



Análisis y comparación de las metodologías de cálculo de gases de efecto invernadero en el contexto urbano

Analysis and comparison of greenhouse gas calculation methodologies in the urban context

Autores: Carlos Alfredo Rivas Cobo¹
Emilio José Jarre Castro²
Christian Antequera Zamudio³

Dirección para correspondencia: carivas@utm.edu.ec

Recibido: 15-11-2019

Aceptado: 11-03-2020

Resumen

Últimamente los esfuerzos para disminuir el efecto invernadero antrópico se están redoblando por parte de las administraciones, el calentamiento global es un hecho demostrado por la comunidad científica. Los gobiernos nacionales se han comprometido a disminuir sus emisiones. A esta lucha por parte de los gobiernos nacionales se han unido los gobiernos municipales, ya que las ciudades serán una de las principales damnificadas por el cambio climático y uno de los máximos focos de emisión. Se analizan las principales metodologías de cálculo y sus diferencias para calcular los gases de efecto invernadero (GEI) producidos en el contexto urbano

Palabras clave: Cambio Climático; Calculo Urbano; Efecto invernadero.

Abstract

Lately, efforts to reduce the anthropogenic greenhouse effect are being redoubled by administrations, global warming is a fact demonstrated by the scientific community. National governments have committed to reduce their emissions. The municipal governments have joined this fight that national

¹ Profesor del Departamento de Química del Instituto de Ciencias Básicas de la Universidad Técnica de Manabí. Portoviejo. Ecuador. E-mail: carivas@utm.edu.ec

² Profesor de la Facultad de Ingeniería Agrícola. Universidad Técnica de Manabí. Portoviejo. Ecuador. E-mail: ejarre@utm.edu.ec

³ Máster en Ingeniería Ambiental. Universidad de Sevilla. España. E-mail: cantzam@gmail.com

governments are part of, since the cities will be one of the main victims of climate change and one of the main sources of emissions. The main calculation methodologies and their differences to calculate the greenhouse gases (GHG) produced in the urban context are analyzed.

Keywords: Climate Change; Greenhouse effect; Urban Calculus.

Introducción

Fueron los científicos quienes atrajeron la atención internacional sobre las amenazas planteadas por el Efecto Invernadero. La historia del descubrimiento científico del Cambio Climático comenzó a principios del siglo XIX cuando se sospechó por primera vez que hubo cambios naturales en el paleoclima y se identificó por primera vez el Efecto Invernadero natural (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático). Tyndall descubre en 1859 que algunos gases bloquean la radiación infrarroja. Él sugirió que los cambios en la concentración de los Gases de Efecto Invernadero podrían ocasionar el Cambio Climático. Más tarde, Arrhenius publica en 1896 el primer cálculo del calentamiento global por las emisiones humanas de dióxido de carbono (Spencer R. 2003).

En 1988 se creó el Grupo Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) por iniciativa de la Organización Meteorológica Mundial y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). En 1990 este grupo presentó un primer informe de evaluación en el que se reflejaban las investigaciones de 400 científicos. En él se afirmaba que el calentamiento atmosférico de la Tierra era real y se pedía a la comunidad internacional que tomara cartas en el asunto para evitarlo (Resumen del Informe General del IPCC ,1990).

Las conclusiones del IPCC alentaron a los gobiernos a impulsar y aprobar la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. En comparación con lo que suele ocurrir con los acuerdos internacionales, la negociación en este caso fue rápida. (Informe del Grupo intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático ,2007).

De esta evidencia se empieza a tener conciencia en la década de los años 80, cuando se empiezan a desarrollar los primeros esfuerzos internacionales (Naciones Unidas. Asamblea General, 1987). En el año 2008 la comisión europea presenta el Pacto de Alcaldes, que pretende llevar lo global a lo local y se llega a la conclusión que la mejor manera de luchar contra el Cambio Climático es hacerlo en el ámbito local. Esta iniciativa es de adscripción voluntaria por parte de entidades locales.

Las entidades locales empiezan a calcular su Huella de Carbono como primer paso para disminuirlas, que representa la cantidad de gases invernadero emitidos a la atmosfera derivados de las actividades de producción o consumo de bienes y servicios (Pandey et al., 2010; Wiedmann, 2009)

Materiales y métodos

Para la mitigación de emisiones de GEI por parte de las entidades municipales el primer paso es la realización de un IRE (Inventario de Referencia de Emisiones), es decir calcular la huella de carbono del municipio por sectores.

