

Anexo 1. Encuestas diseñadas para las actividades productivas del cantón.

1. Comercio

Universidad Nacional
Escuela de Ciencias Ambientales

Licenciatura en Gestión Ambiental
Proyecto de Graduación

Inventario de Gases de Efecto Invernadero en el cantón de Belén

Sector Comercial/Institucional

El presente documento se compone de una serie de preguntas, que contribuirán en la recopilación de información necesaria para estimar las emisiones de gases de efecto invernadero -GEI-, en el cantón de Belén. Es importante aclarar que el reporte de los datos en el inventario se hará de manera global y *no* se mencionará el nombre de ninguna entidad; o sea, estos valores son parte de las emisiones de GEI del *sector comercial/institucional* en el cantón, el nombre será utilizado *únicamente* para el control interno del proyecto.

Instrucciones generales:

La información requerida corresponde al **año 2013**. Conteste únicamente aquellos datos que se encuentran en las celdas sin relleno, es importante que la información quede completamente llena. Si tiene alguna duda sírvase a contactar a las coordinadoras del proyecto: María José Arguedas al 83032970/unamegumi@hotmail.com; o a Natalia Arias al 87235987/nathyarias@gmail.com.

Información General
Nombre del establecimiento:
Dirección:
Número de teléfono:
Código CIU:
Número de empleados:
Año de inicio de operaciones:

Sección A. Energía

Consumo Energético
¿Las instalaciones cuentan con generadores eléctricos? Sí _____. No _____.
Número de generadores: _____.
Tipo de combustible de los generadores: Diesel _____. Otro _____, especifique: _____.

Productos Contra Incendios			
¿Cuenta con extintores en las instalaciones? Sí _____. No _____.			
Características y mantenimiento del equipo			
Equipo			Cantidad de recargas
Tipo	Cantidad	Cantidad (Kg o Lb)	
NOTA: Si los espacios no alcanzan, adjunte un reporte completo con la misma información requerida.			

Sección C. Residuos

6. Residuos sólidos

6.1 En caso de que la empresa gestione algunos residuos sólidos por aparte del servicio municipal, complete:

Tipo de tratamiento	Nombre de la empresa a cargo	Cantidad de residuos tratados (Ton/año)	Ubicación del sitio de tratamiento (cantón, distrito)
Tratamiento biológico			
Incineración			
Relleno sanitario			
Centro de acopio de materiales valorizables			
Reciclaje			
Otro, especifique:			

NOTA: Si los espacios no alcanzan, adjunte un reporte completo con la misma información requerida.

6.2 Composición de residuos por gestión separada al servicio municipal:

Nombre de la empresa a cargo	Tratamiento	Tipo de residuo	Porcentaje (%)
		Restos de alimentos	
		Residuos de jardín o similares	
		Papel y cartón	
		Textiles	
		Madera	
		Industriales	
		Otros	
		Restos de alimentos	
		Residuos de jardín o similares	
		Papel y cartón	
		Textiles	
		Madera	
		Industriales	
		Otros	

NOTA: Si los espacios no alcanzan, adjunte un reporte completo con la misma información requerida.

7. Aguas Residuales

Seleccione el tipo de sistema de tratamiento usado por el establecimiento:

Alcantarillado Sanitario Digestor anaerobio para lodos
 Tanque séptico Reactor anaerobio
 Planta de tratamiento aeróbica Laguna anaerobia
 Otro, especifique: _____

DBO5 e incertidumbre (Kg/ día): _____.

2. Industria

Universidad Nacional
Escuela de Ciencias Ambientales

Licenciatura en Gestión Ambiental
Proyecto de Graduación

Inventario de Gases de Efecto Invernadero en el cantón de Belén

Sector Industrial

El presente documento se compone de una serie de preguntas, que contribuirán en la recopilación de información necesaria para estimar las emisiones de gases de efecto invernadero -GEI-, en el cantón de Belén. Es importante aclarar que el reporte de los datos en el inventario se hará de manera global y *no* se mencionará el nombre de ninguna entidad; o sea, estos valores son parte de las emisiones de GEI del *sector industrial* en el cantón, el nombre será utilizado *únicamente* para el control interno del proyecto.

Instrucciones generales:

La información requerida corresponde al **año 2013**. Conteste únicamente aquellos datos que se encuentran en las celdas sin relleno, es importante que la información quede completamente llena. Si tiene alguna duda sírvase a contactar a las coordinadoras del proyecto: María José Arguedas al 83032970/unamegumi@hotmail.com; o a Natalia Arias al 87235987/nathyarias@gmail.com.

Información General	Código GPS:
Nombre del establecimiento:	
Dirección:	
Número de teléfono:	
Código CIU:	
Número de empleados:	
Tipo de industria:	
___ 1. Mineral ___ 2. Química ___ 3. Metales	
___ 1.1 Cemento	___ 2.1 Amonio ___ 3.1 Hierro y acero
___ 1.2 Cal	___ 2.1. Ácido nítrico ___ 3.2 Aluminio
___ 1.3 Vidrio	___ 2.3 Ácido <u>adípico</u> ___ 3.3 Producción y
___ 1.4 Otro	___ 2.4 Petroquímica y carbón fundición de magnesio
	___ 2.5 Otro ___ 2.6 Otro
___ 4. Alimenticia	___ 5. Agropecuaria ___ 6. Electrónica
___ 7. Manufactura	___ 8. Otra, especifique: _____.

Sección A. Energía

Consumo Energético

¿Su establecimiento cuenta con generadores eléctricos? Sí _____. No _____.

Número de generadores: _____.

Tipo de combustible de los generadores:

Diesel _____. Otro _____, especifique: _____.

Consumo de combustible:

_____ L/ día. o _____ L/semana.
 _____ L/ mes. o _____ L/año.

Fuentes fijas

¿Cuenta con caldera u horno en la actividad o proceso de su establecimiento?

Sí _____. No _____.

Para cada equipo especifique

Tipo de equipo	Tipo de Combustible	Consumo		
		L/mes	Lb/mes	Kg/mes

NOTA: Si los espacios no alcanzan, adjunte un reporte completo con la misma información requerida.

Productos Contra Incendios			
¿Cuenta con extintores en las instalaciones? Sí _____. No _____.			
Características y mantenimiento del equipo			
Equipo			Cantidad de recargas
Tipo	Cantidad	Cantidad (Kg o Lb)	
NOTA: Si los espacios no alcanzan, adjunte un reporte completo con la misma información requerida.			

Sección C. Residuos

Residuos sólidos	
Seleccione uno o varios tratamientos o disposición final	
Tipo de tratamiento	Cantidad de residuos tratados (Ton/año)
Tratamiento biológico	
Incineración	
Relleno sanitario	
Otro, especifique:	

Composición de residuos por tipo de tratamiento

Tratamiento	Tipo de residuo	Porcentaje (%)
	Restos de alimentos	
	Residuos de jardín o similares	
	Papel y cartón	
	Textiles	
	Madera	
	Infeciocontagiosos	
	Otros	
	Restos de alimentos	
	Residuos de jardín o similares	
	Papel y cartón	
	Textiles	
	Madera	
	Infeciocontagiosos	
	Otros	

NOTA: Si los espacios no alcanzan, adjunte un reporte completo con la misma información requerida.

Aguas Residuales	
Seleccione el tipo de sistema de tratamiento usado por el establecimiento:	
___ Alcantarillado Sanitario	___ Digestor anaerobio para lodos
___ Tanque séptico	___ Reactor anaerobio
___ Planta de tratamiento aeróbica	___ Laguna anaerobia
___ Otro, especifique: _____.	
DBO5 e incertidumbre (Kg/ día): _____.	

Anexo 2. Fórmulas sugeridas e implementadas para el cálculo de las emisiones de GEI en el cantón de Belén.

Cuadro 1. Fórmulas sugeridas e implementadas para el cantón de Belén.

Sector	Subsector	Fórmulas de cálculo según GPC del WRI, 2012	Fórmulas de cálculo aplicadas a nivel local
Energía	Fuentes fijas y área	$Emisiones\ Ton_{CO2,CH4,N2O} = \frac{combustible_{a,b} \times Factor\ de\ emisión_{a,b}}{1000}$ <p>a: tipo de combustible. b: tipo de edificación (residencial, comercial, industrial, etc).</p>	Se utilizó la misma fórmula de cálculo del WRI (2012); sin embargo se utilizó el factor de emisión nacional del IMN para los combustibles de gasolina, diésel, gas LP y búnker; en los casos de leña y carbón se usó el factor de emisión según el IPCC.
	Transporte (en carretera)	$Combustible_{a,b} = \frac{distancia\ recorrida_{a,b}}{rendimiento_{a,b}}$ $Emisiones\ Kg_{CO2,CH4,N2O} = combustible_{a,b} \times Factor\ de\ emisión_{a,b}$ <p>a: tipo de combustible. b: tipo de vehículo (automóviles, taxis, buses, motocicletas, carga liviana, carga 2 ejes, carga 3 ejes y carga 5 ejes).</p>	Se utilizó la misma fórmula de cálculo del WRI (2012); sin embargo se utilizó el factor de emisión nacional del IMN para el diésel y gasolina. Y para la estimación del dato de actividad, se requirió una exhaustividad de información como los sitios de mayor tránsito, proyección de crecimiento vehicular entre años, tránsito promedio diario, tránsito promedio diario anual, ajuste en campo sobre la tipología vehicular, edad y marcas de los automóviles, rendimiento vehicular y distancia recorrida.
	Transporte (ferroviario)	$Emisiones\ Ton_{CO2,CH4,N2O} = \frac{combustible_{a,b} \times Factor\ de\ emisión_{a,b}}{1000}$ <p>a: tipo de combustible. b: tipo de edificación (residencial, comercial, industrial, etc).</p>	Se utilizó la misma fórmula de cálculo del WRI (2012); sin embargo se utilizó el factor de emisión nacional del IMN para el diésel. Y para la estimación del dato de actividad, se realizó una regla de tres para obtener el consumo de combustible correspondiente al tramo que recorre el tren en el cantón.

Sector	Subsector	Fórmulas de cálculo según GPC del WRI, 2012	Fórmulas de cálculo aplicadas a nivel local
Energía	Generación de electricidad	$Emisiones\ CO_2e = a, b(energía_{a,b} \times Factor\ de\ emisión_{a,b})$ <p>a: tipo de energía. b: tipo de edificación (residencial, comercial, industrial, etc).</p>	Se utilizó la misma fórmula de cálculo del WRI (2012); sin embargo se utilizó el factor de emisión nacional para el sector de consumo eléctrico del IMN.
Manejo de residuos	Sistema de tratamiento de aguas residuales (STAR)	<p>Digestión anaerobia/ aerobia</p> $Emisiones\ ton_{CH_4} = población \times factor\ de\ descarga \times DBO_5 \times (1 - fracción\ de\ DBO_5\ removida\ en\ tratamiento\ primario) \times (máxima\ capacidad\ de\ producción\ de\ metano) \times factor\ de\ corrección_{anaerobio,aerobio} \times 365.25 \times 10^{-3}$ <p>Factor de descarga para industria y comercio: 1.25. DBO₅: según el reporte operacional o por defecto 0.090. Fracción de DBO₅ removida en tratamiento primario: 0.325. Máxima capacidad de producción de metano: 0.6. Factor de corrección anaerobio/aerobio: 0.8/0.3.</p>	Se utilizó la misma fórmula de cálculo del WRI.
	Tanques sépticos (tanques sépticos)	$Emisiones\ Kg_{CH_4} = población \times DBO_5 \times (máxima\ capacidad\ de\ producción\ de\ metano) \times factor\ de\ corrección_{anaerobio,aerobio} \times 365.25 \times 10^{-3}$ <p>DBO₅: 0.090 Kg / día. Máxima capacidad de producción de metano: 0.6. Factor de corrección: 0.5.</p>	Se utilizó la misma fórmula de cálculo del WRI.
	Tanques sépticos (descargas a cuerpos de agua)	La guía GPC del WRI no incluye estas emisiones.	Se utilizó el factor de emisión del IMN 2016 (Kg CH ₄ / persona año). Por lo que al multiplicarlo por la cantidad de población, da como resultado las emisiones de Kg CH ₄ /año.

Sector	Subsector	Fórmulas de cálculo según GPC del WRI, 2012	Fórmulas de cálculo aplicadas a nivel local
Manejo de residuos	Relleno sanitario	<p><i>Emisiones ton_{CH4}</i> = cantidad de residuos × (1 – fracción de metano recuperado) × (1 – factor de oxidación)</p> <p><i>Potencial de generación de metano</i> = factor de corrección de metano × carbón orgánico degradable × fracción de carbón orgánico degradado × fracción de metano en el relleno × $\frac{16}{12}$</p> <p><i>Carbón orgánico degradable</i> = (0.15 × fracción de residuos de alimentos) + (0.2 × fracción de residuos de jardín) + (0.4 × fracción de residuos de papel) + (0.43 × fracción de residuos de madera) + (0.24 × fracción de residuos de textiles) + (0.15 × fracción de residuos industriales)</p>	No se utilizó la guía GPC del WRI; sin embargo se utilizó el factor de emisión del IMN 2016 (Kg CH ₄ / Kg de residuos sólidos año). Por lo que al multiplicarlo por la cantidad de residuos enviados al relleno sanitario, da como resultado las emisiones de Kg CH ₄ /año.
	Tratamiento biológico	<p><i>Emisiones ton_{CH4}</i> = cantidad de residuos × factor de emisión × 10⁻³ – total de gas recuperado del sistema</p> <p><i>Emisiones ton_{N2O}</i> = cantidad de residuos × factor de emisión × 10⁻³ – total de gas recuperado del sistema</p>	No se utilizó la guía GPC del WRI; sin embargo se utilizó el factor de emisión del IMN 2016 (Kg CH ₄ / Kg de residuos sólidos año y Kg N ₂ O/ Kg de residuos sólidos año). Por lo que al multiplicarlo por la cantidad de residuos enviados al relleno sanitario, da como resultado las emisiones de Kg CH ₄ /año.

Sector	Subsector	Fórmulas de cálculo según GPC del WRI, 2012	Fórmulas de cálculo aplicadas a nivel local
Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU)	Fermentación entérica	No se encuentra contemplado en la guía GPC del WRI.	<p>Se tomó como base las Directrices del Panel Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático (IPCC) del 2006. Sin embargo la población promedio anual ya se conocía, por lo que se utilizó directamente la siguiente fórmula:</p> $Emisión_i = EF(T) \times \left(\frac{N(T)}{10^6} \right)$ <p>EF(T): factor de emisión para la población para cada subcategoría o categoría. N(T): cantidad de cabezas de la subcategoría o categoría.</p> $Emisión_{CH_4} = \sum Emisión_i$ <p>$Emisión_{CO_2}$ = $Emisión_{CH_4}$ × <i>Potencial de calentamiento global</i>_{CH₄}</p>
	Manejo del estiércol	No se encuentra contemplado en la guía GPC del WRI.	<p>Se tomó como base las Directrices del Panel Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático (IPCC) del 2006.</p> $Emisión_{CH_4} \text{ estiércol} = \left[\sum (EF(T) \times N(T)) \right]$ <p>EF(T): factor de emisión para la población para cada subcategoría o categoría. N(T): cantidad de cabezas de la subcategoría o categoría.</p>

Sector	Subsector	Fórmulas de cálculo según GPC del WRI, 2012	Fórmulas de cálculo aplicadas a nivel local
Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU)	Uso de fertilizantes (suelos gestionados)	No se encuentra contemplado en la guía GPC del WRI.	<p>Se tomó como base las Directrices del Panel Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático (IPCC) del 2006.</p> $Emisiones_{N_2O} = \text{hectáreas de terreno sembrado} \times \text{factor de emisión}$ $Emisión_{CO_2e} = emisiones_{N_2O} \times \text{potencial de calentamiento global}_{N_2O}$
	Uso de fertilizantes (encalado)	No se encuentra contemplado en la guía GPC del WRI.	<p>Se tomó como base las Directrices del Panel Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático (IPCC) del 2006.</p> $Emisiones_{CO_2-c} = (M_{caliza} \times EF_{caliza}) + (M_{dolomita} \times EF_{dolomita})$ <p>M: cantidad anual de piedra caliza cálcica o dolomita aplicada como fertilizante. Revise las especificaciones del empaque. EF: los valores por defectos son 0.12 para piedra caliza y 0.13 para dolomita, los cuales equivalen al contenido (%) de carbono en cada uno.</p> $Emisiones_{CO_2e} = CO_2 - C \times \frac{44}{12}$

Sector	Subsector	Fórmulas de cálculo según GPC del WRI, 2012	Fórmulas de cálculo aplicadas a nivel local
Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU)	Uso de fertilizantes (urea)	No se encuentra contemplado en la guía GPC del WRI.	<p>Se tomó como base las Directrices del Panel Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático (IPCC) del 2006.</p> $Emisiones_{CO_2 - C} = M \times FE$ <p>M: cantidad anual de fertilización con urea. FE: los valores por defectos son 0,20 para urea, porcentaje equivalente a su peso atómico.</p> $Emisiones_{CO_2e} = CO_2 - C \times \frac{44}{12}$
Procesos Industriales y uso de productos (IPPU)	Sustancias que agotan la capa de ozono	$Emisiones_{ton_{CO_2e}} = \text{cantidad de recargas al año} \times \text{cantidad de refrigerante}_{a,b} \times \text{tasa de fuga} \times PCG_{a,b} \times \text{factor de conversión}$ <p>a: tipo de refrigerante. b: tipo de equipo (aire acondicionado, refrigeradora, congelador, cuarto frío, chillers, votators, extintores, cilindros).</p>	<p>La Guía GPC del WRI hace referencia a las Directrices del Panel Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático (IPCC) del 2006. Los potenciales de calentamiento global se tomaron del IMN, IPCC y otras fuentes.</p>

Anexo 3. Memorias de cálculo.

1. Inventario

1.1. Emisiones directas

Memoria de Cálculo	
Sector:	Energía
Subsector:	Transporte (en carretera).
Descripción:	Esta categoría incluye aquellos vehículos que transitan por carretera como automóviles, taxis, buses, motocicletas, carga liviana, carga 2 ejes, carga 3 ejes y carga 5 ejes; debido a la quema de combustible para su funcionamiento.
Contaminantes:	Dióxido de carbono (CO ₂), Metano (CH ₄) y Óxido nitroso (N ₂ O).
Metodología:	$Combustible_{a,b} = \frac{distancia\ recorrida_{a,b}}{rendimiento_{a,b}}$ $Emisiones\ Kg_{CO_2,CH_4,N_2O} = Combustible_{a,b} \times Factor\ de\ emisión_{a,b}$ $Emisiones\ CO_2e$ $= Emisiones\ CO_2 + (Emisiones\ CH_4 \times PCG\ CH_4)$ $+ (Emisiones\ N_2O \times PCG\ N_2O)$
Equivalencias:	1 ton= 1 000 Kg. 1 Gg= 1 000 000 Kg. 1 Gal= 3,65 L. 100 millas= 0,0062 Km.
Fuente de datos:	Municipalidad de Belén (2015). <ul style="list-style-type: none"> • Unidad de Obras, Coordinador. Ing. Óscar Hernández Ramírez. 2587-0135, obras@belen.go.cr. Allen, J. (2008). <ul style="list-style-type: none"> • Proyecto de Gestión y evaluación de la red vial cantonal de la Municipalidad de Belén. Proyecto n° LM-PI-GM-01-08. Municipalidad de Belén (2013). <ul style="list-style-type: none"> • Conteos de flujo vehicular cantonal. Moukhallaleh, C. (2015). <ul style="list-style-type: none"> • Análisis de emisiones de gases por fuentes móviles en las ciudades de Alajuela, Cartago y Heredia. Trabajo de graduación. Jara, A. (2015). <ul style="list-style-type: none"> • Resultado del Plan Especial de Investigación de valores de vehículos para la actualización de ecuación de valoración utilizada en la lista de valores de vehículos (PEIVAH). MH.SVT-084-2015. Consultado en http://www.hacienda.go.cr/docs/5655f0b47f83f_Resultados%20del%20Plan%20investigacion%20de%20vehiculos%20valores%202015.pdf.

<p>Fuente de datos:</p>	<p>US Government. (s.f).</p> <ul style="list-style-type: none"> Búsqueda de rendimiento por año y modelo de automóviles. Consultado en http://www.fueleconomy.gov/feg/PowerSearch.do?action=norm&path=1&year1=1984&year2=2014&make=Toyota&model=Van%204WD%20(cargo)&srctype=yymm. <p>Coto, J. (2014).</p> <ul style="list-style-type: none"> Análisis de velocidad y tiempos de viaje sobre las principales rutas en el cantón de Belén. <p>Instituto Meteorológico Nacional, IMN (2016).</p> <ul style="list-style-type: none"> Factor de emisión, potencial de calentamiento global e incertidumbre.
<p>Operación matemática:</p>	<p>Selección de sitios más transitados según la Unidad de Obras de la Municipalidad.</p> <p>Proyección:</p> <ol style="list-style-type: none"> Selección de sitios en común de los proyectos 2008 y 2013. Proyección (fracción) = $\frac{\text{Promedio diferencia 2008 y 2013} \times 1}{\text{total de vehículos 2013}} = 0,08$ <p>Tráfico promedio diario (TPD):</p> <ol style="list-style-type: none"> Selección de sitios en común en los proyectos 2008 y 2013. Estimación de información faltante del sitio de interés, promedio entre la cantidad de vehículos por sitio de estudio. Sumatoria de vehículos livianos y pesados. <p>Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA):</p> <ol style="list-style-type: none"> Uso del factor diario de corrección (FDC) para la ciudad de Heredia. Sitio de interés x FDC. Promedio por sitio de interés=17967. TPDA x tipo de vehículo. <p>Ajuste en campo de la tipología vehicular cantonal</p> <ol style="list-style-type: none"> Grabación del comportamiento vial en los sitios con información faltante. Contabilidad de vehículos y clasificación de vehículos. Determinar la proporción de tipología vehicular. Herramienta de Pareto: selección del 80% de la proporción vehicular= automóviles. <p>Selección de edad y marcas de automóviles:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1134 vehículos de edad entre 1984 al 2014. Herramienta Pareto: selección de las marcas que cubren el 80% de los vehículos en el país= Toyota, Hyundai, Nissan, Suzuki, Honda y Mitsubishi. Distribución de edades por marca. <p>Consulta del rendimiento Galones cada 100 millas por marca y año.</p> <p>Sumatoria de los Km más transitados en el cantón=7,372.</p> <p>Cantidad de automóviles por tipo de combustible:</p> <ol style="list-style-type: none"> TPDA (14949) x diésel (0,07)= 1 046. TPDA (14949 x gasolina (0,93)= 13 902.

<p>Operación matemática:</p>	<p>Rendimiento promedio L/0,0062 Km= 16,30.</p> $Combustible_{diesel} = 1046 \times \frac{16,30 \times 7,372}{0,0062} = 12574639$ $Combustible_{gasolina} = 13902 \times \frac{16,30 \times 7,372}{0,0062} = 1670063065$ <p><i>Emissiones Kg_{CO2,CH4,N2O}</i></p> $= [(12574639 \times 2,613) + (1670063065 \times 2,231)]$ $+ [(12574639 \times 0,149) + (1670063065 \times 1,176)]$ $+ [(12574639 \times 0,154) + (1670063065 \times 0,116)]$ $= 405794887$ <p><i>Emissiones CO₂e (ton/año)</i></p> $= \frac{405575232 + (198340 \times 21) + (21316 \times 310)}{1000}$ $= 416348$ <p><i>Emissiones CO₂e (Gg/año)</i></p> $= \frac{405575232 + (198340 \times 21) + (21316 \times 310)}{1000000}$ $= 416$																																			
<p>Incertidumbre</p>	<p><u>Dato de actividad:</u></p> <table border="1" data-bbox="516 915 1073 1251"> <thead> <tr> <th>Variable</th> <th>Incertidumbre (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>TPD08</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>TPD13</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>FDC</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>Distribución vehicular</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>Tipo de combustible</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>Base</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>Rendimiento</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>Kilometraje cantonal</td> <td>5</td> </tr> </tbody> </table> <p><u>Factores de emisión:</u></p> <table border="1" data-bbox="516 1320 1154 1581"> <thead> <tr> <th>Tipo de Combustible</th> <th>Gas</th> <th>Incertidumbre (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">Gasolina</td> <td>CO₂</td> <td>4,59</td> </tr> <tr> <td>CH₄</td> <td>74</td> </tr> <tr> <td>N₂O</td> <td>48</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Diésel</td> <td>CO₂</td> <td>3,12</td> </tr> <tr> <td>CH₄</td> <td>62</td> </tr> <tr> <td>N₂O</td> <td>70</td> </tr> </tbody> </table> <p><u>Incertidumbre combinada:</u></p> $Incertidumbre = \sqrt{[(Dato de actividad^2) + (Factor de emisión^2)]}$ <p><u>Contribución a la varianza por la categoría</u></p> <p>Contribución a la varianza</p> $= (Incertidumbre \times Emissiones)^2$ $\times (total de emisiones del subsector)^{-2} = 467$	Variable	Incertidumbre (%)	TPD08	5	TPD13	5	FDC	15	Distribución vehicular	5	Tipo de combustible	15	Base	5	Rendimiento	15	Kilometraje cantonal	5	Tipo de Combustible	Gas	Incertidumbre (%)	Gasolina	CO ₂	4,59	CH ₄	74	N ₂ O	48	Diésel	CO ₂	3,12	CH ₄	62	N ₂ O	70
Variable	Incertidumbre (%)																																			
TPD08	5																																			
TPD13	5																																			
FDC	15																																			
Distribución vehicular	5																																			
Tipo de combustible	15																																			
Base	5																																			
Rendimiento	15																																			
Kilometraje cantonal	5																																			
Tipo de Combustible	Gas	Incertidumbre (%)																																		
Gasolina	CO ₂	4,59																																		
	CH ₄	74																																		
	N ₂ O	48																																		
Diésel	CO ₂	3,12																																		
	CH ₄	62																																		
	N ₂ O	70																																		

Control de calidad	Variable	Puntaje	Clasificación
	TPD08	4	A
	TPD13	4	A
	FDC	1	D
	Distribución vehicular	1	D
	Tipología vehicular	4	A
	Tipo de combustible	2	C
	Base	1	D
	Rendimiento	2	D
	Kilometraje cantonal	4	A
	Factor de emisión nacional	3	B
Memoria de Cálculo			
Sector:	Energía		
Subsector:	Transporte (ferroviario).		
Descripción:	Contempla únicamente el trayecto por el que transita el servicio de tren, debido a la quema de combustible para su funcionamiento.		
Contaminantes:	Dióxido de carbono (CO ₂), Metano (CH ₄) y Óxido nitroso (N ₂ O).		
Metodología:	$\text{Consumo (L)} = \frac{\text{distancia en el cantón} \times \text{total de combustible}}{\text{distancia total del recorrido}}$ $\text{Emisiones Kg}_{CO_2,CH_4,N_2O} = \text{Combustible}_{a,b} \times \text{Factor de emisión}_{a,b}$ $\text{Emisiones CO}_2e = \text{Emisiones CO}_2 + (\text{Emisiones CH}_4 \times \text{PCG CH}_4) + (\text{Emisiones N}_2\text{O} \times \text{PCG N}_2\text{O})$		
Equivalencias:	1 ton= 1 000 Kg. 1 Gg= 1 000 000 Kg.		
Fuente de datos:	Instituto Costarricense de Ferrocarriles, INCOFER (2014). <ul style="list-style-type: none"> Dirección de Operaciones, Ing. Eric Chaves Vega. Instituto Meteorológico Nacional, IMN (2016). <ul style="list-style-type: none"> Factor de emisión, potencial de calentamiento global e incertidumbre. 		
Operación matemática:	$\text{Consumo (L)} = \frac{2,5 \times 324531,33}{14,4} = 56342,24$ $\text{Emisiones Kg}_{CO_2,CH_4,N_2O} = (56342,24 \times 2,613) + (56342,24 \times 0,149) + (56342,24 \times 0,154) = 147239$ $\text{Emisiones CO}_2e \text{ (ton/año)} = \frac{147222 + (8,39 \times 21) + (8,68 \times 310)}{1000} = 150$ $\text{Emisiones CO}_2e \text{ (Gg/año)} = \frac{147222 + (8,39 \times 21) + (8,68 \times 310)}{1000000} = 0,2$		

Incertidumbre	Dato de actividad: 5% fuente primaria.		
	Factores de emisión:		
	Tipo de Combustible	Gas	Incertidumbre (%)
	Diésel	CO ₂	3,12
CH ₄		62	
N ₂ O		70	
Incertidumbre combinada: <i>Incertidumbre</i> = $\sqrt{[(\text{Dato de actividad})^2 + (\text{Factor de emisión})^2]}$			
Contribución a la varianza por la categoría <i>Contribución a la varianza</i> = $(\text{Incertidumbre} \times \text{Emisiones})^2$ × $(\text{total de emisiones del subsector})^{-2} = 0,00002$			
Control de calidad	Variable	Puntaje	Clasificación
	Consumo de combustible	4	A
	Tipo de combustible	4	A
	Kilometraje cantonal	1	D
	Factor de emisión IMN	3	B
Memoria de Cálculo			
Sector:	Energía		
Subsector:	Fijas y Área		
Descripción:	Engloban todas aquellas organizaciones público-privadas que queman de combustibles como parte de sus procesos, uso de equipos y maquinaria; así como generadores eléctricos. Y consumo quema de combustibles para cocción en las residencias del cantón.		
Contaminantes:	Dióxido de carbono (CO ₂), Metano (CH ₄) y Óxido nitroso (N ₂ O).		
Metodología:	<i>Emisiones ton_{CO2,CH4,N2O}</i> = $\text{combustible}_{a,b}(L) \times \text{Factor de emisión}_{\text{Kg} \frac{\text{CO}_2e}{\text{La,b}}}$ <i>Emisiones ton_{CO2,CH4,N2O}</i> = $\text{combustible}_{a,b}(TJ) \times \text{Factor de emisión}_{\text{Kg} \frac{\text{CO}_2e}{\text{TJa,b}}}$ <i>Emisiones CO₂e</i> = $\text{emisiones CO}_2 + (\text{emisiones CH}_4 \times \text{PCG CH}_4)$ + $(\text{emisiones N}_2\text{O} \times \text{PCG N}_2\text{O})$		
Equivalencias:	1 ton= 1 000 Kg. 1 Gg= 1 000 000 Kg. 1 ton= 0.004184 TJ.		
Fuente de datos:	Encuestas diseñadas comercio/instituciones e industria (2016). Instituto Nacional de Estadística y Censos, INEC (2000-2011): <ul style="list-style-type: none"> • Censo Nacional Población y Vivienda, 2280-9280. Arturo Molina (2015): <ul style="list-style-type: none"> • Balance energético nacional 2013. 		

