
GASTO V. DE GASES SECCOS A COND. NORMALES	20,6369	m ³ /min

Sustituimos los valores en la ecuación 2:

$$G_{CNBS} = 48.715 \frac{m^3}{min} * \left(\frac{298 K}{195.9 + 273} \right) * \left(\frac{584.99}{760} \right) * \left(\frac{86.56}{100} \right) = 20.62 \frac{m^3}{min}$$

Donde:

Tr: Temperatura de 25 °C (298 k) Pr: Presión de referencia (760 mmHg)

Concentración de contaminantes

Comúnmente el laboratorio reporta la concentración del contaminante en mg/m^3 o en ppm. Para convertirlo a kg/m^3 se pueden utilizar las siguientes ecuaciones:

Ecuación 3:

$$C_{\text{contaminante}} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] = C_{\text{contaminante}} \left[\frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \right] * \frac{1 \text{ kg}}{1,000,000 \text{ mg}}$$

Ecuación 4:

$$C_{\text{contaminante}} [\text{kg}/\text{m}^3] = \left(\frac{C_{\text{contaminante}} [\text{ppm}] * P_m * P_r}{0.082 * T_r * 1,000,000} \right)$$

Donde:

Tr: Temperatura de 25 °C (298 k) Pr: Presión de referencia (1 atm)

$C_{\text{contaminante}}$: Concentración del contaminante en ppm

P_m : Peso molecular del contaminante

Concentración de contaminantes (NOM-85-SEMARNAT-2011)

Ejemplo

Si a una caldera le aplica la norma NOM-085-SEMARNAT, identificar los contaminantes que se van a reportar

Tipo de emisión	Identificador de la maquinaria o actividad	Clave del equipo, maquinaria o actividad	Punto de generación	Puntos de emisión asociados	Capacidad de operación del equipo				Capacidad de operación del quemador				Consumo anual de combustible				Identificación de la tecnología			Capacidad de diseño	
					Tiempo de operación (h)	Cantidad	Unidad	Eficiencia (fracción)	Tipo de quemador	Tiempo de operación (h)	Cantidad	Unidad	Tipo	Cantidad	Unidad	Porcentaje de sustitución de combustible	Fecha de instalación de la maquinaria o equipo	Diseño de la tecnología de la maquinaria o equipo	Descripción de diseño de la tecnología y equipo	Cantidad	Unidad
Conducida	CALDERA 80CC	Caldera	10.1 CALDERA 80 CC	10.1 CALDERA 80 CC	3120	80.000000	cc	.5	Quemador atmosférico	3120	80.0000	cc	Gas natural (promedio asociado y no asociado)	82,5640.0000	megajoules	01/01/2000	CRI Catalyst Company		80.0000	cc	

Debemos contar con la siguiente información: cuándo se instaló el equipo, la capacidad de operación, el tipo de combustible y en que entidad federativa se encuentra el establecimiento.

Para este caso solo se debe reportar el monóxido de carbono, que se obtiene del estudio de análisis de chimenea

Concentración de contaminantes (NOM-85-SEMARNAT-2011)

Tabla 1. Niveles máximos permisibles de emisión de los equipos existentes a la entrada en vigor de la NOM (1)

(Calderas, generadores de vapor, calentadores de aceite térmico u otro tipo de fluidos, y hornos y secadores de calentamiento indirecto)

Valores expresados en unidades de concentración

Consultar la norma NOM-85-SEMARNAT-2011

Para este caso solo se debe reportar el monóxido de carbono, que se obtiene del estudio de análisis de chimenea

PARAMETRO	UNICA	UNIDADES
GASES DE COMBUSTIÓN		
CO		
EMISION DE CO	0,0006	kg/h
CONCENTRACION DE CO	0,4671	mg/m ³
CONCENTRACION DE CO PROMEDIO DE LA CORRIDA	0,3333	ppm
CONCENTRACION DE CO*	0,5000	ppm
CONCENTRACION DE CO**	0,5000	ppm
CONCENTRACION DE CO***	0,4078	ppm

CAPACIDAD TERMICA NOMINAL DEL EQUIPO GJ/h	TIPO DE COMBUSTIBLE	HUMO # de mancha	Partículas, mg/m ³			Bióxido de azufre, ppm _v			Oxidos de nitrógeno, ppm _v			Monóxido de carbono, ppm _v		
			ZVM	ZC	RP	ZVM	ZC	RP	ZVM	(2) ZC	RP	ZVM	ZC	RP
Mayor de 0.53 a 5.3 (Mayor de 15 a 150 CC)	Líquido	3	NA	NA	NA	550	1 100	2 200	NA	NA	NA	400	450	500
	Gaseoso	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	400	450	500
Mayor de 5.3 a 42.4 (Mayor de 150 a 1 200 CC)	Líquido	NA	75	350	450	550	1 100	2 200	190	190	375	400	450	500
	Gaseoso	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	190	190	375	400	450	500
Mayor de 42.4 a 106 (Mayor de 1 200 a 3 600 CC)	Líquido	NA	60	300	400	550	1 100	2 200	110	110	375	400	450	500
	Gaseoso	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	110	110	375	400	450	500

En el estudio también se incluyen los Nox's

NOx		
EMISION DE NOx	0,1023	kg/h
CONCENTRACION DE NOx	82,6096	mg/m ³
CONCENTRACION DE NOx*	53,9367	ppm
CONCENTRACION DE NOx**	54,0000	ppm
CONCENTRACION DE NOx***	43,9058	ppm

Concentración de contaminantes (NOM-85-SEMARNAT-2011)

Ejemplo

Reportar en la COA el valor obtenido en el estudio de la chimenea:

2.2 Monitoreos de parámetros normados y específicos establecidos en autorizaciones

En esta tabla se reportan los resultados de los muestreos y análisis de acuerdo a la normatividad aplicable y los parámetros establecidos como sujetos a medición en las autorizaciones en materia de emisiones a la atmósfera, conforme a lo previsto en el último párrafo del artículo 20 del Reglamento de la LGEEPA en materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera. En el caso de contaminantes atmosféricos cuya emisión esté regulada en las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), deberá reportarse además de los resultados de los muestreos y análisis realizados conforme dichas normas. La información de esta tabla permite al usuario contar con información más precisa que le facilite el cumplimiento a la normatividad vigente y a la autoridad verificar la información de forma unilateral solicitando información adicional.

