ANEXO 1: Descripción metodológica del Cálculo de la Huella de Carbono en la ciudad de Santiago de Cali

Contenido

1. Introducción 3
2. Objetivos del presente Anexo 3
3. Metodología Empleada 3
   3.1. Definición de los objetivos de la evaluación de Huella de Carbono 3
   3.2. Identificación de límites 4
   3.2.1. Diagnóstico de la ciudad 4
   3.2.2. Enfoque geográfico, demográfico y político-administrativo 5
   3.2.3. Enfoque sectorial 6
      3.2.3.1. Sector residencial 7
      3.2.3.2. Sector industrial 7
      3.2.3.3. Sector comercial/institucional 7
      3.2.3.4. Sector transporte 7
      3.2.3.5. Sector residuos 7
   3.2.4. Nivel de reporte 8
   3.3. Identificación de Fuentes de Emisiones de GEI 8
   3.3.1. Gases de Efecto Invernadero Identificados 8
   3.3.2. Fuentes de Emisión de GEI Identificadas 8
   3.4. Metodologías de Cuantificación 9
   3.4.1. Unidad de Cuantificación de la Huella de Carbono 9
   3.4.2. Mecanismos de Cuantificación 10
   3.4.3. Determinación de los Factores de Emisión 10
      3.4.3.1. Factores de Emisión por Quema de Combustibles Fósiles 10
      3.4.3.2. Factor de Emisión por uso de Energía Eléctrica 11
      3.4.3.4. Factores de emisión por tratamiento de aguas residuales 12
      3.4.3.5. Factores de emisión por disposición de residuos sólidos 12
4. Recolección de la Información 14
   4.1. Sistematización de la Información 15
5. Cálculo de la Huella de Carbono 16
   5.1. GLP 16
   5.2. Diésel 16
   5.3. Gasolina 17

5.4. Gas natural 17
5.5. Energía eléctrica 17
5.6. Rellenos Sanitarios 18
5.7. Tratamiento de aguas residuales 18

Índice de Tablas

Tabla 1. Datos generales de la ciudad de Cali 4
Tabla 2. Población, superficie y densidad poblacional 6
Tabla 3. Gases de Efecto Invernadero Tomados en Cuenta en la Evaluación 8
Tabla 4. Fuentes de emisión de GEI consideradas en la ciudad de Cali 9
Tabla 5. Factores de Emisión para Diésel 11
Tabla 6. Factores de Emisión para gasolina 11
Tabla 7. Factores de Emisión para GLP 11
Tabla 8. Factores de Emisión para Gas natural 11
Tabla 9. Factores de Emisión para Tratamiento de aguas residuales 12
Tabla 10. Caracterización de residuos ingresados al relleno “Yotoco” y sus cantidades de carbón orgánico (CCO) 13
Tabla 11. Información Requerida para el Cálculo de la Huella de Carbono 15
Tabla 12. Consumos de GLP en la ciudad de Cali en miles de kg 2015 16
Tabla 13. Emisiones de CO_2e por consumo de GLP ciudad de Cali en ton de CO_2e 2015 16
Tabla 14. Consumos de diésel en la ciudad de Cali en miles de galones 2015 16
Tabla 15. Emisiones de CO_2e por consumo de diésel ciudad de Cali en ton de CO_2e 2015 17
Tabla 16. Consumos de gasolina en la ciudad de Cali en miles de galones 2015 17
Tabla 17. Emisiones de CO_2e por consumo de gasolina ciudad de Cali en ton de CO_2e 2015 17
Tabla 18. Consumos de gas natural en la ciudad de Cali en miles de m^3 2015 17
Tabla 19. Emisiones de CO_2e por consumo de gas natural ciudad de Cali en ton de CO_2e 2015 17
Tabla 20. Consumos de energía eléctrica en la ciudad de Cali en Gwh 2015 18
Tabla 21. Emisiones de CO_2e por consumo energía eléctrica en la ciudad de Cali en ton de CO_2e 2015 18
Tabla 22. Residuos enviados a rellenos sanitarios ciudad de Cali 2015 en toneladas 18
Tabla 23. Emisiones por residuos enviados a rellenos sanitarios ciudad de Cali 2015 en ton CO_2e 18
Tabla 24. Cantidad de efluentes enviados a plantas de tratamiento de aguas Cali 2015 en miles de m^3 18
Tabla 25. Emisiones por tratamiento de aguas Cali 2015 en ton CO_2e ..... **Error! Bookmark not defined.**

Índice de Figuras

Figura 1. División política del área urbana de la ciudad de Cali 5
Figura 2. División política del área rural de la ciudad de Cali 5

1. Introducción

El presente documento tiene como objeto describir paso a paso el procedimiento decuantificación de la Huella de Carbono[1](HC de ahora en adelante) de la ciudad de Santiago de Cali, en adelante ciudad de Cali.Dichos procedimientos estuvieron basados en los lineamientos para reporte y cuantificaciónde Gases de Efecto Invernadero (GEI[2]de ahora en adelante) establecidos en el ProtocoloGlobal para Emisiones de Gases de Efecto Invernadero a Nivel Comunidad (GPC por sus siglas en inglés)[3].