Fuente de datos:	Dirección Sectorial de Energía, DSE (2009) <ul style="list-style-type: none"> • Memoria estadística del Sector Energía. Instituto Meteorológico Nacional, IMN (2016). <ul style="list-style-type: none"> • Factor de emisión, potencial de calentamiento global e incertidumbre. Panel Intergubernamental de Expertos, IPCC (2006). <ul style="list-style-type: none"> • Factor de emisión e incertidumbre. 																																													
Operación matemática:	<p>Emisiones ton CO₂e</p> $= (CO_2[(gasolina \times 2.231) + (diésel \times 2.613) + (búnker \times 0.138) + (leña \times 112\ 000) + (carbón \times 112\ 000) + (GLP \times 1.611)]) + (CH_4[(gasolina \times 0.346) + (diésel \times 0.382) + (búnker \times 3.101) + (leña \times 300) + (carbón \times 200) + (GLP \times 0.139) \times 21]) + (N_2O[(gasolina \times 0.02211) + (diésel \times 0.02442) + (búnker \times 0.02769) + (leña \times 4) + (carbón \times 4) + (GLP \times 0.002745) \times 310]) = 62\ 493$ <p>Emisiones Gg CO₂e = $\frac{emisiones\ ton\ CO_2e}{1000} = 62$</p>																																													
Incertidumbre	<p><u>Dato de actividad:</u> 5% según la muestra tomada.</p> <p><u>Factores de emisión:</u></p> <table border="1" data-bbox="444 957 1084 1663"> <thead> <tr> <th>Tipo de Combustible</th> <th>Gas</th> <th>Incertidumbre (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">Gasolina</td> <td>CO₂</td> <td>5,89</td> </tr> <tr> <td>CH₄</td> <td>72</td> </tr> <tr> <td>N₂O</td> <td>71</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Diésel</td> <td>CO₂</td> <td>3,19</td> </tr> <tr> <td>CH₄</td> <td>71</td> </tr> <tr> <td>N₂O</td> <td>71</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Búnker</td> <td>CO₂</td> <td>3,65</td> </tr> <tr> <td>CH₄</td> <td>72</td> </tr> <tr> <td>N₂O</td> <td>71</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Leña</td> <td>CO₂</td> <td>85</td> </tr> <tr> <td>CH₄</td> <td>33</td> </tr> <tr> <td>N₂O</td> <td>37</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">GLP</td> <td>CO₂</td> <td>9,16</td> </tr> <tr> <td>CH₄</td> <td>72</td> </tr> <tr> <td>N₂O</td> <td>72</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Carbón</td> <td>CO₂</td> <td>85</td> </tr> <tr> <td>CH₄</td> <td>35</td> </tr> <tr> <td>N₂O</td> <td>30</td> </tr> </tbody> </table> <p><u>Incertidumbre combinada:</u></p> $Incertidumbre = \sqrt{[(Dato\ de\ actividad)^2] + (Factor\ de\ emisión^2)}$	Tipo de Combustible	Gas	Incertidumbre (%)	Gasolina	CO ₂	5,89	CH ₄	72	N ₂ O	71	Diésel	CO ₂	3,19	CH ₄	71	N ₂ O	71	Búnker	CO ₂	3,65	CH ₄	72	N ₂ O	71	Leña	CO ₂	85	CH ₄	33	N ₂ O	37	GLP	CO ₂	9,16	CH ₄	72	N ₂ O	72	Carbón	CO ₂	85	CH ₄	35	N ₂ O	30
Tipo de Combustible	Gas	Incertidumbre (%)																																												
Gasolina	CO ₂	5,89																																												
	CH ₄	72																																												
	N ₂ O	71																																												
Diésel	CO ₂	3,19																																												
	CH ₄	71																																												
	N ₂ O	71																																												
Búnker	CO ₂	3,65																																												
	CH ₄	72																																												
	N ₂ O	71																																												
Leña	CO ₂	85																																												
	CH ₄	33																																												
	N ₂ O	37																																												
GLP	CO ₂	9,16																																												
	CH ₄	72																																												
	N ₂ O	72																																												
Carbón	CO ₂	85																																												
	CH ₄	35																																												
	N ₂ O	30																																												

Incertidumbre	Contribución a la varianza por la categoría Contribución a la varianza $= (Incertidumbre \times Emisiones)^2$ $\times (total\ de\ emisiones\ del\ subsector)^{-2} = 1052$														
Control de calidad	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Variable</th> <th>Puntaje</th> <th>Clasificación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Consumo de combustible</td> <td>4</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>Factor de emisión IMN</td> <td>3</td> <td>B</td> </tr> <tr> <td>Factor de emisión IPCC</td> <td>2</td> <td>C</td> </tr> </tbody> </table>			Variable	Puntaje	Clasificación	Consumo de combustible	4	A	Factor de emisión IMN	3	B	Factor de emisión IPCC	2	C
Variable	Puntaje	Clasificación													
Consumo de combustible	4	A													
Factor de emisión IMN	3	B													
Factor de emisión IPCC	2	C													
Memoria de Cálculo															
Sector:	Manejo de Residuos														
Subsector:	Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR)														
Tipo de fuente de emisión:	Área														
Descripción:	Abarcan las emisiones de generadas por las plantas de tratamiento especialmente anaerobias e ineficiencias de las aerobias, que existen en el cantón.														
Contaminantes:	Metano (CH ₄).														
Metodología:	<p>Emisiones ton CH₄</p> $= población \times factor\ de\ descarga \times DBO_5$ $\times (1 - fracción\ de\ DBO_5\ removida\ en\ tratamiento\ primario)$ $\times máxima\ capacidad\ de\ producción\ de\ metano$ $\times Factor\ de\ corrección\ anaerobio\ o\ aerobio \times 365,25$ $\times 10^{-3}$ <p>Factor de descarga para industria y comercio: 1,25. DBO₅: según el reporte operacional o por defecto 0,090. Fracción de DBO₅ removida en tratamiento primario: 0,325. Máxima capacidad de producción de metano: 0,6. Factor de corrección anaerobio: 0,8. Factor de corrección aerobio: 0,3.</p> <p>Emisiones ton CO₂e</p> $= emisiones\ CH_4 \times Potencial\ calentamiento\ global$ <p>Emisiones Gg CO₂e = emisiones ton CO₂e ÷ 1000</p>														
Equivalencias:	1 Gg= 1 000 ton														
Fuente de datos:	Encuestas diseñadas comercio/instituciones e industria (2016). Ministerio de Salud (2013-2014): <ul style="list-style-type: none"> Área Rectora de Salud Belén-Flores. Regulación, ars.belen@misalud.go.cr. Municipalidad de Belén (2014). <ul style="list-style-type: none"> Unidad de Alcantarillado Sanitario, Coordinadora. Ing. Mayela Céspedes Mora. 2587-0000, ingenieriasanitaria@belen.go.cr. Instituto Meteorológico Nacional, IMN (2016). <ul style="list-style-type: none"> Factores de emisión y potencial de calentamiento global. 														

<p>Operación matemática:</p>	<p>Emisiones ton CH₄ = [Industria[anaerobio (población × 1,25 × DBO₅ × (1 – 0,325) × 0,6 × 0,8 × 365,25 × 10⁻³)] + [aerobio(población × 1,25 × DBO₅ × (1 – 0,325) × 0,6 × 0,3 × 365,25 × 10⁻³)] + [Comercio[anaerobio (población × 1,25 × DBO₅ × (1 – 0,325) × 0,6 × 0,8 × 365,25 × 10⁻³)] + [aerobio(población × 1,25 × DBO₅ × (1 – 0,325) × 0,6 × 0,3 × 365,25 × 10⁻³)] + [Residencial[anaerobio (población × 1,25 × DBO₅ × (1 – 0,325) × 0,6 × 0,8 × 365,25 × 10⁻³)] + [aerobio(población × 1,25 × DBO₅ × (1 – 0,325) × 0,6 × 0,3 × 365,25 × 10⁻³)] = 3304</p> <p>Emisiones ton CO₂e = emisiones CH₄ × 21 = 69387</p> <p>Emisiones Gg CO₂e = 69387 ÷ 1000 = 69</p>																												
<p>Incertidumbre</p>	<p><u>Dato de actividad:</u> Dato de actividad:</p> <table border="1" data-bbox="451 743 1170 1146"> <thead> <tr> <th>Variable</th> <th>Incertidumbre (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Población</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>Gas de digestión</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>Factor industrial y comercial de descarga</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>DBO5</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>Eficiencia de destrucción de metano</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>Fracción de DBO5 removida en tratamiento primario</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>Máxima capacidad de producción de metano</td> <td>30</td> </tr> </tbody> </table> <p><u>Factores de emisión:</u></p> <table border="1" data-bbox="451 1220 1214 1367"> <thead> <tr> <th>Variable</th> <th>Gas</th> <th>Incertidumbre (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Factor de corrección anaerobio</td> <td>CH₄</td> <td>80</td> </tr> <tr> <td>Factor de corrección aerobio</td> <td>CH₄</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>Factor de emisión</td> <td>N₂O</td> <td>62</td> </tr> </tbody> </table> <p><u>Incertidumbre combinada:</u></p> <p>Incertidumbre = √[(Dato de actividad²) + (Factor de emisión²)]</p> <p><u>Contribución a la varianza por la categoría:</u></p> <p>Contribución a la varianza = (Incertidumbre × Emisiones)² × (total de emisiones del subsector)⁻² = 18343</p>	Variable	Incertidumbre (%)	Población	3	Gas de digestión	30	Factor industrial y comercial de descarga	20	DBO5	30	Eficiencia de destrucción de metano	30	Fracción de DBO5 removida en tratamiento primario	30	Máxima capacidad de producción de metano	30	Variable	Gas	Incertidumbre (%)	Factor de corrección anaerobio	CH ₄	80	Factor de corrección aerobio	CH ₄	60	Factor de emisión	N ₂ O	62
Variable	Incertidumbre (%)																												
Población	3																												
Gas de digestión	30																												
Factor industrial y comercial de descarga	20																												
DBO5	30																												
Eficiencia de destrucción de metano	30																												
Fracción de DBO5 removida en tratamiento primario	30																												
Máxima capacidad de producción de metano	30																												
Variable	Gas	Incertidumbre (%)																											
Factor de corrección anaerobio	CH ₄	80																											
Factor de corrección aerobio	CH ₄	60																											
Factor de emisión	N ₂ O	62																											

Control de calidad	Variable	Puntaje	Clasificación
	Población	4	A
	Gas de digestión	2	C
	Factor industrial y comercial de descarga	2	C
	DBO5	4	A
	DBO5 por defecto	2	C
	Eficiencia de destrucción de metano	2	C
	Fracción de DBO5 removida en tratamiento primario	2	C
	Máxima capacidad de producción de metano	2	C
	MCFaerobic	1	D
	MCFanaerobic	1	D
Memoria de Cálculo			
Sector:	Manejo de Residuos		
Subsector:	Tanques sépticos		
Tipo de fuente de emisión:	Área		
Descripción:	Contemplan las emisiones generadas según el tipo de servicio sanitario (tanque séptico, letrina, alcantarilla/cloaca) utilizados en la zona de estudio.		
Contaminantes:	Metano (CH ₄) y Óxido Nitroso (N ₂ O).		
Metodología:	<p>Descarga directa a cuerpos de agua</p> <p>Emisiones Kg CH₄ = población × factor de emisión</p> <p><u>Tanques sépticos</u></p> <p>Emisiones ton CH₄</p> $= (\text{población} \times \text{DBO}_5 \times \text{máxima capacidad de producción de metano} \times \text{factor de corrección} \times 365,25 \times 10^{-3}) + \text{Emisiones Kg CH}_4 \text{ descarga directa a cuerpos de agua}$ <p>DBO₅: 0,090 Kg / día. Máxima capacidad de producción de metano: 0,6. Factor de corrección: 0,5.</p> <p>Emisiones ton CO₂e</p> $= \text{Emisiones ton CH}_4 \times \text{Potencial de calentamiento global}$ <p>Emisiones Gg CO₂e = Emisiones ton CO₂ ÷ 1000</p>		
Equivalencias:	1 ton= 1 000 Kg. 1 Gg= 1 000 000 Kg.		
Fuente de datos:	Instituto Nacional de Estadística y Censos, INEC (2000-2011): <ul style="list-style-type: none"> • Censo Nacional Población y Vivienda, 2280-9280. 		

Fuente de datos:	Municipalidad de Belén (2014). <ul style="list-style-type: none"> Unidad de Alcantarillado Sanitario, Coordinadora. Ing. Mayela Céspedes Mora. 2587-0000, ingenieriasanitaria@belen.go.cr. Instituto Meteorológico Nacional, IMN (2016). <ul style="list-style-type: none"> Factores de emisión y potencial de calentamiento global. 								
Operación matemática:	<u>Descarga directa a cuerpos de agua</u> <i>Emisiones Kg CH₄</i> = población × 0,879 = 142 <u>Tanques sépticos</u> <i>Emisiones ton CH₄</i> = [[Residencial(población × 0,090 × 0,6 × 0,5 × 365,25 × 10 ⁻³)] + [Industrial(población × 0,090 × 0,6 × 0,5 × 365,25 × 10 ⁻³)] + [Comercial(población × 0,090 × 0,6 × 0,5 × 365,25 × 10 ⁻³)] + 0,142 = 249 <i>Emisiones ton CO₂e</i> = 249 × 21 = 5226 <i>Emisiones Gg CO₂e</i> = 5226 ÷ 1000 = 5								
Incertidumbre	<u>Descarga directa a cuerpos de agua</u> Dato de actividad: 5% fuente primaria. Factor de emisión: 10%. <u>Tanques sépticos</u> Dato de actividad: Dato de actividad: <table border="1" data-bbox="448 1119 1170 1304"> <thead> <tr> <th>Variable</th> <th>Incertidumbre (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Población</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>DBO5</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>Máxima capacidad de producción de metano</td> <td>30</td> </tr> </tbody> </table> Factores de emisión: 30% <u>Incertidumbre combinada:</u> <i>Incertidumbre</i> = √[(Dato de actividad ²) + (Factor de emisión ²)] <u>Contribución a la varianza por la categoría</u> <i>Contribución a la varianza</i> = (Incertidumbre × Emisiones) ² × (total de emisiones del subsector) ⁻² = 3022	Variable	Incertidumbre (%)	Población	3	DBO5	30	Máxima capacidad de producción de metano	30
Variable	Incertidumbre (%)								
Población	3								
DBO5	30								
Máxima capacidad de producción de metano	30								

Control de calidad	Variable	Puntaje	Clasificación
	Población	4	A
	DBO ₅ por defecto	2	C
	Máxima capacidad de producción de metano	2	C
	MCFseptic	1	D
	Factor de emisión IMN	3	B
Memoria de Cálculo			
Sector:	Agropecuario		
Subsector:	Fermentación entérica		
Tipo de fuente de emisión:	Área		
Descripción:	Contemplan las emisiones generadas por los herbívoros (vacunos, burros, caballos, gallinas, porcinos, etc.) en su proceso digestivo.		
Contaminantes:	Metano (CH ₄).		
Metodología:	$Emisión\ i = EF(T) \times \left[\frac{N(T)}{10^6} \right]$ <p>EF (T): factor de emisión para la población para cada subcategoría o categoría. N (T): cantidad de cabezas de la subcategoría o categoría.</p> $Emisión\ Kg\ CH_4 = \sum Emisión\ i$ $Emisión\ Kg\ CO_2e = Emisión\ CH_4 \times Potencial\ de\ Calentamiento\ Global$ $Emisiones\ ton\ CO_2e = Emisiones\ Kg\ CO_2e \div 1000$ $Emisiones\ Gg\ CO_2e = Emisiones\ Kg\ CO_2 \div 1000000$		
Equivalencias:	1 ton= 1 000 Kg 1 Gg= 1 000 000 Kg		
Fuente de datos:	Instituto Nacional de Estadística y Censos, INEC (2014): <ul style="list-style-type: none"> VI Censo Nacional Agropecuario, 2253-1875, cenagro2014@inec.go.cr. Alexander González González, 2016: <ul style="list-style-type: none"> Entrevista. Heredia, CR. Productor, 8366-1834. Instituto Meteorológico Nacional, IMN (2016). <ul style="list-style-type: none"> Factores de emisión y potencial de calentamiento global. Panel Intergubernamental de Expertos, IPCC (2007). <ul style="list-style-type: none"> Factores de emisión. 		
Operación matemática:	$Emisión\ Kg\ CH_4 = \left(vacas\ lecheras \left[85 \times \frac{33}{10^6} \right] \right) +$ $\left(vacas\ engorde \left[85,80 \times \frac{16}{10^6} \right] \right) + \left(toros\ engorde \left[111,70 \times \frac{31}{10^6} \right] \right) +$ $\left(terneras\ lecheras \left[20 \times \frac{1}{10^6} \right] \right) + \left(terneros\ engorde \left[19,48 \times \frac{9}{10^6} \right] \right) +$ $\left(vacas\ lecheras\ en\ crecimiento \left[48,69 \times \frac{1}{10^6} \right] \right) +$ $\left(vacas\ engorde\ en\ crecimiento \left[63,61 \times \frac{6}{10^6} \right] \right) +$ $\left(toros\ engorde\ en\ crecimiento \left[66,25 \times \frac{27}{10^6} \right] \right) + \left(caprinos \left[5 \times \frac{17}{10^6} \right] \right) +$ $\left(porcino \left[1 \times \frac{1}{10^6} \right] \right) + \left(burros \left[10 \times \frac{30}{10^6} \right] \right) + \left(equinos \left[18 \times \frac{1}{10^6} \right] \right) = 10459$		

Operación matemática:	$\text{Emisión Kg CO}_2\text{e} = 10459 \times 21 = 219637$ $\text{Emisiones ton CO}_2\text{e} = 219637 \div 1000 = 220$ $\text{Emisiones Gg CO}_2\text{e} = 219637 \div 1000000 = 0,2$											
Incertidumbre	<p>Dato de actividad: Dato de actividad: 10%</p> <p>Factores de emisión: 30%</p> <p>Incertidumbre combinada: $\text{Incertidumbre} = \sqrt{[(\text{Dato de actividad})^2] + (\text{Factor de emisión}^2)}$</p> <p>Contribución a la varianza por la categoría $\text{Contribución a la varianza} = (\text{Incertidumbre} \times \text{Emisiones})^2 \times (\text{total de emisiones del subsector})^{-2} = 0,05$</p>											
Control de calidad	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Variable</th> <th>Puntaje</th> <th>Clasificación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Número de cabezas producidas</td> <td>4</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>Factor de emisión IMN</td> <td>3</td> <td>B</td> </tr> </tbody> </table>	Variable	Puntaje	Clasificación	Número de cabezas producidas	4	A	Factor de emisión IMN	3	B		
Variable	Puntaje	Clasificación										
Número de cabezas producidas	4	A										
Factor de emisión IMN	3	B										
Memoria de Cálculo												
Sector:	Agropecuario											
Subsector:	Manejo del estiércol											
Tipo de fuente de emisión:	Área											
Descripción:	Abarcan las emisiones producidas durante el almacenamiento y el tratamiento del estiércol tanto sólido como líquido (orina).											
Contaminantes:	Metano (CH ₄).											
Metodología:	$\text{Emisión Kg CH}_4 \text{ estiércol} = \sum EF(T) \times N(T)$ <p>EF(T): factor de emisión para la población para cada subcategoría o categoría. N(T): cantidad de cabezas de la subcategoría o categoría.</p> $\text{Emisión Kg CO}_2\text{e} = \text{Emisión CH}_4 \times \text{Potencial de Calentamiento Global}$ $\text{Emisiones ton CO}_2\text{e} = \text{Emisiones Kg CO}_2\text{e} \div 1000$ $\text{Emisiones Gg CO}_2\text{e} = \text{Emisiones Kg CO}_2 \div 1000000$											
Equivalencias:	1 ton= 1 000 Kg 1 Gg= 1 000 000 Kg											
Fuente de datos:	Instituto Nacional de Estadística y Censos, INEC (2014): <ul style="list-style-type: none"> VI Censo Nacional Agropecuario, 2253-1875, cenagro2014@inec.go.cr. Alexander González González, 2016: <ul style="list-style-type: none"> Entrevista. Heredia, CR. Productor, 8366-1834. Instituto Meteorológico Nacional, IMN (2016). <ul style="list-style-type: none"> Factores de emisión y potencial de calentamiento global. Panel Intergubernamental de Expertos, IPCC (2007). <ul style="list-style-type: none"> Factores de emisión. 											