Punto de emisión	Equipos o actividades monitoreadas	Norma aplicable	Parámetro monitoreado	Monitoreos					Sistema o equipo de control de emisiones								
				Valor máximo permisible		Valor monitoreado				Identificador del equipo de control	Clave	Eficiencia %	Método de cálculo de la eficiencia	Tiempo de operación (h/año)			
				Cantidad	Unidad	1	2	3	4						Unidad		
10.1 CALDERA 80 CC	10.1 Caldera	NOM-085-SEMARNAT-2011:	Monóxido de carbono (CO)	400.0000	ppm	0.4078											
			Óxidos de nitrógeno (NOx)	190.0000	ppm	43.9000											

Coincide con el valor del estudio de chimenea

Para convertir las unidades de concentración originales (ppm) a kg/m^3 , se utiliza la ecuación 4:

$$C_{\text{contaminante}} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] = \left(\frac{0.4078 \text{ ppm} * 28 \frac{\text{g}}{\text{gmol}} * 1 \text{ atm}}{0.082 * 298.5 \text{ K} * 1,000,000} \right) = 4.67 * 10^{-7} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Emisión anual de un contaminante

Para estimar la emisión anual de un contaminante, debemos contar con los siguientes datos:

Se utiliza la siguiente ecuación :

Ecuación 5:

$$Emisión_{anual} = tiempo_{operación} [h] * G_{CNBS} \left[\frac{m^3}{min} \right] * C_{contaminante} \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

Donde:

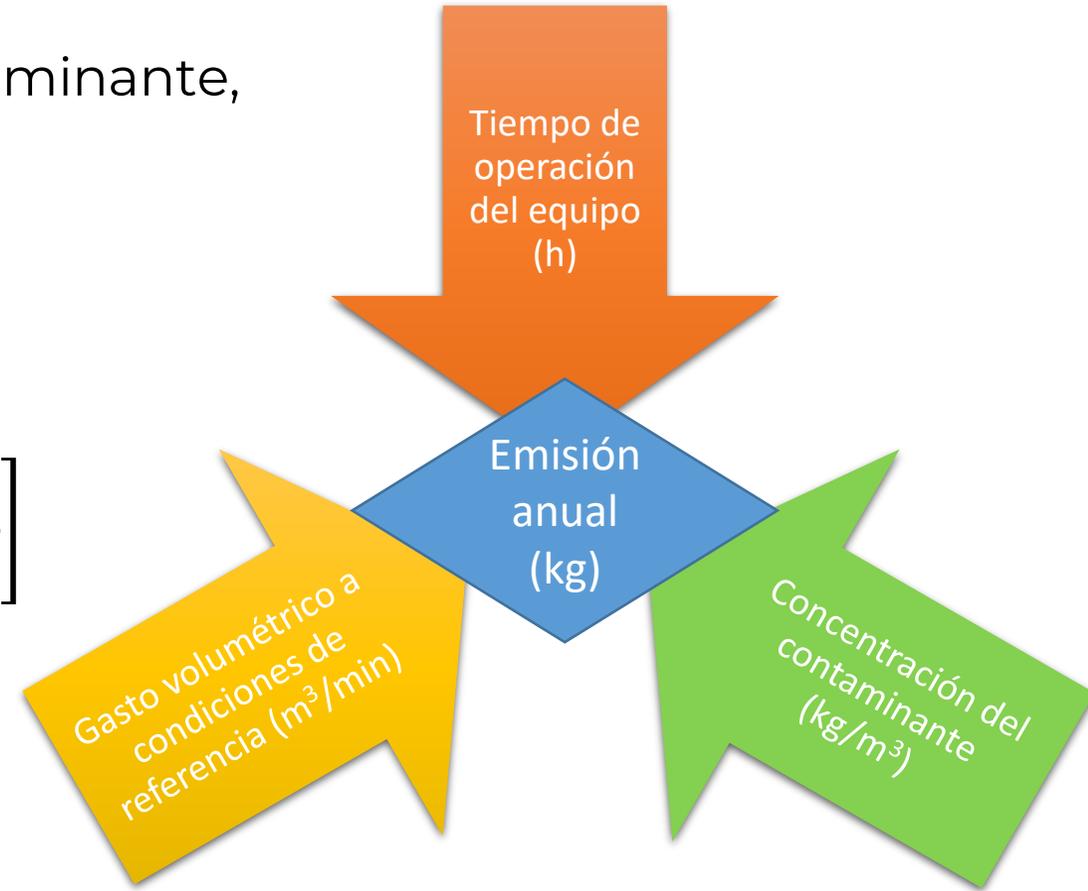
$T_{operación}$: Tiempo de operación (h)

G_{CNBS} : Gasto a condiciones de referencia (m^3/min)

$C_{contaminante}$: Concentración del contaminante (kg/m^3)

Para convertir las unidades de minutos a horas usamos la siguiente conversión:

$$60 \left[\frac{min}{h} \right]$$



Cálculo de la emisión anual de un contaminante

Ejemplo

Con el gasto volumétrico a condiciones de referencia, la concentración del contaminante en unidades (kg/m^3) y el tiempo de operación del equipo contaminante, estimamos la emisión con la ecuación 5:

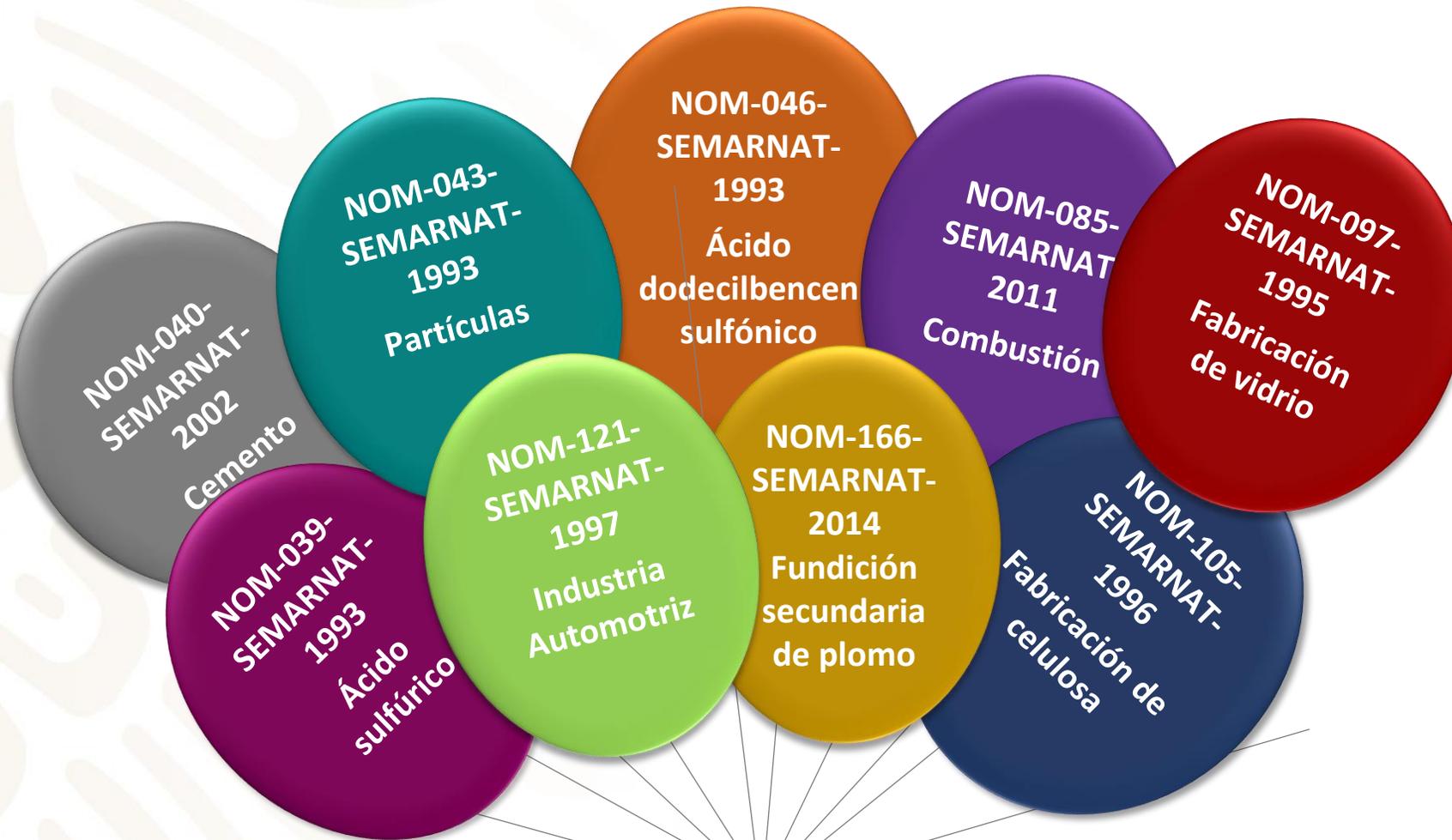
$$Emisión_{contaminante} = 3,120 \text{ h} * 20.62 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} * 4.67 * 10^{-7} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 60 \frac{\text{min}}{\text{h}} = 1.8 \text{ kg al año}$$

Si la concentración del contaminante esta dado en mg/m^3 podemos convertirlo a kg/m^3 con la ecuación 4:

$$C_{contaminante} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] = 7.87 \left[\frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \right] * \frac{1 \text{ kg}}{1,000,000 \text{ mg}} = 7.97 \times 10^{-6}$$

Finalmente, sustituimos los datos de horas de operación, concentración y el gasto volumétrico a condiciones de referencia, en la ecuación 5

Normas aplicables en materia de atmósfera



Normas de Proceso

NOM's en materia de atmósfera

Las normas oficiales mexicanas en materia de atmósfera son:

Norma	Equipo u operación	Contaminantes regulados
NOM-039-SEMARNAT-1993	Ácido sulfúrico	Nieblas de SO ₂ , H ₂ SO ₄ /SO ₃
NOM-040-SEMARNAT-2002	Cemento	Partículas y control de emisiones
NOM-043-SEMARNAT-1993	Concentración de partículas	Partículas
NOM-046-SEMARNAT-1993	Ácido dodecibencensulfónico	Nieblas de SO ₂ , H ₂ SO ₄ /SO ₃
NOM-085-SEMARNAT-2011	Combustión	Partículas, SO ₂ , NOx, Exceso de aire
NOM-097-SEMARNAT-1995	Fabricación de vidrio	Partículas y NOx
NOM-105-SEMARNAT-1996	Fabricación de celulosa	Partículas, S reducido total (como H ₂ S)
NOM-121-SEMARNAT-1997	Industria automotriz	COV's
NOM-166-SEMARNAT-2014	Fundición secundaria de plomo	Pb, NOx, dioxinas y furanos

¿Qué es un factor de emisión?

Un factor de emisión es un valor representativo que intenta relacionar la cantidad de un contaminante liberado a la atmósfera con una actividad asociada con la liberación de ese contaminante.

$$Factor_{emisión} = \frac{\text{peso del contaminante (ton, kg, lb, etc)}}{\text{unidad de peso, volumen, distancia o duración de la actividad que emite el contaminante}}$$

La ecuación general para la estimación de emisiones es:

Donde:

$$Emisión_{contaminante} = A * Factor_{emisión} * \left(1 - \frac{E_{reducción}}{100}\right)$$

E = Emisiones,

A = Tasa de actividad,

Factor_{emisión} = Factor de emisión, y

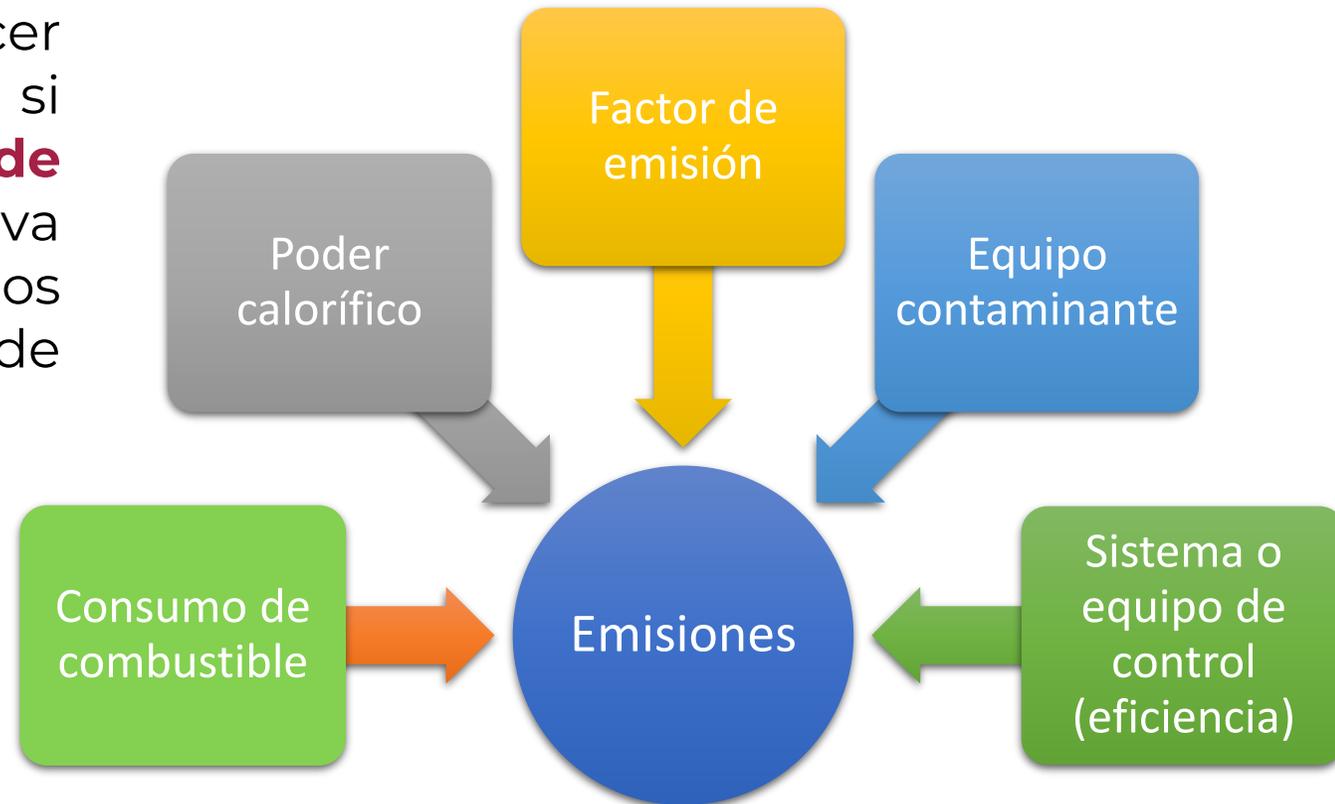
E_{reducción} = Eficiencia global de reducción de emisiones, %