2. Objetivos del presente Anexo

Describir paso a paso todos los procedimientos empleados para la estimación de la Huella deCarbono 2015 de la ciudad de Cali, para que el personal de la Municipalidad de puedaentender a cabalidad todas las especificaciones que se consideraron para calcular la Huella dela ciudad.

3. Metodología Empleada

3.1. Definición de los objetivos de la evaluación de Huella de Carbono

Los objetivos generales y específicos de la evaluación son:

Objetivo General

Posicionar a la ciudad de Cali a la vanguardia de un movimiento regional detransición hacia un modelo de desarrollo bajo en carbono, a través de la medición de laHuella de Carbono de la ciudad, la definición de medidas de reducción de la Huella, latransferencia de capacidades al personal delaMSCcomo responsable de monitorear el desempeño periódicamente, y la difusión de losresultados a la población en general.

Objetivos Específicos

OE1. Cuantificar los GEI emitidos (Huella de Carbono, en toneladas de CO2e) por la ciudad de Cali durante la gestión 2015, en base a los lineamientos del "GlobalProtocolforCommunity-ScaleGreenhouse Gas Emissions (GPC)" y "Greenhouse GasProtocol" (GHG Protocol)[4] ajustados a las condiciones actuales de la MSC.

OE2: Identificar posibles medidas de reducción de emisiones y eficiencia energética apartir de la Huella de Carbono cuantificada.

[1]Se entiende como Huella de Carbono o Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) a la cantidad de GEI que son emitidos o liberados a la atmosfera debido a las actividades de una organización y que consecuentemente contribuyen alcalentamiento global.

[2]Gases de Efecto Invernadero: Gases cuya presencia en la atmósfera contribuye al efecto invernadero. Los principales GEI son: eldióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluorurode azufre (SF_6).

[3]Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emissions (GPC), preparadopor: C40 Cities Climate Leadership Group e ICLEI Local Governments for Sustainability en colaboración con: World Resources Institute, World Bank, UNEP y UN-HABITAT.

[4]Ambas herramientas son ampliamente reconocidas a nivel internacional en el ámbito de inventarios de emisiones.

OE3: Transferir capacidades y herramientas generadas al personal de la MSC – como software, respaldos documentales,etc.- para futuras evaluaciones de la Huella de Carbono de la ciudad; contribuyendo aldesarrollo de capacidades operativas del personal y promoviendo su sostenibilidadcomo herramienta de gestión ambiental.

OE4: Difundir los resultados y experiencias obtenidos durante la evaluación de laHuella de Carbono de Cali a actores clave, incluyendo la ciudadanía.

OE5: Desarrollar un Plan de Acción para que el gobierno local pueda dar continuidad ala implementación de sus estrategias de mitigación al cambio climático.

3.2. Identificación de límites

3.2.1. Diagnóstico de la ciudad

Cali en cifras

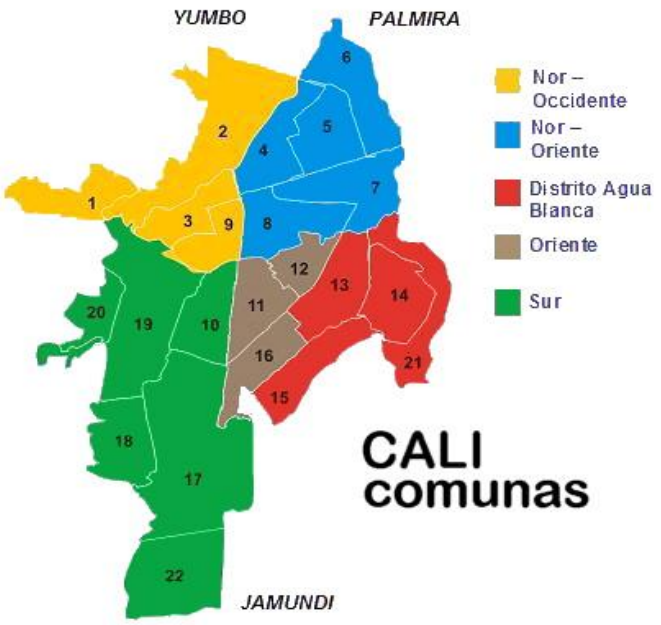
A continuación se presenta información estadística general de la ciudad de Cali, con elobjetivo de ilustrar la magnitud del trabajo que se encara mediante la medición de las Huellas.En la Tabla 1 se presentan datos generales de la ciudad, y la Figura 1 presenta un mapa de laciudad, con su división política.

