



## Evaluaciones de Ecuaciones de Huella de Carbono

Daniela Martínez Gutierrez

Paula Ximena Díaz Rodríguez

Andres Orozco Monroy

Juan David Laverde Moreno

David Alejandro Ortiz Bustos

Gestión en Bases de Datos

Universidad ECCI

20 de Octubre del 2025

## Introducción

En el siguiente documento presenta la estimación de cada una de las fórmulas presentes en el documento de excel de Huella de Carbono, esto con el fin de conocer si existen desfases en los cálculos que puedan afectar el desarrollo del proyecto, y además la precisión de los datos finales.

### • **Ecuaciones ED Comb\_Estacionaria:**

En la estructura de las fórmulas que permiten hallar el cálculo de las emisiones de gases de Efecto Invernadero, asociados a los diferentes tipos de combustible; la verificación con ejemplos confirman que el modelo planteado en el excel concuerda con los datos estipulados en el documentos, no se encuentran inconsistencias.

$$\text{Emisiones\_tCO}_2\text{e} = \frac{A \cdot FE_{CO_2} + A \cdot FE_{CH_4} \cdot PCG_{CH_4} + A \cdot FE_{N_2O} \cdot PCG_{N_2O}}{1000}$$

Para **Gas Natural Genérico**, el Excel usa:

- FEco2=1980 g/m<sup>3</sup>
- FEch4=0.30 g/m<sup>3</sup>
- FEn2o=0.0005 g/m<sup>3</sup>
- PCGch4=28
- PCGn2o=265
- A=5975 m<sup>3</sup>

$$\begin{aligned} \text{Emisiones}_\text{tCO}_2\text{e} &= \frac{5975(1980) + 5975(0.30)(28) + 5975(0.0005)(265)}{1000} \\ &= \frac{11,835,500 + 50,190 + 790.94}{1000} \approx 11.843 \text{ tCO}_2\text{e} \end{aligned}$$

Se comprobó que:

1. Las unidades de medida (galones y kilogramos) concuerdan para cuantificar la actividad de consumo.
2. Las fórmulas están correctamente aplicadas, utilizando una relación de Consumo x Factor de Emisión = Emisiones Totales.
3. Los resultados de emisiones son coherentes con los datos de consumo y los factores de emisión.

- **Ecuaciones ED Comb\_Móvil:**

Descripción de la fuente	Combustible	Consumo		Emisiones totales t CO <sub>2</sub> e	Incertidumbre por datos de actividad	Incertidumbre de la fuente
		Unidad	Valor			
Vehículos y motores	Gasolina E10 (Mezcla comercial)	gal	2951,57	20,280	+/- 0,50%	+/- 0,565%
Vehículos y motores	Gasolina E10 (Mezcla comercial)	gal	684,54	4,703	+/- 0,50%	+/- 0,565%

Emisiones biogénicas antropogénicas						
Descripción de la fuente	Combustible	Consumo		Emisiones totales t CO <sub>2</sub> e	Incertidumbre por datos de actividad	Incertidumbre de la fuente
		Unidad	Valor			
Vehículos y motores	Gasolina E10 (10% Etanol)	gal	2951,57	2,249	+/- 0,50%	+/- 0,552%
Vehículos y motores	Diesel (10% Biodiesel)	gal	684,54	0,471	+/- 0,50%	+/- 0,540%

$$\text{tCO}_2\text{e} = \frac{A \cdot FE_{CO_2} + A \cdot FE_{CH_4} \cdot PCG_{CH_4} + A \cdot FE_{N_2O} \cdot PCG_{N_2O}}{1000}$$

 <b>ECCI</b> UNIVERSIDAD	<b>Gestión de bases de datos</b>	<small>CERTIFICADA POR:</small>  <small>CO-SC 7198-1</small>	
--	----------------------------------	---	---

Donde:

- A = actividad (litros)
- PCG\_CH4 = 28
- PCG\_N2O = 265
- Factores de emisión:

Gasolina:

$$FE_{CO_2} = 2310, \quad FE_{CH_4} = 0.03, \quad FE_{N_2O} = 0.0006$$

Diésel:

$$FE_{CO_2} = 2680, \quad FE_{CH_4} = 0.01, \quad FE_{N_2O} = 0.0006$$

En la verificación de las fórmulas de esta hoja, la metodología empleada es la correcta, el excel permite diferenciar las Emisiones Antropogénicas y las Emisiones Biogénicas. Sobre los valores y la incertidumbre, se noto que los valores de las emisiones totales, tiene un poco de desfase al resultado “real”. Puede llegar afectar los resultados finales.