Cálculo de emisiones a la atmósfera por factor de emisión

Para estimar emisiones de contaminantes a la atmósfera previamente se debe contar con la siguiente información:

En algunos casos es importante conocer el tipo de **equipo contaminante**, si cuenta o no con **sistema o equipo de control**, así como, su respectiva **eficiencia**. No son necesarios para todos los casos, depende del procedimiento de estimación.

En la mayoría de los casos es necesario hacer conversión de unidades al Sistema Internacional (SI)



Factores de emisión para Gases de Efecto Invernadero (GEI's)

Gases y compuestos de efecto invernadero

Consumo de combustible



RENE
Registro Nacional de Emisiones



RETC
Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes

Bióxido de carbono

Metano

Óxido nitroso

Procedimiento de cálculo y factores de emisión

Acuerdo que establece las particularidades técnicas y las **fórmulas** para la aplicación de metodologías para el **cálculo de emisiones** de Gases o Compuestos de Efecto Invernadero

Poder calorífico de combustibles

Lista de Combustibles 2018 para Identificar a los Usuarios con un Patrón de Consumo (UPAC) de la CONUEE

Estimación de emisiones de GEI's por factores

Las ecuaciones que se utilizan para estimar las emisiones de bióxido de carbono, metano y óxido nitroso son:

Ecuación 6: $E_{CO_2} = V_{comb} * PC_{comb} * FE_{comb}^{CO_2}$

Ecuación 7: $E_{CH_4} = V_{comb} * PC_{comb} * FE_{comb}^{CH_4}$

Ecuación 8: $E_{N_2O} = V_{comb} * PC_{comb} * FE_{comb}^{N_2O}$

Donde:

V_{comb} : Consumo de combustible en kg

PC_{comb} : Poder calorífico del combustible MJ/kg

FE_{comb} : Factor de emisión del combustible para cada contaminante
ton/MJ ó kg/MJ



Ejemplo de estimación de GEI's

El consumo de combustible anual se toma de la información de la Tabla 1.4 de la COA

Utilizaremos el gas natural para el ejemplo

1.4 Consumo de combustibles para uso energético

Área de consumo	Punto de consumo	Tipo de combustible	Componente	Porcentaje del componente en la composición del combustible	Número de autorización para uso de combustibles alternos	Vigencia de autorización	Consumo anual	
							Cantidad	Unidad
Proceso productivo	1.1,9.1	Gas licuado de petróleo					52160.000000	litros
Proceso productivo	15.2,10.1	Gas natural (promedio asociado y no asociado)					8226000.000000	megajoules
Proceso productivo	17.1	Diesel					400.000000	litros

Los establecimientos deben obtener esta información de facturas y notas de compra de combustibles. Éstos datos serán verificados cada 3 años, conforme con el Reglamento de Cambio Climático en materia del RENE

Ejemplo de estimación de GEI's

El poder calorífico se obtiene de la lista de CONUEE

1. Lista de combustibles, poderes caloríficos netos y equivalencia en términos de barriles de petróleo crudo equivalente

	Combustible	Poder calorífico neto	Unidades de medida	Factor de conversión a BEP por unidad de volumen o masa del combustible de referencia	Equivalencia de unidades en BEP
Gaseosos	Gas natural (promedio asociado y no asociado)	41,397	(kJ/m ³)	0.0068	(BEP/m ³)
	Gas natural asociado ¹	42,103	(kJ/m ³)	0.0069	(BEP/m ³)
	Gas natural no asociado	37,257	(kJ/m ³)	0.0061	(BEP/m ³)
	Gas seco ²	38,128	(kJ/m ³)	0.0062	(BEP/m ³)
	Gas seco de exportación	33,804	(kJ/m ³)	0.0055	(BEP/m ³)
	Gas seco de importación	38,424	(kJ/m ³)	0.0063	(BEP/m ³)
Líquidos	Combustóleo	6,397	(MJ/bl)	1.0449	(BEP/bl)
	Condensados	6,577	(MJ/bl)	1.0743	(BEP/bl)
	Diesel	6,060	(MJ/bl)	0.9899	(BEP/bl)
	Etano	2,868	(MJ/bl)	0.4685	(BEP/bl)
	Gas licuado	4,153	(MJ/bl)	0.6784	(BEP/bl)
	Gasóleo	42,523	(MJ/m ³)	6.9459	(BEP/m ³)
	Gasolinas naturales	4,781	(MJ/bl)	0.781	(BEP/bl)
	Gasolinas y naftas	5,593	(MJ/bl)	0.9136	(BEP/bl)
	Lubricantes	5,706	(MJ/bl)	0.9320	(BEP/bl)
	Metil-terbutil-éter (MTBE)	5,651	(MJ/bl)	0.9231	(BEP/bl)
	Petróleo crudo (promedio de la producción) ³	6,122	(MJ/bl)	1.000	(BEP/bl)
	Querosenos	6,071	(MJ/bl)	0.9917	(BEP/bl)