Tabla 1. Datos generales de la ciudad de Cali

Nombre Oficial	Santiago de Cali
Fundación	25 de julio de 1536
Fecha Cívica	25 de julio
Altitud	995 msnm
Superficie Total	561,6 km^2
Superficie Urbana	119,2 km^2
Superficie Rural	426,1km^2
Superficie de expansión	16,3 km^2
Humedad relativa promedio	68,8%
Temperatura promedio anual	24,7º C
Población (2015)	2.369.829 habitantes
División política	22 comunas (urbano) y 15 corregimientos (rural)
Idioma	Español
Esperanza de vida al nacer	74 años

Fuente: Cali en Cifras, 2015

Figura 1. División política del área urbana de la ciudad de Cali.



Fuente:Página web: Venta de apartamentos en Cali, 2015.

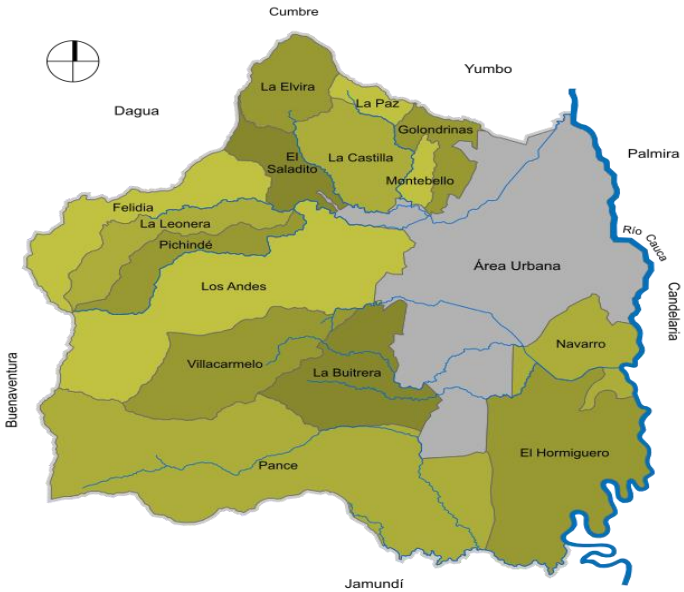


Figura 2. División política del área rural de la ciudad de Cali.
Fuente: Alcaldía de Santiago de Cali, 2015.

3.2.2.Enfoque geográfico, demográfico y político-administrativo

La ciudad de Cali se divide en 22comunas urbanasy 15 corregimientos rurales.La superficie de la ciudad es 561,6 km^2, donde más del 75% corresponde al área rural (Tabla 2).

Tabla 2. Población, superficie y densidad poblacional

Nombre	Tipo	Población 2015 (Habitantes)	% de población	Superficie (km²)
Comuna No.1	Urbano	88,432	3.73	119,2
Comuna No.2		114,651	4.84	
Comuna No.3		46,400	1.96	
Comuna No.4		53,369	2.25	
Comuna No.5		112,089	4.73	
Comuna No.6		189,837	8.01	
Comuna No.7		71,334	3.01	
Comuna No.8		102,388	4.32	
Comuna No.9		44,994	1.90	
Comuna No.10		110,854	4.68	
Comuna No.11		107,339	4.53	
Comuna No.12		66,881	2.82	
Comuna No.13		177,641	7.50	
Comuna No.14		172,696	7.29	
Comuna No.15		159,369	6.72	
Comuna No.16		107,170	4.52	
Comuna No.17		139,665	5.89	
Comuna No.18		131,453	5.55	
Comuna No.19		112,947	4.77	
Comuna No.20		69,331	2.93	
Comuna No.21		112,336	4.74	
Comuna No.22		11,160	0.47	
Navarro	Rural	906	0.04	426,1
El Hormiguero		3,811	0.16	
Pance		1,470	0.06	
La Buitrera		6,818	0.29	
Villacarmelo		869	0.04	
Los Andes		4,633	0.20	
Pichinde		646	0.03	
La Leonera		514	0.02	
Felidia		1,346	0.06	
El Saladito		904	0.04	
La Elvira		1,048	0.04	
La Castilla		905	0.04	
La Paz		605	0.03	
Montebello		9,037	0.38	
Golondrinas		3,106	0.13	
Sectores fuera del perímetro urbano	Área de expansión	30,876	1.30	16,3
TOTAL		**2.369.829**	**100%**	**561,6**

Fuente: Elaboración propia en base a Cali en Cifras, 2015

Para la evaluación de las Huellas de Cali, se han tomado en cuenta el total de las 22 comunas urbanas, que concentra al 97,2% % de la población de la ciudad.

3.2.3. Enfoque sectorial

Se revisó la metodología GPC, que establece que los límites pueden definirse en cualquiera detres niveles: internacional, inter-ciudades o subnacional y al interior de la ciudad. Por

loexplicado en la sección de enfoque geográfico, la evaluación de las huellas abarcael áreaurbana de la ciudad. Es así que los sectores indicados por el GPC para esta definición de límitesson: residencial, comercial/institucional, transporte dentro de la ciudad, manejo de residuos e industrial.