Operación matemática:	<p><i>Emisión Kg CH₄ estiércol</i></p> <p>= (vacas lecheras 33 × 1) + (vacas engorde 16 × 1) + (toros engorde 33 × 1) + (terneros 10 × 1) + (vacas en crecimiento 7 × 1) + (toros engorde en crecimiento 27 × 1) + (caprinos 17 × 0,17) + (porcino 1 × 1) + (gallinas ponedoras en seco 14 × 0,02) + (gallinas producción de huevo o carne 39000 × 0,02) + (burros 30 × 1,20) + (equinos 1 × 1,64) = 946</p> <p><i>Emisión Kg CO₂e</i> = 946 × 21 = 19862 <i>Emisiones ton CO₂e</i> = 19862 ÷ 1000 = 20 <i>Emisiones Gg CO₂e</i> = 19862 ÷ 1000000 = 0,02</p>											
Incertidumbre	<p><u>Dato de actividad:</u> Dato de actividad: 10%</p> <p><u>Factores de emisión:</u> 30%</p> <p><u>Incertidumbre combinada:</u> <i>Incertidumbre</i> = $\sqrt{[(\text{Dato de actividad})^2] + (\text{Factor de emisión}^2)}$</p> <p><u>Contribución a la varianza por la categoría</u> <i>Contribución a la varianza</i> = (Incertidumbre × Emisiones)² × (total de emisiones del subsector)⁻² = 0,0004</p>											
Control de calidad	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Variable</th> <th>Puntaje</th> <th>Clasificación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Número de cabezas producidas</td> <td>4</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>Factor de emisión IMN</td> <td>3</td> <td>B</td> </tr> </tbody> </table>	Variable	Puntaje	Clasificación	Número de cabezas producidas	4	A	Factor de emisión IMN	3	B		
Variable	Puntaje	Clasificación										
Número de cabezas producidas	4	A										
Factor de emisión IMN	3	B										
Memoria de Cálculo												
Sector:	Agropecuario											
Subsector:	Uso de fertilizantes (Encalado)											
Tipo de fuente de emisión:	Área											
Descripción:	Incluyen las emisiones generadas por el uso de fertilizantes en los cultivos del cantón.											
Contaminantes:	Óxido Nitroso (N ₂ O).											
Metodología:	<p><i>Emisiones CO₂ – C</i> = [M_{caliza} × EF_{caliza}] + [M_{dolomita} × EF_{dolomita}]</p> <p>M: cantidad anual de piedra caliza cálcica o dolomita aplicada como fertilizante. Revise las especificaciones del empaque. EF: los valores por defectos son 0,12 para piedra caliza y 0,13 para dolomita, los cuales equivalen al contenido (%) de carbono en cada uno.</p> <p><i>Emisiones Kg CO₂e</i> = Emisiones CO₂ – C × $\frac{44}{12}$ <i>Emisiones ton CO₂e</i> = Emisiones Kg CO₂e ÷ 1000 <i>Emisiones Gg CO₂e</i> = Emisiones Kg CO₂ ÷ 1000000</p>											
Equivalencias:	1 ton= 1 000 Kg 1 Gg= 1 000 000 Kg											

<p>Fuente de datos:</p>	<p>Instituto Nacional de Estadística y Censos, INEC (2014):</p> <ul style="list-style-type: none"> • VI Censo Nacional Agropecuario, 2253-1875, cenagro2014@inec.go.cr. <p>Martín González, 2016:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Entrevista. Heredia, CR. Productor, 2293-4312. <p>Ronald Hernández, 2016:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Entrevista. Heredia, CR. Asesor de café. Ministerio de Ganadería y Agricultura, 2237-6997. <p>Margarita Morales, 2016:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Entrevista. Cartago, CR. Productora, 8349-9081. <p>José Mora, 2016:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Entrevista. San José, CR. Productor, Feria del Agricultor de Tibás. <p>Walter Rojas, 2016:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Entrevista. Heredia, CR. Productor, 8322-4248. <p>Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria, INTA (2009):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Manual de recomendaciones técnicas, cultivo de maíz. Consultado en http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a00178.pdf. <p>Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria, DICTA (2005):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cultivo del apio1. <p>Ministerio de Agricultura y Ganadería, MAG (2016):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Biblioteca virtual 2014: Producción y protección vegetal, cultivos agrícolas. Consultado en http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/biblioteca-index.html. <p>Cecoopsemein RL (2012):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Guía técnica para el manejo del cultivo de chía en Nicaragua. Consultado en http://cecoopsemein.com/Manual_de_poduccion_de_CHIA_SALVIA_HI_SPANICA.pdf. <p>Organismo Cristiano de Desarrollo Integral de Honduras, OCDIH (s.f):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Guía técnica sobre cultivo de maracuyá. Consultado en http://www.ocdih.org/web/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=20&Itemid=6. <p>Instituto Meteorológico Nacional, IMN (2016).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Factores de emisión.
<p>Operación matemática:</p>	<p><i>Emisiones CO₂ – C</i></p> $= [cebolla (4664 \times 0,12)] + [chile (431,62 \times 0,12)] + [lechuga (4422,8571 \times 0,12)] + [maíz (6,0005 \times 0,12)] + [pepino (502,8571 \times 0,12)] + [tomate (3735 \times 0,12)] + [apio (38,5714 \times 0,12)] + [berenjena (71 \times 0,12)] + [culantro (2285,7143 \times 0,12)] + [zuchini (450 \times 0,12)] + [limón (44,33 \times 0,12)] + [mango (0,002 \times 0,12)] + [naranja (1,56 \times 0,12)] + [guanábana (0,4286 \times 0,13)] + [orégano (2714,2857 \times 0,12)] = 2324$ <p><i>Emisiones Kg CO₂e</i> = $2324 \times \frac{44}{12} = 8522$</p> <p><i>Emisiones ton CO₂e</i> = $8522 \div 1000 = 9$</p> <p><i>Emisiones Gg CO₂e</i> = $8522 \div 1000000 = 0,009$</p>

Incertidumbre	<p><u>Dato de actividad</u>: 10%</p> <p><u>Factores de emisión</u>: 50%</p> <p><u>Incertidumbre combinada</u>:</p> $\text{Incertidumbre} = \sqrt{[(\text{Dato de actividad})^2] + (\text{Factor de emisión}^2)}$ <p><u>Contribución a la varianza por la categoría</u></p> <p>Contribución a la varianza</p> $= (\text{Incertidumbre} \times \text{Emisiones})^2$ $\times (\text{total de emisiones del subsector})^{-2} = 0,0002$											
Control de calidad	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Variable</th> <th>Puntaje</th> <th>Clasificación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Consumo de cal</td> <td>3</td> <td>B</td> </tr> <tr> <td>Factor de emisión IMN</td> <td>3</td> <td>B</td> </tr> </tbody> </table>	Variable	Puntaje	Clasificación	Consumo de cal	3	B	Factor de emisión IMN	3	B		
Variable	Puntaje	Clasificación										
Consumo de cal	3	B										
Factor de emisión IMN	3	B										
Memoria de Cálculo												
Sector:	Agropecuario											
Subsector:	Uso de fertilizantes (Urea)											
Tipo de fuente de emisión:	Área											
Descripción:	Incluyen las emisiones generadas por el uso de fertilizantes en los cultivos del cantón.											
Contaminantes:	Óxido Nitroso (N ₂ O).											
Metodología:	<p>Emisiones CO₂ - C = M × FE</p> <p>M: cantidad anual de fertilización con urea.</p> <p>FE: los valores por defectos son 0,20 para urea, porcentaje equivalente a su peso atómico.</p> $\text{Emisiones Kg CO}_2\text{e} = \text{Emisiones CO}_2 - \text{C} \times \frac{44}{12}$ $\text{Emisiones ton CO}_2\text{e} = \text{Emisiones Kg CO}_2\text{e} \div 1000$ $\text{Emisiones Gg CO}_2\text{e} = \text{Emisiones Kg CO}_2 \div 1000000$											
Equivalencias:	<p>1 ton= 1 000 Kg</p> <p>1 Gg= 1 000 000 Kg</p>											
Fuente de datos:	<p>Instituto Nacional de Estadística y Censos, INEC (2014):</p> <ul style="list-style-type: none"> VI Censo Nacional Agropecuario, 2253-1875, cenagro2014@inec.go.cr. <p>Martín González, 2016:</p> <ul style="list-style-type: none"> Entrevista. Heredia, CR. Productor, 2293-4312. <p>Ronald Hernández, 2016:</p> <ul style="list-style-type: none"> Entrevista. Heredia, CR. Asesor de café. Ministerio de Ganadería y Agricultura, 2237-6997. <p>Margarita Morales, 2016:</p> <ul style="list-style-type: none"> Entrevista. Cartago, CR. Productora, 8349-9081. <p>José Mora, 2016:</p> <ul style="list-style-type: none"> Entrevista. San José, CR. Productor, Feria del Agricultor de Tibás. <p>Walter Rojas, 2016:</p> <ul style="list-style-type: none"> Entrevista. Heredia, CR. Productor, 8322-4248. 											

Fuente de datos:	<p>Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria, INTA (2009):</p> <ul style="list-style-type: none"> Manual de recomendaciones técnicas, cultivo de maíz. Consultado en http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a00178.pdf. <p>Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria, DICTA (2005):</p> <ul style="list-style-type: none"> Cultivo del apio1. <p>Ministerio de Agricultura y Ganadería, MAG (2016):</p> <ul style="list-style-type: none"> Biblioteca virtual 2014: Producción y protección vegetal, cultivos agrícolas. Consultado en http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/biblioteca-index.html. <p>Cecoopsemein RL (2012):</p> <ul style="list-style-type: none"> Guía técnica para el manejo del cultivo de chía en Nicaragua. Consultado en http://cecoopsemein.com/Manual_de_poduccion_de_CHIA_SALVIA_HISPANICA.pdf. <p>Organismo Cristiano de Desarrollo Integral de Honduras, OCDIH (s.f):</p> <ul style="list-style-type: none"> Guía técnica sobre cultivo de maracuyá. Consultado en http://www.ocdih.org/web/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=20&Itemid=6. <p>Centro de Desarrollo de Agronegocios (2003):</p> <ul style="list-style-type: none"> Manual de producción de camote. Consultado en https://hortintl.cals.ncsu.edu/sites/default/files/articles/Manual_de_Produccion_de_Camote.pdf. <p>Instituto Meteorológico Nacional, IMN (2016).</p> <ul style="list-style-type: none"> Factores de emisión. 									
Operación matemática:	<p><i>Emissiones CO₂ – C</i></p> $= [\text{camote}(6,75 \times 0,20)] + [\text{lechuga}(1,1057 \times 0,20)] + [\text{maíz}(1000,08 \times 0,20)] + [\text{apio}(83,5612 \times 0,20)] + [\text{chía}(179,7171 \times 0,20)] + [\text{culantro}(0,5714 \times 0,20)] + [\text{chayote}(0,0284 \times 0,20)] + [\text{guanábana}(0,8 \times 1,20)] + [\text{orégano}(0,6786 \times 0,20)] = 255$ <p><i>Emissiones Kg CO₂e</i> = $255 \times \frac{44}{12} = 937$</p> <p><i>Emissiones ton CO₂e</i> = $937 \div 1000 = 1$</p> <p><i>Emissiones Gg CO₂e</i> = $937 \div 1000000 = 0,001$</p>									
Incertidumbre	<p><u>Dato de actividad:</u> Dato de actividad: 10%</p> <p><u>Factores de emisión:</u> -50%</p> <p><u>Incertidumbre combinada:</u></p> <p><i>Incertidumbre</i> = $\sqrt{[(\text{Dato de actividad})^2] + (\text{Factor de emisión})^2}$</p> <p><u>Contribución a la varianza por la categoría</u></p> <p><i>Contribución a la varianza</i></p> $= (\text{Incertidumbre} \times \text{Emissiones})^2 \times (\text{total de emisiones del subsector})^{-2} = 0,000002$									
Control de calidad	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Variable</th> <th>Puntaje</th> <th>Clasificación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Consumo de úrea</td> <td>3</td> <td>B</td> </tr> <tr> <td>Factor de emisión IMN</td> <td>3</td> <td>B</td> </tr> </tbody> </table>	Variable	Puntaje	Clasificación	Consumo de úrea	3	B	Factor de emisión IMN	3	B
Variable	Puntaje	Clasificación								
Consumo de úrea	3	B								
Factor de emisión IMN	3	B								

Memoria de Cálculo	
Sector:	Agropecuario
Subsector:	Uso de fertilizantes (Suelos gestionados)
Tipo de fuente de emisión:	Área
Descripción:	Incluyen las emisiones generadas por el uso de fertilizantes en los cultivos del cantón.
Contaminantes:	Óxido Nitroso (N ₂ O).
Metodología:	<p>Emisiones N₂O = hectáreas de terreno sembrado × factor de emisión</p> <p>Emisión Kg CO₂e = (emisiones N₂O × potencial de calentamiento global) + Emisiones enclavado CO₂e + Emisiones úrea CO₂e</p> <p>Emisiones ton CO₂e = Emisiones Kg CO₂e ÷ 1000</p> <p>Emisiones Gg CO₂e = Emisiones Kg CO₂ ÷ 1000000</p>
Equivalencias:	1 ton= 1 000 Kg 1 Gg= 1 000 000 Kg
Fuente de datos:	<p>Instituto Nacional de Estadística y Censos, INEC (2014):</p> <ul style="list-style-type: none"> • VI Censo Nacional Agropecuario, 2253-1875, cenagro2014@inec.go.cr. <p>Martín González (2016):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Entrevista. Heredia, CR. Productor, 2293-4312. <p>Ronald Hernández (2016):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Entrevista. Heredia, CR. Asesor de café. Ministerio de Ganadería y Agricultura, 2237-6997. <p>Margarita Morales (2016):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Entrevista. Cartago, CR. Productora, 8349-9081. <p>José Mora (2016):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Entrevista. San José, CR. Productor, Feria del Agricultor de Tibás. <p>Walter Rojas (2016):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Entrevista. Heredia, CR. Productor, 8322-4248. <p>Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria, INTA (2009):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Manual de recomendaciones técnicas, cultivo de maíz. Consultado en http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a00178.pdf. <p>Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria, DICTA (2005):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cultivo del apio1. <p>Ministerio de Agricultura y Ganadería, MAG (2016):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Biblioteca virtual 2014: Producción y protección vegetal, cultivos agrícolas. Consultado en http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/biblioteca-index.html. <p>Cecoopesemein RL (2012):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Guía técnica para el manejo del cultivo de chíca en Nicaragua. Consultado en http://cecoopsemein.com/Manual_de_poduccion_de_CHIA_SALVIA_HI_SPANICA.pdf.

	<p>Organismo Cristiano de Desarrollo Integral de Honduras, OCDIH (s.f):</p> <ul style="list-style-type: none"> Guía técnica sobre cultivo de maracuyá. Consultado en http://www.ocdih.org/web/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=20&Itemid=6. <p>Instituto Meteorológico Nacional, IMN (2016).</p> <ul style="list-style-type: none"> Factores de emisión y potencial de calentamiento global. 									
Operación matemática:	<p>Emisiones N₂O</p> $= [camote(0,15 \times 0,0015)] + [cebolla(5,6023 \times 2,61)] + [chile(0,83 \times 0,0083)] + [frijol(1,9690 \times 0,0197)] + [lechuga(1,5475 \times 0,0155)] + [maíz(5,0004 \times 0,05)] + [pepino(0,88 \times 0,88)] + [tomate(4,4692 \times 0,0447)] + [yuca(0,0650 \times 0,0007)] + [apio(0,2 \times 0,0020)] + [berejena(0,19 \times 0,0019)] + [chía(0,6989 \times 0,0070)] + [culantro(0,8004 \times 0,008)] + [maní(1,19 \times 0,0192)] + [vainica(0,5 \times 0,005)] + [zuchini(0,75 \times 0,0075)] + [plantas aromáticas(0,32 \times 0,0032)] + [café sin sombra (21,1835 \times 2,92)] + [chayote(0,0005 \times 0,0000)] + [limón(0,0620 \times 0,0006)] + [camote(0,15 \times 0,0015)] + [mango(0,0010 \times 0,0000)] + [naranja(0,0020 \times 0,0000)] + [guanábana(0,0010 \times 0,0000)] + [maracuyá(0,75 \times 0,0075)] + [orégano(0,95 \times 0,0095)] + [otras frutas tropicales(0,0008 \times 0,0000)] + [plantas vivas(0,25 \times 0,0025)] + [flores(0,125 \times 0,0013)] + [follajes(0,125 \times 0,0013)] = 77,1$ <p>Emisión Kg CO₂e = (77,1 × 310) + 8522 + 937 = 33353</p> <p>Emisiones ton CO₂e = 33353 ÷ 1000 = 33</p> <p>Emisiones Gg CO₂e = 33353 ÷ 1000000 = 0,03</p>									
	<p>Dato de actividad: <u>Dato de actividad: 10%</u></p> <p>Factores de emisión: <u>10%</u></p> <p><u>Incertidumbre combinada:</u></p> $Incertidumbre = \sqrt{[(Dato\ de\ actividad)^2] + (Factor\ de\ emisión^2)}$ <p><u>Contribución a la varianza por la categoría</u></p> <p>Contribución a la varianza</p> $= (Incertidumbre \times Emisiones)^2 \times (total\ de\ emisiones\ del\ subsector)^{-2} = 0,0001$									
Control de calidad	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Variable</th> <th>Puntaje</th> <th>Clasificación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Hectáreas sembradas</td> <td>4</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>Factor de emisión IMN</td> <td>3</td> <td>B</td> </tr> </tbody> </table>	Variable	Puntaje	Clasificación	Hectáreas sembradas	4	A	Factor de emisión IMN	3	B
Variable	Puntaje	Clasificación								
Hectáreas sembradas	4	A								
Factor de emisión IMN	3	B								
Memoria de Cálculo										
Sector:	Procesos Industriales y uso de productos (IPPU)									
Subsector:	Sustancias que agotan la capa de ozono									
Descripción:	Uso de refrigerantes contenidos en equipos de refrigeración, aire acondicionado, chillers, cilindros de dióxido de carbono y extintores de incendios.									

Contaminantes:	Hidrofluorocarbonos (HFC), Perfluorocarbonos (PFC) y Dióxido de carbono (CO ₂).		
Metodología:	<p>Emisiones ton CO₂e = cantidad de recargas al año × cantidad Kg de refrigerante × tasa de fuga × potencial de calentamiento global por refrigerante × factor de conversión</p> <p>Emisiones Gg CO₂e = emisiones ton CO₂e ÷ 1000</p>		
Equivalencias:	1 ton= 1 000 Kg. 1 Gg= 1 000 000 Kg. 1 Lb= 0,453592 Kg. 1 Oz= 0,0283495 Kg. 1000 g= 1 Kg.		
Fuente de datos:	Encuestas diseñadas comercio/instituciones e industria (2016). Panel Intergubernamental de Expertos, IPCC (2006). <ul style="list-style-type: none"> • Potencial de calentamiento global. Instituto Meteorológico Nacional, IMN (2016). <ul style="list-style-type: none"> • Potencial de calentamiento global. Panel Intergubernamental de Expertos, IPCC (2007). <ul style="list-style-type: none"> • Potencial de calentamiento Global horizonte a 100 años. Consultado en https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html. UNEP (2002). <ul style="list-style-type: none"> • Protocolo de Montreal. Reporte de refrigeración, aire acondicionado y calefacción del Comité de opciones técnicas. Consultado en http://ozone.unep.org/Assessment_Panels/TEAP/Reports/RTOC/RTOC2002.pdf. 		
Operación matemática:	<p>Emisiones ton CO₂e = +[extintores (1 × cantidad de refrigerante × 0,05 × 1 × 0,001)] + [cilindros (1 × cantidad de refrigerante × 1 × 0,001)] = 3539</p> <p>Emisiones Gg CO₂e = 3539 ÷ 1000 = 3</p>		
Incertidumbre	<u>Dato de actividad:</u> 5% fuente primaria. <u>Factores de emisión:</u> 15% <u>Incertidumbre combinada:</u> Incertidumbre = √[(Dato de actividad ²) + (Factor de emisión ²)] <u>Contribución a la varianza por la categoría:</u> Contribución a la varianza = (Incertidumbre × Emisiones) ² × (total de emisiones del subsector) ⁻² = 254		
Control de calidad	Variable	Puntaje	Clasificación
	Mantenimiento	4	A
	Carga de refrigerante	4	A
	Tasa de fuga	2	C

1.2. Emisiones indirectas

Memoria de Cálculo												
Sector:	Energía											
Subsector:	Consumo de electricidad											
Tipo de fuente de emisión:	Área											
Descripción:	Contienen las emisiones indirectas de procedentes del consumo de electricidad en el cantón, las cuales se generan en las plantas térmicas producto de la quema de combustibles fósiles para la generación de electricidad.											
Contaminantes:	Dióxido de carbono (CO ₂).											
Metodología:	<p>Emisiones Kg CO₂e $= \text{consumo total año base (kWh)} \times \text{Factor de emisión}$ Emisiones ton CO₂e = Emisiones Kg CO₂e ÷ 1000 Emisiones Gg CO₂e = Emisiones Kg CO₂ ÷ 1000000</p>											
Equivalencias:	1 ton= 1 000 Kg 1 Gg= 1 000 000 Kg											
Fuente de datos:	Compañía Nacional de Fuerza y Luz, CNFL (2016): <ul style="list-style-type: none"> Unidad Sucursal de Heredia, contacto: Carolina Cruz Venegas, 2295-5897, cacruz@cnfl.go.cr. Instituto Meteorológico Nacional, IMN (2016).											
Operación matemática:	<p>Emisiones Kg CO₂e = 65548022 × 0,13 = 8 521 243 Emisiones ton CO₂e = 8 521 243 ÷ 1000 = 8521 Emisiones Gg CO₂e = 8 521 243 ÷ 1000000 = 9</p>											
Incertidumbre	<p>Dato de actividad: 3%. Factor de emisión:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Gas</th> <th>Incertidumbre (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CO₂</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>CH₄</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>N₂O</td> <td>50</td> </tr> </tbody> </table> <p>Incertidumbre combinada: Incertidumbre = $\sqrt{[(\text{Dato de actividad})^2] + (\text{Factor de emisión}^2)}$</p> <p>Contribución a la varianza por la categoría: Contribución a la varianza $= (\text{Incertidumbre} \times \text{Emisiones})^2$ $\times (\text{total de emisiones del subsector})^{-2} = 81$</p>			Gas	Incertidumbre (%)	CO ₂	7	CH ₄	50	N ₂ O	50	
Gas	Incertidumbre (%)											
CO ₂	7											
CH ₄	50											
N ₂ O	50											
Control de calidad	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Variable</th> <th>Puntaje</th> <th>Clasificación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Consumo eléctrico</td> <td>4</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>Factor de emisión IMN</td> <td>3</td> <td>B</td> </tr> </tbody> </table>	Variable	Puntaje	Clasificación	Consumo eléctrico	4	A	Factor de emisión IMN	3	B		
Variable	Puntaje	Clasificación										
Consumo eléctrico	4	A										
Factor de emisión IMN	3	B										
Memoria de Cálculo												
Sector:	Manejo de Residuos											
Subsector:	Relleno sanitario											
Tipo de fuente de emisión:	Fijas.											

Descripción:	Incluyen las emisiones producidas por la descomposición de la materia orgánica y otros.		
Contaminantes:	Metano (CH ₄).		
Metodología:	$\text{Emisiones Kg CH}_4 = \text{cantidad de residuos} \times \text{factor de emisión}$ $\text{Emisiones Kg CO}_2\text{e} = \text{emisiones CH}_4 \times \text{potencial de calentamiento global}$ $\text{Emisiones ton CO}_2\text{e} = \text{Emisiones Kg CO}_2\text{e} \div 1000$ $\text{Emisiones Gg CO}_2\text{e} = \text{Emisiones Kg CO}_2 \div 1000000$		
Equivalencias:	1 ton= 1 000 Kg. 1 Gg= 1 000 000 Kg.		
Fuente de datos:	Encuestas diseñadas comercio/instituciones e industria (2016). Municipalidad de Belén (2013). <ul style="list-style-type: none"> Unidad Ambiental, Gestor de Residuos. MSc. Esteban Salazar Acuña. 2587-0000, reciclaje@belen.go.cr. Instituto Meteorológico Nacional, IMN (2016). <ul style="list-style-type: none"> Factores de emisión y potencial de calentamiento global. 		
Operación matemática:	$\text{Emisiones Kg CH}_4 = \text{cantidad de residuos} \times 0,0581 = 586\,333,33$ $\text{Emisiones Kg CO}_2\text{e} = 586\,333,33 \times 21 = 12\,313\,000$ $\text{Emisiones ton CO}_2\text{e} = \text{Emisiones Kg CO}_2\text{e} \div 1000 = 12313$ $\text{Emisiones Gg CO}_2\text{e} = \text{Emisiones Kg CO}_2 \div 1000000 = 12$		
Incertidumbre	<u>Industria y comercio</u> Dato de actividad: 5% Factores de emisión: 10% <u>Recolección municipal</u> Dato de actividad: 3% Factor de emisión: 10% <u>Incertidumbre combinada:</u> $\text{Incertidumbre} = \sqrt{[(\text{Dato de actividad}^2) + (\text{Factor de emisión}^2)]}$ <u>Contribución a la varianza por la categoría:</u> Contribución a la varianza $= (\text{Incertidumbre} \times \text{Emisiones})^2$ $\times (\text{total de emisiones del subsector})^{-2} = 219$		
Control de calidad	Variable	Puntaje	Clasificación
	Cantidad de residuos	4	A
	Factor de emisión	3	B
Memoria de Cálculo			
Sector:	Manejo de Residuos		
Subsector:	Tratamiento biológico		
Tipo de fuente de emisión:	Fijas.		
Descripción:	Incluyen las emisiones producidas por la descomposición de la materia orgánica y otros (compostaje).		
Contaminantes:	Metano (CH ₄) y Óxido Nitroso (N ₂ O).		