Y los factores de emisión se obtienen del Acuerdo de SEMARNAT

Combustible	Factor de emisión		
	CO2 (t/MJ)	CH4 (kg/MJ)	N2O (kg/MJ)
Algodón	1.00E-04	3.00E-05	4.00E-06
Alquitrán de hulla/ alquitrán	8.07E-05	1.00E-06	1.50E-06
Bagazo de caña	1.00E-04	3.00E-05	4.00E-06
Bagazo de Malta	1.00E-04	3.00E-05	4.00E-06
Basura (Fracción inorgánica de los residuos sólidos urbanos)	9.17E-05	3.00E-05	4.00E-06
Biocombustible líquido	7.96E-05	3.00E-06	6.00E-07
Biodiésel	7.08E-05	3.00E-06	6.00E-07
Biogás (metano)	5.46E-05	1.00E-06	1.00E-07
Biogasolina	7.08E-05	3.00E-06	6.00E-07
Caña de maíz	1.00E-04	3.00E-05	4.00E-06
Carbón antracita	9.83E-05	1.00E-06	1.50E-06
Carbón bituminoso	9.46E-05	1.00E-06	1.50E-06
Carbón mineral	9.61E-05	1.00E-06	1.50E-06
Carbón siderúrgico de importación	9.46E-05	1.00E-06	1.50E-06
Carbón siderúrgico nacional	9.46E-05	1.00E-06	1.50E-06
Carbón térmico de importación	9.46E-05	1.00E-06	1.50E-06
Carbón térmico nacional	9.46E-05	1.00E-06	1.50E-06
Carbón vegetal	1.12E-04	2.00E-04	4.00E-06
Cartón ordinario-empaques-envases	1.00E-04	3.00E-05	4.00E-06
Combustóleo ligero	7.74E-05	3.00E-06	6.00E-07
Combustóleo pesado	7.74E-05	3.00E-06	6.00E-07
Coque de carbón	9.46E-05	1.00E-06	1.50E-06
Coque de petróleo	9.75E-05	3.00E-06	6.00E-07
Diáfano	7.19E-05	3.00E-06	6.00E-07
Diésel	7.41E-05	3.00E-06	6.00E-07
Esquisto bituminoso y alquitrán	1.07E-04	3.00E-07	1.50E-06
Etano	6.16E-05	1.00E-06	1.00E-07
Gas de alto horno	2.60E-04	1.00E-06	1.00E-07
Gas de coque	4.44E-05	1.00E-06	1.00E-07
Gas licuado	6.31E-05	1.00E-06	1.00E-07
Gas natural (promedio asociado y no asociado)	5.61E-05	1.00E-06	1.00E-07
Gas natural asociado	5.61E-05	1.00E-06	1.00E-07
Gas natural no asociado	5.61E-05	1.00E-06	1.00E-07
Gas seco	5.61E-05	1.00E-06	1.00E-07

Ejemplo de estimación de GEI's

Particularmente para este caso, no debemos utilizar el poder calorífico debido a que el consumo de combustible ya lo tenemos en unidades de energía (MJ) y no en unidades de volumen, por lo que las ecuaciones 6,7 y 8 quedan:

$$E_{CO_2} = \text{Energía}_{comb} * FE_{comb}^{CO_2}$$

$$E_{CO_2} = 8,226,000 \text{ MJ} * 5.61 * 10^{-5} \left(\text{ton} / \text{MJ} \right)$$

$$E_{CH_4} = \text{Energía}_{comb} * FE_{comb}^{CH_4}$$

Sustituyendo valores

$$E_{CH_4} = 8,226,000 \text{ MJ} * 1.00 * 10^{-6} \left(\text{kg} / \text{MJ} \right)$$

$$E_{N_2O} = \text{Energía}_{comb} * FE_{comb}^{N_2O}$$

$$E_{N_2O} = 8,226,000 \text{ MJ} * 1.00 * 10^{-7} \left(\text{kg} / \text{MJ} \right)$$

Resultando

$$E_{CO_2} = 461.47 \text{ ton}$$

$$E_{CH_4} = 8.226 \text{ kg}$$

$$E_{N_2O} = 0.822 \text{ kg}$$

Recordemos que los factores de emisión del Acuerdo solo los utilizan los sujetos obligados al RENE. Con el fin homologar la estimación de contaminantes, se sugiere utilizar dichos factores, para estos 3 contaminantes y para contaminantes distintos, utilizar los del AP-42 u otros

Ejemplo de estimación con factores del AP-42

Para la estimación de contaminantes distintos a bióxido de carbono, metano y óxido nitroso, necesitamos los factores de emisión del AP-42

Nombre del contaminante	Combustible	Factor de emisión (kg/ton)	Factor de emisión (kg/m3)
Tolueno	Gas natural (promedio asociado y no asociado)	8.92E-08	5.44E-11
Benceno	Gas natural (promedio asociado y no asociado)	5.51E-08	3.36E-11

Ecuación

$$\text{general } E_{cont} = V_{comb} * FE_{comb} * \left(1 - \frac{FE_{ed}}{100}\right)$$

Para este ejemplo, no se cuenta con un equipo de control (eficiencia) y la actividad es el consumo de combustible

En esta ocasión necesitamos el poder calorífico para pasar de unidades de energía a volumen de combustible

$$V_{combustible} = \frac{1 \text{ m}^3}{41.397 \text{ KJ}} * 3,226,000 \text{ MJ} * \frac{1000 \text{ KJ}}{1 \text{ MJ}} = 77,928,352 \text{ m}^3$$

Sustituyendo valores para el tolueno

$$E_{tolueno} = 77,928,352 \text{ m}^3 * 5.44 * 10^{-11} \left(\text{kg}_{tolueno} / \text{m}^3 \right) = 4.24 * 10^{-3} \text{ kg}$$

Se puede hacer lo mismo para la estimación de benceno

Factores de emisión (GEIs)

SEMARNAT elaboró una herramienta para estimar las emisiones de bióxido de carbono, metano y óxido nitroso:

CÁLCULO DE LAS EMISIONES DE LOS PRINCIPALES GASES DE EFECTO INVERNADERO

Seleccione su Combustible e Indique la Cantidad

Combustible: DIÉSEL

Cantidad (kg): 5000

Factor de Emisión (kg/MJ)			Poder Calorífico (MJ/kg)
CO ₂	CH ₄	N ₂ O	
0.0741	0.000003	0.0000006	48.

EMISIÓN POR CONTAMINANTE	CO ₂ (kg)	CH ₄ (kg)	N ₂ O (kg)
	17784.	0.72	0.144

Calcular Salir

Seleccione el tipo de combustible empleado de la lista desplegable.

Los factores de emisión y el poder calorífico ya se encuentran en la herramienta.