Para el cálculo de la Huella de Carbono de una actividad existe una fórmula fundamental que es la siguiente (Directrices del IPCC ,2006 y César Espíndola y José O. Valderrama, 2012)

$$\text{Huella de Carbono} = \text{Actividad o consumo} \times \text{Factor de emisión}$$

Donde:

Parámetro.	Descripción.
Factor de emisión.	= Cantidad de GEI emitidos por cada unidad del parámetro actividad o consumo.
Actividad o consumo.	= Grado o nivel de la actividad generadora de emisiones GEI.

Siendo tres los que parámetros van a condicionar los inventarios de emisiones de GEI. Los sectores de emisiones a introducir, la fórmula de cálculo y el factor de emisión.

Respecto a las fórmulas de cálculo de emisiones todos los manuales recomiendan el uso del formulario propuesto por el Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de Gases de Efecto Invernadero (Directrices del IPCC ,2006)

Las Directrices del IPCC son quizá el manual más importante para el cálculo de GEI. Tras reconocer la existencia del problema que plantea el posible Cambio Climático mundial, la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), crearon conjuntamente el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, del inglés, Intergovernmental Panel on Climate Change) en el año 1988. Una de las actividades del IPCC consiste en complementar la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), mediante su trabajo en materia de metodologías para los inventarios nacionales de GEI.

Este informe es la culminación de tres años de trabajo del programa de inventarios nacionales de Gases de Efecto Invernadero del IPCC, destinado a actualizar su propia orientación previa para hacer estos inventarios.

Por otro lado, existen múltiples metodologías para el cálculo municipal, creando una disparidad en los cálculos e imposibilitando una comparación y una cuantificación exacta.

Se describirán seis metodologías distintas, las más empleadas para el cálculo de la Huella de Carbono y se analizarán sus principales diferencias:

- Metodología para el Cálculo del Sistema de Indicadores de Diagnóstico y Seguimiento del Cambio Climático (Federación Española de Municipios y Provincias).
- Cálculo de la Huella de Carbono propuesto por la Junta de Andalucía.
- Global protocol for community-scale Greenhouse Gas emission inventories. An accounting and reporting standard for cities.
- Cálculo de la Huella de Carbono de un ayuntamiento propuesto por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- Bilan Carbone (Entreprises – Collectivités –Territoires) elaborado por ADEME (Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie).
- UNE-ISO 1069:2015 IN. Gases de Efecto Invernadero. Cuantificación e informe de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero para las organizaciones. Orientación para la aplicación de la Norma ISO 14064-1.

Metodología para el Cálculo del Sistema de Indicadores de Diagnóstico y Seguimiento del Cambio de la FEMP

La publicación Metodología para el Cálculo del Sistema de Indicadores de Diagnóstico y Seguimiento del Cambio Climático elaborada por la Federación Española de Municipios y Provincias pretende facilitar a los municipios el cálculo de indicadores básicos en materia de Cambio Climático. Se plantea como una herramienta útil y eficaz para el cumplimiento de los objetivos marcados por los municipios en su política contra dicho fenómeno.

Los sectores calculados por esta metodología son:

Tabla 1: Sectores de cálculo de la metodología Cálculo del Sistema de Indicadores de Diagnóstico y Seguimiento del Cambio de la FEMP.

Sector	Subsector
Energía.	Energía eléctrica.
	Consumo de combustibles (no automoción).
	Derivadas al transporte.
Ganadería.	Fermentación entérica.
	Gestión de estiércoles.
	Producción animal.
	Aplicación de estiércol animal.
	Fertilizantes sintéticos.
Suelos Agrícolas.	Cultivos fijadores nitrógeno.
	Cultivos forrajeros.
	Residuos de cosechas reintegrados a los suelos.
	Cosechas de arroz.
Residuos.	Residuos sólidos urbanos.
Sumideros.	Sumideros.

Cálculo de la Huella de Carbono propuesto por la Junta de Andalucía

La Junta de Andalucía aprobó por acuerdo en el consejo de Gobierno de 3 de septiembre de 2002 una estrategia autonómica ante el Cambio Climático como

aportación de esta comunidad autónoma a la estrategia española ante el Cambio Climático.

