

Estudio de la Huella de Carbono en Unidades Desconcentradas de Terminales Terrestres

Córdova-Suárez, Manolo¹; Carrasco, María¹; Padilla Paola¹; Garcés-Sánchez, Estefanía¹

¹Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, Ambato, Ecuador

Resumen: La estimación de la huella de carbono de los terminales terrestres de la ciudad de Ambato (UDTA) refleja la realidad de un problema que afecta a la sociedad mundial. El factor de emisión de CO₂ obtenido fue de 78131,532 kg CO₂/TJ. Este valor fue comparado con el Factor de Emisión reportado en la IPCC que es de 74100 kg CO₂ /TJ, diferencia que se atribuyó a que el Factor de Emisión está influenciado por la tecnología y operación de los autobuses y distintas características del combustible. La huella de carbono fue de 71, 69 t CO₂ -e, 133,44 t CO₂ -e y 92159,74 t CO₂ -e, para los alcances 1, 2 y 3 respectivamente; como se estimó inicialmente la mayor aportación a la huella de carbono estuvo dada por la flota vehicular que se consideró en el alcance 3.

Palabras clave: factor de emisión, NO_x, CO₂.

Study of the Carbon Footprint in Unknown Units of Terrestrial Terminals

Abstract: The estimate of the carbon footprint of the terrestrial terminals of the city of Ambato (UDTA) reflects the reality of a problem that affects the world society. The measured factor is compared to the IPCC emission factor, which is 74100 kg CO₂ / TJ, with the difference between emission factor technology and bus and fuel operation. The carbon footprint was 71,69 tCO₂-e, 133,44 tCO₂-e and 92159,74 tCO₂-e, at scopes 1, 2 and 3; The largest contribution to the carbon footprint was given by the fleet of vehicles considered in scope 3.

Keywords: emission factor, NO_x, CO₂.

1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático es un problema mundial, que requiere la cooperación internacional en paralelo con políticas locales, nacionales y regionales sobre numerosas cuestiones. La contaminación del aire es un grave problema de salud medioambiental que afecta directamente a la humanidad.

En la actualidad la exposición a los contaminantes del aire está fuera del control de las personas y exige la acción de las autoridades públicas a nivel nacional, regional e incluso internacional. La Organización Mundial de la Salud, menciona que es posible atribuir la muerte prematura de más de dos millones de personas anualmente debido a los efectos de la contaminación del aire en las ciudades, causada por la combustión (OMS 2006).

El incremento del tráfico vehicular y restringida mejora de la eficiencia del combustible, ha provocado que el transporte terrestre sea una de las mayores fuentes de emisión de gases de efecto invernadero y cuyo crecimiento es acelerado (Barrett & Scott, 2015).

La utilización de tecnología para cuantificar gases de combustión, permite tener datos en tiempo real, este es el caso del equipo Bacharach (ECA 450). Este equipo es un analizador de gases de combustión y de las emisiones ambientales de grado industrial. Está controlado por medio de microprocesadores, que facilitan la operación y configuración del mismo, de esta manera este equipo es de fácil manipulación adaptándose a las necesidades del operador. También, posee un sistema de selecciones de menú lo que permite una guía procedimental adecuada para su operación y configuración, señalando la acción. La muestra de gas que es aspirada dentro del analizador por medio de la sonda es enviada a un conjunto de sensores electroquímicos de gases (Bacharach, 2014).

En Ecuador, los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GADs) representan los niveles de gestión regional, provincial, cantonal y parroquial. Los GADs tienen competencias, deberes y niveles de participación delimitadas que cumplir para organizar su gestión, algunas son determinadas en gran medida en el Código Orgánico de

ma.cordova@uta.edu.ec

Recibido: 07/02/2017

Aceptado: 07/03/2018

Publicado: 30/04/2018

Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (Asamblea Nacional, 2010b).

Según el Ministerio de Ambiente del Ecuador (MAE), entre el año 1990 y 2006, Ecuador ha experimentado un incremento del 78,70% en las emisiones de CO₂ generadas por el transporte, lo que indica que la contaminación atmosférica en el país es principalmente generada por la flota vehicular (MAE, 2012).

Un estudio previo ha concluido que en Quito, la Huella de Carbono resultante de los sectores clave dentro de la ciudad tales como transporte, industrial, residencial y residuos sólidos es de 5.164.945 t CO₂ -e. en total (SASA, 2014).