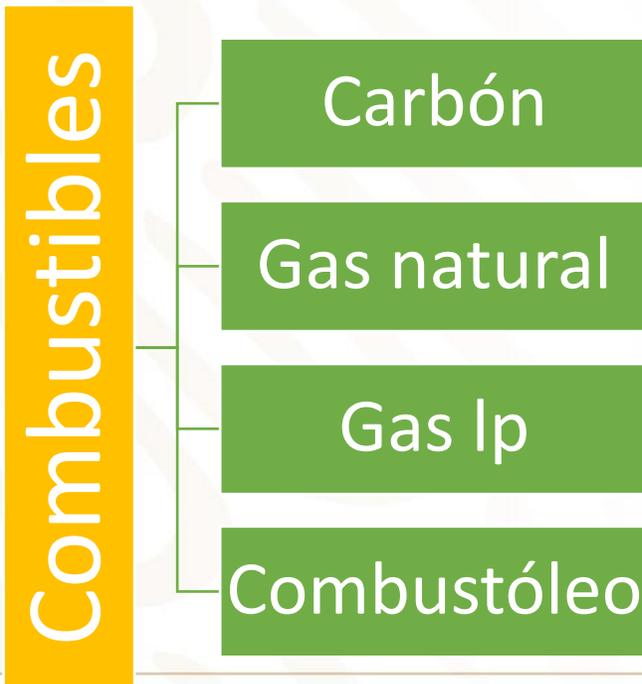
Solo debe ingresar la cantidad de combustible utilizado (quemado) en kg.

La herramienta proporcionará los factores de emisión y arrojará los resultados de las emisiones

Factores de emisión (AP-42)

Para la estimación de emisiones a la atmósfera por consumo de combustible mediante factores de emisión, nos apoyamos del AP-42: Compilation of Air Emissions Factors.

En el capítulo 1 del AP-42 podemos encontrar los factores de emisión para las fuentes externas de combustión.



The screenshot shows the EPA website interface. At the top, there is the EPA logo and navigation links: LEARN THE ISSUES, SCIENCE & TECHNOLOGY, LAWS & REGULATIONS, and ABOUT EPA. A search bar and an A-Z Index link are also present. The main content area is titled 'Air Emissions Factors and Quantification' and includes a breadcrumb trail: 'You are here: EPA Home » Emissions Factors & AP 42 » Chapter 1: External Combustion Sources'. The page title is 'AP 42, Fifth Edition, Volume I Chapter 1: External Combustion Sources'. The content is organized into sections: 1.0 Introduction to External Combustion Sources, 1.1 Bituminous and Subbituminous Coal Combustion, 1.2 Anthracite Coal Combustion, 1.3 Fuel Oil Combustion, and 1.4 Natural Gas Combustion. Each section lists links to final sections, background documents, and related information.

Factores de emisión (AP-42)

Se desarrolló una herramienta para estimar las emisiones al aire de contaminantes diferentes al bióxido de carbono, metano y óxido nitroso

Debe seleccionar el tipo de combustible utilizado e indicar las unidades:

Toneladas para combustibles sólidos y m³ para combustibles líquidos.

De cualquier forma, se le indicarán las unidades en las que debe reportarlo.

ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE CONTAMINANTES AL AIRE (AP-42)

Seleccione su Combustible e Indique la Cantidad

Combustible: Diésel

Cantidad (m3): 52365

Factor de Emisión (kg cont/ m3 comb)

Formaldehído	Benceno	NOX's	Mónoxido de Carbono (CO)	Compuestos Orgánicos Totales (COT's)	Arsénico	Cadmio	Cromo
0.006	0.0000257	6.6	0.6	0.03	0.0000588	0.0000441	0.0000441

Factor de Emisión (kg cont/ m3 comb)

Plomo	Mercurio	Níquel	Butadieno	Amoniaco	Acetaldehído	Acroleína	Bióxido de Azufre (SO2)
0.000132	0.0000441	0.0000441	0.000665	0.096	0.013	0.00157	18.84

Emisión por Contaminante (kg)

Formaldehído	Benceno	NOX's	Mónoxido de Carbono (CO)	Compuestos Orgánicos Totales (COT's)	Arsénico	Cadmio	Cromo
314.19	1.3457805	345609.	31419.	1570.95	3.079062	2.3092965	2.3092965

Emisión por Contaminante (kg)

Plomo	Mercurio	Níquel	Butadieno	Amoniaco	Acetaldehído	Acroleína	Bióxido de Azufre (SO2)
6.91218	2.3092965	2.3092965	34.822725	5027.04	680.745	82.21305	986556.6

Calcular Salir

Compuestos orgánicos volátiles (COV's)

Los compuestos orgánicos volátiles (COV's) son **emitidos** por la quema de combustibles y también están presentes en los disolventes y pinturas.

El AP-42 incluye algunos factores de emisión para estimar la **emisión de los COV's**.

Nombre del contaminante	Combustible	Factor de emisión (kg/ton)	Factor de emisión (kg/m3)	NOM RETC	Tipo de factor de emisión
Benceno	Combustóleo pesado	2.58E-08	2.57E-08	X	Consumo de combustible
Formaldehído	Combustóleo pesado	3.98E-06	3.96E-06	X	Consumo de combustible
Tolueno	Combustóleo pesado	7.48E-07	7.44E-07	X	Consumo de combustible
Benceno	Combustóleo ligero	2.59E-08	2.57E-08	X	Consumo de combustible
Benceno	Gasóleo	2.87E-08	2.57E-08	X	Consumo de combustible
Formaldehído	Gasóleo	6.70E-03	6.00E-03	X	Consumo de combustible
Formaldehído	Diésel	7.28E-06	6.00E-06	X	Consumo de combustible
Benceno	Diésel	3.12E-08	2.57E-08	X	Consumo de combustible
Tolueno	Gas natural (promedio asociado y no asociado)	8.92E-08	5.44E-11	X	Consumo de combustible
Benceno	Gas natural (promedio asociado y no asociado)	5.51E-08	3.36E-11	X	Consumo de combustible
Formaldehído	Gas natural (promedio asociado y no asociado)	1.97E-06	1.20E-09	X	Consumo de combustible
Compuestos orgánicos volátiles (COVs)	Gas natural (promedio asociado y no asociado)	1.44E-04	8.80E-08		Consumo de combustible
Compuestos orgánicos volátiles (COVs)	Madera (20% de humedad)	0.1145			Consumo de combustible
Compuestos orgánicos volátiles (COVs)	Madera en astillas/pellets	0.1145			Consumo de combustible
Compuestos orgánicos volátiles (COVs)	Paneles-fibras-partículas y pedacería de madera	0.1145			Consumo de combustible

Consulta de factores de emisión

Puede consultar los factores de emisión para la estimación de emisiones contaminantes a la atmósfera en las siguientes fuentes:

Recopilación de factores de emisión del AP-42 de la United States Environmental Protection Agency (USEPA) <https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/ap-42-compilation-air-emissions-factors>.