Metodología:	<p>Emisiones Kg CH₄ = cantidad de residuos × factor de emisión Emisiones Kg N₂O = cantidad de residuos × factor de emisión Emisiones Kg CO₂e = (emisiones CH₄ × potencial de calentamiento global) + (emisiones N₂O × potencial de calentamiento global) Emisiones ton CO₂e = Emisiones Kg CO₂e ÷ 1000 Emisiones Gg CO₂e = Emisiones Kg CO₂ ÷ 1000000</p>											
Equivalencias:	<p>1 ton= 1 000 Kg. 1 Gg= 1 000 000 Kg.</p>											
Fuente de datos:	<p>Encuestas diseñadas comercio/instituciones e industria (2016). Instituto Meteorológico Nacional, IMN (2016).</p> <ul style="list-style-type: none"> Factores de emisión y potencial de calentamiento global. 											
Operación matemática:	<p>Emisiones Kg CH₄ = cantidad de residuos × 4 = 798 Emisiones Kg N₂O = cantidad de residuos × 0,3 = 421 Emisiones Kg CO₂e = (emisiones CH₄ × 21) + (emisiones N₂O × 310) = 757000 Emisiones ton CO₂e = Emisiones Kg CO₂e ÷ 1000 = 757 Emisiones Gg CO₂e = Emisiones Kg CO₂ ÷ 1000000 = 0,8</p>											
	<p><u>Dato de actividad:</u> 5% <u>Factores de emisión:</u> 50%</p> <p><u>Incertidumbre combinada:</u> Incertidumbre = √[(Dato de actividad²) + (Factor de emisión²)]</p> <p><u>Contribución a la varianza por la categoría:</u> Contribución a la varianza = (Incertidumbre × Emisiones)² × (total de emisiones del subsector)⁻² = 1253</p>											
Control de calidad	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Variable</th> <th>Puntaje</th> <th>Clasificación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cantidad de residuos</td> <td>4</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>Factor de emisión</td> <td>3</td> <td>B</td> </tr> </tbody> </table>	Variable	Puntaje	Clasificación	Cantidad de residuos	4	A	Factor de emisión	3	B		
Variable	Puntaje	Clasificación										
Cantidad de residuos	4	A										
Factor de emisión	3	B										

1.3. Otras emisiones

Memoria de Cálculo	
Sector:	Procesos Industriales y uso de productos (IPPU)
Subsector:	Sustancias que agotan la capa de ozono
Descripción:	Uso de refrigerantes contenidos en equipos de refrigeración, aire acondicionado, chillers, cilindros de dióxido de carbono y extintores de incendios.
Contaminantes:	Hidrofluorocarbonos (HFC), Perfluorocarbonos (PFC) y Dióxido de carbono (CO ₂).
Metodología:	<p>Emisiones ton CO₂e = cantidad de recargas al año × cantidad Kg de refrigerante × tasa de fuga × potencial de calentamiento global por refrigerante × factor de conversión</p> <p>Emisiones Gg CO₂e = emisiones ton CO₂e ÷ 1000</p>

Equivalencias:	<p>1 ton= 1 000 Kg. 1 Gg= 1 000 000 Kg. 1 Lb= 0,453592 Kg. 1 Oz= 0,0283495 Kg. 1000 g= 1 Kg.</p>
Fuente de datos:	<p>Encuestas diseñadas comercio/instituciones e industria (2016). Panel Intergubernamental de Expertos, IPCC (2006). <ul style="list-style-type: none"> Potencial de calentamiento global. Instituto Meteorológico Nacional, IMN (2016). <ul style="list-style-type: none"> Potencial de calentamiento global. Panel Intergubernamental de Expertos, IPCC (2007). <ul style="list-style-type: none"> Potencial de calentamiento Global horizonte a 100 años. Consultado en https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html. UNEP (2002). <ul style="list-style-type: none"> Protocolo de Montreal. Reporte de refrigeración, aire acondicionado y calefacción del Comité de opciones técnicas. Consultado en http://ozone.unep.org/Assessment_Panels/TEAP/Reports/RTOC/RTOC2002.pdf. </p>
Operación matemática:	<p><i>Emisiones ton CO₂e</i></p> $ \begin{aligned} &= [\text{Aire acondicionado } (1 \times \text{cantidad de refrigerante} \\ &\quad \times 0,05 \times 1725 \times 0,001)] \\ &+ [\text{Refrigeración } (1 \times \text{cantidad de refrigerante} \times 0,3 \\ &\quad \times 1810 \times 0,001) \\ &+ (1 \times \text{cantidad de refrigerante} \times 0,3 \times 1300 \times 0,001) \\ &+ (1 \times \text{cantidad de refrigerante} \times 0,3 \times 3260 \times 0,001) \\ &+ (1 \times \text{cantidad de refrigerante} \times 0,3 \times 1 \times 0,001) \\ &+ (1 \times \text{cantidad de refrigerante} \times 0,3 \times 10900 \times 0,001)] \\ &+ [\text{Congelación } (1 \times \text{cantidad de refrigerante} \times 0,05 \\ &\quad \times 3260 \times 0,001) \\ &+ (1 \times \text{cantidad de refrigerante} \times 0,3 \times 3900 \times 0,001) \\ &+ (1 \times \text{cantidad de refrigerante} \times 0,3 \times 1300 \times 0,001) \\ &+ (1 \times \text{cantidad de refrigerante} \times 0,3 \times 10900 \times 0,001)] \\ &+ [\text{Chillers } (1 \times \text{cantidad de refrigerante} \times 0,05 \times 1810 \\ &\quad \times 0,001) \\ &+ (1 \times \text{cantidad de refrigerante} \times 0,3 \times 1725 \times 0,001) \\ &+ (1 \times \text{cantidad de refrigerante} \times 0,3 \times 1300 \times 0,001)] \\ &+ [\text{votators } (1 \times \text{cantidad de refrigerante} \times 0,05 \times 3900 \\ &\quad \times 0,001) \\ &+ (1 \times \text{cantidad de refrigerante} \times 0,3 \times 1300 \times 0,001) \\ &+ (1 \times \text{cantidad de refrigerante} \times 0,3 \times 1810 \times 0,001)] \\ &+ [\text{cuarto frío } (1 \times \text{cantidad de refrigerante} \times 0,05 \times 3900 \\ &\quad \times 0,001) \\ &+ (1 \times \text{cantidad de refrigerante} \times 0,3 \times 1810 \times 0,001)] \\ &= 1866 \end{aligned} $ <p><i>Emisiones Gg CO₂e = 1866 ÷ 1000 = 2</i></p>

Incertidumbre	<p><u>Dato de actividad</u>: 5% fuente primaria. <u>Factores de emisión</u>: 15%</p> <p><u>Incertidumbre combinada</u>: <i>Incertidumbre</i> = $\sqrt{[(\text{Dato de actividad}^2) + (\text{Factor de emisión}^2)]}$</p> <p><u>Contribución a la varianza por la categoría</u>: <i>Contribución a la varianza</i> = $(\text{Incertidumbre} \times \text{Emisiones})^2$ $\times (\text{total de emisiones del subsector})^{-2} = 51$</p>		
Control de calidad	Variable	Puntaje	Clasificación
	Mantenimiento	4	A
	Carga de refrigerante	4	A
	Tasa de fuga	2	C

2. Potencial de reducción

2.1. Emisiones directas

Memoria de Cálculo	
Sector:	Energía
Subsector:	Transporte (en carretera).
Descripción:	Esta categoría incluye aquellos vehículos que transitan por carretera como automóviles, taxis, buses, motocicletas, carga liviana, carga 2 ejes, carga 3 ejes y carga 5 ejes; debido a la quema de combustible para su funcionamiento.
Contaminantes:	Dióxido de carbono (CO ₂), Metano (CH ₄) y Óxido nitroso (N ₂ O).
Metodología:	$\text{Combustible}_{a,b} = \frac{\text{distancia recorrida}_{a,b}}{\text{rendimiento}_{a,b}}$ $\text{Emisiones Kg}_{CO_2,CH_4,N_2O} = \text{Combustible}_{a,b} \times \text{Factor de emisión}_{a,b} \times \text{fracción de biocombustible}$ $\text{Emisiones CO}_2e = \text{Emisiones CO}_2 + (\text{Emisiones CH}_4 \times \text{PCG CH}_4) + (\text{Emisiones N}_2\text{O} \times \text{PCG N}_2\text{O})$
Equivalencias:	1 ton= 1 000 Kg. 1 Gg= 1 000 000 Kg. 1 Gal= 3.65 L. 1 Km= 0.62 millas.
Fuente de datos:	Municipalidad de Belén (2015). <ul style="list-style-type: none"> Unidad de Obras, Coordinador. Ing. Óscar Hernández Ramírez. 2587-0135, obras@belen.go.cr. Allen, J. (2008). <ul style="list-style-type: none"> Proyecto de Gestión y evaluación de la red vial cantonal de la Municipalidad de Belén. Proyecto n° LM-PI-GM-01-08.

<p>Fuente de datos:</p>	<p>Municipalidad de Belén (2013).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Conteos de flujo vehicular cantonal. <p>Moukhallaleh, C. (2015).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Análisis de emisiones de gases por fuentes móviles en las ciudades de Alajuela, Cartago y Heredia. Trabajo de graduación. <p>Jara, A. (2015).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Resultado del Plan Especial de Investigación de valores de vehículos para la actualización de ecuación de valoración utilizada en la lista de valores de vehículos (PEIVAH). MH.SVT-084-2015. Consultado en http://www.hacienda.go.cr/docs/5655f0b47f83f_Resultados%20del%20Plan%20investigacion%20de%20vehiculos%20valores%202015.pdf. <p>US Government. (s.f).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Búsqueda de rendimiento por año y modelo de automóviles. Consultado en http://www.fueleconomy.gov/feg/PowerSearch.do?action=nomform&path=1&year1=1984&year2=2014&make=Toyota&model=Van%204WD%20(cargo)&srctype=yym. <p>Coto, J. (2014).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Análisis de velocidad y tiempos de viaje sobre las principales rutas en el cantón de Belén. <p>Instituto Meteorológico Nacional, IMN (2016).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Factor de emisión, potencial de calentamiento global e incertidumbre. <p>Panel Intergubernamental de Expertos, IPCC (2006).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Factor de emisión con ajuste para biocombustibles e incertidumbre. <p>Ministerio de Ambiente y Energía, MINAE (2008).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Porcentajes de biocombustibles en diésel según el Programa Nacional de Biocombustibles. • Porcentajes de biocombustibles en gasolina según el Plan Nacional de Energía.
<p>Operación matemática:</p>	<p>Selección de sitios más transitados según la Unidad de Obras de la Municipalidad.</p> <p>Proyección:</p> <p>3. Selección de sitios en común de los proyectos 2008 y 2013.</p> <p>4. Proyección (fracción) = $\frac{\text{Promedio diferencia 2008 y 2013} \times 1}{\text{total de vehículos 2013}} = 0,08$</p> <p>Tráfico promedio diario (TPD):</p> <p>4. Selección de sitios en común en los proyectos 2008 y 2013.</p> <p>5. Estimación de información faltante del sitio de interés, promedio entre la cantidad de vehículos por sitio de estudio.</p> <p>6. Sumatoria de vehículos livianos y pesados.</p> <p>Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA):</p> <p>5. Uso del factor diario de corrección (FDC) para la ciudad de Heredia.</p>

Operación matemática:	<p>6. Sitio de interés x FDC.</p> <p>7. Promedio por sitio de interés=17967.</p> <p>8. TPDA x tipo de vehículo.</p> <p>Ajuste en campo de la tipología vehicular cantonal</p> <p>5. Grabación del comportamiento vial en los sitios con información faltante.</p> <p>6. Contabilidad de vehículos y clasificación de vehículos.</p> <p>7. Determinar la proporción de tipología vehicular.</p> <p>8. Herramienta de Pareto: selección del 80% de la proporción vehicular= automóviles.</p> <p>Selección de edad y marcas de automóviles:</p> <p>4. 1134 vehículos de edad entre 1984 al 2014.</p> <p>5. Herramienta Pareto: selección de las marcas que cubren el 80% de los vehículos en el país= Toyota, Hyundai, Nissan, Suzuki, Honda y Mitsubishi.</p> <p>6. Distribución de edades por marca.</p> <p>Consulta del rendimiento Galones cada 100 millas por marca y año.</p> <p>Sumatoria de los Km más transitados en el cantón=7,372.</p> <p>Cantidad de automóviles por tipo de combustible:</p> <p>3. TPDA (14949) x diésel (0,07)= 1 046.</p> <p>4. TPDA (14949 x gasolina (0,93)= 13 902.</p> <p>Rendimiento promedio L/0,0062 Km= 16,30.</p> $Combustible_{diesel} = 1046 \times \frac{16,30 \times 7,372}{0,0062} = 12574639$ $Combustible_{gasolina} = 13902 \times \frac{16,30 \times 7,372}{0,0062} = 167063065$ <p>Emisiones Kg_{CO2,CH4,N2O}</p> $= [(12574639 \times 2,613 \times 0,15) + (167063065 \times 2,231 \times 0,05)] + [(12574639 \times 0,149 \times 0,15) + (167063065 \times 1,176 \times 0,05)] + [(12574639 \times 0,154 \times 0,15) + (167063065 \times 0,116 \times 0,05)] = 23575879$ <p>Emisiones CO₂e (ton/año)</p> $= \frac{23564515 + (10104 \times 21) + (1259 \times 310)}{1000} = 24167$ <p>Emisiones CO₂e (Gg/año)</p> $= \frac{23564515 + (10104 \times 21) + (1259 \times 310)}{1000000} = 24$
------------------------------	---

Incertidumbre	<u>Dato de actividad:</u>		
	Variable	Incertidumbre (%)	
	TPD08	5	
	TPD13	5	
	FDC	15	
	Distribución vehicular	5	
	Tipo de combustible	15	
	Base	5	
	Rendimiento	15	
	Kilometraje cantonal	5	
Incertidumbre	<u>Factores de emisión:</u>		
	Tipo de Combustible	Gas	Incertidumbre (%)
	Gasolina	CO ₂	4,59
		CH ₄	74
		N ₂ O	48
	Diésel	CO ₂	3,12
		CH ₄	62
		N ₂ O	70
	Ajuste para biocombustibles	5	
	<u>Incertidumbre combinada:</u>		
$\mathbf{Incertidumbre} = \sqrt{[(Dato\ de\ actividad)^2] + (Factor\ de\ emisión^2)}$ $= 131$			
<u>Contribución a la varianza por la categoría</u>			
$\mathbf{Contribución\ a\ la\ varianza}$ $= (Incertidumbre \times Emisiones)^2$ $\times (total\ de\ emisiones\ del\ subsector)^{-2} = 17161$			
Control de calidad	Variable	Puntaje	Clasificación
	TPD08	4	A
	TPD13	4	A
	FDC	1	D
	Distribución vehicular	1	D
	Tipología vehicular	4	A
	Tipo de combustible	2	C
	Base	1	D
	Rendimiento	2	D
	Kilometraje cantonal	4	A
	Factor de emisión IMN	3	B
	Ajuste de factor de emisión	2	C
	Memoria de Cálculo		
Sector:	Energía		
Subsector:	Fijas y Área		

Descripción:	Engloban todas aquellas organizaciones público-privadas que queman de combustibles como parte de sus procesos, uso de equipos y maquinaria; así como generadores eléctricos. Y consumo quema de combustibles para cocción en las residencias del cantón.										
Contaminantes:	Dióxido de carbono (CO ₂), Metano (CH ₄) y Óxido nitroso (N ₂ O).										
Metodología:	$Emisiones\ ton_{CO_2,CH_4,N_2O} = b\acute{u}nker_{caldera}(L) \times Factor\ de\ emisi\acute{o}n_{Kg\frac{CO_2e}{La,b}}$ $Emisiones\ ton_{CO_2,CH_4,N_2O} = \left(b\acute{u}nker_{caldera}(TJ) \times Factor\ de\ emisi\acute{o}n_{Kg\frac{CO_2e}{TJa,b}} \right) - reducci\acute{o}n\ calculada$ $Emisiones\ CO_2e = emisiones\ CO_2 + (emisiones\ CH_4 \times PCG\ CH_4) + (emisiones\ N_2O \times PCG\ N_2O)$										
Equivalencias:	1 ton= 1 000 Kg. 1 Gg= 1 000 000 Kg. 1 000 ton= 27.21 TJ.										
Fuente de datos:	Encuestas diseñadas comercio/instituciones e industria (2016). Instituto Nacional de Estadística y Censos, INEC (2000-2011): <ul style="list-style-type: none"> • Censo Nacional Población y Vivienda, 2280-9280. Arturo Molina (2015): <ul style="list-style-type: none"> • Balance energético nacional 2013. Dirección Sectorial de Energía, DSE (2009) <ul style="list-style-type: none"> • Memoria estadística del Sector Energía. Instituto Meteorológico Nacional, IMN (2016). <ul style="list-style-type: none"> • Factor de emisión, potencial de calentamiento global e incertidumbre. Panel Intergubernamental de Expertos, IPCC (2006). <ul style="list-style-type: none"> • Factor de emisión e incertidumbre. 										
Operación matemática:	$Emisiones\ ton\ CO_2e = [(CO_2[(b\acute{u}nker \times 3,101))] + (CH_4[(b\acute{u}nker \times 0,138))] + (N_2O[(b\acute{u}nker \times 0,02769))]] - 8400 = 18799$ $Emisiones\ Gg\ CO_2e = \frac{18799}{1000} = 19$										
Incertidumbre	<u>Dato de actividad:</u> 5% según la muestra tomada, 10% Programa Nacional de Biocombustibles y 10% Plan Nacional de Energía. <u>Factores de emisión:</u> <table border="1" data-bbox="446 1612 1084 1766"> <thead> <tr> <th>Tipo de Combustible</th> <th>Gas</th> <th>Incertidumbre (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">Búnker</td> <td>CO₂</td> <td>3,65</td> </tr> <tr> <td>CH₄</td> <td>72</td> </tr> <tr> <td>N₂O</td> <td>71</td> </tr> </tbody> </table> <u>Incertidumbre combinada:</u> $Incertidumbre = \sqrt{[(Dato\ de\ actividad)^2] + (Factor\ de\ emisi\acute{o}n^2)}$ $= 102$	Tipo de Combustible	Gas	Incertidumbre (%)	Búnker	CO ₂	3,65	CH ₄	72	N ₂ O	71
Tipo de Combustible	Gas	Incertidumbre (%)									
Búnker	CO ₂	3,65									
	CH ₄	72									
	N ₂ O	71									

Incertidumbre	Contribución a la varianza por la categoría Contribución a la varianza $= (Incertidumbre \times Emisiones)^2$ $\times (total\ de\ emisiones\ del\ subsector)^{-2} = 1052$																				
Control de calidad	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Variable</th> <th>Puntaje</th> <th>Clasificación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Consumo de combustible</td> <td>4</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>Factor de emisión IMN</td> <td>3</td> <td>B</td> </tr> <tr> <td>Factor de emisión IPCC</td> <td>2</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td>Programa Nacional de Biocombustibles</td> <td>4</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>Plan Nacional de Energía</td> <td>4</td> <td>A</td> </tr> </tbody> </table>	Variable	Puntaje	Clasificación	Consumo de combustible	4	A	Factor de emisión IMN	3	B	Factor de emisión IPCC	2	C	Programa Nacional de Biocombustibles	4	A	Plan Nacional de Energía	4	A		
Variable	Puntaje	Clasificación																			
Consumo de combustible	4	A																			
Factor de emisión IMN	3	B																			
Factor de emisión IPCC	2	C																			
Programa Nacional de Biocombustibles	4	A																			
Plan Nacional de Energía	4	A																			
Memoria de Cálculo																					
Sector:	Manejo de Residuos																				
Subsector:	Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR)																				
Tipo de fuente de emisión:	Área																				
Descripción:	Abarcan las emisiones de generadas por las plantas de tratamiento especialmente anaerobias e ineficiencias de las aerobias, que existen en el cantón.																				
Contaminantes:	Metano (CH ₄).																				
Metodología:	<p>Emisiones ton CH₄ $= población \times factor\ de\ descarga \times DBO_5$ $\times (1 - fracción\ de\ DBO_5\ removida\ en\ tratamiento\ primario)$ $\times máxima\ capacidad\ de\ producción\ de\ metano$ $\times Factor\ de\ corrección\ aerobio \times 365,25 \times 10^{-3}$</p> <p>Factor de descarga para industria y comercio: 1,25. DBO₅: según el reporte operacional o por defecto 0,090. Fracción de DBO₅ removida en tratamiento primario: 0,325. Máxima capacidad de producción de metano: 0,6. Factor de corrección aerobio: 0,3.</p> <p>Emisiones ton CH₄ $= población \times gas\ de\ digestión$ $\times fracción\ de\ metano\ en\ el\ biogas$ $\times densidad\ del\ metano$ $\times (1 - eficiencia\ de\ destrucción\ de\ metano) \times 10^{-6}$</p> <p>Emisiones ton CO₂e $= \sum emisiones\ ton\ CH_4$ $\times Potencial\ calentamiento\ global$</p> <p>Emisiones Gg CO₂e = emisiones ton CO₂e ÷ 1000</p>																				
Equivalencias:	1 Gg= 1 000 ton																				

Fuente de datos:	<p>Encuestas diseñadas comercio/instituciones e industria (2016). Ministerio de Salud (2013-2014):</p> <ul style="list-style-type: none"> Área Rectora de Salud Belén-Flores. Regulación, ars.belen@misalud.go.cr. <p>Municipalidad de Belén (2014).</p> <ul style="list-style-type: none"> Unidad de Alcantarillado Sanitario, Coordinadora. Ing. Mayela Céspedes Mora. 2587-0000, ingenieriasanitaria@belen.go.cr. <p>Instituto Meteorológico Nacional, IMN (2016).</p> <ul style="list-style-type: none"> Factores de emisión y potencial de calentamiento global. 																													
Operación matemática:	<p>Emisiones ton CH₄</p> $= \left[\left[\text{Industria}(\text{aerobio}(\text{población} \times 1,25 \times \text{DBO}_5 \times (1 - 0,325) \times 0,6 \times 0,3 \times 365,25 \times 10^{-3})) \right] + \left[\text{Comercio}(\text{aerobio}(\text{población} \times 1,25 \times \text{DBO}_5 \times (1 - 0,325) \times 0,6 \times 0,3 \times 365,25 \times 10^{-3})) \right] + \left[\text{Residencial}(\text{aerobio}(\text{población} \times 1,25 \times \text{DBO}_5 \times (1 - 0,325) \times 0,6 \times 0,3 \times 365,25 \times 10^{-3})) \right] \right] + \left[\left[\text{Industria}(\text{anaerobio}(\text{población} \times 0,0283 \times 0,65 \times 662 \times (1 - 0,99) \times 10^{-6})) \right] + \left[\text{Comercio}(\text{aerobio}(\text{población} \times 0,0283 \times 0,65 \times 662 \times (1 - 0,99) \times 10^{-6})) \right] + \left[\text{Residencial}(\text{aerobio}(\text{población} \times 0,0283 \times 0,65 \times 662 \times (1 - 0,99) \times 10^{-6})) \right] \right] = 2567$ <p>Emisiones ton CO₂e = 2567 × 21 = 53903 Emisiones Gg CO₂e = 2567 ÷ 1000 = 54</p>																													
Incertidumbre	<p><u>Dato de actividad:</u></p> <table border="1" data-bbox="448 1178 1170 1661"> <thead> <tr> <th>Variable</th> <th>Incertidumbre (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Población</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>Gas de digestión</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>Factor industrial y comercial de descarga</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>DBO5</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>Eficiencia de destrucción de metano</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>Fracción de DBO5 removida en tratamiento primario</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>Máxima capacidad de producción de metano</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>Fracción de metano en el biogás</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>Densidad del metano</td> <td>20</td> </tr> </tbody> </table> <p><u>Factores de emisión:</u></p> <table border="1" data-bbox="448 1730 1214 1843"> <thead> <tr> <th>Variable</th> <th>Gas</th> <th>Incertidumbre (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Factor de corrección aerobio</td> <td>CH₄</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>Factor de emisión</td> <td>N₂O</td> <td>62</td> </tr> </tbody> </table>	Variable	Incertidumbre (%)	Población	3	Gas de digestión	30	Factor industrial y comercial de descarga	20	DBO5	30	Eficiencia de destrucción de metano	30	Fracción de DBO5 removida en tratamiento primario	30	Máxima capacidad de producción de metano	30	Fracción de metano en el biogás	30	Densidad del metano	20	Variable	Gas	Incertidumbre (%)	Factor de corrección aerobio	CH ₄	60	Factor de emisión	N ₂ O	62
Variable	Incertidumbre (%)																													
Población	3																													
Gas de digestión	30																													
Factor industrial y comercial de descarga	20																													
DBO5	30																													
Eficiencia de destrucción de metano	30																													
Fracción de DBO5 removida en tratamiento primario	30																													
Máxima capacidad de producción de metano	30																													
Fracción de metano en el biogás	30																													
Densidad del metano	20																													
Variable	Gas	Incertidumbre (%)																												
Factor de corrección aerobio	CH ₄	60																												
Factor de emisión	N ₂ O	62																												

Incertidumbre	<p><u>Incertidumbre combinada:</u> <i>Incertidumbre</i> = $\sqrt{[(\text{Dato de actividad}^2) + (\text{Factor de emisión}^2)]}$ = 115</p> <p><u>Contribución a la varianza por la categoría:</u> <i>Contribución a la varianza</i> = $(\text{Incertidumbre} \times \text{Emisiones})^2$ $\times (\text{total de emisiones del subsector})^{-2} = 18343$</p>																																						
Control de calidad	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Variable</th> <th>Puntaje</th> <th>Clasificación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Población</td><td>4</td><td>A</td></tr> <tr><td>Gas de digestión</td><td>2</td><td>C</td></tr> <tr><td>Factor industrial y comercial de descarga</td><td>2</td><td>C</td></tr> <tr><td>DBO5</td><td>4</td><td>A</td></tr> <tr><td>DBO5 por defecto</td><td>2</td><td>C</td></tr> <tr><td>Eficiencia de destrucción de metano</td><td>2</td><td>C</td></tr> <tr><td>Fracción de DBO5 removida en tratamiento primario</td><td>2</td><td>C</td></tr> <tr><td>Máxima capacidad de producción de metano</td><td>2</td><td>C</td></tr> <tr><td>MCFaerobic</td><td>1</td><td>D</td></tr> <tr><td>Fracción de metano en el biogás</td><td>2</td><td>C</td></tr> <tr><td>Densidad del metano</td><td>2</td><td>C</td></tr> </tbody> </table>	Variable	Puntaje	Clasificación	Población	4	A	Gas de digestión	2	C	Factor industrial y comercial de descarga	2	C	DBO5	4	A	DBO5 por defecto	2	C	Eficiencia de destrucción de metano	2	C	Fracción de DBO5 removida en tratamiento primario	2	C	Máxima capacidad de producción de metano	2	C	MCFaerobic	1	D	Fracción de metano en el biogás	2	C	Densidad del metano	2	C		
Variable	Puntaje	Clasificación																																					
Población	4	A																																					
Gas de digestión	2	C																																					
Factor industrial y comercial de descarga	2	C																																					
DBO5	4	A																																					
DBO5 por defecto	2	C																																					
Eficiencia de destrucción de metano	2	C																																					
Fracción de DBO5 removida en tratamiento primario	2	C																																					
Máxima capacidad de producción de metano	2	C																																					
MCFaerobic	1	D																																					
Fracción de metano en el biogás	2	C																																					
Densidad del metano	2	C																																					
Memoria de Cálculo																																							
Sector:	Manejo de Residuos																																						
Subsector:	Tanques sépticos																																						
Tipo de fuente de emisión:	Área																																						
Descripción:	Contemplan las emisiones generadas según el tipo de servicio sanitario (tanque séptico, letrina, alcantarilla/cloaca) utilizados en la zona de estudio.																																						
Contaminantes:	Metano (CH ₄) y Óxido Nitroso (N ₂ O).																																						
Metodología:	<p style="text-align: center;"><i>Emisiones ton CH₄</i> = <i>población</i> × <i>DBO₅</i> × <i>máxima capacidad de producción de metano</i> × <i>factor de corrección</i> × 365,25 × 10⁻³</p> <p>DBO₅: 0,090 Kg / día. Máxima capacidad de producción de metano: 0,6. Factor de corrección: 0,5.</p> <p style="text-align: center;"><i>Emisiones ton CO₂e</i> = <i>Emisiones ton CH₄</i> × <i>Potencial de calentamiento global</i></p> <p style="text-align: center;"><i>Emisiones Gg CO₂e</i> = <i>Emisiones ton CO₂</i> ÷ 1000</p>																																						
Equivalencias:	1 ton= 1 000 Kg. 1 Gg= 1 000 000 Kg.																																						