La unidad desconcentrada de terminales de Ambato (UDTA) impulsa la planificación, organización y control de las operaciones del origen y destino de las operadoras de transporte. La terminal Ingahurco registra 30 operadoras con 43 destinos (Quito, Guayaquil, Latacunga y otros lugares del territorio nacional). En el área de transferencia América existen 10 operadoras y 20 destinos donde se movilizan pasajeros y mercancías a los cantones de Tungurahua, mientras que en el área de transferencia Cashapamba existen 6 operadoras con 10 destinos que viajan a Píllaro y las demás parroquias rurales de Ambato (El Heraldo, 2016).

Esto evidencia la necesidad de determinar la huella de carbono en la unidad desconcentrada de terminales de Ambato bajo las consideraciones de la norma ISO 14064.

2. METODOLOGÍA

2.1 Identificación de fuentes de emisión de gases de efecto invernadero

Basándose en la Norma ISO 14064 (2016) se categorizaron las fuentes de emisión de gases de efecto invernadero (GEI), las mismas que se dividieron en:

2.1.1 Emisiones Directas de GEI

En esta categoría se consideraron a las emisiones generadas por los automóviles pertenecientes a la UDTA, áreas de transferencia Ingahurco, América y Cashapamba.

2.1.2 Emisiones Indirectas de GEI por Energía

Dentro de estas emisiones se consideraron todo tipo de consumo de energía eléctrica en los dos edificios que forman parte de la UDTA.

2.1.3 Otras Emisiones Indirectas de GEI

Entre las otras emisiones indirectas de GEI se consideraron a los autobuses de la UDTA, áreas de Transferencia Ingahurco, América y Cashapamba, debido a que, estos no pertenecieron a la organización en estudio, sino que prestaron un servicio a la misma.

2.2 Metodología de cuantificación

Para la cuantificación de GEI para la UDTA, áreas de transferencia Ingahurco, América y Cashapamba, se aplicó la metodología de Combinación y Medición de Cálculo mencionada en la normativa ISO 14064-1 (2006).

2.3 Selección de los factores de emisión de GEI.

Se clasificaron los autobuses y automóviles de acuerdo a la tecnología del escape: Euro I, II, III. La muestra representativa de autobuses se estableció por muestreo estratificado con fijación proporcional y se tomó como límite máximo de muestra 50 autobuses (Tabla 1), para lo cual se consideró varios factores como el tiempo de vida útil de la celda electroquímica, disponible en el equipo Bacharach ECA 450 y el tiempo disponible para la toma de muestras, respetando la logística de la UDTA.

Tabla 1. Número de muestras tomadas en función del tipo de escape de los autobuses muestreados

Tecnología de escape	Nº de autobuses
Euro I	2
Euro II	28
Euro III	20
Total	50

Los factores de emisión correspondientes a emisiones directas y otras emisiones indirectas de GEI se obtuvieron mediante la medición directa en los tubos de escape del automóvil y de los autobuses, utilizando el equipo analizador de gases de combustión Bacharach ECA 450 para la medición de concentración de CO, NO_x y, SO₂.

2.3.1 Selección y Recopilación de los datos de actividad de GEI

Los datos de actividad de GEI se obtuvieron mediante recopilación del volumen de combustible consumido por día de los autobuses que prestan su servicio a la UDTA (muestra representativa), áreas de Transferencia Ingahurco, América y Cashapamba. Para la obtención del dato de actividad expresado en energía generada (TJ), se utilizó información de poder calorífico del combustible, así como su densidad. (ISO 14064-1, 2006).

2.3.2 Cálculo de emisiones de GEI

Los factores de emisión correspondientes a las emisiones indirectas de GEI por energía, se obtuvieron utilizando información del factor de emisión de los tipos de combustibles, utilizados en la generación de consumo eléctrico del país (MAE, 2013).

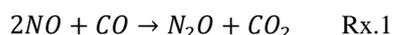
Para el cálculo de emisiones indirectas de energía se obtuvo información del consumo de energía eléctrica (MWh) proporcionado por la administración de la UDTA, y se transformó a emisiones de CO₂ (t CO₂ -e), para lo cual se multiplicó por los factores de emisión presentados en la Tabla 2.