Para HC se ha manejado el sector comercial y el sector institucional juntos, como lo indica lametodología GPC. Los **residuos sólidos** municipales han sido considerados como un sector independiente, por la generación de GEI en el relleno sanitario en operación, en concordanciacon lo que indica también la metodología GPC.

3.2.3.1.Sector residencial

Las fuentes de emisión de GEI en el sector residencial son principalmente el uso de electricidady combustión fija de combustibles (gas natural y GLP). En cuantoal uso de electricidad, el sector residencial en Calirepresenta el 33% de las ventas en 2015.

3.2.3.2.Sector industrial

En términos de la Huella de Carbono, las principales fuentes de emisión de GEI para el sectorindustrial son el uso de electricidad y combustibles fósiles (GLP, ACPM y gas natural). Estesector, en términos de consumo eléctrico enCali representa el25% del total.

3.2.3.3.Sector comercial/institucional

La principal fuente de emisión de GEI para el sector comercial es el uso de electricidad. Por la metodología GPCel sector comercial va de la mano con el sector institucional. Este sector consumió el 41% de la energía eléctrica distribuida en la ciudad en 2015.

3.2.3.4.Sector transporte

La principal fuente de emisión del sector transporte es el uso de combustibles fósiles,principalmente ACPM y gasolina. El consumo de ACPM paratransporte es por sí sólo el segundo componente individual más grande del consumo final de energíapor sectores y fuentes a nivel ciudad. Las políticas gubernamentales han identificado un enormepotencial de ahorro durante los tres últimos años dentro del sector del transporte yresidencial. En ese sentido se han introducido nuevos proyectos, leyes, etc. Algunos ejemplos son la Ley 1083 de 2006 la cual habla de la movilización en modos alternativos de transporte, entendiendo por estos el desplazamiento peatonal, en bicicleta o en otros medios no contaminantes, así como los sistemas de transporte público que funcionen con combustibles limpios, y que los municipios y distritos adopten Planes de Ordenamiento Territorial y Planes de Movilidad, así mismo existen lineamientos para una política para promover la producción sostenible de biocombustibles en Colombia.

3.2.3.5.Sector residuos

Las principales fuentes de emisión de GEI son la disposición final de residuos sólidos municipales, así como las emisiones generadas por el tratamiento de efluentes de todos los sectoresy las emisiones de los efluentes descargados directamente a ríos.

3.2.4. Nivel de reporte

En función a los objetivos de la evaluación se ha seleccionado el nivel de reporte BASICO deacuerdo a la clasificación del GPC. El nivel básico no incluye la cuantificación de emisiones porel uso de suelo y las emisiones indirectas por el uso de transporte o unidades móviles entreciudades o comunidades (La lista de fuentes de emisión incluidas en el inventario de la ciudad de Cali que cumplen con el nivel de reporte BASICO se muestra en la tabla 4).

3.3. Identificación de Fuentes de Emisiones de GEI

3.3.1. Gases de Efecto Invernadero Identificados

Se incluyen 3 gases en el reporte de GEI para la ciudad de Cali. En la siguiente tabla se muestran estos gases y sus Potenciales de Calentamiento Global (PCG)[5]respectivos.

Tabla 3. Gases de Efecto Invernadero Tomados en Cuenta en la Evaluación

Gas de Efecto Invernadero	Potencial de Calentamiento Global
Dióxido de Carbono (CO_2)	1
Metano (CH4)	25
Óxido nitroso (N2O)	298

Fuente: IPCC Fourthassessmentreport

El dióxido de carbono, el metano y el óxido nitroso son gases generados en la quema decombustibles fósiles (gasolina, diésel, gas natural y GLP).

3.3.2. Fuentes de Emisión de GEI Identificadas

Se denomina como fuentes de emisión de GEI a una unidad o proceso físico que libera o emite un GEI hacia la atmósfera (ISO 14064-1, 2006).

De acuerdo al GPC las fuentes de emisiones de GEI a nivel ciudad se dividen en:

- **Alcance 1**: Todas las emisiones directas de fuentes que se encuentren dentro de los límites establecidos para la ciudad.

- **Alcance 2**: Emisiones indirectas relacionadas a la energía que se genera fuera de los límites establecidos para la ciudad como consecuencia del consumo/uso de energía eléctrica proveniente de la red.

- **Alcance 3**: Todas las emisiones indirectas que ocurren fuera de los límites de la ciudad que se generan como resultado de las actividades realizadas dentro de los límites de la

[5]Potencial de Calentamiento Global: Factor que describe el impacto de la fuerza de radiación de una unidad con base en la masa de un GEI determinado, con relación a la unidad de equivalente de dióxido de carbono en un periodo determinado.

ciudad, así como las emisiones entre ciudades provenientes del intercambio de bienes y servicios.