Fuente de datos:	<p>Instituto Nacional de Estadística y Censos, INEC (2000-2011):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Censo Nacional Población y Vivienda, 2280-9280. <p>Municipalidad de Belén (2014).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Unidad de Alcantarillado Sanitario, Coordinadora. Ing. Mayela Céspedes Mora. 2587-0000, ingenieriasanitaria@belen.go.cr. <p>Instituto Meteorológico Nacional, IMN (2016).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Factores de emisión y potencial de calentamiento global. 																		
Operación matemática:	<p><i>Emisiones ton CH₄</i></p> $= [[Residencial(población \times 0,090 \times 0,6 \times 0,5 \times 365,25 \times 10^{-3})] + [Industrial(población \times 0,090 \times 0,6 \times 0,5 \times 365,25 \times 10^{-3})] + [Comercial(población \times 0,090 \times 0,6 \times 0,5 \times 365,25 \times 10^{-3})]] + 0,142 = 176$ <p><i>Emisiones ton CO₂e</i> = 176 × 21 = 3694</p> <p><i>Emisiones Gg CO₂e</i> = 3694 ÷ 1000 = 4</p>																		
Incertidumbre	<p>Dato de actividad: Dato de actividad:</p> <table border="1" data-bbox="451 873 1170 1058"> <thead> <tr> <th>Variable</th> <th>Incertidumbre (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Población</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>DBO5</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>Máxima capacidad de producción de metano</td> <td>30</td> </tr> </tbody> </table> <p>Factores de emisión: 30%</p> <p><u>Incertidumbre combinada:</u></p> $Incertidumbre = \sqrt{[(Dato\ de\ actividad)^2] + (Factor\ de\ emisión^2)} = 52$ <p><u>Contribución a la varianza por la categoría</u></p> <p><i>Contribución a la varianza</i></p> $= (Incertidumbre \times Emisiones)^2 \times (total\ de\ emisiones\ del\ subsector)^{-2} = 2500$	Variable	Incertidumbre (%)	Población	3	DBO5	30	Máxima capacidad de producción de metano	30										
Variable	Incertidumbre (%)																		
Población	3																		
DBO5	30																		
Máxima capacidad de producción de metano	30																		
Control de calidad	<table border="1" data-bbox="451 1419 1203 1671"> <thead> <tr> <th>Variable</th> <th>Puntaje</th> <th>Clasificación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Población</td> <td>4</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>DBO₅ por defecto</td> <td>2</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td>Máxima capacidad de producción de metano</td> <td>2</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td>MCFseptic</td> <td>1</td> <td>D</td> </tr> <tr> <td>Factor de emisión IMN</td> <td>3</td> <td>B</td> </tr> </tbody> </table>	Variable	Puntaje	Clasificación	Población	4	A	DBO ₅ por defecto	2	C	Máxima capacidad de producción de metano	2	C	MCFseptic	1	D	Factor de emisión IMN	3	B
Variable	Puntaje	Clasificación																	
Población	4	A																	
DBO ₅ por defecto	2	C																	
Máxima capacidad de producción de metano	2	C																	
MCFseptic	1	D																	
Factor de emisión IMN	3	B																	

2.2. Emisiones indirectas

Memoria de Cálculo			
Sector:	Manejo de Residuos		
Subsector:	Relleno sanitario		
Tipo de fuente de emisión:	Fijas.		
Descripción:	Incluyen las emisiones producidas por la descomposición de la materia orgánica y otros.		
Contaminantes:	Metano (CH ₄).		
Metodología:	$\text{Emisiones Kg CH}_4 = \text{cantidad de residuos} \times \text{factor de emisión}$ $\text{Emisiones Kg CO}_2\text{e} = \text{emisiones CH}_4 \times \text{potencial de calentamiento global}$ $\text{Emisiones ton CO}_2\text{e} = \text{Emisiones Kg CO}_2\text{e} \div 1000$ $\text{Emisiones Gg CO}_2\text{e} = \text{Emisiones Kg CO}_2 \div 1000000$		
Equivalencias:	1 ton= 1 000 Kg. 1 Gg= 1 000 000 Kg.		
Fuente de datos:	Encuestas diseñadas comercio/instituciones e industria (2016). Municipalidad de Belén (2013). <ul style="list-style-type: none"> Unidad Ambiental, Gestor de Residuos. MSc. Esteban Salazar Acuña. 2587-0000, reciclaje@belen.go.cr. Instituto Meteorológico Nacional, IMN (2016). <ul style="list-style-type: none"> Factores de emisión y potencial de calentamiento global. 		
Operación matemática:	$\text{Emisiones Kg CH}_4 = \text{cantidad de residuos} \times 0,0581 = 402051$ $\text{Emisiones Kg CO}_2\text{e} = 402051 \times 21 = 8443078$ $\text{Emisiones ton CO}_2\text{e} = \text{Emisiones Kg CO}_2\text{e} \div 1000 = 8443$ $\text{Emisiones Gg CO}_2\text{e} = \text{Emisiones Kg CO}_2 \div 1000000 = 8$		
Incertidumbre	<u>Industria y comercio</u> Dato de actividad: 5% Factores de emisión: 10% <u>Recolección municipal</u> Dato de actividad: 3% Factor de emisión: 10% <u>Incertidumbre combinada:</u> $\text{Incertidumbre} = \sqrt{[(\text{Dato de actividad}^2) + (\text{Factor de emisión}^2)]}$ <u>Contribución a la varianza por la categoría:</u> $\text{Contribución a la varianza} = (\text{Incertidumbre} \times \text{Emisiones})^2 \times (\text{total de emisiones del subsector})^{-2} = 224$		
Control de calidad	Variable	Puntaje	Clasificación
	Cantidad de residuos	4	A
	Factor de emisión	3	B

Memoria de Cálculo			
Sector:	Manejo de Residuos		
Subsector:	Tratamiento biológico		
Tipo de fuente de emisión:	Fijas.		
Descripción:	Incluyen las emisiones producidas por la descomposición de la materia orgánica y otros (compostaje).		
Contaminantes:	Metano (CH ₄) y Óxido Nitroso (N ₂ O).		
Metodología:	<p><i>Emisiones Kg CH₄</i> = cantidad de residuos × factor de emisión <i>Emisiones Kg N₂O</i> = cantidad de residuos × factor de emisión <i>Emisiones Kg CO₂e</i> = (emisiones CH₄ × potencial de calentamiento global) + (emisiones N₂O × potencial de calentamiento global) <i>Emisiones ton CO₂e</i> = Emisiones Kg CO₂e ÷ 1000 <i>Emisiones Gg CO₂e</i> = Emisiones Kg CO₂ ÷ 1000000</p>		
Equivalencias:	1 ton= 1 000 Kg. 1 Gg= 1 000 000 Kg.		
Fuente de datos:	Encuestas diseñadas comercio/instituciones e industria (2016). Instituto Meteorológico Nacional, IMN (2016). <ul style="list-style-type: none"> Factores de emisión y potencial de calentamiento global. 		
Operación matemática:	<p><i>Emisiones Kg CH₄</i> = cantidad de residuos × 4 = 2844 <i>Emisiones Kg N₂O</i> = cantidad de residuos × 0,3 = 1414 <i>Emisiones Kg CO₂e</i> = (emisiones CH₄ × 21) + (emisiones N₂O × 310) = 834000 <i>Emisiones ton CO₂e</i> = Emisiones Kg CO₂e ÷ 1000 = 834 <i>Emisiones Gg CO₂e</i> = Emisiones Kg CO₂ ÷ 1000000 = 1</p>		
	<u>Dato de actividad:</u> 5% <u>Factores de emisión:</u> 50% <u>Incertidumbre combinada:</u> <i>Incertidumbre</i> = $\sqrt{[(\text{Dato de actividad})^2] + (\text{Factor de emisión})^2}$ <u>Contribución a la varianza por la categoría:</u> Contribución a la varianza = (Incertidumbre × Emisiones) ² × (total de emisiones del subsector) ⁻² = 2500		
Control de calidad	Variable	Puntaje	Clasificación
	Cantidad de residuos	4	A
	Factor de emisión	3	B

Anexo 4. Resultados adicionales del capítulo del inventario.

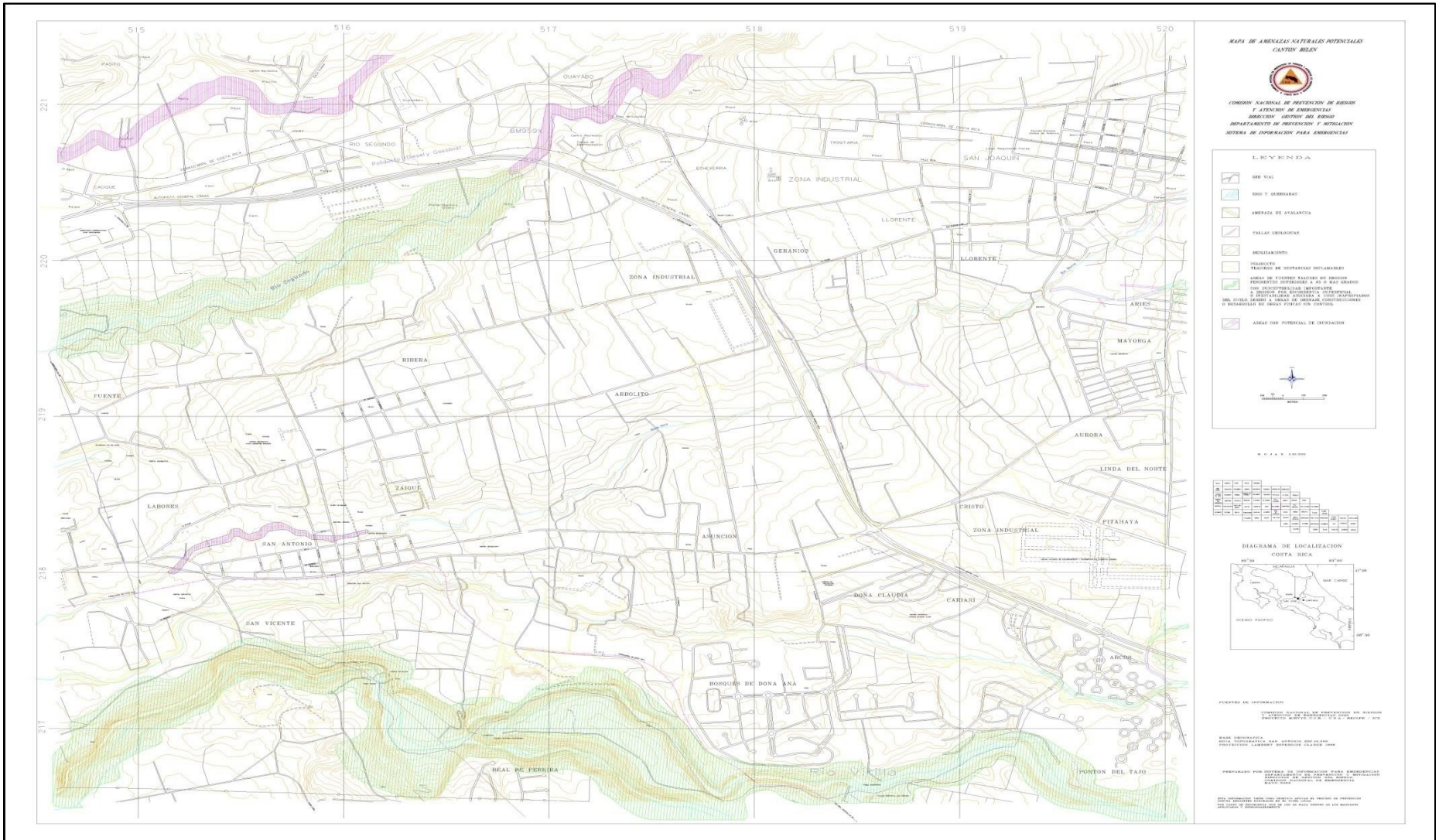


Figura 1. Mapa de amenazas naturales potenciales del cantón de Belén. **Fuente:** CNE 2000.

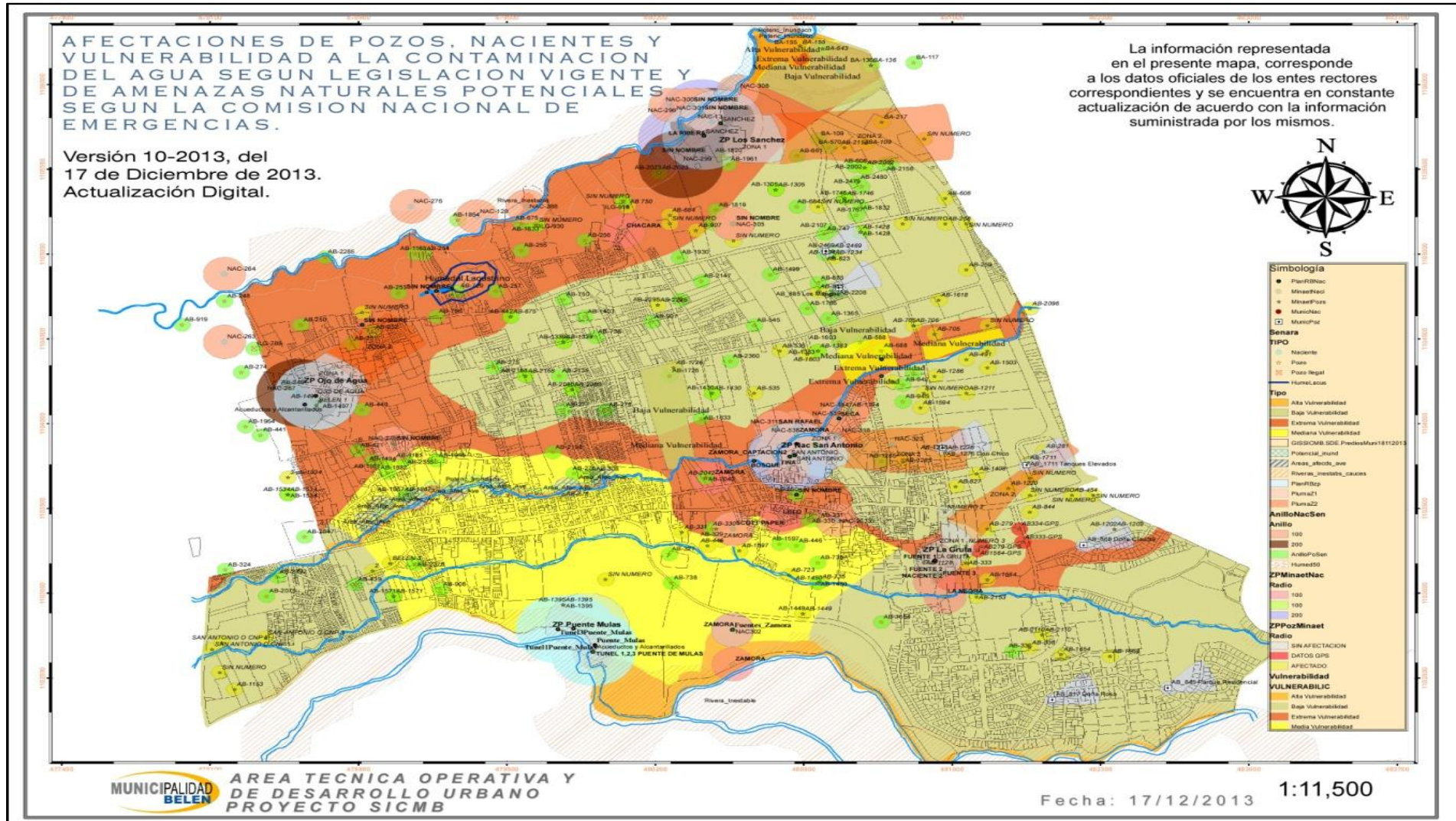


Figura 2. Pozos y nacientes del cantón de Belén. Fuente: Municipalidad de Belén 2013.

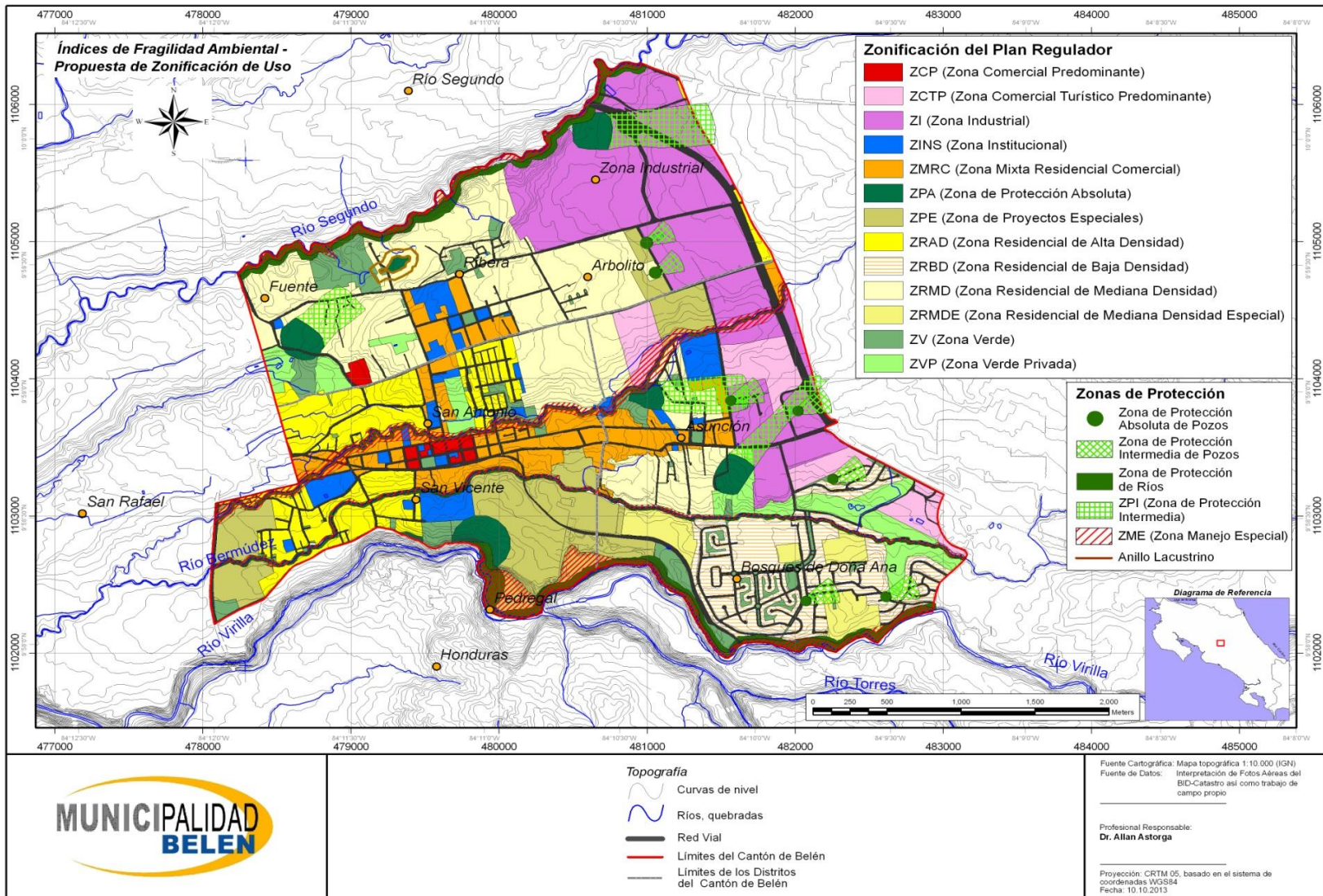


Figura 3. Zonificación del cantón de Belén. **Fuente:** Astorga 2013.

Anexo 5. Guía metodológica de inventarios de emisiones a nivel cantonal.

Los inventarios a nivel local evidencian la contribución de las actividades comunales en las emisiones de Gases Efecto Invernadero, para su realización se recomienda seguir los pasos que se presentan a continuación:

1. Definición y caracterización del área de estudio

Esta sección es el alcance del inventario, depende en gran medida de los recursos disponibles para realizar la investigación y se determina según los siguientes aspectos:

1.1. Área de estudio

Se entiende como el espacio geográfico en donde se desean determinar las emisiones, por ejemplo: cantón, distritos u otros.

1.2. Año base

Espacio temporal en el que se cuantificarán las emisiones, año transcurrido en su totalidad, que permita obtener la totalidad o un buen acercamiento de la información y, que brinde datos cercanos a la actualidad del área de estudio.

1.3. Temporalidad

Brinda información sobre el comportamiento de las actividades en el espacio geográfico a lo largo del tiempo; por ejemplo horario de funcionamiento de fábricas, temporalidad de zonas turísticas, periodo de preparación del suelo para cultivos, entre otros.

1.4. Gases de efecto invernadero

Selección de los gases se deben incluir en el inventario son: Dióxido de carbono (CO₂), Metano (CH₄), Óxidos nitrosos (N₂O), Hexafluoruro de azufre (SF₆), Perfluorocarbonos (PFC) y Hidrofluorocarbonos (HFC).

1.5. Alcance

Define las fuentes de emisión directas e indirectas generadas por las actividades productivas que trascienden en el espacio geográfico seleccionado; y se clasifican en:

Cuadro 1. Clasificación de las fuentes de emisión de GEI.

Sector	Subsector	Descripción
1. Energía	1.1 Consumo de electricidad	Contienen las emisiones indirectas de CO ₂ procedentes del consumo de electricidad en el cantón, las cuales se generan en las plantas térmicas, producto de la quema de combustibles fósiles para la generación de electricidad.

1. Energía	1.2 Fuentes fijas	Engloban todas aquellas industrias que generan emisiones de CO ₂ , CH ₄ y N ₂ O como producto de las actividades de quema de combustible en sus procesos. Incluye las emisiones de CO ₂ , CH ₄ y N ₂ O producidas por el uso de GLP y otros combustibles en las residencias, restaurantes, panaderías, sodas, bares y otros del cantón.
	1.3 Fuentes de área	
	1.4 Transporte	Cubren las emisiones de CO ₂ , CH ₄ y N ₂ O provenientes de las fuentes móviles de servicio pesado (vehículos de tracción en granjas y autobuses), así como los vehículos particulares.
2. Procesos industriales y uso de otros productos (IPPU)	2.1 Industria de los minerales	Emisiones generadas por la producción de cemento, cal y vidrio; las cuales forman CO ₂ en la producción.
	2.2 Equipos eléctricos	Así como SF ₆ o con sistemas mixtos SF ₆ -aceites dieléctricos en los transformadores localizados en el cantón (sistemas de transmisión y distribución de energía eléctrica que permiten el suministro a los usuarios).
3. Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU)	3.1 Fermentación entérica	Contemplan las emisiones de CH ₄ generadas por los herbívoros (vacunos, caprinos, ovinos, caballos, mulas, porcinos, etc.) en su proceso digestivo.
	3.2 Manejo del estiércol	Abarcan las emisiones de CH ₄ y N ₂ O producidas durante el almacenamiento y el tratamiento del estiércol tanto sólido como líquido (orina).
	3.3 Uso de fertilizantes	Incluyen las emisiones de CO ₂ y N ₂ O generadas por el uso de fertilizantes en los cultivos del cantón.
4. Cambio de Uso del Suelo	4.1 Tierras forestales que perteneces como tales	Emisiones y remociones de CO ₂ generadas por las tierras con vegetación boscosa existentes en la zona.

4. Cambio de Uso del Suelo	4.2 Tierras convertidas en tierras forestales	Emisiones y remociones de CO ₂ generadas por los terrenos que han sido convertidos en tierras forestales.
	4.3 Tierras de cultivo que permanecen como tales	Emisiones y remociones de CO ₂ generadas por las tierras cultivadas (se incluyen arrozales y los sistemas de agro-silvicultura donde la estructura de la vegetación se encuentra por debajo de los umbrales utilizados para la categoría de tierras forestales.)
	4.4 Tierras convertidas en tierras de cultivo	Emisiones y remociones de CO ₂ generadas por los terrenos convertidos en tierras de cultivo.
	4.5 Pastizales que permanecen como tales	Emisiones y remociones generadas por las tierras de pastoreo y pastizales que no se consideran tierras de cultivo. También incluye los sistemas con vegetación boscosa y otra vegetación no herbórea, como las hierbas y la maleza que está por debajo de los valores umbrales utilizados en la categoría de tierras forestales.
	4.6 Tierras convertidas en pastizales	Emisiones y remociones de CO ₂ generadas por los terrenos convertidos en pastizales.
	4.7 Tierras inundadas que permanecen como tales	Emisiones y remociones de CO ₂ generadas por las zonas de extracción de turba y la tierra que está cubierta o saturada de agua durante todo el año o durante parte de éste (por ejemplo, las turberas) y que no está dentro de las categorías de tierras forestales, tierras de cultivo, pastizal o asentamientos.
	4.8 Tierras convertidas en humedales	Emisiones y remociones de CO ₂ generadas por los terrenos convertidos en humedales.

4. Cambio de Uso del Suelo	4.9 Asentamientos que permanecen como tales	Incluye toda la tierra desarrollada (infraestructura de transporte y los asentamientos humanos de cualquier tamaño) a menos que ya estén incluidos en otras categorías. Se debe considerar el CO ₂ .
	4.10 Tierras convertidas en asentamientos	Emisiones y remociones de CO ₂ generadas por los terrenos convertidos en asentamientos
	4.11 Quema de biomasa	Emisiones y remociones de CH ₄ y N ₂ O generadas por la quema de material vegetal (hojarasca, madera, pasto, etc.)
5. Manejo de residuos	5.1 Sistemas de Tratamiento de aguas residuales	Abarcan las emisiones de CH ₄ generadas por las plantas de tratamiento existentes en el cantón.
	5.2 Tanques sépticos	Contemplan las emisiones de CH ₄ y N ₂ O generadas según clase de servicio sanitario (tanque séptico, letrina, alcantarilla/cloaca) utilizados en la zona de estudio.
	5.3 Relleno Sanitario	Emisiones directas y/o indirectas de CH ₄ generadas por la descomposición de la materia orgánica según el tipo de sitio de disposición final (relleno sanitario).
	5.4 Tratamiento Biológico de residuos sólidos	Emisiones directas y/o indirectas de CH ₄ y N ₂ O generadas por los tratamientos biológicos para los residuos orgánicos.
	5.5 Incineración de residuos sólidos	Emisiones directas y/o indirectas de CO ₂ , CH ₄ y N ₂ O generadas por la quema de residuos, excepto biomasa ya que se contempla en el subsector 4.11.

Fuente: Elaboración propia con base a la Guía GPC del WRI 2014, Directrices del IPCC 2006.

Esta lista debe responder a la siguiente clasificación:

Alcance 1

Contempla todas las fuentes de emisiones directas de las actividades que tienen lugar dentro de la frontera geopolítica de la comunidad.

Alcance 2

Son las emisiones que no se generan en el cantón pero son producto de un alto consumo en este. Un ejemplo son las del sector energía, que son generadas como consecuencia del consumo de electricidad, calefacción y/o refrigeración, dentro de los límites geopolíticos de la comunidad.

2. Planeación del Inventario

Esta fase se compone de las siguientes condiciones:

2.1. Establecer un coordinador y equipo de trabajo

La Unidad Ambiental de la Municipalidad debe asumir el rol de coordinador y se debe apoyar en diversos actores sociales, lo cuales se encargarán de recopilar la información y elaborar el inventario.

2.2. Programar actividades, determinar los recursos

Elaborar un cronograma con un listado de actividades e incluir los costos para cada una de ellas, desarrollar estudios básicos y emitir publicaciones de avances y resultados.

2.3. Coordinación con actores sociales

Establecer acuerdos de colaboración por escrito, con instituciones públicas y empresas, en especial con aquellas que poseen la información primaria o bien, que pueden aportar recursos económicos y conocimiento técnico.

3. Cálculo de las emisiones de gases efecto invernadero

Esta etapa consiste en la cuantificación del inventario, para ello se debe seleccionar aquella metodología validada y actualizada que permita obtener resultados precisos, coherentes y reproducibles en el espacio geográfico. Para obtener los datos de mejor calidad, se deben buscar alianzas con otros actores sociales, ya que estos se convierten en fuentes primarias; sin embargo, esto se debe realizar a la mayor brevedad, ya que puede tardar la recopilación de cada una de las variables.