Tabla 2. Factor de emisión por consumo de Energía Eléctrica

Año	Factor de Emisión t CO ₂ /MWh
2013	0.5062

Nota. Adaptado de: "Factor de Emisión de CO₂ del Sistema Nacional Interconectada de Ecuador, por MAE, 2013. p.22

Mediante cálculos estequiométricos se transformó las concentraciones de NO y CO (mg/m³) dados por el equipo Bacharach ECA 450 a kg de N₂O y kg de CO₂, para lo cual se utilizó la siguiente reacción química tomada de Lipman y Delucchi, (2002).



Utilizando el siguiente modelo matemático (ecuación 1) se determinó la emisión de GEI (Davies et al. 2006)

$$\text{Emisión} = \Sigma[\text{DAa} * \text{EFa}] \quad (1)$$

Donde:

Emisión= Emisiones de GEI (kg)

DAa= combustible vendido (TJ)

EFa= factor de emisión (kg/TJ).

a= tipo de combustible

2.3.3 Cálculo de la Huella de Carbono

Las emisiones de GEI se transformaron de kilogramos de CO₂ a toneladas. Para la conversión a t CO₂-e se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Huella de Carbono} = t * t \text{ CO}_2 - e \quad (2)$$

Donde:

t: emisión en ppm.

t CO₂-e: Potencial de Calentamiento Global a 100 años.

Una vez que se obtuvo el cálculo unitario de las emisiones de cada fuente en t CO₂-e, se sumaron todas las emisiones de la misma categoría (emisiones directas, emisiones indirectas por energía y otras emisiones indirectas) con la finalidad de obtener el total de emisiones de GEI.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Fuentes de emisión de gases de efecto invernadero.

En la Unidad Desconcentrada de Terminales Ambato se categorizaron las fuentes de emisión de GEI, a fin de separar las emisiones producidas en la organización.

Se consideró como Alcance 1, únicamente la camioneta D-MAX que es propiedad del organismo para movilización de empleados.

En el Alcance 2 se consideró la energía eléctrica consumida en el área de transferencia Ingahurco, ya que cuenta con el edificio central y administrativo. Esta emisión fue representativa en la determinación de Huella de Carbono, debido a que, la electricidad representa una de las mayores fuentes de emisión de GEI a nivel mundial.

El Alcance 3 se atribuyó a la flota vehicular de las cooperativas que prestan su servicio, siendo en total 1504 autobuses. Este alcance se consideró como fuente de emisión relevante debido a los GEI emitidos por el tubo de escape de los autobuses.

3.2 Evaluación del Factor de Emisión.

El valor promedio de factor de emisión de diésel para CO₂, correspondiente al Alcance 3, fue de 78131,532 kg CO₂/TJ, mientras que en la IPCC se indica que el factor de emisión es de 74100 kg CO₂/TJ (Aguilar et al. 2007).

Esta diferencia se debió a que el uso del autobús y condiciones reales de operación, implicaron diferencias significativas en las emisiones medidas. Además, se consideró que ese dato fue generado bajo condiciones de temperatura, localidad, tecnología avanzada de autobuses y mejor calidad de diésel que la que se dispone en el país, es por esto que el Factor de Emisión obtenido difirió del valor bibliográfico, siendo este último menor.

3.3 Estimación de emisiones de gases de efecto invernadero

En la Figura 1 se aprecia que conforme la tecnología de los autobuses mejora, las emisiones de CO₂ disminuyen, siendo la tecnología de EURO III la más avanzada, que generó baja emisión de CO₂.

Esto evidenció que el cambio de sistemas de escape, así como el uso de convertidores catalíticos de los autobuses influyó positivamente en la cantidad de emisiones de CO₂ del mismo.