En base a las fuentes de emisión definidas para el nivel de reporte BASICO del GPC se seleccionaron fuentes de emisión que efectivamente ocurran dentro de los límites establecidos. La siguiente tabla muestra las fuentes de emisión incluidas en el reporte.

Tabla 4.Fuentes de emisión de GEI consideradas en la ciudad de Cali

Sectores	Fuentes de emisión de GEI			Datos de actividad
	Alcance 1	**Alcance 2**	**Alcance 3**	
Unidades estacionarias				
Edificios residenciales	Emisiones directas			Consumo de combustibles
		Emisiones indirectas de energía		Consumo de energía eléctrica
Instalaciones comerciales/ institucionales	Emisiones directas			Consumo de combustibles
		Emisiones indirectas de energía		Consumo de energía eléctrica
Uso industrial de energía	Emisiones directas			Consumo de combustibles
		Emisiones indirectas de energía		Consumo de energía eléctrica
Unidades móviles				
Transporte sobre vía o camino	Emisiones directas			Consumo de combustibles
Residuos				
Disposición de residuos sólidos en rellenos sanitarios			Emisiones en el relleno sanitario localizados fuera de los límites	Cantidad de residuos generados
Tratamiento de aguas residuales	Emisiones directas por tratamiento de aguas residuales			Cantidad de agua tratada, tipo de tratamiento.

Fuente: Elaboración propia

3.4. Metodologías de Cuantificación

3.4.1. Unidad de Cuantificación de la Huella de Carbono

La unidad de cuantificación de la Huella de Carbono es el equivalente en peso (kg, ton) dedióxido de carbono (CO_2e).

El equivalente de dióxido de carbono es la unidad que sirve para comparar la fuerza deradiación de los diferentes GEI con el dióxido de carbono. Se calcula multiplicando la masa deun GEI por su Potencial de Calentamiento Global (PCG). Por ejemplo, el metano tiene unPotencial de Calentamiento Global de 25, (Tabla 3) por lo que un kilogramo de metanoliberado a la atmósfera equivale a 25 Kg de CO_2e. Como la unidad de referencia es el Dióxidode Carbono; 1 Kg de CO_2 genera una HC de 1 Kg de CO_2e.

3.4.2. Mecanismos de Cuantificación

De forma general el mecanismo de cuantificación utilizado se describe como:"Datos de la actividad generadora de Gases de Efecto Invernadero (GEI) multiplicados por elfactor de emisión o remoción de GEI"[6]

$$E_g = D_a \cdot FE_a$$

Dónde:

E_g = corresponde a la emisión del GEI.

D_a = corresponde al dato de la actividad generadora de GEI.

FE_a = corresponde al factor de emisión de la actividad generadora.

3.4.3. Determinación de los Factores de Emisión

Los factores de emisión relacionan de forma numérica los datos de la actividad con lasemisiones de GEI. Son característicos de cada fuente de emisión y de cada GEI generado. Porejemplo en la quema de un combustible fósil se generan tres tipos de GEI: CO_2, CH_4 y N_2O.Cada GEI tiene su propio factor de emisión por la quema del combustible y su propia emisiónen Kg de CO_2e.

3.4.3.1. Factores de Emisión por Quema de Combustibles Fósiles

Se utilizaron los factores de emisión de GEI por tipo de combustible presentados por la UPM FECOC (2003) y el IPCC para Cali.El proceso de desarrollo típico de los factores de emisión por quema de combustibles o enactividades que dependen del uso de energía consta de los siguientes pasos:

1) Determinación del consumo aparente de los recursos energéticos, en sus unidades de medida originales (Ej. Litros o Kilogramos).

2) Conversión del consumo aparente a una unidad de energía común (Joule/Litro ó Joule/Kilogramo) mediante el poder calorífico del combustible u otra equivalencia energética.

3) Transformación del consumo aparente de cada energético en emisiones de GEI, mediante su multiplicación por el factor de emisión del energético (Kg de GEI/Joule).

4) Determinación del factor de emisión que relaciona el dato de la actividad de forma directa a Kg de CO_2e, mediante la multiplicación de la cantidad de GEI emitido por su PCG.

[6]Metodología de cuantificación descrita y aceptada en la norma ISO 14064-1.

Tabla 5. Factores de Emisión para Diésel

GEI	PCG[i]	Factor de emisión (ton CO_2e/galón)
Transporte en vehículos sobre camino o vía		
CO_2	1	0,010277
CH_4	25	0,000000925
N_2O	298	0,000011026
Industrial		
CO_2	1	0,00279296001475644
CH_4	25	2,83E-06
N_2O	298	6,74E-06

Fuente: UPM FECOC (2003).