Dicha estrategia divide las emisiones en dos grupos, por un lado, las emisiones del sector industrial procedentes de las instalaciones afectadas por la ley 1/2005, que regula el régimen del comercio de derechos de emisión de Gases de Efecto Invernadero (RCDE). Por otro lado, el resto, o lo que ellos llaman sector difuso, y son las que se contabilizan alegando que los municipios tienen competencias para reducir estas emisiones ⁽²⁷⁾.

Los sectores calculados por esta metodología son:

Tabla 2: Sectores de cálculo de la metodología Huella de Carbono de la Junta de Andalucía.

Sector	Subsector
Consumo de energía eléctrica.	Agricultura.
	Industria.
	Residencial.
	Comercial- Servicios.
	Administración y servicios públicos.
	Resto de Sectores.
Tráfico rodado.	Tráfico rodado.
Consumo de combustibles no automoción.	Consumo de combustibles no automoción.
Sector Residuos.	Residuos Urbanos.
Aguas residuales.	Tratamiento de aguas residuales.
	Consumo humano de proteínas.
Agricultura.	Directas.
	Indirectas.
	Arrozales.
Sumideros.	Forestal arbolada.
	Dehesa espesa.
	Cultivo anual convertidas a cultivos leñosos.
	Tierras agrícolas convertidas a forestal.

Global Protocol for community-scale Greenhouse Gas emission inventories. An accounting and reporting standard for cities.

El Protocolo Mundial en su manual para elaborar inventarios de Emisiones de Gases de Invernadero alega que los métodos para hacer un inventario que las ciudades han utilizado hasta la fecha varían significativamente. Esta inconsistencia hace que la comparación entre ciudades sea difícil, plantea preguntas en torno a la calidad de los datos, y limita la capacidad de agregar los datos de emisiones de GEI del gobierno local, subnacional y nacional. Para permitir la presentación de informes más creíble y significativos, se requiere una mayor coherencia en la contabilidad de GEI. Por lo cual responde a este reto y ofrece un marco sólido y claro que se basa en las metodologías existentes para calcular y reportar las emisiones de Gases de Efecto Invernadero en toda la ciudad. Describe que existen las mismas disparidades que se comentan en este análisis.

Esta metodología diferencia las emisiones en:

- Alcance 1: Emisiones directas. Generadas por el municipio en su territorio. Por ejemplo combustión en calderas, vehículos, etc.
- Alcance 2: Emisiones indirectas. Generadas por el municipio fuera de los límites de este por industrias energéticas. Por ejemplo, compra de electricidad.
- Alcance 3: Otras emisiones indirectas. Generadas por el municipio fuera de los límites de este y que no corresponden a energía. Por ejemplo, extracción y producción de materiales requeridos por la entidad.

Los sectores calculados por esta metodología son:

Tabla 3: Global Protocol for community-scale Greenhouse Gas emission inventories

Sector.	Subsector.
Energía estacionaria.	Edificios residenciales.
	Edificios e instalaciones comerciales e institucionales.
	Industrias manufactureras y la construcción.
	Industrias de energía.
	La generación de energía suministrada a la red.
Energía estacionaria.	Actividades de Agricultura, Silvicultura y Pesca.
	Las fuentes no específicas.
	Emisiones fugitivas de la minería, procesamiento, almacenamiento y transporte de carbón.
Transportes.	Emisiones fugitivas de los sistemas de petróleo y gas natural.
	Carreteras.
	Trenes.
	Navegación Fluvial.
	Aviación.
Residuos.	Fuera de carreteras.
	La eliminación de los residuos sólidos.
	El tratamiento biológico de los residuos.
	Incineración y quema a cielo abierto de los residuos.
Procesos industriales y uso del producto (IPPU).	Aguas residuales.
	Procesos industriales.
Agricultura, silvicultura y otros usos del suelo (AFOLU).	Uso del producto.
	Ganadería.
	Agricultura.
	Fuentes agregadas y fuentes de emisión exceptuando el CO ₂ .

Cálculo de la Huella de Carbono de un ayuntamiento propuesto por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

El Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente ha desarrollado una serie de herramientas para facilitar el cálculo de la Huella de Carbono de

una organización y la estimación de las absorciones de dióxido de carbono que genera un proyecto de absorción.