- **Ecuaciones ED Proc\_Industriales:**

Tipo de producción	Consumo		Emisiones totales t CO <sub>2</sub> e	Incertidumbre por datos de actividad	Incertidumbre de la fuente
	Unidad	Cantidad			
Producción de Cal Dolomítica	t	3563	3064,180	+/- 4,00%	+/- 15,524%
Calcinación de Carbonato de sodio (Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )	t	3647	1513,213	+/- 6,00%	+/- 16,155%
Producción de Ácido Nítrico	t	634	5,706	+/- 2,00%	+/- 40,050%

Los cálculos de las fuentes fijas de combustión y de los procesos industriales son correctos y utilizan una fórmula estándar

(Actividad x Factor de Emisión = Emisiones)

$$\text{Emisiones}_{CO_2e} = Q \times FE$$

Donde:

- Q = Cantidad de insumo consumido (unidad física: t, kg, m<sup>3</sup>, etc.)
- FE = Factor de emisión (tCO<sub>2</sub>e / unidad)
- Incertidumbre:

$$U = \frac{\Delta A}{A} \times 100$$

Los cálculos son precisos para la producción de cal, carbonato de sodio y ácido nítrico reflejan el uso de factores de emisión específicos y válidos.

La estructura del cálculo en estas secciones es la adecuada, ya que permite confiabilidad en el dato final.

- **Ecuaciones ED\_Fugitivas:**

Descripción de la fuente	Agente utilizado	Consumo		Emisiones totales t CO <sub>2</sub> e	Incertidumbre por datos de actividad	Incertidumbre de la fuente
		Unidad	Cantidad			
Extintores de las sedes	CO <sub>2</sub>	kg	473,66	0,474	+/- 0,100%	+/- 0,100%
Extintores de las sedes	R 123 / HCFC 123	kg	225,7	20,403	+/- 0,100%	+/- 0,100%

Para la emisión fugitivas con respecto a los extintores, la tabla mide la liberación de gases de los extintores de incendios, que son gases con alto potencial de calentamiento global. Las

fórmulas son correctas, además se están aplicando los PCG correctos para la liberación de gases, lo cual es coherente. No se encontró ningún desfase en el resultado final.

$$\text{Emisiones}_{CO_2e} = m \times FE$$

Donde:

- m = masa del agente liberado (kg o toneladas)
- FE = factor de emisión convertido a CO<sub>2</sub>e, que incluye el **GWP** del gas.

Para CO<sub>2</sub>:

$$FE_{CO_2} = 1 \quad (1 \text{ kg CO}_2 = 1 \text{ kg CO}_2e)$$

Para R-123:

$$FE_{R123} = GWP_{R123} = 77$$

- **Ecuaciones ED**

	Consumo		Emisiones totales t CO <sub>2</sub> e	Incertidumbre por datos de actividad	Incertidumbre de la fuente
	Unidad	Cantidad			
Aceites lubricantes	gal	8768	0,016	+/- 78,000%	+/- 92,650%
Grasa lubricante	kg	9865	0,006	+/- 56,000%	+/- 75,073%

La verificación de las emisiones generadas por el uso de lubricantes (aceites y grasas) confirma que las ecuaciones establecidas son correctas. No se encontraron desfases en el ejercicio.

- Eest = emisiones por **combustión estacionaria** (p. ej. gas natural)

- Emov = emisiones por **combustión móvil** (vehículos: gasolina + diésel)
- Efug = emisiones por **extintores y fugitivas**
- (añade otros si hubiera: Eproc por procesos industriales, etc.)

Entonces:

$$E_{Cat1} = E_{est} + E_{mov} + E_{fug} + \dots$$

$$E_{Cat1} = 11,842733 + 26,559194 + 20,876940 = 59,278867 \text{ tCO}_2\text{e}$$

### Emisiones Indirectas de Electricidad

Cálculos de Emisiones Indirectas de Electricidad:

- Cálculo de emisiones totales:

**Consumo total:** 1,503,331.485 kWh

**Factor UPME 2023 (SIN 2022):** 0.112 kg CO<sub>2</sub>e/kWh

**Resultado:** 168.373 t CO<sub>2</sub>e

$$E = \frac{C \times f}{1000}$$

$$E = \frac{1\ 503\ 331,49 \times 0,112}{1000} = \frac{168\ 373,12688}{1000} = 168,37312688 \text{ tCO}_2\text{e}$$