Técnicas de estimación de emisiones del National Pollutant Inventory (NPI) del Department of Environment and Energy of Australian Government <http://www.npi.gov.au/reporting/industry-reporting-materials/emission-estimation-technique-manuals>.

Acuerdo que establece las particularidades técnicas y las fórmulas para la aplicación de metodologías para el cálculo de emisiones de gases o compuestos de efecto invernadero publicado por la SEMARNAT <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/registro-nacional-de-emisiones-rene>.

Instrumental Normalizado para la Identificación y Cuantificación de Liberaciones de Dioxinas y Furanos del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente http://chm.pops.int/Portals/0/docs/from_old_website/documents/guidance/toolkit/sp/Toolkit_2005es.pdf.

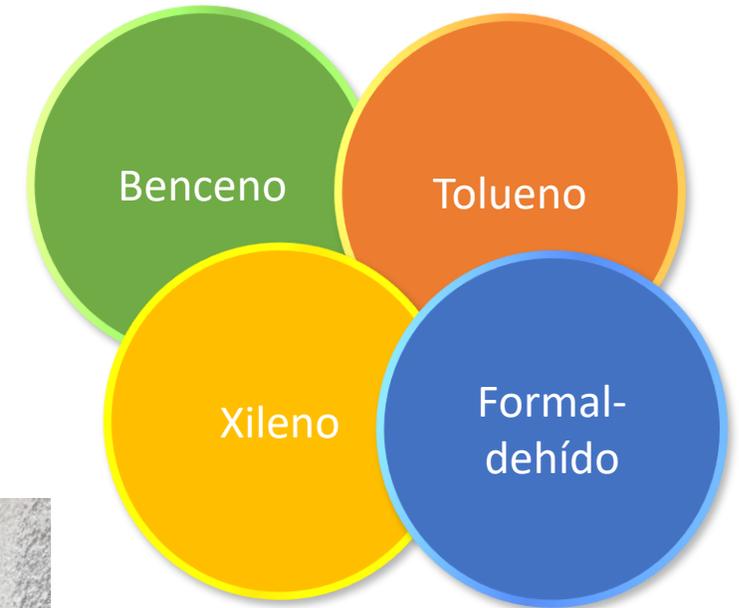
Transferencia de sustancias RETC

Para estimar la cantidad que se genera o produce de Sustancias RETC se debe conocer el residuo peligroso o producto que la contenga



Transferencias de disolventes (COV's)

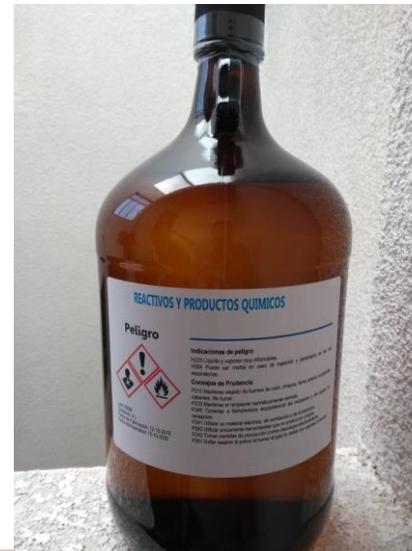
Si los COV's están presentes en insumos o residuos peligrosos (disolventes, pinturas, pegamentos, desengrasantes), se necesita conocer la cantidad del insumo así como el porcentaje de la sustancia presente en el **disolvente**, para ello se necesita **la hoja de seguridad (HDS)**



Disolventes transferidos

IDENTIFICACION DEL PRODUCTO Y COM...	
Nombre del Producto	: NITROGENO
Nombre químico	: Nitrógeno
Fórmula química	: N ₂
Sinónimo	: Nitrógeno / Nitrógeno Comprimido / GAN
N° NU	: 1066
N° CAS	: 7727-37-9

IDENTIFICACION DE LOS RIESGOS	
Marca en etiqueta	: Gas Comprimido No-Inflamable
Clasificación de riesgo del producto	: 2.2
a) Peligros para la salud de las personas	: Existe el riesgo de asfixia por desplazamiento de O ₂
Efectos de una sobreexposición aguda	: Existe el riesgo de asfixia por desplazamiento de O ₂
Inhalación	: No existe peligro (salvo por salida de gas a alta presión)
Contacto con la piel	: No existe peligro (salvo por salida de gas a alta presión)
	: No aplicable



Disolventes (COV's)

En la **Tabla 1.2 Insumos** de la COA se reportan las materias primas utilizadas en cualquier punto del proceso y en la **Tabla 4.1 Informe de residuos peligrosos** se reporta la generación de residuos.

Si los insumos o residuos generados contienen alguna Sustancia RETC (listada en la NOM-165-SEMARNAT-2013) y además superan el umbral de reporte se debe reportar en la Tabla 5.1 y/o 5.2 de la COA.

Para conocer la proporción de la sustancia RETC en el insumo o residuo, se utiliza la siguiente ecuación:

Ejemplo: Ecuación. 6
$$E_{S\ RETC} = I\acute{o}R * \% S\ RETC$$

En la tabla 1.2 se reporta 15 ton de tolueno y en la hoja de seguridad del insumo se especifica que tiene una pureza del 95% en peso

Por tanto:
$$E_{tolueno} = 10\text{ton} * 0.95 = 9.5\ \text{ton de tolueno}$$

Conforme con la NOM-165-SEMARNAT-2013 debe reportarse en la COA a partir de 1 ton (1,000 kg/año)

Transferencias de Sustancias RETC de acumuladores

Cuando el acumulador está completamente cargado, la placa negativa es plomo, el electrolito es ácido sulfúrico concentrado y la placa positiva es dióxido de plomo.

En estado de descarga, los acumuladores están impregnados por una mezcla de compuestos de plomo denominada “pasta de plomo”. En esta mezcla, predomina el producto principal de la descarga de la batería, el sulfato de plomo, PbSO_4 , pero también aparecen plomo esponjoso (Pb), dióxido de plomo (PbO_2) y, en menor medida, óxido de plomo (PbO) y partículas metálicas de plomo que se desprenden de las placas por desgaste.

La composición de los acumuladores de automóvil (y montacargas) al momento de su descarga es la siguiente:

	% en peso	Masa (kg)	% en peso de plomo	Contenido en Pb (kg)
Sulfato de plomo (PbSO_4)	50	2.925	68.3	1.998
Plomo esponjoso (Pb)	20	1.170	100	1.170
Dióxido de plomo (PbO_2)	20	1.170	86.6	1.014
Óxido de plomo (PbO)	10	0.585	92.8	0.543
TOTAL	100	5.850	80.765 (*)	4.725

En el RETC solo se reportan compuesto solubles de plomo, por lo que para fines de reporte al RETC, el **único compuesto de plomo que es soluble** y se debe reportar, es el **sulfato de plomo**.