Se ha adaptado la calculadora de una organización, para que refleje la actividad que realiza un ayuntamiento, estimando igualmente, de manera sencilla las emisiones de Gases de Efecto Invernadero directas e indirectas debidas al consumo de electricidad. No incluye el cálculo de las emisiones de alcance 3, como si hace la metodología descrita anteriormente GHG protocol. La calculadora está realizada para el cálculo de GEI que producen los trabajadores del ayuntamiento. Para adaptarla pusieron en lugar del consumo de los empleados el de los residentes en el municipio para abarcar el concepto de territorialidad y no el de organización.

Esta metodología diferencia las emisiones en:

- Alcance 1: Emisiones directas. Generadas por el municipio en su territorio. Por ejemplo, combustión en calderas, vehículos, etc.
- Alcance 2: Emisiones indirectas. Generadas por el municipio fuera de los límites de este por industrias energéticas. Por ejemplo, compra de electricidad.

Los sectores calculados por esta metodología son:

Tabla 4: Sectores de cálculo de la metodología Huella de Carbono de un ayuntamiento por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

Sector.	Subsector.
Instalaciones fijas.	Combustibles fósiles en instalaciones fijas.
Refrigeración y climatización.	Fuga de gases fluorados.
Transporte.	Transporte por carretera.
	Transporte por tren, cercanías o tranvía.
	Transporte en metro.
	Transporte marítimo o fluvial.
	Transporte aéreo.
Electricidad.	Electricidad.

Bilan Carbone elaborado por la ADEME.

El método Bilan Carbone es un método que evalúa las emisiones de GEI generados por todos los procesos físicos que son necesarios para la existencia de una actividad, organización o territorio. Incluye una metodología especial para los territorios que es la que nos interesa. Este método diferencia entre emisiones directas o indirectas:

- Emisiones directas: Emisiones producidas por fuentes que son propiedad o están controladas por el municipio.
- Emisiones indirectas: Emisiones consecuencia de la actividad del municipio pero que ocurren en fuentes que no son propiedad o están controladas por otra organización.

Los sectores calculados por esta metodología son:

Tabla 5: Sectores de cálculo de la metodología Bilan Carbone.

Sector.	Subsector.
Industrias energéticas.	Electricidad.
	Hidrocarburos.
Emisiones en procesos industriales.	Combustibles fósiles.
	Electricidad.
	Otros ejemplos (SFC).
Terciario.	Calefacción.
	Agua caliente.
	Vapor caliente.
	Electricidad.
Residencial.	Fugas aire acondicionado.
	Calefacción.
	Agua caliente.
	Vapor caliente.
Agricultura y pesca.	Electricidad.
	Fugas aire acondicionado.
	El consumo de combustible (agricultura, incluyendo invernaderos y la pesca) y electricidad.
	Las emisiones de metano y óxido nitroso relacionados con la ganadería (digestión entérica, el tratamiento de los residuos, la difusión).
	Las emisiones de óxido nitroso de los fertilizantes.
Tráfico de mercancías.	Fabricación de insumos (fertilizantes, alimentación,...).
	Fabricación de equipos mecánicos (tractores, etc.).
	Carretera.
	Aéreo.
	Ferrovionario.
Transporte de personas.	Marítimo.
	Tránsito por carretera con un punto de inicio y un punto final, que se encuentran dentro del territorio.
	Los residentes relacionados con el tráfico, donde quiera que vayan, y cualquiera que sea el modo seleccionado (carretera, ferrocarril, aire...).
Construcción de edificios y carreteras.	El tráfico relacionado con los visitantes sea cual sea el motivo (turismo, negocios, visitas familiares...) y cualquiera que sea el modo seleccionado.
	Construcción de edificios y carreteras.
Alimentación.	Fuera del territorio.
Desechos.	Desechos.
Desechos futuros.	GEI generados en la producción de los desechos.

UNE-ISO 1069:2015 IN.

La Asociación española de normalización y certificación es una entidad privada sin fines lucrativos que se creó en 1986. Su actividad contribuye a mejorar la calidad y competitividad de las empresas, sus productos y servicios.

AENOR a través del desarrollo de normas técnicas y certificaciones, contribuye a mejorar la calidad y competitividad de las empresas, sus productos y

servicios, de esta forma ayuda a las organizaciones a generar uno de los valores más apreciados en la economía actual: la confianza.

La norma ISO 14069-1 posibilita que organizaciones de todo el mundo cuantifiquen las emisiones y remociones de Gases de Efecto Invernadero. Este informe técnico quiere permitir a las organizaciones o en nuestro caso ayuntamientos, orientación sobre la cuantificación de GEI.