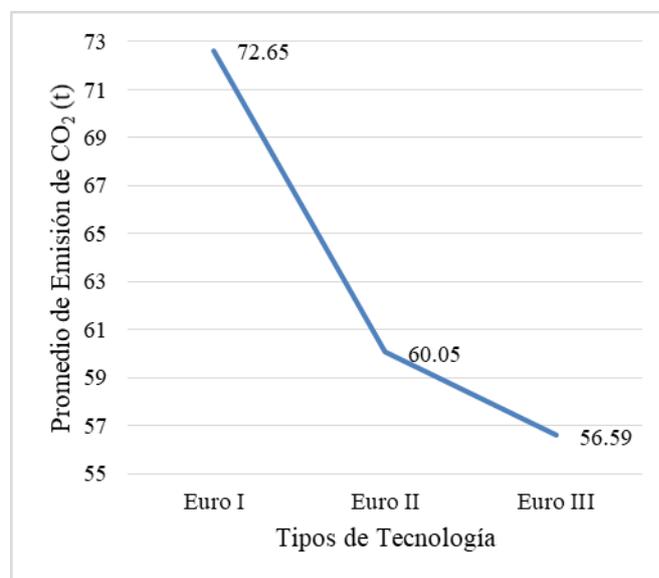


Figura 1. Promedio Emisión CO₂

Los óxidos nitrosos son parte de los GEI más contaminantes que existen en la actualidad. Como se aprecia en la Figura 2, la emisión de N₂O disminuyó a medida que aumentó la tecnología.

Entre Euro II y Euro I existió un leve decrecimiento del valor de emisión, además, la tecnología que utiliza EURO I y II no se enfocó en bajar las emisiones de este gas, ya que su objetivo

principal fue disminuir la emisión de CO₂ al medio ambiente, a diferencia de la tecnología Euro III la cual se enfocó principalmente en la emisión de N₂O, causando una disminución de estas emisiones en los autobuses.

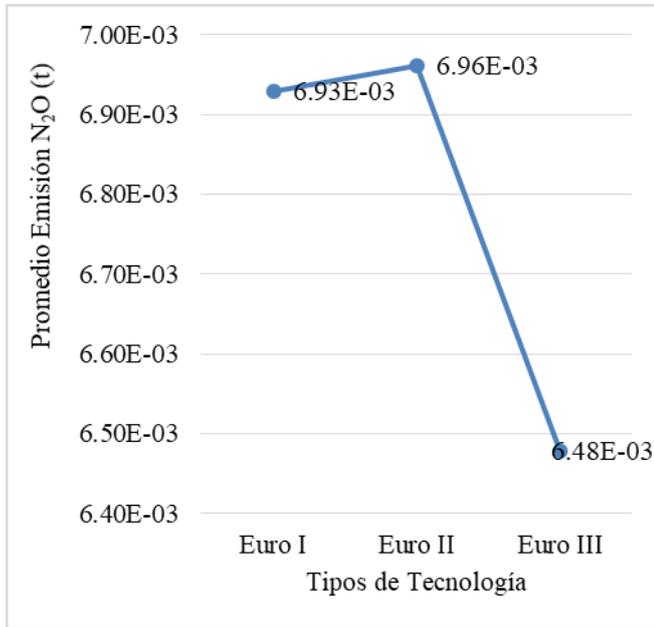


Figura 2. Promedio Emisión N₂O (t)

Según Lipman y Delucchi, (2002) las emisiones de N₂O de vehículos equipados con catalizadores con una edad equivalente a 24.140 km de recorrido, tuvieron emisiones 3,90 veces más altas que un vehículo con la misma tecnología con catalizador nuevo, es por ello que existió una diferencia significativa entre las emisiones provenientes de los autobuses con tecnología Euro I y Euro III.

Las emisiones de metano (CH₄) se producen como consecuencia de la combustión incompleta, además, produce hidrocarburos no combustionados. Las emisiones de CH₄ dependen de varios factores como el tipo de combustible usado, el diseño y la configuración del motor, el tipo de sistema de control de emisión (escape de gases), edad de vehículo y otros factores (Lipman y Delucchi, 2002).

En la Figura 3 se puede apreciar una disminución de emisión de CH₄ entre Euro I y Euro II, pero, existió un aumento en las emisiones en la tecnología Euro III.

Esta diferencia se atribuyó a los datos de consumo de combustible de cada autobús los cuales fueron proporcionados por los conductores, lo que provocó un error no controlable.