Tabla 6. Factores de Emisión para gasolina

GEI	PCG[i]	Factor de emisión (ton CO_2e/galón)
Transporte en vehículos sobre camino o vía		
CO_2	1	0,007618
CH_4	25	0,000006575
N_2O	298	0,00000745

Fuente:UPM FECOC, 2003

Tabla 7. Factores de Emisión para GLP

GEI	PCG[i]	Factor de emisión (ton CO_2e/Kg)
Residencial, comercial/institucional		
CO_2	1	0,00312171
CH_4	25	0,00000618375
N_2O	298	0,000001474206
Industrial		
CO_2	1	0,00312171
CH_4	25	0,00000123675
N_2O	298	0,000001474206

Fuente:UPM FECOC, 2003

Tabla 8. Factores de Emisión para Gas natural

GEI	PCG[i]	Factor de emisión (ton CO_2e/m^3)
Residencial, comercial/institucional e industrial		
CO_2	1	0,0019725
CH_4	25	0,0000008875
N_2O	298	0,00000106386
Transporte		
CO_2	1	0,0019725
CH_4	25	0,00008205
N_2O	298	0,000031886

Fuente:UPM FECOC, 2003

3.4.3.2. Factor de Emisión por uso de Energía Eléctrica

El factor de energía eléctrica utilizado en el presente inventario es de es de 0,000219ton CO2e por kwh, desarrollado en función a la base a los datos de UPME (Unidad de Planeación Minero

Energética) en los Informes Mensuales de Variables de Generación y del Mercado Eléctrico Colombiano (2015)[7]

3.4.3.4. Factores de emisión por tratamiento de aguas residuales

Tabla 9. Factores de Emisión para Tratamiento de aguas residuales

GEI	PCG	Factor de emisión (ton CO_2e/m^3)
Residuos		
CH_4	25	0,00042
N_2O	298	0,000058

Fuente: Elaboración propia.

Los factores de emisión para tratamiento de aguas residuales fueron estimados en base mediciones de DBO antes de la entrada a las plantas de tratamiento de aguas residuales (398 mg DBO / litro) y al tipo de tratamiento (secundario anaerobio), esta información cue provista por la empresa municipal encargada del servicio de saneamiento EMCALI.

3.4.3.5. Factores de emisión por disposición de residuos sólidos

Las emisiones generadas por manejo de residuos consisten en las emisiones por residuos dispuestos a rellenos sanitarios (Relleno Sanitario "Yotoco") y las generadas por el tratamiento de aguas residuales.
Los factores de emisión por tonelada de residuo tratado en el relleno "Yotoco" se estimanmediante el*"Global ProtocolforCommunity-Scale Green House Gas EmissionInventories"*proporcionada por ICLEI.

La guía proporciona los algoritmos y cálculos necesarios para estimar el factor de emisión y lacantidad total de emisiones. Los pasos necesarios para la cuantificación:

1. **Determinar la cantidad (en peso) de residuos**

El cálculo de las emisiones está basado en la cantidad de residuos generados y tratados. Los residuos generados en la ciudad de Cali en el año 2015 fueron dispuestos al relleno sanitario de "Yotoco".

2. **Determinar la composición**

De acuerdo a la guía metodológica del GPC, es necesario determinar la composiciónaproximada de los residuos generados. La composición o "caracterización" nos indica laproporción de los distintos tipos de residuos. Cada tipo de residuo tiene una cantidad diferentede carbono degradable.

Con esta información se pueden estimar las emisiones, más adelante se mostrará el cálculo delas emisiones totales generadas en el relleno sanitario, en esta sección solo se muestra eldesarrollo del factor de emisión por tonelada de residuo sólido enviado al relleno sanitario.

Factor de emisión por tonelada de residuo mixto enviado al relleno sanitario ¨Yotoco"

[7]Base de Datos UPM. Informes Mensuales de Generación y del Mercado Eléctrico Colombiano

Para estimar el factor se utiliza la caracterización según provista por el operador del relleno y las constantes y porcentajes de la cantidad de contenido de carbono (CCO) por tipo de residuos proporcionados por el IPCC.

Tabla 10. Caracterización de residuos ingresados al relleno "Yotoco" y sus cantidades de carbón orgánico (CCO)

Tipo de residuo	Porcentaje caracterización en %	B=CCO (Cantidad de carbón orgánico = B	Porcentaje de carbón por tipo de residuo A * B
Comida	59	15%	8,85
Papel y cartón	6,23	40%	2,492
Plástico	3,21	0%	0
Textiles	1,9	24%	0,456
Vidrio	2,56	0%	0
Escombros	0	0%	0
Desechos de jardín	6,54	20%	1,308
Madera	0,6	43%	0,258
Otros[8]	21,84	0%	0
Total			13,364

Fuente: Elaboración propia en base a caracterización de residuos en el relleno Yotocoy guías IPCC

Multiplicando el porcentaje de los tipos de residuos por el contenido de carbono obtenemos el porcentaje de la Cantidad de Carbono Orgánico (CCO) para el tipo de basura que ingresa al Relleno sanitario.