La cuantificación se acompaña de hojas de cálculo, herramientas de control, análisis de calidad e incertidumbre; los cuales permiten obtener resultados de una manera más fácil, evidenciar el cumplimiento de la información obtenida y los datos faltantes. Es importante mencionar que todo cambio de metodología se debe anotar y debe haber una persona encargada de verificar los resultados; con el fin de asegurar que estos estén correctos o bien, identificar errores de cálculo como doble conteo, conversiones de unidades, manejo de decimales y otros.

Por otra parte, las guías de cálculo validadas a nivel internacional son la Guía de Protocolo de emisiones de GEI a escala comunitaria (GPC) del WRI (2014) y las Directrices del IPCC para la Elaboración de Inventarios Nacionales de Emisiones de GEI (2006), respectivamente. Sin embargo, en Costa Rica se han probado métodos, específicamente para el subsector de emisiones en carretera, como los elaborados por Vega (2013) y Moukhallaleh (2015); y en el caso sector de cambio de uso del suelo por Rodríguez (2014).

A continuación se brinda un compilado de las guías mencionadas anteriormente, las cuales pueden servir como instrumento de cuantificación de emisiones a nivel cantonal.

Aspectos generales

Toda la información (dato de actividad) que se recopile debe corresponder a todo el año base, en caso de que se tomen muestras, posteriormente se deberá calcular los datos para toda la población. Finalmente, las unidades de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero se dan en toneladas (ton) y gigagramos (Gg) de dióxido de carbono equivalente (CO₂e). La primera son las unidades de lenguaje común y las segundas, son las oficiales establecidas para inventarios nacionales.

1. Sector de Energía

Este sector es uno de los grandes emisores de Gases Efecto Invernadero, se genera por la quema de combustibles para múltiples productos como generación eléctrica, funcionamiento de calderas, vehículos y otros equipos.

1.1 Subsector: Consumo de electricidad

Descripción

Emisiones de alcance 2 generadas por el consumo de la electricidad dentro del cantón. Las fuentes de información son los proveedores de electricidad en el cantón, tales como ICE, CNFL, ESPH, JASEC, Coopesca R.L., entre otros.

Contaminante:

CO₂

Metodología

- 1 Recopilación de los datos de actividad (DA):** identificar el (los) proveedor(es) de electricidad en el cantón y solicitar el consumo de electricidad, según el tipo de servicio (residencial, comercial, industrial y/o alumbrado público).
- 2 Selección del factor de emisión (FE):** el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) realiza una publicación anual en su página web de los factores de emisión para Costa Rica (ver <http://cglobal.imn.ac.cr/documentos> o contactar al teléfono (506) 2222-5616). Para este subsector se debe buscar el sector de energía, uso de electricidad y, se selecciona el valor del último año.
- 3 Incorporación de variables en la ecuación:** calcular las emisiones para cada categoría (residencial, comercial, industrial y alumbrado público) y finalmente hacer la sumatoria de todas ellas.

Ecuación 1. Emisiones Kg al año CO₂ = $\sum DA \times FE_{a,b}$

Ecuación 2. Emisiones ton CO₂e = Emisiones Kg CO₂e ÷ 1000

Ecuación 3. Emisiones Gg CO₂e = Emisiones Kg CO₂e ÷ 1000000

Ejemplo:

En el año 2008, para el cantón de San Rafael de Heredia, se estimó un consumo eléctrico total de 52 726 976 kWh/año, generado por el consumo eléctrico residencial, general e industrial. El factor de emisión nacional publicado por el IMN para el año 2008 es de 0,0650 Kg CO₂e/kWh por tanto,

Ecuación 1. Emisiones CO₂e= DA x FE

$$= 52\,726\,976 \text{ kWh/año} \times 0,0650 \text{ kgCO}_2\text{e/kWh}$$

$$= 3\,427\,253,44$$

Para el año 2008 San Rafael generó 3 427 253,44 kg de CO₂e por el consumo eléctrico.

1.2 Subsector: Fuentes fijas

Descripción

Engloban todas aquellas organizaciones público-privadas (industria, comercio e instituciones) que poseen más de 36 empleados. Sus emisiones de alcance 1 se deben a la quema de combustibles en sus procesos, uso de equipos y maquinaria; así como generadores eléctricos.

Contaminante:

CO₂ – CH₄- N₂O

Metodología

1

Selección de método de recopilación de la información: primeramente se debe establecer una ruta a seguir para seleccionar a las organizaciones que se deben consultar. La primera opción es censar a cada una de las edificaciones dedicadas a la manufactura, comercio y servicios; a pesar de que esta es la mejor opción, conlleva mucho tiempo y requiere un elevado presupuesto para la recopilación de la información.

Por ello, la segunda opción consiste en estimar una muestra aleatoria estratificada. En donde la cantidad de edificaciones (población) se puede tomar de la base de datos de la Municipalidad (patentes) o algún otro registro; por medio de su localización física se puede identificar a cada organización, se enumeran y se toma la muestra con respecto a la numeración. Es importante mencionar que las organizaciones se deben dividir de dos formas: por distrito para cualquiera de las rutas y por afinidad (industria, talleres, hospedaje, servicios, instituciones, refrigeración y algún otro); según la particularidad del cantón. Esto con el fin de mantener la muestra de manera estratificada.

En cualquiera de los casos, se debe diseñar una encuesta para consultar a cada organización el dato de actividad.

2

Recopilación de los datos de actividad (DA): consumo anual (L) por tipo de combustible, es importante recopilar la información aunque no se encuentre en litros, como es el caso del gas licuado de petróleo (GLP); posteriormente se tendrá que recurrir a la conversión de unidades a litros (L).

3

Selección del factor de emisión (FE): el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) realiza una publicación anual en su página web de los factores de emisión para Costa Rica (ver <http://cglobal.imn.ac.cr/documentos> o contactar al teléfono (506) 2222-5616).

Para este subsector se debe buscar el sector de energía, dióxido de carbono, metano y óxido nitroso según aplique para los últimos dos listados. Por el ejemplo el tipo de fuente y combustible; manufactura y construcción, y comercial e institucional. La última versión incluye su respectiva incertidumbre.

Cuando haya otros tipos de combustibles como madera, carbón y otros; se deben utilizar los factores de emisión establecidos en la Guía del IPCC 2006, los cuales poseen sus unidades en Terajulios (TJ).

4

Incorporación de variables en la ecuación: calcular las emisiones para cada categoría (diésel, gasolina, búnker, gas LP, leña, carbón u otros) y finalmente hacer la sumatoria de todas ellas. Cuando se calculan las emisiones de otros gases distintos al dióxido de carbono, es necesario realizar su equivalencia como se muestra en las siguientes ecuaciones. Además, se debe realizar la medición de las emisiones para la población según los datos obtenidos por la muestra.

Ecuación 1. Emisiones Kg al año $CO_2 = \sum DA \times FE_{a,b}$

Ecuación 4. Emisiones Kg al año $CH_4 = \sum DA \times FE_{a,b}$

Ecuación 5. Emisiones Kg al año $N_2O = \sum DA \times FE_{a,b}$

Ecuación 6. Emisiones Kg al año $CO_2e = Emisiones\ Kg\ al\ año\ CH_4 \times PCG$
PCG: Potencial de Calentamiento Global a 100 años ARS. (IPCC 2016)

Ecuación 7. Emisiones Kg al año $CO_2e = Emisiones\ Kg\ al\ año\ N_2O \times PCG$
PCG: Potencial de Calentamiento Global a 100 años ARS. (IPCC 2016)

Ecuación 2. Emisiones ton $CO_2e = Emisiones\ Kg\ CO_2e \div 1000$

Ecuación 3. Emisiones Gg $CO_2e = Emisiones\ Kg\ CO_2e \div 1000000$

Ejemplo:

Asuma que para el año t, las industrias del cantón Z reportaron un consumo total de 2 298 480 L de bunker, como producto de su actividad. El factor de emisión nacional publicado por el IMN para el año 2015 es de 3,01 Kg CO_2 / L, 0,1168 g CH_4 / L y 0,02336 g N_2O / L por tanto,

Ecuación 1. Emisiones $CO_2 = 2\ 298\ 480\ L \times 3,01\ kg\ CO_2/L = 6\ 918\ 425\ Kg$

Ecuación 4. Emisiones $CH_4 = (2\ 298\ 480\ L \times 0,1168\ g\ CH_4/L) / 1\ 000 = 268\ Kg$

Ecuación 5. Emisiones $N_2O = (2\ 298\ 480\ L \times 0,02336\ g\ N_2O/L) / 1\ 000 = 54\ Kg$

Ecuación 6 y 7. Total de Emisión de $CO_2e = 6\ 918\ 425 + (268 \times 28) + (54 \times 265)$
 $= 6\ 940\ 239\ kg / año$

Lo que equivale a 7 Gg CO_2e / año y 6940 ton CO_2e / año.

1.3 Subsector: Fuentes de área

Descripción

Engloban todas aquellas organizaciones público-privadas (industria, comercio e instituciones) que poseen menos de 35 empleados. Sus emisiones de alcance 1 se deben a la quema de combustibles en sus procesos, uso de equipos y maquinaria; así como generadores eléctricos. Además, se incluye aquel uso de combustibles para cocción en las residencias del cantón.

Contaminante:

CO₂ – CH₄- N₂O

Metodología

El procedimiento a seguir es el mismo para el subsector de fuentes fijas. En el caso de consumo residencial se debe buscar dicha información en estudios municipales o en el censo nacional más actualizado y cercano al año del inventario. Para ello se aconseja ajustar la información con proyecciones sobre la cantidad de viviendas en el año base de la investigación, y por medio de una regla de tres, sacar los datos.

Ejemplo:

Asuma que para el año t, el comercio del cantón Z reportó un consumo total de 31 825,80 L de gas LPG, como producto de su actividad. El factor de emisión nacional publicado por el IMN para el año 2015 es de 1,61 kg CO₂/ L, 0,1277 g CH₄/ L y 0,002554 g N₂O/ L por tanto,

$$\text{Ecuación 1. Emisiones CO}_2 = 31\,825,80 \text{ L} \times 1,61 \text{ kg CO}_2/\text{L} = 51\,240 \text{ Kg}$$

$$\text{Ecuación 4. Emisiones CH}_4 = (31\,825,80 \text{ L} \times 0,1277 \text{ g CH}_4/\text{L}) / 1\,000 = 4 \text{ Kg}$$

$$\text{Ecuación 5. Emisiones N}_2\text{O} = (31\,825,80 \text{ L} \times 0,002554 \text{ g N}_2\text{O}/\text{L}) / 1\,000 = 0,1 \text{ Kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Ecuación 6 y 7. Total de Emisión de CO}_2\text{e} &= 51\,240 + (4 \times 28) + (0,1 \times 265) \\ &= 51\,378,5 \text{ kg / año} \end{aligned}$$

Lo que equivale a 0,05 Gg CO₂e/ año y 51 ton CO₂e/ año.

1.4 Subsector: Transporte

El transporte a nivel mundial aporta un 13,1% de las emisiones GEI; en Costa Rica según el Inventario Nacional de Gases Efecto Invernadero del 2012 reportó un total de 4 863,27 Gg CO₂ equivalente. Este Subsector es la principal fuente de emisión de GEI ya que se componen de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso (MINAE, 2012).

Las fuentes móviles se encuentran constituidas por transporte en carretera, transporte ferroviario, transporte marítimo, transporte fluvial y transporte aéreo; todas ellas se caracterizan por cuatro tipos de viajes:

- Viajes que se originan en la localidad y terminan fuera de ella.
- Rutas que se originan fuera del espacio geográfico y que terminan en él.
- Tránsito regional, con desplazamiento frecuente entre varias localidades y que poseen una o varias paradas en el sitio de estudio.
- Recorridos con origen y destino fuera del área de interés.

Dependiendo de los datos y objetivos del inventario, se puede seleccionar diferentes métodos de cuantificaciones de las emisiones; sin embargo el más utilizado es el uso de modelos de emisión. Estos deben responder a dos tipos de alcances: el primero a las emisiones producto del transporte de personas y cargas en el espacio de estudio y el segundo, producto de los viajes que se originan y terminan fuera de la localidad.

1.4.1 Categoría: en carretera

Descripción

Esta categoría incluye aquellos vehículos que transitan por carretera como automóviles, taxis, buses, motocicletas, carga liviana, carga 2 ejes, carga 3 ejes y carga 5 ejes; debido a la quema de combustible para su funcionamiento emite CO₂, CH₄ y N₂O.

Metodología

Se propone el uso de una de estas técnicas, dependiendo de la disponibilidad de la información.

Modelo de emisiones: alcance1

Vega (2013) y Moukhalaleh (2015) estimaron las emisiones a través de modelos de emisión como EMFAC, MOVES y COPERT 4 a través de la recopilación de las variables como determinación de flujo vehicular, determinación del tráfico promedio diario, distribución por tipo de vehículo, caracterización de la flota vehicular, estimación de kilometraje según la edad vehicular, medición de velocidades, vehículo flotante y finalmente, se puede obtener factores de emisión específicos.

Origen-destino (Actividad inducida): alcance 1

1

Dato de actividad: indagación de la cantidad y tipo de combustible utilizado por cada categoría de vehículo (automóviles, taxis, buses, motocicletas, carga liviana, carga (2, 3 y 5 ejes). Esta información se puede estimar de la siguiente manera:

$$\text{Ecuación 8. } \text{Combustible}_{a,b}(DA) = \text{Distancia recorrida}_{a,b} \div \text{Rendimiento}_{a,b}$$

Donde,

a= tipo de combustible.

b= tipo de vehículo.

2

Ajuste: para la fórmula anterior se debe tener presente que se debe adaptar la información al área de interés; para ello, se debe recopilar los siguientes datos en función de la disponibilidad de estos:

- Identificar las rutas más importantes de ingreso-salida del municipio.
- Conocer el flujo vehicular de dichas rutas; o sea el tráfico promedio diario (TPD).
- En caso de no poseer la categoría de los vehículos, se pueden seleccionar algunos sitios, grabar en las horas pico el tránsito y realizar la separación visual de las categorías y su contabilidad; se asume que esta muestra representa a toda la población del tránsito en el cantón.
- Estimar el tráfico promedio diario anual (TPDA): depende estrictamente de algún estudio en el sitio o zona cercana a él muy similar, que brinde el uso de factor diario de corrección (FDC) por cada tipo de vehículo.
- Seleccionar la edad de la flotilla vehicular: se puede consultar al Registro Nacional, sobre los vehículos registrados.
- Búsqueda de la marca de los vehículos registrados: también se puede consultar en el Registro Nacional, recuerde que no necesariamente un auto registrado está circulando en las carreteras nacionales. O bien, puede indagar sobre estudios realizados por el Ministerio de Hacienda, sobre la valoración de vehículos.
- Seguidamente se saca la distribución de edades por marca, esto se consulta en bases de datos internacionales, sobre el rendimiento por año y modelo de vehículos; esta información se obtiene en galones / 100 millas o unidades similares. Se saca un promedio de rendimiento por año y modelo; y otro promedio global.
- Cantidad de vehículos por tipo de combustible: se puede consultar al Registro Nacional, sobre los vehículos registrados y sacar la distribución.
- Los datos se estiman para la ecuación 8.

Recuerde que la información debe corresponder o ser cercana al año del inventario.

3

Selección del factor de emisión (FE): el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) realiza una publicación anual en su página web de los factores de emisión para Costa Rica (ver <http://cglobal.imn.ac.cr/documentos> o contactar al teléfono (506) 2222-5616).

Para este subsector se debe buscar el sector de energía, dióxido de carbono, metano y óxido nitroso según aplique para los últimos dos listados. Por el ejemplo el tipo de combustible y características de la flotilla como con o sin catalizador. La última versión incluye su respectiva incertidumbre.

4

Incorporación de variables en la ecuación: calcular las emisiones para cada categoría (diésel, gasolina, gas LP u otros) y por tipo de vehículo; finalmente hacer la sumatoria de todas ellas. Cuando se calculan las emisiones de otros gases distintos al dióxido de carbono, es necesario realizar su equivalencia como se muestra en las siguientes ecuaciones.

Ecuación 1. *Emisiones Kg al año $CO_2 = \sum DA \times FE_{a,b}$*

Ecuación 4. *Emisiones Kg al año $CH_4 = \sum DA \times FE_{a,b}$*

Ecuación 5. *Emisiones Kg al año $N_2O = \sum DA \times FE_{a,b}$*

Ecuación 6. *Emisiones Kg al año $CO_2e = Emisiones Kg al año CH_4 \times PCG$*
PCG: Potencial de Calentamiento Global a 100 años ARS. (IPCC 2016)

Ecuación 7. *Emisiones Kg al año $CO_2e = Emisiones Kg al año N_2O \times PCG$*
PCG: Potencial de Calentamiento Global a 100 años ARS. (IPCC 2016)

Ecuación 2. *Emisiones ton $CO_2e = Emisiones Kg CO_2e \div 1000$*

Ecuación 3. *Emisiones Gg $CO_2e = Emisiones Kg CO_2 \div 1000000$*

Ejemplo:

Asuma que para el año t, se tiene dos ingresos/salidas al cantón Z, en cada uno se tiene los siguiente datos: TPD total 14949; el siguiente FDC:

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Enero	0,93	0,95	0,94	0,92	0,86	0,83	0,91
Febrero	0,97	0,99	1,01	0,98	0,91	0,86	0,97
Marzo	0,94	0,96	0,99	0,96	0,88	0,84	0,98
Abril	1,41	1,1	1,18	1,09	0,98	1,01	1,35
Mayo	0,96	1,08	1,05	1,05	0,9	0,75	0,81
Junio	0,97	0,98	1,08	1,21	0,88	0,87	0,95
Julio	1,24	0,98	0,98	1,4	1,28	0,85	1,02
Agosto	1,54	1,52	1,07	0,93	0,87	1,07	1,62
Septiembre	1,19	1,66	1,45	1,58	1,4	1,06	1,22
Octubre	0,93	1,01	0,98	0,94	0,86	0,84	0,95
Noviembre	0,94	0,94	0,95	0,95	0,83	0,81	0,97
Diciembre	0,96	0,96	0,94	0,93	0,82	0,85	0,97

TPDA= TPD x PFC. Se grabó el tránsito en la hora pico de la mañana y de la tarde y se obtuvo un promedio de 83% pasajeros, 7% carga liviana, 5% camiones 2 ejes, 1% taxis, buses y camiones 3 ejes, y 2% camiones 5 ejes; por lo que se multiplicaron por el TPDA.

En el caso de los vehículos de pasajeros se buscó que el 7% son de diésel y el restante son de gasolina. Las marcas más usadas son Toyota, Hyndai, Nissan, Honda y Mitsubishi entre los años 1984 y año t; dando un rendimiento promedio de 16,30 L/ 0,0062 km. La distancia de los trayectos más concurridos en ambas entradas suma 7,372 km. Por tanto,

$$\text{Ecuación 8. } DA_{\text{diésel}} = (14\ 949 \times 0,07) \times [(16,30 \times 7,372) / 0,0062] \\ = 20\ 281\ 676,342$$

Método: Ventas de combustible en estaciones de servicio: alcance 2

1

Dato de actividad: estimar el consumo de combustible por ventas en las gasolineras en el cantón. Para ello se requiere:

- Identificar las estaciones de servicio de combustible en el cantón.
- Determinar la cantidad de combustible vendido (diésel, gasolina, gas natural, GLP) en la estación de servicio (L).

2

Selección del factor de emisión (FE): el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) realiza una publicación anual en su página web de los factores de emisión para Costa Rica (ver <http://cglobal.imn.ac.cr/documentos> o contactar al teléfono (506) 2222-5616).

Para este subsector se debe buscar el sector de energía, dióxido de carbono, metano y óxido nitroso según aplique para los últimos dos listados. Por el ejemplo el tipo de combustible y características de la flotilla como con o sin catalizador. La última versión incluye su respectiva incertidumbre.

3

Incorporación de variables en la ecuación: calcular las emisiones para cada categoría (diésel, gasolina, gas LP u otros) y por tipo de vehículo; finalmente hacer la sumatoria de todas ellas. Cuando se calculan las emisiones de otros gases distintos al dióxido de carbono, es necesario realizar su equivalencia como se muestra en las siguientes ecuaciones.

$$\text{Ecuación 1. Emisiones Kg al año } CO_2 = \sum DA \times FE_{a,b}$$

$$\text{Ecuación 4. Emisiones Kg al año } CH_4 = \sum DA \times FE_{a,b}$$

$$\text{Ecuación 5. Emisiones Kg al año } N_2O = \sum DA \times FE_{a,b}$$

$$\text{Ecuación 6. Emisiones Kg al año } CO_2e = \text{Emisiones Kg al año } CH_4 \times PCG$$

PCG: Potencial de Calentamiento Global a 100 años ARS. (IPCC 2016)

$$\text{Ecuación 7. Emisiones Kg al año } CO_2e = \text{Emisiones Kg al año } N_2O \times PCG$$

PCG: Potencial de Calentamiento Global a 100 años ARS. (IPCC 2016)

$$\text{Ecuación 2. Emisiones ton } CO_2e = \text{Emisiones Kg } CO_2e \div 1000$$

$$\text{Ecuación 3. Emisiones Gg } CO_2e = \text{Emisiones Kg } CO_2 \div 1000000$$

Ejemplo:

Asuma que para el año t, se tiene tres gasolineras en el cantón Z, en las que se vendió en el año 1 320 876 L de gasolina y 519 600 L de diésel, por tanto

$$\text{Ecuación 1. Emisiones CO}_2\text{e gasolina} = 1\,320\,876 \text{ L} \times 2,26 \text{ kg CO}_2/\text{L} = 2\,985\,180$$

$$\text{Ecuación 1. Emisiones CO}_2\text{e diésel} = 519\,600 \text{ L} \times 2,69 \text{ kg CO}_2/\text{L} = 1\,397\,724$$

$$\begin{aligned} \text{Ecuación 4. Emisiones CH}_4 &= [(1\,320\,876 \text{ L} \times 0,8162 \text{ g CH}_4/\text{L}) / 1\,000] + \\ & [(519\,600 \text{ L} \times 0,1416 \text{ g CH}_4/\text{L}) / 1\,000] = \\ & 1\,152 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ecuación 5. Emisiones N}_2\text{O} &= [(1\,320\,876 \text{ L} \times 0,2612 \text{ g N}_2\text{O}/\text{L}) / 1\,000] + \\ & [(519\,600 \text{ L} \times 0,1416 \text{ g CH}_4/\text{L}) / 1\,000] = \\ & 419 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ecuación 6 y 7. Total de Emisión de CO}_2\text{e} &= 2\,985\,180 + 1\,397\,724 + (1\,152 \times 28) + \\ & (419 \times 265) = \\ & 4\,526\,195 \text{ kg / año} \end{aligned}$$

Lo que equivale a 4 Gg CO₂e/ año y 4 526 ton CO₂e/ año.

1.4.2 Categoría: ferroviario

Descripción

Es importante especificar las emisiones que le corresponden al cantón (alcance 1), ya que la mayoría de las estaciones de tren comparten el trayecto entre varios cantones. Por lo que se propone estimar la distancia del recorrido y se especifica para cada uno de los cantones; cada distancia representa un porcentaje del recorrido total, una vez que se obtienen las emisiones totales se multiplican por el porcentaje correspondiente al cantón en estudio, y este valor sería el resultado final.

Metodología

1

Dato de actividad: estimar el consumo de combustible correspondiente al trayecto que recorre el tren en el espacio geográfico de interés; esta información se puede consultar al INCOFER. Para ello se requiere:

- Recorrido total (km).
- Recorrido en el cantón (km).
- Consumo de combustible total (L) al año.

Por medio de una regla de tres se puede estimar la cantidad de combustible en el trayecto específico.

2

Selección del factor de emisión (FE): el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) realiza una publicación anual en su página web de los factores de emisión para Costa Rica (ver <http://cglobal.imn.ac.cr/documentos> o contactar al teléfono (506) 2222-5616).

Para este subsector se debe buscar el sector de energía, dióxido de carbono, metano y óxido nitroso según aplique para los últimos dos listados. Por el ejemplo el tipo de combustible y características de la flotilla (sin catalizador). La última versión incluye su respectiva incertidumbre.

3

Incorporación de variables en la ecuación: calcular las emisiones para el tipo de combustible según las siguientes ecuaciones.

Ecuación 1. *Emisiones Kg al año $CO_2 = \sum DA \times FE_{a,b}$*

Ecuación 4. *Emisiones Kg al año $CH_4 = \sum DA \times FE_{a,b}$*

Ecuación 5. *Emisiones Kg al año $N_2O = \sum DA \times FE_{a,b}$*

Ecuación 6. *Emisiones Kg al año $CO_2e = Emisiones Kg al año CH_4 \times PCG$*

PCG: Potencial de Calentamiento Global a 100 años ARS. (IPCC 2016)

Ecuación 7. *Emisiones Kg al año $CO_2e = Emisiones Kg al año N_2O \times PCG$*

PCG: Potencial de Calentamiento Global a 100 años ARS. (IPCC 2016)

Ecuación 2. *Emisiones ton $CO_2e = Emisiones Kg CO_2e \div 1000$*

Ecuación 3. *Emisiones Gg $CO_2e = Emisiones Kg CO_2 \div 1000000$*

Ejemplo:

Considere que en el cantón Z se da el servicio transporte público por tren hasta la ciudad R, la distancia entre ellas es de 14,4 km. El servicio incluye 960 viajes en tren al año en promedio y utiliza diésel como combustible, del cual se consumieron 174 531,33 L totales en el año t. Entonces,

La distancia recorrida dentro del cantón de dicho tren es de 5 km, entonces el consumo de diésel dentro del cantón es de $(5 \times 174\,531,33) / 14,4 = 60\,601$ L de diésel. Por tanto,

Ecuación 1. Emisiones CO₂e = $60\,601 \text{ L} \times 2,26 \text{ kg CO}_2/\text{L} = 136\,959$.

Ecuación 4. Emisiones CH₄ = $(60\,601,1562 \text{ L} \times 0,1416 \text{ g CH}_4/\text{L}) / 1\,000 = 8,5811$

Ecuación 5. Emisiones N₂O = $(60\,601 \text{ L} \times 0,1416 \text{ g CH}_4/\text{L}) / 1\,000 = 9$.

Ecuación 6 y 7. Total de Emisión de CO₂e = $136\,959 + (8,5811 \times 28) + (9 \times 265) = 139\,584 \text{ kg / año}$.

Lo que equivale a 0,1 Gg CO₂e/ año y 140 ton CO₂e/ año.

1.4.3 Categoría: marítimo

Descripción

Contemplan las emisiones de alcance 1 generadas por barcos, lanchas, ferries y otros botes que transitan dentro del cantón.