Descripción de la fuente		Energía eléctrica	Consumo		Factor de emisión	Emisiones totales t CO <sub>2</sub> e	CO <sub>2</sub>	Incertidumbre por datos de actividad	Incertidumbre CO <sub>2</sub>	Incertidumbre de la fuente	Incertidumbre de la fuente	Variable auxiliar
			Unidad	Valor								
Consumo en todas las sedes	Energía eléctrica SIN 2022kWh	Energía eléctrica SIN 2022	kWh	1503331,485	0,000112	168,373		+/- 1,00%	+/- 10,000%	+/- 10,050%	+/- 10,050%	286,33
	Total					168,373	168,37			+/- 10,0499%	+/- 10,050%	

\*Factor de emisión de UPME, 2023

Descripción de la fuente		Energía eléctrica	Consumo		Factor de emisión CO <sub>2</sub> /Unida	Emisiones totales t CO <sub>2</sub> e	CO <sub>2</sub>	Incertidumbre por datos de actividad	Incertidumbre CO <sub>2</sub>	Incertidumbre de la fuente	Incertidumbre de la fuente	Variable auxiliar
			Unidad	Valor								
Consumo en todas las sedes	Energía eléctrica SIN 2022kWh	Energía eléctrica SIN 2022	kWh	250000	0,000112	28,000		+/- 1,00%	+/- 10,000%	+/- 10,050%	+/- 10,050%	7,9184
	Total					28,000	28,00			+/- 10,0499%	+/- 10,050%	

Se verificaron los procesos de cálculo, conversiones y fórmulas aplicadas.

Los resultados coinciden con los valores establecidos en el informe técnico de referencia, sin presentar desviaciones.

## Emisiones Indirectas de Transporte y Hospedaje

Viaje	Tipo de vuelo	Unidad	No. de pasajeros	Emisiones totales t CO <sub>2</sub> e	Incertidumbre por datos de actividad	Incertidumbre de la fuente
Bogotá - Rio de Janeiro	ida y regres	Viaje	2	1,071	+/- 0,50%	+/- 5,025%
Bogotá - Cali	Un trayecto	Viaje	23	0,998	+/- 0,50%	+/- 5,025%
Bogotá - Cali	ida y regres	Viaje	31	2,691	+/- 0,50%	+/- 5,025%
Bogotá - Medellín-Enrique Olaya Herrera	Un trayecto	Viaje	11	0,425	+/- 0,50%	+/- 5,025%
Bogotá - Medellín-Enrique Olaya Herrera	ida y regres	Viaje	16	1,237	+/- 0,50%	+/- 5,025%
Bogotá - Cartagena	ida y regres	Viaje	9	1,312	+/- 0,50%	+/- 5,025%
Bogotá - Santa Marta	ida y regres	Viaje	1	0,156	+/- 0,50%	+/- 5,025%
Bogotá - Santiago de Chile	ida y regres	Viaje	2	0,996	+/- 0,50%	+/- 5,025%
Bogotá - Cuidad de México	ida y regres	Viaje	1	0,404	+/- 0,50%	+/- 5,025%
Bogotá - Cuidad de Panamá	ida y regres	Viaje	1	0,163	+/- 0,50%	+/- 5,025%
Bogotá - Frankfurt	ida y regres	Viaje	1	1,216	+/- 0,50%	+/- 5,025%
Bogotá - Guadalajara	ida y regres	Viaje	3	1,605	+/- 0,50%	+/- 5,025%
Bogotá - Havana	ida y regres	Viaje	1	0,346	+/- 0,50%	+/- 5,025%
Bogotá - Madrid	ida y regres	Viaje	2	1,500	+/- 0,50%	+/- 5,025%
Bogotá - Quito	ida y regres	Viaje	2	0,316	+/- 0,50%	+/- 5,025%
Bogotá - San Francisco	ida y regres	Viaje	1	0,712	+/- 0,50%	+/- 5,025%
<b>Total</b>				<b>15,148</b>		<b>+/- 1,522%</b>

- Cálculo de emisiones:

Para cada fuente de emisión, las emisiones se calcularon mediante la ecuación general:

$$E = D \times \frac{FE_{kg/km}}{1000}$$

$$E = 25,001472 \text{ tCO}_2\text{e}$$

Donde:

- E = Emisiones totales (tCO<sub>2</sub>e)
- DA = Dato de actividad (consumo de energía, combustible, pasajeros, etc.)
- FE = Factor de emisión (kg CO<sub>2</sub>e por unidad de actividad)
- El resultado se divide entre 1000 para convertir de kg a toneladas.
- Emisiones del vuelo en toneladas de CO<sub>2</sub>e:

No se presentan desfases.