Transferencias de Sustancias RETC de acumuladores

La estimación de transferencia de sulfato de plomo se calcularía por peso de acumuladores, es decir, por cada 15 kg de acumuladores desechados como residuos peligrosos, se generarían 2.92 kg de sulfato de plomo.

Ejemplo, si usted desecha 100 kg de acumuladores de automóvil

$$Pb_{transferido} = \frac{2.92 \text{ kg de Sulfato de Plomo}}{15 \text{ kg de acumuladores}} * 100 \text{ kg de acumuladores} = 19.47 \text{ kg de Sulfato de Plomo}$$

Estaría desechando 19.47 kg de sulfato de plomo

Transferencias de Sustancias RETC en lámparas

Las lámparas fluorescentes compactas contienen muy poco mercurio (Hg), debe checar la hoja técnica de las lámparas que adquiera. Si no se cuenta con el dato, establezca un 1% en peso de mercurio para fines del reporte al RETC.

Es decir, si se generan 55 kg de lámparas como residuos, la cantidad de mercurio transferida sería:

$$Hg_{transferido} = 55 \text{ kg LFC} * 1\% \frac{Hg}{LFC} = 0.55 \text{ kg Hg o } 550 \text{ gramos}$$



Reportar el peso total de las lámparas es un error muy común (en el ejemplo 55 kg como Hg transferido), lo correcto es reportar la cantidad de mercurio contenida en las lámparas (en el ejemplo 0.55 kg Hg o 550 gramos)

Emisiones y transferencias al agua

Las descargas de aguas residuales a cuerpos de agua (emisión) y alcantarillado (transferencia) están reguladas por las normas:



Emisión

- NOM-001-SEMARNAT-1996



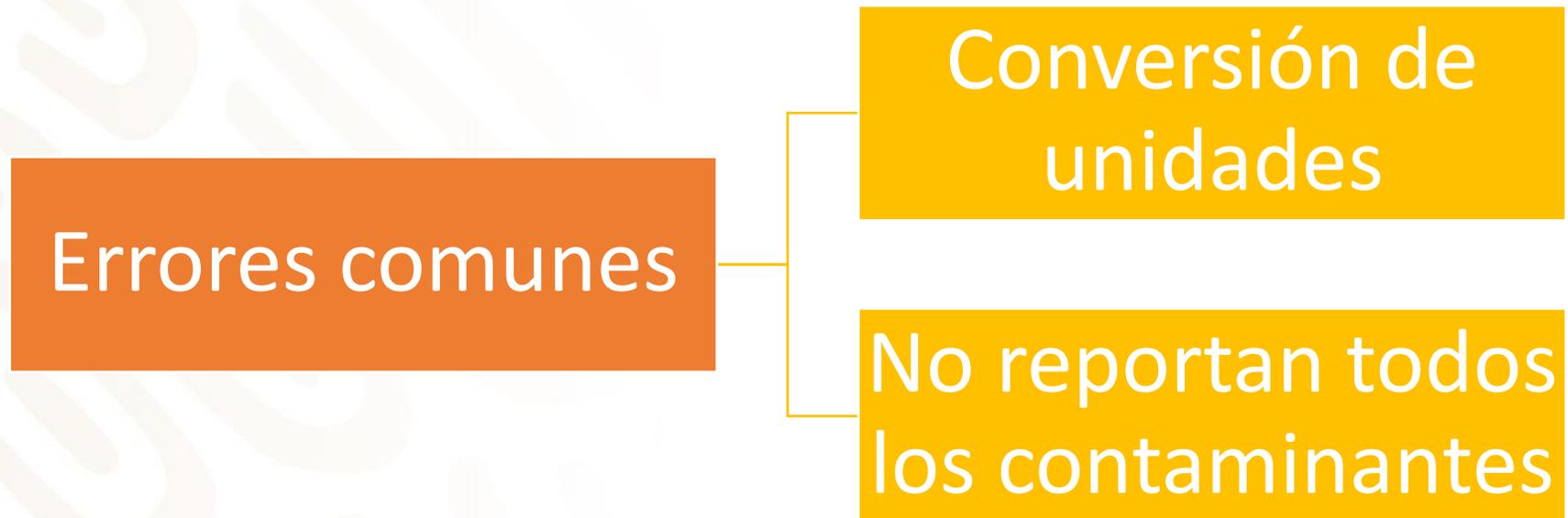
Transferencia

- NOM-002-SEMARNAT-1996

Emisiones y transferencias al agua

Para estimar las emisiones y transferencias de contaminantes en las descargas de aguas residuales, la SEMARNAT instaló una calculadora (opcional) dentro de la Plataforma COA Web, como apoyo a los usuarios para realizar el cálculo.

Si decide no utilizar la calculadora, cerciőrese de no cometer alguno de los siguientes errores:



Conversión de unidades

El volumen de descarga esta dado en unidades de volumen (m³) y el contaminante presente en la descarga esta reportado en unidades de concentración (mg/L)

Conversión de mg a kg:

$$0.5 \frac{mg}{L} * \frac{1 kg}{1,000,000 mg} = 0.0000005 \frac{kg}{L}$$

Conversión de m³ a L:

$$5000 m^3 * \frac{1000 L}{1 m^3} = 5,000,000$$

Simplificando la conversión:

$$0.5 \frac{\cancel{mg}}{\cancel{L}} * \frac{1 kg}{1,000,000 \cancel{mg}} * 5000 \frac{\cancel{m^3}}{año} * \frac{1000 L}{\cancel{m^3}} = 2.5 \frac{kg}{año}$$

Criterios para el reporte de emisiones y transferencias de contaminantes al agua

El parámetro a monitorear puede tener 3 opciones conforme con el estudio de análisis de agua

- a) Si **todos los monitoreos para una sustancia química reportan un valor por debajo del límite** de detección del método analítico y **no se usa o produce la sustancia química en el proceso** o se tiene la certeza de que esta no se encuentra presente en la descarga, **se podrá emplear un valor de cero** para el reporte y estimación de las emisiones.
 - b) Si los monitoreos de una descarga de agua residual cuentan con **al menos un valor de concentración por arriba del límite de detección** para el contaminante a reportar, éste se deberá considerar en el cálculo del valor promedio de la concentración del contaminante. Para los **otros monitoreos que se reportaron con valores por debajo del límite de detección**, se considerará el valor de concentración equivalente a **la mitad del límite de detección** para el cálculo del valor promedio de la concentración.
 - c) Si **todos los monitoreos para una sustancia química están por debajo del límite** de detección y la **sustancia a reportar esta presente en la descarga de agua**, deberá usarse una concentración equivalente a **la mitad del límite de detección**, para el cálculo de emisiones.
-