El factor de emisión asociado con los residuos municipales enviados al Relleno Sanitario se estima utilizando la siguiente formula que toma en cuenta las emisiones futuras generadas por los residuos hasta terminar su ciclo de vida.

$$Factor\ de\ Emision\ CH_4 = L_O \times (1 - f_{rec}) \times (1 - OX) \qquad \text{(Ec.2)}$$

Dónde:

L_o = Potencial de generación de Metano (ver explicación más abajo)
f_{rec}=Fracción de Metano recuperado en el relleno: 0,2 fracción de metano recuperado en el relleno: quemado o recuperado. Se reporta que no existe sistema de quema en el relleno frec = 0
OX = Factor de oxidación (0,1 para rellenos sanitarios bien manejados)

Fuente: Toronto and Region Conservation *Getting to Carbon Neutral: A Guide for Canadian Municipalities*. Adapted from *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*.

Potencial de generación de metano "L_o"

El potencial de generación de Metano es el factor de emisión que especifica la cantidad de CH4 que se genera por tonelada de residuos sólido. ***L_o***está basado en la cantidad de carbón

[8] Pañales desechables, inertes, cuero, etc.

orgánico (CCO) presente en el residuo sólido característico. Se estima utilizando la siguiente ecuación:

$$L_O = MCF \times CCO \times DOC_F \times F \times 16/12 \quad \text{(Ec.3)}$$

Dónde:

MCF =Factor de corrección basado en el tipo de relleno (manejado, no manejado, etc.).
CCO =Cantidad de carbón orgánico.
DOC_F= Fracción del carbón que se degrada (refleja el hecho que parte del carbón no se degrada).
F =Fracción de metano en el gas de relleno sanitario.
16/12 =Fracción estequiométrica de carbón en el metano.

Fuente: *IPCCGood Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories* (2000).

Los valores para cada variable son:

MCF = 1 (para rellenos controlados).
CCO = 0,1336.
DOC_F = 0,6 (valor asumido ya que no todo el carbón contenido en el residuo se degrada, recomendación del IPCC).
F = 0,5 Fracción de metano en el biogás generado en el relleno (Default IPCC).

Reemplazando los valores en la ecuación tenemos:

$$L_O = 1 \times 0{,}1336 \times 0{,}6 \times 0{,}5 \times 16/12 \quad \text{(Ec.4)}$$

$$L_O = 0{,}053$$

Luego reemplazamos en la ecuación para hallar el factor de emisión de CH_4 por tonelada de residuo:

$$Factor\ de\ Emision\ CH_4 = 0{,}053\ \times\ (1-0) \times (1-0{,}1) \quad \text{(Ec.5)}$$

$$Factor\ de\ Emision\ CH_4 = 0{,}048\ \ Ton\ CH_4/Ton\ de\ residuo$$

Para llevar el factor de emisión a toneladas de CO2e se lo multiplica por su potencial de calentamiento global PCG (25 para el CH_4).

$$Factor\ de\ Emision\ CO_2e = 0{,}048 \times 25 = 1{,}2\ \ Ton\ CO_2e/Ton\ de\ residuo$$

4. Recolección de la Información

La otra parte importante para el mecanismo de cuantificación (Ec.1) son los datos de laactividad generadora de GEI. Los datos son característicos de cada actividad. Ej. Volumen decombustible utilizado en litros, cantidad de electricidad consumida en KWh o cantidad deresiduos generados en Kg.

La Tabla9 muestra la fuente de emisión, el dato de actividad y la fuente de la informaciónrecolectada, necesaria para la cuantificación de la HC para el periodo 2015:

Tabla 11. Información Requerida para el Cálculo de la Huella de Carbono

Fuente de emisión	Datos de actividad	Fuente de información
Consumo de combustibles (gasolina y ACPM)	Cantidad de gasolina y ACPM consumidos, en galones	Ministerio de Minas y Energía (2015). Venta mensual de los combustibles detallando el sector. Información no publicada pero obtenida con oficio.
Consumo de GLP	Cantidad de GLP consumido, en Kg	Ministerio de Minas y Energía. Dirección de Hidrocarburos. (2015). Información de consumos de Gas Licuado del Petróleo GLP. Información no publicada pero obtenida con oficio.
Consumo de gas natural	Cantidad de gas natural consumido, en m^3	Gases de Occidente. (2015). Consumo mensual de gas natural vehicular y gas natural domiciliario. Información no publicada, obtenida con oficio.
Consumo de energía eléctrica	Cantidad de energía eléctrica consumida, en KWh	Empresa Distribuidora de Energía Eléctrica. (2015). Consumos de Energía Eléctrica mensual y por categorías. Información no publicada, obtenida con oficio.
Residuos sólidos enviados a relleno sanitario	Cantidad de residuos sólidos dispuestos, en toneladas	Emsirva. Datos Cali Cómo Vamos 2015. (2015). Registro de peso mensual de residuos sólidos. Información no publicada, obtenida con oficio.
Tratamiento de aguas residuales	Volumen de aguas residuales tratadas, en ton DBO_5	Datos de Empresas Municipales de Cali EMCALI (2015). Información no publicada, obtenida con oficio.