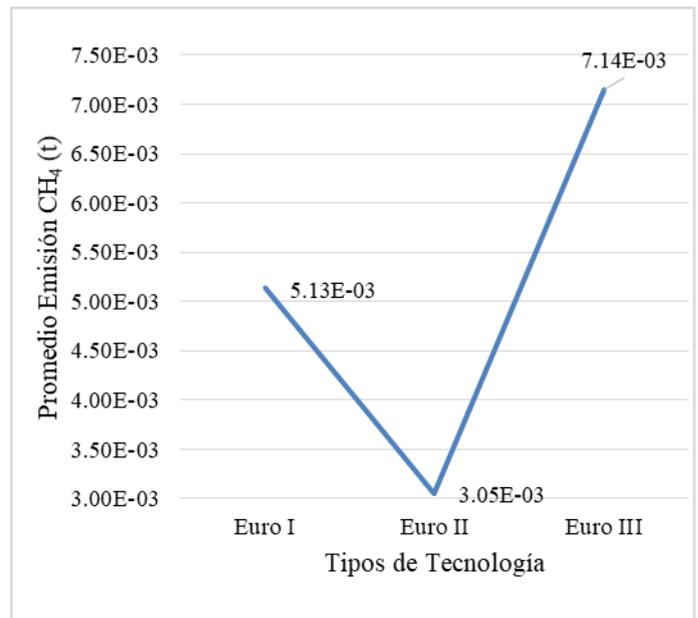


Figura 3. Promedio Emisión de CH₄

El metano tiene un potencial de calentamiento global que es 25 veces más elevado que el CO₂, lo que ocasionó que las emisiones de este gas contaminaran de forma significativa al medio ambiente, no obstante, estas emisiones fueron bajas.

El dióxido de azufre (SO₂) se produjo debido a la presencia de azufre en el combustible, que al oxidarse en la atmósfera contribuye a la formación de partículas que obstruyen los filtros y por lo tanto reducen la efectividad de las tecnologías de reducción de emisiones (Cooper, et al 2012), sin embargo, en la Figura 4 se aprecia un decrecimiento de concentración de SO₂, conforme la tecnología mejora. Estas emisiones podrían ser más bajas si la calidad del diésel importado hacia el Ecuador tuviera una menor cantidad de contaminantes como el azufre, que al tener una combustión incompleta generan gases como el SO₂ que son nocivos para el medio ambiente y para la salud.

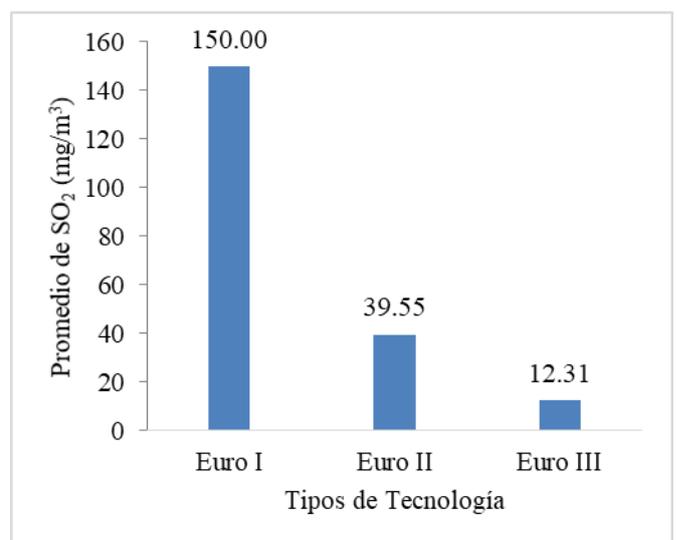


Figura 4. Promedio Emisión SO₂ (mg/m³)

3.4 Estimación de Huella de Carbono de Fuentes Directas, Indirectas y otras Indirectas.

La Huella de Carbono correspondiente al Alcance 3 como se estimó inicialmente fue la que más aportó a la Huella de Carbono Global, esto se debió a que, en este alcance se consideró la flota vehicular que conforma la principal actividad de esta organización.

Como se muestra en la Figura 5 las emisiones fueron influenciadas por la tecnología de los autobuses y disminuyeron conforme la tecnología mejoraba, fue por esto que la tecnología Euro I aportó con el 38,23%, esto se atribuyó a que dicha tecnología está regida bajo normativa que permite rangos más altos de emisiones de GEI, que la tecnología Euro II y Euro III.