Metodología

Origen-destino (Actividad inducida)

Se puede utilizar el procedimiento para transporte en carretera, por tanto:

1

Dato de actividad: indagar en las compañías pesqueras y gasolineras el consumo de combustible en Terajulios (TJ) y en litros (L). O bien, solicitar la distancia recorrida dentro del cantón, tipo de combustible y el promedio de consumo de combustible por kilómetro recorrido.

2

Factor de emisión: para esta categoría el IMN sólo posee disponible el factor para las emisiones de dióxido de carbono; por lo que para el metano y óxido nitroso se deben utilizar los establecidos por el IPCC 2006a, los cuales son internacionales.

3

Incorporación de variables en la ecuación: calcular las emisiones para el tipo de combustible según las siguientes ecuaciones.

$$\text{Ecuación 1. Emisiones Kg al año } CO_2 = \sum DA \times FE_{a,b}$$

$$\text{Ecuación 4. Emisiones Kg al año } CH_4 = \sum DA \times FE_{a,b}$$

$$\text{Ecuación 5. Emisiones Kg al año } N_2O = \sum DA \times FE_{a,b}$$

$$\text{Ecuación 6. Emisiones Kg al año } CO_2e = \text{Emisiones Kg al año } CH_4 \times PCG$$

PCG: Potencial de Calentamiento Global a 100 años ARS. (IPCC 2016)

$$\text{Ecuación 7. Emisiones Kg al año } CO_2e = \text{Emisiones Kg al año } N_2O \times PCG$$

PCG: Potencial de Calentamiento Global a 100 años ARS. (IPCC 2016)

$$\text{Ecuación 2. Emisiones ton } CO_2e = \text{Emisiones Kg } CO_2e \div 1000$$

$$\text{Ecuación 3. Emisiones Gg } CO_2e = \text{Emisiones Kg } CO_2 \div 1000000$$

Método: Ventas de combustible en estaciones de servicio

1

Dato de actividad: estimar el consumo de combustible por ventas en las gasolineras o puertos en el cantón. Para ello se requiere:

- Identificar las estaciones de servicio de combustible en el cantón.
- Determinar la cantidad de combustible vendido (diésel, gasolina, gas natural, GLP) en la estación de servicio (L).

2

Selección del factor de emisión (FE): para esta categoría el IMN sólo posee disponible el factor para las emisiones de dióxido de carbono; por lo que para el metano y óxido nitroso se deben utilizar los establecidos por el IPCC 2006a, los cuales son internacionales.

3

Incorporación de variables en la ecuación: calcular las emisiones para cada categoría (diésel, gasolina, gas LP u otros) y por tipo de embarcación; finalmente hacer la sumatoria de todas ellas. Cuando se calculan las emisiones de otros gases distintos al dióxido de carbono, es necesario realizar su equivalencia como se muestra en las siguientes ecuaciones.

$$\text{Ecuación 1. Emisiones Kg al año } CO_2 = \sum DA \times FE_{a,b}$$

$$\text{Ecuación 4. Emisiones Kg al año } CH_4 = \sum DA \times FE_{a,b}$$

Ecuación 5. *Emisiones Kg al año $N_2O = \sum DA \times FE_{a,b}$*

Ecuación 6. *Emisiones Kg al año $CO_2e = Emisiones Kg al año CH_4 \times PCG$*
PCG: Potencial de Calentamiento Global a 100 años ARS. (IPCC 2016)

Ecuación 7. *Emisiones Kg al año $CO_2e = Emisiones Kg al año N_2O \times PCG$*
PCG: Potencial de Calentamiento Global a 100 años ARS. (IPCC 2016)

Ecuación 2. *Emisiones ton $CO_2e = Emisiones Kg CO_2e \div 1000$*

Ecuación 3. *Emisiones Gg $CO_2e = Emisiones Kg CO_2 \div 1000000$*

1.4.4 Categoría: aéreo

Descripción

Por su complejidad se aconseja tomar las emisiones de alcance 1 asociadas a la actividad por diversos tipos de aeronaves (helicópteros, avionetas y otros) que realizan sus viajes desde el cantón en estudio a otros sitios del país; dejándolo por fuera los viajes internacionales.

Según el IPCC (2006), los motores de las aeronaves están compuestos por 70% de CO_2 y no generan emisiones de metano; sin embargo los motores de tecnología vieja y las turbinas de gas de marcha lenta, lo pueden llegar a formar. Finalmente, las turbinas modernas de gas generan muy poco porcentaje de N_2O .

Es importante comprender que el 10% de las emisiones corresponden a la operación de la aeronave LTO (ciclo de aterrizaje y despegue) y, 90% corresponden a mayores altitudes (crucero), en donde el 30% de ellas corresponden a emisiones locales. Las emisiones requieren estimarse de la siguiente manera:

Metodología

1

Dato de actividad (DA): estimar el consumo de combustible por ventas en las gasolineras o puertos en el cantón. Para ello se requiere determinar la tasa de consumo de combustible per cápita por viaje (L/ persona viaje):

- Número de viajes.
- Cantidad de pasajeros.
- Cantidad de combustible utilizado (L).

2

Selección del factor de emisión (FE): para esta categoría el IPCC (2006) posee disponible el factor para las emisiones de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso. Para ellos se deben buscar en el Volumen 2 Energía: Capítulo 3 Combustión móvil: Cuadros 3.6.4 y 3.6.5.

3

Incorporación de variables en la ecuación: calcular las emisiones para cada categoría (queroseno, gasolina u otros) y por tipo de aeronave; finalmente hacer la sumatoria de todas ellas. Cuando se calculan las emisiones de otros gases distintos al dióxido de carbono, es necesario realizar su equivalencia como se muestra en las siguientes ecuaciones.

Ecuación 1. *Emisiones Kg al año $CO_2 = \sum DA \times FE_{a,b}$*

Ecuación 4. *Emisiones Kg al año $CH_4 = \sum DA \times FE_{a,b}$*

Ecuación 5. *Emisiones Kg al año $N_2O = \sum DA \times FE_{a,b}$*

Ecuación 6. *Emisiones Kg al año $CO_2e = Emisiones Kg al año CH_4 \times PCG$*
PCG: Potencial de Calentamiento Global a 100 años ARS. (IPCC 2016)

Ecuación 7. *Emisiones Kg al año $CO_2e = Emisiones Kg al año N_2O \times PCG$*
PCG: Potencial de Calentamiento Global a 100 años ARS. (IPCC 2016)

Ecuación 2. *Emisiones ton $CO_2e = Emisiones Kg CO_2e \div 1000$*

Ecuación 3. *Emisiones Gg $CO_2e = Emisiones Kg CO_2 \div 1000000$*

2. Sector de Procesos Industriales y Uso de productos (IPPU)

Estas emisiones de alcance 1 corresponden al uso de sustancias en la actividad industrial y uso de productos dentro del cantón, y que no se asocian al uso de combustibles

2.1 Subsector: Industria de los minerales

Emisiones generadas por la producción de cemento, cal y vidrio, donde su proceso químico o físico transforma materiales.

2.1.1 Categoría: Producción de cemento

Descripción:

En la producción del cemento, las emisiones de CO_2 se generan en el proceso de calcinación donde se forma la clínker (escoria del cemento). Durante la formación de este producto, se calza la caliza ($CaCO_3$) la cual está compuesta de 95% de carbonato de calcio, para producir cal (CaO) y CO_2 como subproductos.

Metodología:

1

Dato de actividad (DA): primeramente identificar la cantidad de industrias dedicadas a la producción de cemento en el cantón, y para cada una de ellas obtener la cantidad (Kg) de cemento producido.

Es importante que este método incluye las siguientes generalidades del proceso:

- La mayor parte del cemento hidráulico es cemento portland o similar.
- El clínker contiene una cantidad de CaO que varía dentro de un intervalo y el MgO es muy bajo.
- La planta es capaz de controlar el contenido de CaO en la entrada de materia prima y el clínker dentro de un intervalo de tolerancia.
- El contenido de CaO del clínker no varía significativamente a través de los años.
- Se alcanza un factor de calcinación del 100%.
- En la planta hay colectores que captura casi la totalidad del polvo del horno de cemento (CKD).

2

Factores de emisión (FE): el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) realiza una publicación anual en su página web de los factores de emisión para Costa Rica (ver <http://cglobal.imn.ac.cr/documentos> o contactar al teléfono (506) 2222-5616).

3

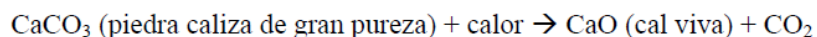
Incorporación de variables en la ecuación: calcular las emisiones para cada industria, finalmente hacer la sumatoria de todas ellas.

Ecuación 1. *Emisiones Kg al año CO₂* = $\sum DA \times FE_{a,b}$

2.1.2 Categoría: Producción de cal

Descripción:

El óxido de calcio (CaO o cal viva) se forma al calentar la piedra caliza para descomponer los carbonatos. Y en el proceso de transformación se obtiene también CO₂ como subproducto:



Metodología:

1

Dato de actividad (DA): primeramente identificar la cantidad de industrias dedicadas a la producción de cal en el cantón, y para cada una de ellas obtener la cantidad (Kg) de cal producida.

2

Factores de emisión (FE): el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) realiza una publicación anual en su página web de los factores de emisión para Costa Rica (ver <http://cglobal.imn.ac.cr/documentos> o contactar al teléfono (506) 2222-5616).

3

Incorporación de variables en la ecuación: calcular las emisiones para cada industria, finalmente hacer la sumatoria de todas ellas.

$$\text{Ecuación 1. Emisiones Kg al año } CO_2 = \sum DA \times FE_{a,b}$$

2.1.3 Categoría: Producción de vidrio

Descripción:

Las materias primas del vidrio que emiten CO_2 durante el proceso de fundición son la piedra caliza, dolomita, ceniza de sosa, carbonato de bario, ceniza de hueso, carbonato de potasio y carbonato de estroncio.

Metodología:

1

Dato de actividad (DA): primeramente identificar la cantidad de industrias dedicadas a la producción de vidrio en el cantón, y para cada una de ellas obtener la cantidad (Kg) de vidrio para cada variedad y la fracción de cullet (CR) para el proceso (recuperación in situ de vidrios rotos o residuos de vidrio recuperados por programas de reciclaje).

2

Factores de emisión (FE): el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) realiza una publicación anual en su página web de los factores de emisión para Costa Rica (ver <http://cglobal.imn.ac.cr/documentos> o contactar al teléfono (506) 2222-5616).

3

Incorporación de variables en la ecuación: calcular las emisiones para cada industria, finalmente hacer la sumatoria de todas ellas.

$$\text{Ecuación 8. Emisiones Kg al año } CO_2 = \sum DA \times FE \times (1 - CR)_{a,b}$$

2.2 Subsector: Equipos eléctricos

Descripción:

El hexafluoruro de azufre (SF_6) se utiliza como aislante eléctrico e interrumpir la corriente en equipos de transmisión y distribución de electricidad; este producto se ha venido sustituyendo, pero aún algunos equipos lo contienen.

Metodología:

1

Dato de actividad (DA): se debe contactar al proveedor (es) de electricidad en el cantón e indagar los siguientes datos:

- Determinar la cantidad de equipos por distrito que contienen SF₆ o mixtos SF₆ y aceite dieléctrico.
- Dividir estos equipos en dos categorías de confinamiento del gas: a. Sistemas de presión sellados o equipos herméticos (no necesitan recargas en toda la vida útil, poseen menos de 5 kg de gas por unidad y se emplean principalmente en equipos de distribución) y, b. Sistemas de presión cerrados (especialmente en equipos de transmisión).
- Para todos se debe conocer la cantidad de SF₆ contenido en cada equipo (capacidad nominal) y la cantidad de equipos eliminados que utilizaban este sistema en el año base del inventario.
- Para los sistemas de presión cerrados, se debe conocer la cantidad de recargas requeridas en el año base del inventario.

2

Incorporación de variables en la ecuación: calcular las emisiones para cada tipo de sistema, finalmente hacer la sumatoria de todas ellas.

Ecuación 9. $Emisiones\ Kg\ al\ año\ SF_6 = \sum Emisiones\ del\ uso\ de\ los\ equipos + Emisiones\ de\ la\ eliminación\ de\ los\ equipos$

Donde,

Emisiones del uso de los equipos: capacidad nominal total de los equipos instalados x factor de emisión por defecto. Este factor de emisión incluye las emisiones por fugas, servicio, mantenimiento y fallas; según el siguiente cuadro.

Cuadro 2. Factores de emisión de SF₆ en fracción por defecto.

Equipo	Región*	Uso	Eliminación	
			Vida útil (años)	Fracción remanente en el retiro
Presión sellados (tensiones intermedias)	Europa	0,002	>35	0,93
Presión cerrados (alta tensión)	Europa	0,026	>35	0,95

*Estos datos están únicamente para Europa y Japón, se recomendó utilizar el factor de emisión con los datos más completos. **Fuente:** IPCC, 2006.

Ecuación 10. $Emisiones\ de\ la\ eliminación\ de\ los\ equipos = capacidad\ nominal\ total\ de\ los\ equipos\ que\ se\ retiran \times Fracción\ de\ SF_6\ que\ permanece\ en\ los\ equipos\ retirados$

Ecuación 11. $Emisiones\ Kg\ al\ año\ CO_2e = Emisiones\ SF_6 \times PCG$
PCG: Potencial de Calentamiento Global a 100 años ARS. (IPCC 2016)

Ecuación 2. $Emisiones\ ton\ CO_2e = Emisiones\ Kg\ CO_2e \div 1000$

Ecuación 3. $Emisiones\ Gg\ CO_2e = Emisiones\ Kg\ CO_2 \div 1000000$

Ejemplo:

En el cantón Z se consultó por los equipos eléctricos en donde se obtuvieron 34 con sistema hermético, con una capacidad de 0,8 kg de SF₆ por unidad; así como la sustitución de 30 unidades con la misma capacidad en el año t. Por tanto,

Emisión del uso de equipos= 0,8 kg x 34 x 0,002= 0,05.

Ecuación 10. Emisión de eliminación de equipos= 0,8 kg x 30 x 0,93= 22.

Ecuación 9. Emisión total SF₆= 0,05 + 22= 22.

Ecuación 11. Emisión de CO₂e = 22 x 23 900= 534 748 kg / año

Lo que equivale a 0,5 Gg CO₂e/ año y 535 ton CO₂e/ año.

3. Sector Agricultura, forestal y otros usos de la tierra (AFOLU)

Las prácticas agrícolas, forestales y otros usos de la tierra generan emisiones de alcance 1 a través del cambio de uso del suelo, proceso de digestión del alimento consumido por los herbívoros y el uso de nutrientes en la agricultura.

3.1 Subsector: Fermentación entérica

Descripción:

Las emisiones generadas por la fermentación entérica se deben al proceso de digestión del alimento consumido por los herbívoros, el cual es transformado en metano debido a la actividad microbiana en el rumen del animal.

Contaminante:

CH₄

Metodología:

1

Identificar y hacer un listado de las principales especies de ganado en el cantón tanto de los animales rumiantes como de los no rumiantes (vacas lecheras, ganado vacuno, cerdos, aves de corral, caballos, búfalos, cabras, ovinos y mulas). Es importante tomar en cuenta el siguiente cuadro:

Cuadro 3. Clasificación de especies de ganado.

Categoría principal	Subcategoría
Vacas lecheras o hembras de búfalo maduras	-
Otro ganado vacuno o búfalos maduros no lecheros	Hembras: carne o doble propósito. Machos: carne o doble propósito.
Ganado vacuno o búfalos en crecimiento	Terneros. Hembras en crecimiento. Machos en crecimiento.
Porcinos	-
Ovinos	-
Caprinos	-
Aves de Corral	Ponedoras con manejo de estiércol en seco. Ponedoras con manejo de estiércol en húmedo. Pollos parrilleros. Aves para producción de huevos o carne.
Pavos	Sistema confinado. Sistema no confinado.
Patos	Reproducción. Carne.
Otros	Mulas Conejos Equinos Gansos

Fuente: IPCC, 2006.

2

Dato de actividad (DA): obtener la población anual para cada especie identificada, es importante contemplar las variaciones entre nacimientos y muertes (natural o venta de carne) estacionales, en donde se requiere de hacer un ajuste, estimando el promedio anual.

3

Factores de emisión (FE): el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) realiza una publicación anual en su página web de los factores de emisión para Costa Rica (ver <http://cglobal.imn.ac.cr/documentos> o contactar al teléfono (506) 2222-5616).

4

Incorporación de variables en la ecuación: calcular las emisiones para cada tipo de animal, finalmente hacer la sumatoria de todas ellas.

Ecuación 4. Emisiones Kg al año $CH_4 = \sum DA \times FE_{a,b}$

Ecuación 6. $Emisiones\ Kg\ al\ año\ CO_2e = Emisiones\ Kg\ al\ año\ CH_4 \times PCG$
 PCG: Potencial de Calentamiento Global a 100 años ARS. (IPCC 2016)

Ecuación 2. $Emisiones\ ton\ CO_2e = Emisiones\ Kg\ CO_2e \div 1000$

Ecuación 3. $Emisiones\ Gg\ CO_2e = Emisiones\ Kg\ CO_2 \div 1000000$

Ejemplo:

Para estimar las emisiones por fermentación entérica, se identificó en el cantón de San Rafael para el año 2008, las fincas dedicadas al manejo de ganado vacuno, animales rumiantes y no rumiantes, donde se aplicaron encuestas a los dueños y se obtuvieron los siguientes datos:

Tipo y cantidad de animales	Factor de emisión IPCC, 2006 (kg de CH ₄ /cabeza/año)	Ecuación para cálculo de emisión	Emisiones de CH ₄ (kg CH ₄ /año)
352 bovinos (leche)	63	Ecuación 4. $Emisiones\ Kg\ al\ año\ CH_4 = \sum DA \times FE_{a,b}$	63 x 352= 22 176
267 bovinos (carne)	56		56 x 267= 14 952
168 caprinos	5		5 x 168= 840
206 ovejas	5		5 x 206= 1 030
28 caballos	18		18 x 28= 504
34 cerdos	1		1 x 34= 34
1 asno	10		10 x 1= 10

3.2 Subsector: Manejo del estiércol

Descripción:

Las emisiones de metano se generan por los sistemas de gestión de los residuos sólidos y líquidos (estiércol y orina) tanto del almacenamiento y tratamiento como del desecho depositado en la pastura por el ganado doméstico.

Contaminante:
CH₄

Metodología:

- 1** Identificar y hacer un listado de las principales especies de ganado en el cantón tanto de los animales rumiantes como de los no rumiantes (vacas lecheras, ganado vacuno, cerdos, aves de corral, caballos, búfalos, cabras, ovinos y mulas). Es importante tomar en cuenta el cuadro x.
- 2** **Dato de actividad (DA):** obtener la población anual para cada especie identificada, es importante contemplar las variaciones entre nacimientos y muertes (natural o venta de carne) estacionales, en donde se requiere de hacer un ajuste, estimando el promedio anual.
- 3** **Factores de emisión (FE):** el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) realiza una publicación anual en su página web de los factores de emisión para Costa Rica (ver <http://cglobal.imn.ac.cr/documentos> o contactar al teléfono (506) 2222-5616).
- 4** **Incorporación de variables en la ecuación:** calcular las emisiones para cada tipo de animal, finalmente hacer la sumatoria de todas ellas.

$$\text{Ecuación 4. Emisiones Kg al año } CH_4 = \sum DA \times FE_{a,b}$$

$$\text{Ecuación 6. Emisiones Kg al año } CO_2e = \text{Emisiones Kg al año } CH_4 \times PCG$$

PCG: Potencial de Calentamiento Global a 100 años ARS. (IPCC 2016)

$$\text{Ecuación 2. Emisiones ton } CO_2e = \text{Emisiones Kg } CO_2e \div 1000$$

$$\text{Ecuación 3. Emisiones Gg } CO_2e = \text{Emisiones Kg } CO_2 \div 1000000$$

3.3 Subsector: Suelos gestionados

Descripción:

Las emisiones de N₂O se generan en las actividades agrícolas donde se da un aporte de nitrógeno al suelo por medio de fertilizantes tanto sintéticos como orgánicos. El aporte de nitrógeno se puede dar de dos formas: en la aplicación directa en el suelo incorporando el N o de forma indirecta por volatilización del amoníaco (NH₃) y posterior deposición o por lixiviación y escorrentía. A su vez, las prácticas de encalado generan emisiones de CO₂.

Contaminante:

N₂O-CO₂

3.3.1 Categoría: Aplicación de nitrógeno como fertilizante

Metodología:

- 1 Identificar aquellas prácticas agrícolas en el cantón.
- 2 **Dato de actividad (DA):** corresponde a las hectáreas de terreno sembrado por tipo de cultivo, en el año del inventario.
- 3 **Factores de emisión (FE):** el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) realiza una publicación anual en su página web de los factores de emisión para Costa Rica (ver <http://cglobal.imn.ac.cr/documentos> o contactar al teléfono (506) 2222-5616).
- 4 **Incorporación de variables en la ecuación:** calcular las emisiones para cada tipo de animal, finalmente hacer la sumatoria de todas ellas.

$$\text{Ecuación 5. Emisiones Kg al año } N_2O = \sum DA \times FE_{a,b}$$

$$\text{Ecuación 7. Emisiones Kg al año } CO_2e = \text{Emisiones Kg al año } N_2O \times PCG$$

PCG: Potencial de Calentamiento Global a 100 años ARS. (IPCC 2016)

$$\text{Ecuación 2. Emisiones ton } CO_2e = \text{Emisiones Kg } CO_2e \div 1000$$

$$\text{Ecuación 3. Emisiones Gg } CO_2e = \text{Emisiones Kg } CO_2 \div 1000000$$

Ejemplo:

En el cantón de Z para el año t se indagó en todas las fincas y se obtuvo que, en 8 de ellas se siembra café sin sombra, cubren un total de 40 ha y, otras 6 se dedican a la siembra de lechuga criolla en un total de 20 ha. Entonces,

$$\text{Ecuación 5. Emisiones Kg al año } N_2O = (40 \times 2,92) + [20 \times (20 \times 0,01)] = 121.$$

$$\text{Ecuación 7. Emisiones } CO_2e = 121 \times 310 = 37\,448 \text{ kg } CO_2e/\text{ año.}$$

Lo que equivale a 0,04 Gg de CO_2e y 37 ton de CO_2e .

3.3.2 Categoría: Aplicación de cal

Metodología:

- 1 Identificar aquellas prácticas agrícolas en el cantón que utilizan cal como fertilizante; así como el tipo de cal (cálcica o dolomita).
- 2 **Dato de actividad (DA):** corresponde a la cantidad de cal aplicada al cultivo.
- 3 **Factores de emisión (FE):** para esta categoría el IPCC (2006) posee disponible el factor para cada tipo de cal (cálcica y dolomita). Se debe buscar en el Volumen 4 Agricultura, Silvicultura y otros usos: Capítulo 11 Emisiones de NO_2 de los suelos Gestionados y derivadas de la aplicación de cal y urea: página 29.
- 4 **Incorporación de variables en la ecuación:** calcular las emisiones para cada tipo de cal, finalmente hacer la sumatoria de ellas.

$$\text{Ecuación 12. Emisiones Kg al año } CO_2 - C = (M_{caliza} \times FE) + (M_{dolomita} \times FE)$$

$$\text{Ecuación 13. Emisiones Kg al año } CO_2e = (CO_2 - C) \times \frac{44}{12}$$

3.3.3 Categoría: Aplicación de urea

Metodología:

- 1 Identificar aquellas prácticas agrícolas en el cantón que utilizan urea como fertilizante.
- 2 **Dato de actividad (DA):** corresponde a la cantidad de urea aplicada al cultivo.
- 3 **Factores de emisión (FE):** para esta categoría el IPCC (2006) posee disponible el factor por defecto de la aplicación de la urea. Se debe buscar en el Volumen 4 Agricultura, Silvicultura y otros usos: Capítulo 11 Emisiones de NO_2 de los suelos Gestionados y derivadas de la aplicación de cal y urea: página 36.
- 4 **Incorporación de variables en la ecuación:** calcular las emisiones para cada tipo de cal, finalmente hacer la sumatoria de ellas.

$$\text{Ecuación 14. Emisiones Kg al año } CO_2 - C = DA \times FE$$

$$\text{Ecuación 13. Emisiones Kg al año } CO_2e = (CO_2 - C) \times \frac{44}{12}$$

3.4 Subsector: Cambio de uso del suelo

Este sector requiere determinar un periodo de tiempo; el cual varía de la información disponible. Para ello se debe consultar a la Unidad de Bienes Inmuebles del municipio y conocer sobre las imágenes satelitales disponibles; es importante tener en cuenta que en dicho tiempo debe estar presente el año base o el año de estudio del inventario.

Rodríguez (2014) adaptó la metodología del IPCC de este sector a su aplicación por medio del programa ArcMap 10; por medio de la extensión Editor clasificó el área del cantón en asentamientos (SS), árboles de asentamientos (SST), cultivos perennes con árboles (CPT), cultivos perennes (CP), cultivos anuales (CA), bosques (FF), plantaciones forestales (FP), pastos (GG), pastos arbolados (GGT), humedales (W), cuerpos de agua (OA), tierras desnudas (OD) y nubes (NUBE).

A su vez, digitalizó las fotografías con la extensión ET Geo Wizards V.10 como control de calidad de estas y finalmente, realizó una matriz de conversión de uso de la tierra según lo hallado en los dos años de comparación. Esta metodología se encuentra disponible en físico y en disco compacto en la Biblioteca de Tierra y Mar de la Universidad Nacional (número de clasificación: 363.73874 R696-i).

4. Sector de Residuos

La generación de residuos sólidos y aguas residuales a través del proceso de descomposición aeróbico y anaeróbico produce gases de efecto invernadero. Cuando la producción de residuos tiene lugar en el sitio de estudio y también se trata allí, es considerado de alcance 1; pero si su tratamiento se realiza fuera de él, es considerado como alcance 2.

4.1 Subsector: Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR)

Descripción:

Comprende aquellas aguas residuales que son tratadas en sistemas aerobios o anaerobios, con el fin de descomponer las sustancias presentes y simplificarlas para que sean menos perjudiciales para el ambiente. Estos sistemas generan como subproductos metano y óxido nitroso.

Contaminante:

$\text{CH}_4 - \text{N}_2\text{O}$

Metodología:

1

Recopilación de la información: identificar los sistemas de tratamiento de aguas residuales en el cantón. Estos datos se pueden obtener de la sede más cercana del Ministerio de Salud en el caso de centros comerciales, industrias y residenciales que tienen la obligatoriedad legal de presentar reportes operaciones de estos sistemas; también se encuentran las Municipalidades, las cuales en algunos casos administran la operación de plantas en el tratamiento de aguas domésticas y que a su vez, dan permisos de construcción y registran la cantidad de sistemas en el cantón.