Fuente: Elaboración propia

4.1. Sistematización de la Información

La información recolectada ha sido sistematizada y clasificada en seis niveles de acuerdo a los sectores planteados en el GPC:

- Residencial
- Comercial / Institucional
- Industrial
- Transporte
- Residuos

La información recolectada, los factores desarrollados, características físicas de combustibles y GEI, unidades y otra información relevante al cálculo de la HC, como ser la cantidad de población tomada en cuenta para el desarrollo de índices están sistematizados en la

herramienta de cuantificación de la Huella en línea.[9]La herramienta permite generar reportes y seleccionar unidades y fuentes de emisión.

5. Cálculo de la Huella de Carbono

En esta sección se muestran los datos y emisiones detalladas para cada tipo de fuente. A partir de ahora se describirán los cálculos separándolos por tipo de fuente de emisión y sector a nivel ciudad.

Para el cálculo de las emisiones se utiliza Ec. 1 que multiplica los datos de actividad por los factores de emisión (descritos en la anterior sección).

En las siguientes tablas se muestran los datos de actividad divididos por mes y las emisiones resultantes de su multiplicación por los factores de emisión:

- ### Gas Licuado de Petroleo (GLP

Tabla 12. Consumos de GLP en la ciudad de Calien miles de kg 2015.

Sector	Total general
Industrial	2.349
Residencial	4.628
Comercial/institucional	1.491
Total general	**8.468**

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13. Emisiones de CO_2e por consumo de GLP ciudad de Calien ton de CO_2e 2015

Sector	Total general
Industrial	7.340
Residencial	14.483
Comercial/institucional	4.667
Total general	**26.490**

Fuente: Elaboración propia.

- ### Diésel

Tabla 14. Consumos de diésel en la ciudad de Calien miles de galones 2015

Sector	Total general
Industrial	1.036
Transporte	116.778
Total general	**117.814**

Fuente: Elaboración propia.

[9] http://www.sasatools.com/

Tabla 15. Emisiones de CO_2e por consumo de diésel ciudad de Calien ton de CO_2e 2015

Sector	Total general
Industrial	2.904
Transporte	1.201.519
Total general	**1.204.423**

Fuente: Elaboración propia.

- ## Gasolina

Tabla 16. Consumos de gasolina en la ciudad de Calien miles de galones 2015

Sector	Total general
Transporte	90.646
Total general	**90.646**

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17. Emisiones de CO_2e por consumo de gasolina ciudad de Calien ton de CO_2e 2015

Sector	Total general
Transporte	691.811
Total general	**691.811**

Fuente: Elaboración propia.

- ## Gas natural

Tabla 18. Consumos de gas natural en la ciudad de Cali en miles de m^3 2015

Sector	Total general
Transporte	23.895
Comercial/institucional	24.904
Residencial	62.770
Industrial	11.940
Total general	**123.509**

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19.Emisiones de CO_2e por consumo de gas natural ciudad de Cali en ton de CO_2e 2015

Sector	Total general
Transporte	49.855
Comercial/institucional	49.173
Residencial	123.937
Industrial	23.574
Total general	**246.539**

Fuente: Elaboración propia.

- ## Energía eléctrica

Tabla 20. Consumos de energía eléctrica en la ciudad de Calien Gwh 2015

Sector	Total general
Comercial/institucional	1.525
Residencial	1.232
Industrial	935
Total general	**3.692**

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 21. Emisiones de CO_2e por consumo energía eléctrica en la ciudad de Calien ton de CO_2e 2015

Sector	Total general
Comercial/institucional	333.896
Residencial	269.758
Industrial	204.699
Total general	**808.353**

Fuente: Elaboración propia.

- ## Rellenos Sanitarios

Tabla 22. Residuos enviados a rellenos sanitarios ciudad de Cali2015 en toneladas

Sector	Total general
Residuos	600.694
Total general	**600.694**

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 23. Emisiones por residuos enviados a rellenos sanitarios ciudad de Cali2015 en ton CO_2e

Sector	Total general
Residuos	723.993
Total general	**723.993**

Fuente: Elaboración propia.

- ## Tratamiento de aguas residuales

Tabla 24. Cantidad de efluentes enviados a plantas de tratamiento y emisiones generadas.

Sector	Efluentes (miles de m3)	Emisiones (ton CO2e)
Residuos	192.685	92.100

Fuente: Elaboración propia.