Esta metodología diferencia las emisiones en:

- Emisiones directas. Generadas por el municipio en su territorio. Por ejemplo, combustión en calderas, vehículos, etc.
- Emisiones indirectas por energía: Emisiones indirectas generadas por el municipio fuera de los límites de este por industrias energéticas. Por ejemplo, compra de electricidad.
- Otras emisiones indirectas. Generadas por el municipio fuera de los límites de este y que no corresponden a energía. Por ejemplo, extracción y producción de materiales requeridos por la entidad

La norma específica que se pueden hacer dos inventarios distintos, uno para las propias operaciones de la autoridad local (como cualquier otra organización) y otro para las emisiones dentro de la comunidad determinado por los límites geopolíticos. Considerando que este enfoque territorial necesita una metodología específica que se encuentra fuera del alcance de este informe técnico. El concepto de territorialidad municipal no está contemplado. Se introdujo esta metodología debido a que es estándar internacional, por lo cual muchas entidades recurrirán buscando una solución, encontrándose al analizar la norma con el problema comentado. Por esto no se recomienda su utilización y los sectores no han sido comparados.

Conclusiones

Existe una gran variedad de metodologías para el cálculo de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Se han identificado las más conocidas y usadas, intentando aplicarlas para el cálculo de emisiones locales.

No todas ellas son aplicables a las entidades locales. Incluso hay metodologías que están elaboradas para territorios, como es el caso de las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios de Gases de Efecto Invernadero a nivel de territorialidad nacional, que tampoco tienen validez en el contexto municipal.

Cabe destacar que algunos inventarios para el cálculo de emisiones GEI a nivel local tratan a los municipios como organizaciones, con pequeñas disparidades respecto a estas. Estas metodologías tampoco pueden ser aplicadas en el contexto urbano que se abarca en este estudio.

La principal diferencia en los manuales son los sectores involucrados, porque a mayor número de sectores más exactitud, siendo los más exactos GHG Protocol y Bilan Carbone.

Bilan Carbone es el más preciso, pero tiene un gran volumen de datos, ya que también calcula el análisis de ciclo de vida de los productos consumidos en la ciudad, lo que hoy dificulta su utilización.

Mientras se sigan usando distintas metodologías con distintos sectores será imposible hacer un inventario exacto y comparable entre distintas ciudades.

Referencias bibliográficas

Página web de United Nations Framework Convention on Climate Change. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

Spencer R. (2003). Harvard University Press.

Cambio Climático (2007). Informe del Grupo intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático. Informe de síntesis.

Resumen del Informe General del IPCC (1990).

Naciones Unidas. Asamblea General (1987). Desarrollo y cooperación económica internacional: Medio ambiente. Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo.

Página web del Pacto de Alcaldes.

Pandey, D. M. Agrawal y J. Pandey (2010). Carbon footprint: current methods of estimation. *Environmental Monitoring and Assessment*, 178(1-4), 135-160

Wiedmann, T. y J. Minx. (2008) A Definition of Carbon Footprint In: C. C. Pertsova, *Ecological Economics Research Trends*, n. 1, p. 1-11, Nova Science Publishers, Hauppauge NY, USA

Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios de gases de Efecto Invernadero. 2006. Grupo intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático.

César Espíndola y José O. Valderrama (2012) Huella del Carbono. Parte 1: Conceptos, Métodos de Estimación y Complejidades Metodológicas.

Metodología para el Cálculo del Sistema de Indicadores de Diagnóstico y Seguimiento del Cambio Climático. 2009. Federación española de municipios y provincias.

Cálculo de la Huella de Carbono propuesto por la Junta de Andalucía. 2012.

Global Protocol for community-scale Greenhouse Gas emission inventories. An accounting and reporting standard for cities. 2014.

Calculadora de la Huella de Carbono de alcance 1+2 para ayuntamientos (2007 – 2014). Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente.

Bilan Carbone. Entreprises – Collectivités –Territoires. Guide méthodologique- version 6.1 - objectifs et principes de comptabilisation. 2010. Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie.

UNE-ISO 1069:2015 IN. Gases de Efecto Invernadero. Cuantificación e informe de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero para las organizaciones. Orientación para la aplicación de la Norma ISO 14064-1 (2015).