2

Clasificación de los Sistemas de Tratamiento: los sistemas de tratamiento una vez identificados, se deben dividir por tipo de proceso (digestión anaerobia, lagunas facultativas y anaerobias, tratamiento de nitrificación o desnitrificación).

3

Incorporación de variables en la ecuación: para cada tipo de tratamiento se debe aplicarlas siguientes fórmulas:

Digestión anaerobia

Ecuación 15.
$$\text{Emisiones ton al año } CH_4 = \text{población} \times \text{gas de digestión} \times \text{fracción de metano en el gas} \times \text{densidad del metano en condiciones normales} \times (1 - \text{eficiencia de destrucción de metano}) \times 365,25 \times 10^{-6}$$

La cual utiliza los valores por defecto: $\text{Emisiones ton al año } CH_4 = \text{población} \times 0,0283 \times 0,65 \times 662 \times (1 - 0,99) \times 365,25 \times 10^{-6}$

Lagunas facultativas y anaerobias

Ecuación 16.
$$\text{Emisiones ton al año } CH_4 = \text{población} \times \text{factor industrial y comercial de descarga} \times DBO_5 \times (1 - \text{fracción de } DBO_5 \text{ removida en el tratamiento primario}) \times \text{capacidad máxima de } CH_4 \text{ producido por fuentes domésticas} \times \text{factor de corrección} \times 365,25 \times 10^{-6}$$

La cual utiliza los valores por defecto: $\text{Emisiones ton al año } CH_4 = \text{población} \times 1,25 \times 0,090 \times (1 - 0,325) \times 0,6 \times (0,8 \text{ anaerobio o } 0,3 \text{ aerobio}) \times 365,25 \times 10^{-6}$

Con nitrificación/ desnitrificación

Ecuación 17.
$$\text{Emisiones ton al año } CH_4 = \text{población} \times \text{factor industrial y comercial de descarga} \times \text{factor de emisión} \times 10^{-6}$$

La cual utiliza los valores por defecto: $\text{Emisiones ton al año } CH_4 = \text{población} \times 1,25 \times 7 \times 10^{-6}$

Sin proceso de nitrificación/ desnitrificación

Ecuación 18. $Emisiones\ ton\ al\ año\ N_2O = población \times$
 $factor\ industrial\ y\ comercial\ de\ descarga \times factor\ de\ emisión \times 10^{-6}$

La cual utiliza los valores por defecto: $Emisiones\ ton\ al\ año\ N_2O = población \times 1,25 \times$
 $3,2 \times 10^{-6}$

Ecuación 6. $Emisiones\ Kg\ al\ año\ CO_2e = Emisiones\ Kg\ al\ año\ CH_4 \times PCG$
PCG: Potencial de Calentamiento Global a 100 años ARS. (IPCC 2016)

Ecuación 7. $Emisiones\ Kg\ al\ año\ CO_2e = Emisiones\ Kg\ al\ año\ N_2O \times PCG$
PCG: Potencial de Calentamiento Global a 100 años ARS. (IPCC 2016)

Ecuación 19. $Emisiones\ Gg\ CO_2e = Emisiones\ ton\ CO_2e \div 1000$

Los valores por defecto se utilizan en caso de que la información no esté disponible.

Ejemplo:

En el cantón de Z para el año t se indagó en todas los STAR y se obtuvo que, 3 utilizan tratamiento aeróbico y 1 floculación de precipitación. Entonces,

Ecuación 16. Emisiones CH₄ = $(38+217+350+14) \times 1,25 \times 0,090 \times (1-0,325) \times 0,6 \times 0,3 \times$
 $365,25 \times 10^{-6}$
= 70.

Ecuación 18. Emisiones N₂O = $(38+217+350+14) \times 1,25 \times 3,2 \times 10^{-6}$
= 0,003.

Emisiones CO₂e = $(70 \times 28) + (0,003 \times 265) = 1\ 961\ ton\ CO_2e/ año.$

Lo que equivale a 2 Gg de CO₂e.

4.2 Subsector: Tanques sépticos

Descripción:

Estas emisiones se consideran fugitivas y la cantidad de metano generado va estar en función de la cantidad de materia orgánica biodegradable.

Contaminante:

CH₄

Metodología:

1

Recopilación de la información: identificar la cantidad de sistemas de tanque séptico y la cantidad de descargas directas a cuerpos de agua en el cantón; tanto del sector industrial, comercial y residencial. Esta información puede estar disponible en la Municipalidad, o bien, consultar el último censo del Instituto Nacional de Estadística y Censos (ver <http://www.inec.go.cr/bincris/RpWebEngine.exe/Portal?BASE=2011>). En caso de que el año base del inventario no coincida con el año del censo, se debe realizar una extrapolación (regla de tres) o bien, confirmar la cantidad de habitantes por vivienda en la Municipalidad, correspondiente con el año base del inventario.

2

Incorporación de variables en la ecuación: para cada condición (tanque séptico o descarga directa) debe aplicarlas siguientes fórmulas:

Tanque séptico

Ecuación 20. *Emisiones ton al año $CH_4 = población \times DBO_5 \times capacidad\ máxima\ de\ CH_4\ producido\ por\ fuentes\ domésticas \times factor\ de\ corrección \times 365,25 \times 10^{-3}$*

La cual utiliza los valores por defecto: *Emisiones ton al año $CH_4 = población \times 0,090 \times 0,6 \times 0,5 \times 365,25 \times 10^{-3}$*

Los valores por defecto se utilizan en caso de que la información no esté disponible.

Descargas a ríos

Ecuación 21. *Emisiones ton al año $CH_4 = \sum DA \times FE_{a,b}$*

Ecuación 22. *Emisiones ton al año $CO_2e = Emisiones\ Kg\ al\ año\ CH_4 \times PCG$*

PCG: Potencial de Calentamiento Global a 100 años ARS. (IPCC 2016)

Ecuación 19. *Emisiones Gg $CO_2e = Emisiones\ ton\ CO_2e \div 1000$*

Ejemplo:

En el cantón de Z para el año t se indagó que se poseen 21 093 tanques sépticos y 23 salidas a ríos según el Censo Nacional del 2011, estos datos se extrapolaron para el año t de acuerdo a la población del 2011; para obtener 24 descargas a ríos y 19249 tanques sépticos para una población de 83 y 65 796 respectivamente. Entonces,

Ecuación 20. Emisiones $CH_4 = (65796 \times 0,090 \times 0,6 \times 0,5 \times 365,25 \times 10^{-3}) + [(83 \times 0,879) / 1000]$
= 649.

Emisiones $CO_2e = 649 \times 28 = 18\ 172\ ton\ CO_2e/ año.$

Lo que equivale a 18 Gg de $CO_2e.$

4.3 Subsector: Relleno Sanitario

Descripción

Emisiones directas y/o indirectas generadas por la descomposición de la materia orgánica según el tipo de sitio de disposición final (relleno sanitario, vertedero, etc.). La diferencia entre directas e indirectas varía en que si el sitio de disposición final está dentro o fuera del cantón, se debe tomar en cuenta que no únicamente la contratación está a cargo de las Municipalidades, puede que el sector industrial se encargue de la propia contratación del servicio.

Contaminante:

CH₄

Metodología

1

Recopilación de la información: identificar si el manejo de residuos sólidos lo realiza únicamente el Gobierno Local o bien, indagar las organizaciones que se encargan de realizar esta función por cuenta propia. En caso de que la cantidad de empresas sea muy elevado y costoso tomar esta información, se debe seleccionar una muestra.

2

Incorporación de variables en la ecuación: para estimar las emisiones se deben aplicar uno de los siguientes métodos:

Información completa

Ecuación 23. $COD = (0,15 \times A) + (0,2 \times B) + (0,4 \times C) + (0,43 \times D) + (0,24 \times E) + (0,15 \times D)$

Donde,

A= fracción de restos de comida.

B= fracción de restos de jardín y otros vegetales.

C= fracción de papel.

D= fracción de madera.

E= fracción de textiles.

F=fracción de residuos industriales.

Ecuación 24. *Potencial de generación de metano (L_0) = Factor de corrección de metano según el tipo de sistema × carbón orgánico degradable × fracción de COD degradado × fracción de metano en el sistema × $\frac{16}{12}$*

Donde,

El factor de corrección de metano: manejado 1, sin manejo ≥ 5 m profundidad 0,8, sin manejo < 5 m de profundidad 0,4 y sin categoría 0,6.

Ecuación 25.
$$Emisiones\ ton\ al\ año\ CH_4 = Cantidad\ de\ residuos\ enviados\ al\ relleno \times L_0 \times (1 - Fracción\ de\ metano\ recuperado\ en\ el\ relleno) \times (1 - Factor\ de\ oxidación)$$

Donde,

El factor de oxidación 0,1 para sistemas bien manejados, 0 para sistemas mal manejados.

Ecuación 22.
$$Emisiones\ ton\ al\ año\ CO_2e = Emisiones\ Kg\ al\ año\ CH_4 \times PCG$$

 PCG: Potencial de Calentamiento Global a 100 años ARS. (IPCC 2016)

Ecuación 19.
$$Emisiones\ Gg\ CO_2e = Emisiones\ ton\ CO_2e \div 1000$$

Ejemplo:

En el cantón de Z para el año t se indagó que la Municipalidad brinda el servicio de recolección de residuos sólidos ordinarios a nivel residencial y comercial, y reporta una generación de residuos sólidos de 8 042 045 y 2 510 339,32 kg al año respectivamente. En cuanto al sector industrial se tiene que se envió a relleno sanitario: empresa x 264 ton/año donde se compone 10% de residuos de jardín y 90% de resto de alimentos; empresa h 78 ton/año donde se compone del 15% de restos de alimentos, 5% de residuos de jardín, 45% de papel y cartón, 30% y 5% de madera. Entonces,

Ecuación 21.
$$Emisiones\ CH_4 = [(8\ 042\ 045 \times 0,0581) + (2\ 510\ 339,32 \times 0,0581)] / 1000 = 613.$$

Ecuación 23.
$$COD = [0,15 \times (0,9+0,15)] + [0,2 \times (0,1+0,05)] + [0,4 \times 0,45] + [0,43 \times 0,05] = 0,4.$$

Ecuación 24.
$$L_0 = 1 \times 0,389 \times 0,6 \times 0,6 = 0,1.$$

Ecuación 25.
$$Emisiones\ CH_4 = (264+78) \times 0,1 \times (1-0,1) = 342.$$

Ecuación 22.
$$Emisiones\ CO_2e = (613+ 342) \times 28 = 26\ 740\ ton\ CO_2e/ año.$$

Lo que equivale a 27 Gg de CO₂e.

Información incompleta

Ecuación 21.
$$Emisiones\ ton\ al\ año\ CH_4 = \sum DA \times FE_{a,b}$$

Donde,

El dato de actividad corresponde a la cantidad de residuos sólidos enviados al relleno sanitario en el año. Y el factor de emisión según el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) realiza una publicación anual en su página web de los factores de emisión para Costa Rica (ver <http://cglobal.imn.ac.cr/documentos> o contactar al teléfono (506) 2222-5616).

Ecuación 22. *Emisiones ton al año $CO_2e = Emisiones Kg al año CH_4 \times PCG$*
PCG: Potencial de Calentamiento Global a 100 años ARS. (IPCC 2016)

Ecuación 19. *Emisiones Gg $CO_2e = Emisiones ton CO_2e \div 1000$*

4.4 Subsector: Tratamiento Biológico de Residuos Sólidos

Descripción

Entre estos tratamientos se tiene el compostaje y la digestión anaerobia de residuos orgánicos como desperdicios de comida preparada, jardín, lodos y otros.

Contaminante:

CH_4 - N_2O

Metodología

1

Recopilación de la información: identificar la cantidad de sistemas de tratamiento localizados dentro del cantón (emisiones directas) o bien, indagar en las diversas organizaciones si contrataron el servicio en el año base del inventario a otras empresas fuera del cantón (emisiones indirectas).

2

Incorporación de variables en la ecuación: por cada tipo de residuos se debe calcular las siguientes fórmulas y luego realizar la sumatoria:

Ecuación 26. *Emisiones ton al año $CH_4 = Cantidad de residuos tratados \times Factor de emisión \times 10^{-3} - Total de metano recuperado en el sitio$*

Ecuación 21. *Emisiones ton al año $CH_4 = \sum DA \times FE_{a,b}$*

Ecuación 27. *Emisiones ton al año $N_2O = \sum DA \times FE_{a,b}$*

Ecuación 22. *Emisiones ton al año $CO_2e = Emisiones Kg al año $CH_4 \times PCG$$*
PCG: Potencial de Calentamiento Global a 100 años ARS. (IPCC 2016)

Ecuación 28. *Emisiones ton al año $CO_2e = Emisiones Kg al año $CH_4 \times PCG$$*
PCG: Potencial de Calentamiento Global a 100 años ARS. (IPCC 2016)

Ecuación 19. *Emisiones Gg $CO_2e = Emisiones ton CO_2e \div 1000$*

Ecuación 5. *Emisiones CO_2e (ton/ año)= Emisiones $N_2O \times PCG$*

4. Manejo estadístico e incertidumbre

La investigación requiere definir la población de estudio, selección de la muestra, recopilación de datos, analizarlos y reportarlos; aspectos que se deben tomar en cuenta que cada uno de los métodos de cálculo de emisiones mencionados en este documento. (Chaves, 2009).

La población (totalidad) como primer paso, según Chaves (2009) se clasifica en finitas o infinitas. Las primeras son aquellas que poseen un número fijo (número de industrias en un cantón) y las infinitas, está conformada de elementos desconocidos (número de vehículos que transitan en todo el cantón). Cuando se posee poblaciones grandes (censos) o infinitas se vuelven complejas porque:

- Requieren mucho tiempo para la recopilación de la información.
- Necesitan más recursos: humanos, financieros y materiales.
- El control y supervisión de los recursos e información es más complejo.

Por ello, se recurre a la definición de una muestra, la cual infiere al comportamiento de la totalidad. Según Chaves (2009), existen diversos tipos de técnicas probabilísticas para determinar la muestra, las más usadas en inventarios son:

- Aleatorio simple: las unidades se escogen individualmente y al azar de la totalidad.

Ejemplo:

El investigador tiene una población de 80 industrias en el cantón, este debe tomar una muestra de 13 unidades con un error y un nivel de significancia del 5% cada uno; así como la consideración de que el 99% de la población cumple con la característica y el 1% no la cumple.

Por medio del uso de la herramienta Excel 2010 se seleccionan los primeros 13 números que no se repiten seleccionados al azar, esto se obtienen al digitar en una celda la función de aleatorio entre (1;80). Entonces, se enumeran cada una de las industrias (se debe conocer el nombre de estas) y se seleccionan la 2, 65, 49, 39, 38, 52, 57, 45, 63, 44, 56, 9 y 24 según los valores que salieron al azar.

- Aleatorio sistemático: los elementos se seleccionan a intervalos uniformes a partir de un listado ordenado.

Ejemplo:

El investigador tiene una población de 2300 vehículos por hora en la ruta 1, este debe tomar una muestra de 329 unidades con un error y un nivel de significancia del 5% cada uno; así como la consideración de que el 50% de la población cumple con la característica y el 50% no la cumple.

Entonces si se dividen 2300 vehículos entre las 329 unidades, se obtiene que cada 7 vehículos se aplica la encuesta de origen-destino.

- Estratificado: ordena las unidades en subgrupos (según la característica de interés) y en cada uno de ellos, se aplica un muestreo aleatorio simple o sistemático.

Ejemplo:

El investigador tiene una población determinada en el sector comercial el cual posee las siguientes características: un error y un nivel de significancia del 5% cada uno; así como la consideración de que el 50% de la población cumple con la característica y el 50% no. Además un total de subgrupos, en donde cada uno de ellos representa una parte del total de comercios en cada distrito y estos cumplen con una muestra.

Distrito	Clase	Número de empresas		
		Total	Fracción	Muestra*
A	Hospedaje	6	0,028	4
A	Refrigeración	48	0,221	31
A	Servicios	151	0,696	96
A	SF ₆	1	0,005	1
A	Talleres	11	0,051	7
	Total	217	1,000	139
B	Hospedaje	7	0,029	4
B	Refrigeración	90	0,377	55
B	Servicios	136	0,569	84
B	SF ₆	0	0,000	0
B	Talleres	6	0,025	4
	Total	239	1,000	147
C	Hospedaje	5	0,009	2
C	Refrigeración	157	0,281	64
C	Servicios	371	0,665	151
C	SF ₆	2	0,004	1
C	Talleres	23	0,041	9
	Total	558	1,000	228
			no*	384

La muestra simple al azar se puede determinar por varios métodos, existen programas que realizan el cálculo con sólo digitar las variables necesarias, o bien, la forma tradicional por medio de las siguientes ecuaciones:

Ecuación 29.
$$n = \frac{n_0}{(1 + n_0/N)}$$

Ecuación 30.
$$n_0 = \left[Z_{\alpha/2} \times \sqrt{pq/d} \right]^2$$

Donde,

n = tamaño de la muestra.

n_0 = factor de muestreo.

$Z_{\alpha/2}$ = estadístico gaussiano para un nivel de significancia α (1,96).

α = nivel de significancia (preferiblemente 5%).

p = proporción de la población que posee la característica (50%).

q = proporción de la población que no posee la característica (50%).

d = error máximo permitido (5-10%).

N = tamaño de la población (finita).

Como se puede observar, en la estimación de una muestra se debe contemplar un error máximo permitido. Según Chaves (2009), en una investigación se puede cometer dos tipos de error:

- Sesgo: error experimental asociado a la naturaleza de la investigación, se puede originar por una inadecuada calibración de los instrumentos de medición o averías de estos, errores personales como cambio de nombres o dificultades de interpretación y, error del método seleccionado.
- Error de muestreo (incertidumbre): se debe a circunstancias accidentales (al azar), se puede cuantificar y se utiliza para garantizar la fiabilidad de los resultados y cumplimiento de requisitos.

Este último el IPCC (2006) lo define como, aquella falta de conocimiento sobre el valor real de una variable, depende del nivel de conocimiento de quien analiza la información, de la calidad y la cantidad de datos, y del método utilizado para estimar las emisiones. Por lo que según WRI y WBCSD (2003) se pueden identificar las oportunidades de mejorar la calidad de los datos y métodos en el cálculo de emisiones.

La estimación de la incertidumbre no es una tarea sencilla y muchas veces no se logra alcanzar el nivel de detalle deseado, ya sea por falta de información sobre los datos de actividad o por otros imprevistos que surgen durante el proceso. Por ello, Chaves (2009) recomienda tomar en cuenta las diversas fuentes de información:

- Primarias: donde ellas mismas generan estadísticas para conocimiento público; por ejemplo: el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), Instituto Meteorológico Nacional (IMN), entre otros.
- Secundarias: resumen los resultados de investigaciones realizadas por otras entidades; por ejemplo El Estado de la Nación.
- Terciarias: la información proviene de una fuente secundaria.

En donde las primeras fuentes son las que contienen menos errores de transcripción, dan mayor información y usualmente explican cómo se obtuvieron los resultados. También, las fuentes secundarias en su mayoría son publicadas por instituciones serias, por lo que dan confiabilidad de los datos. (Chaves 2009)

Una vez que se recopilan las variables y se estiman las emisiones de Gases Efecto Invernadero, es importante analizar los resultados; ya que se debe verificar la representatividad de los datos, potencial sesgo, precisión y exactitud de las mediciones, tamaño de la muestra y la variabilidad interindividual de las mediciones; así como las implicancias para la incertidumbre en las emisiones anuales medias y la variabilidad interanual de las emisiones y, si las estimaciones se basan en un promedio de varios años o en un año en particular. (IPCC 2006)

Finalmente, se requiere hacer el reporte de los resultados, en el cual cada emisión se debe acompañar de su incertidumbre respectiva (ver en cada subcategoría en el método de cálculo de emisiones). Esta última se determina por el aporte del error de cada una de las variables que integran las ecuaciones que arrojaron los resultados de emisión.

Estimación de la incertidumbre

En la cuantificación de la incertidumbre final del inventario cantonal, se recomienda seleccionar el método que mejor se ajuste al inventario y al final se debe realizar un análisis de sensibilidad. Entre los métodos de cálculo de incertidumbre que el WRI y WBCSD (2003), y el IPCC (2006) recomiendan, se encuentran: distribución normal y la Simulación Monte Carlo; en el primero es indispensable que cumplan las siguientes características:

- El error de cada uno de los parámetros poseen una distribución normal.
- Los valores estimados son el valor medio.
- Los parámetros son completamente independientes.
- Las incertidumbres individuales son inferiores al 60 % de la media.

Por otro lado, la Simulación Monte Carlo permite trabajar con cualquier probabilidad de distribución, rango y correlaciones variadas (WRI y WBCSD, 2003; IPCC, 2006). Sin embargo, este último método requiere de un manejo estadístico con criterio técnico, por lo que es de mayor dificultad.

De esta manera, se recomienda el uso del siguiente cuadro, el cual corresponde al método 1 (distribución normal). En caso de que existan múltiples variables como datos de actividad, se debe aplicar la fórmula de la raíz de la suma de los cuadrados de cada dato en la columna E.

Ejemplo:

El cálculo de las emisiones producto del funcionamiento de Sistemas de tratamiento de aguas residuales contiene las siguientes variables: población, DBO₅, gas de digestión, factor industrial de descarga, eficiencia de destrucción de metano, fracción de DBO removida y B_o.

Ecuación 31.
$$Incertidumbre = \sqrt{[(Dato\ de\ actividad)^2 + (Factor\ de\ emisión)^2]}$$

Por lo que,

$$= \sqrt{[(población)^2 + (DBO_5)^2 + (gas\ de\ digestión)^2 + (factor\ industrial\ de\ descarga)^2 + (eficiencia\ de\ destrucción\ de\ metano)^2 + (fracción\ de\ DBO\ removida)^2 + (B_o)^2]}$$

Cuadro 4. Guía de cálculo de la incertidumbre total del inventario.

A	B	C	D	E	F	G	H
Categoría del IPCC	Gas	Emisiones o absorciones del año de base	Emisiones o absorciones del año t	Incertidumbre de los datos de la actividad	Incertidumbre del factor de emisión / parámetro de estimación	Incertidumbre combinada	Contribución a la varianza por categoría en el año t
		Datos de entrada	Datos de entrada	Datos de entrada Nota A	Datos de entrada Nota A	$\sqrt{E^2 + F^2}$	$\frac{(G \cdot D)^2}{(\sum D)^2}$
		Equivalente de Gg CO ₂	Equivalente de Gg CO ₂	%	%	%	
P. ej., 1.A.1. Energía Industrias Combustible 1	CO ₂						
P. ej., 1.A.1. Energía Industrias Combustible 2	CO ₂						
Etc.	...						
Total		$\sum C$	$\sum D$				$\sum H$
					Porcentaje de incertidumbre del inventario total:		$\sqrt{\sum H}$

Fuente: IPCC 2006.

Los datos de las columnas E y F dependen de la fuente de información; la guía del IPCC (2006) especifica la incertidumbre para cada una de ellas; mas se aclara que en caso de utilizar factores de emisión nacionales, predomina su incertidumbre en caso de que se especifique; o bien, en caso de estimar una muestra de una población, se utiliza su nivel de significancia.

Garantía de la calidad

Con base al capítulo 6 de la guía del IPCC (2006), se estableció la siguiente clasificación. La cual fue adaptada para inventarios de GEI a nivel nacional.

Cuadro 5. Guía de clasificación para garantizar la calidad de las variables recopiladas para el cálculo de las emisiones.

Confiabilidad de los datos			
Clasificación	Puntaje	Datos de actividad	Factores de emisión
A	4	Basados en datos exhaustivos específicos para el espacio geográfico	Basado en datos generados por modelos mecanísticos específicos para el espacio geográfico.
B	3	Basado en criterio de expertos	Basado en los factores de emisión del IMN
C	2	Balances de la producción y del consumo	Basado en los factores de emisión del IPCC para América Latina o países en desarrollo
D	1	Datos extrapolados para el espacio geográfico	Basado en los factores de emisión del IPCC para países desarrollados

Fuente: Modificación propia según IPCC 2006.

Para su uso se da el siguiente ejemplo:

Ejemplo:

Sector	Subsector	Categoría	Datos de actividad	Factores de emisión	Puntaje	Clasificación
Energía	Fuentes fijas y área	Comercial 1	Consumo de combustible		4	A
				IMN	3	B
				IPPC	2	C
		Industrial 1	Consumo de combustible		4	A
				IMN	3	B
		Comercial 2	Consumo de combustible		4	A
				IMN	3	B
				IPPC	2	C
		Industrial 2	Consumo de combustible		4	A
				IMN	3	B
		Residencial	Consumo de combustible		4	A
				IMN	3	B
		IPPC	2	C		

Finalmente, para el cálculo por sector, alcance y totalidad se efectúa el promedio del puntaje; y según este valor corresponde a la clasificación propuesta en el Cuadro 5.

5. Referencias

Chaves, O. (2009). Métodos estadísticos para las ciencias naturales. San José, Costa Rica: EUNED.

IPCC (Panel Intergovernmental sobre el Cambio Climático). 2006. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero (en línea). IGES. Ginebra, SE. Consultado 17 abr. 2014. Disponible en <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/>

IPCC (Panel Intergovernmental sobre el Cambio Climático). 2016. Valores de Potencial de Calentamiento Global (en línea). Ginebra, SE. Consultado 18 oct. 2017. Disponible en http://www.ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/Global-Warming-Potential-Values%20%28Feb%2016%202016%29_1.pdf

MINAE (Ministerio de Ambiente y Energía). 2012. Inventario nacional de gases de efecto invernadero y absorción de carbono. San José, CR. 70p. Consultado el 14 de jul. 2014. Disponible en <http://cglobal.imn.ac.cr/documentos/inventario-nacional-de-gases-de-efecto-invernadero-y-absorcion-de-carbono-2012>

Moukhallaleh, C. 2015. Análisis de emisiones de gases por fuentes móviles en las ciudades de Alajuela, Cartago y Heredia. Trabajo final de Graduación, Lic. Ingeniería Civil. San José, CR. 163p.
Rodríguez, R. 2014. Inventario de emisiones-absorciones de gases de efecto invernadero en el sector forestal y uso del suelo (FOLU) del cantón de Belén para el periodo 2006-2013. Heredia, CR. 57p.

Vega, A. 2013. Análisis de emisiones de gases en el Área Metropolitana de San José y sus alrededores. Trabajo final de Graduación, Lic. Ingeniería Civil. San José, CR. 163p.

WRI, C40 CITIES e ICLEI. 2014. Protocolo Global para Inventarios de Gases Efecto Invernadero a escala comunal (GPC): Contabilización y reporte estándar para ciudades. Washington, US. Consultado 17 abr. 2014. Disponible en <http://www.ghgprotocol.org/city-accounting>