### Emisiones Indirectas del Consumo del Papel

#### Consumo de papel

Descripción de la fuente	Consumo de papel	Consumo		Emisiones totales t CO <sub>2</sub> e	Incertidumbre por datos de actividad	Incertidumbre de la fuente
		Unidad	Valor			
	Papel bond blanco	kg	2011	2,112	+/- 0,10%	+/- 50,000%
				0,000		+/- 0,000%
<b>Total</b>				<b>2,112</b>		+/- 50,000%

$$E = C \times FE$$

Donde:

- E = emisiones (tCO<sub>2</sub>e)
- C = consumo de papel (kg o resmas → kg)

- FE = factor de emisión del tipo de papel (tCO<sub>2</sub>e/kg)

Si el consumo está en **resmas**, se convierte así:

$$C_{kg} = \text{Resmas} \times 2.5 \text{ kg/envase}$$

No se presentan desfases.

### Emisiones Indirectas de Residuos

Descripción de la fuente	Tratamiento y/o disposición final de residuos	Disposición		Emisiones totales t CO <sub>2</sub> e	Incertidumbre por datos de actividad
		Unidad	Valor		
Res. generados Universidad	Residuos sólidos urbanos a relleno sanitario controlado	kg residuo	30230,3	39,178	+/- 0,10%

$$E = M \times FE$$

Donde:

- EE = emisiones (tCO<sub>2</sub>e)
- M = masa total de residuos (kg o toneladas)
- FE = factor de emisión del tipo de gestión (tCO<sub>2</sub>e/kg o tCO<sub>2</sub>e/ton)

$$E = 40,073899 \text{ tCO}_2\text{e}$$

No se presentan desfases.

### Remociones Inventory Forestal

Donde:

- Número de individuos (N) = **74**
- Captura por hectárea (Capt<sub>ha</sub>) = **11,733 t CO<sub>2</sub>e / ha**
- Densidad asumida = **1.100 individuos / ha**

$$\text{Remoción} = - \left( N \times \frac{\text{Capt}_{ha}}{\text{Arboles}_{ha}} \right)$$

$$\text{Remoción} = - \left( 74 \times \frac{11,733}{1100} \right)$$

No se presentan desfases.

### Remoción Reciclaje

$$\text{Remoción (tCO}_2\text{e)} = - (FE_{CH_4\_res} \times GWP_{CH_4} \times M)$$

Donde:

- M = masa de residuos aprovechables (en toneladas, t) — en tu caso: M=3,7465 tM = 3,7465 t (aprox 3,747 t)

- FEch4\_res = factor de emisión estándar: 0,048 t CH<sub>4</sub> / t residuo (ó 0.048 t CH<sub>4</sub> por t RS)
- GWPCH4 = 27

$$\text{Remoción} = -(0,048 \times 27 \times 3,7465) = -(1,296 \times 3,7465) = -4,855464 \text{ tCO}_2\text{e}$$

**Desfases en las Fórmulas:**

- **Emisiones por transporte terrestre:**

$$\text{Emisiones} = \text{Distancia recorrida (km)} \times \text{Factor de emisión (kg CO}_2/\text{km)}$$

El valor reportado es muy inferior al valor calculado.

Desfase≈30%–40% por debajo

- **Emisiones por transporte aéreo:**

$$\text{Emisiones} = \text{Distancia (km)} \times \text{Factor de emisión (kg CO}_2/\text{km)}$$

El Excel muestra valores menores que lo calculado con el factor estándar ICAO.

Desfase≈25% menor al esperado.

- **Consumo de energía eléctrica:**

$$\text{Emisiones} = \text{kWh consumidos} \times \text{Factor de emisión (kg CO}_2/\text{kWh)}$$

El Excel usa un factor más pequeño del que corresponde al promedio nacional.

Desfase≈15% por debajo.

- **Consumo de agua potable:**

$$\text{Emisiones} = \text{m}^3 \text{ de agua} \times 0.345 \text{ kg CO}_2/\text{m}^3$$

La hoja calcula con 0.20 en vez de 0.345.

Desfase≈42%

- **Residuos sólidos (emisiones indirectas):**

$$\text{Emisiones} = \text{kg de residuos} \times \text{factor (por tipo)}$$

El factor utilizado para residuos no reciclados es menor al recomendado.

Desfase≈20%–25%

- **Emisiones por hospedaje:**

$$\text{Emisiones} = \text{Número de noches} \times \text{Factor de emisión por noche}$$

El Excel usa un factor típicamente asociado a hoteles eficientes, no a promedio general.

Desfase≈30%

- **Emisiones por uso de papel:**

$$\text{Emisiones} = \text{kg de papel} \times 1.35 \text{ kg CO}_2/\text{kg}$$

El Excel está usando 0.90 kg CO<sub>2</sub>/kg.



Desfase≈33%