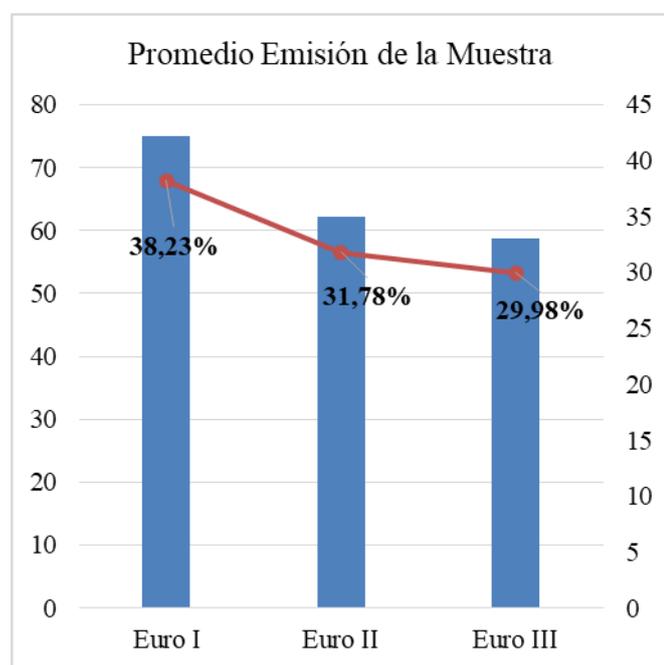


Figura 5. Promedio Emisión de la Muestra (t CO₂ -e) en función de tecnología de escape

Como se observa en la Figura 6 se obtuvo que la tecnología Euro I contribuyó con el 4% de emisiones, esto se debió a que, aun cuando las emisiones de esta tecnología fueron mucho mayores, se consideró que la cantidad de autobuses con esta tecnología en la UDTA fue mucho menor que los autobuses con tecnología Euro II o Euro III.

Por ello que la mayor aportación de emisiones a la Huella de Carbono Global estaba dada por los autobuses con tecnología Euro II, ya que representaron la mayor cantidad de autobuses en la UDTA.

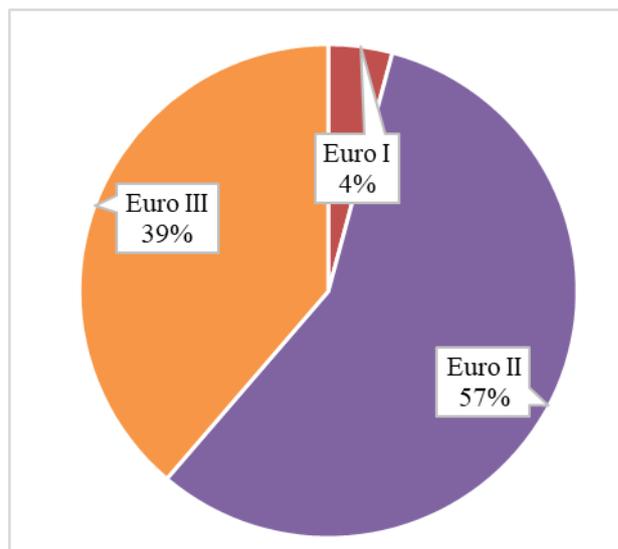


Figura 6. Porcentaje Huella de Carbono Total t CO₂-e

En la Tabla 3 se presentan los resultados de Huella de Carbono para el alcance 1 y 3 de la UDTA.

Los resultados para el Alcance 1, consideraron los vehículos para uso del personal administrativo propios de la empresa no se utilizaron los vehículos del personal.

Tabla 3. Huella de Carbono Total por Emisiones Directas y otras Indirectas

	UDTA (t CO ₂ -e)
Alcance 1	71,69
Alcance 3	92159,75

En el Alcance 3 se presentó una diferencia significativa en cuanto a la Huella de Carbono, siendo las emisiones provenientes de la flota vehicular mayor en cuanto al Alcance 1. Sin embargo, se debió considerar que el estudio de emisiones en la UDTA se realizó con un total de 1.504 autobuses, mientras que el inventario de GEI de estudios similares como el de Interurbana de Autobuses S.A de España, se realizó en una flota vehicular conformada por un total de 139 autobuses, por lo que al ser menor el número de fuentes de emisión, la Huella de Carbono emitida por esta categoría fue mucho menor (18264,40 t CO₂-e), además, cabe recalcar que la tecnología disponible para los autobuses europeos así como las características del diésel utilizado son distintas (Interurbana de Autobuses S.A Inventario de Gases de Efecto Invernadero, 2012).

3.5 Estimación de Huella de Carbono por energía.

En la Tabla 4 se presenta las emisiones por energía en la UDTA, que son mayores que las reportadas en el Inventario de GEI en Interurbana de Autobuses S.A. Esta diferencia se atribuyó al número de luminarias y la infraestructura de los terminales, que constituyeron factores determinantes al considerar el consumo eléctrico (Interurbana de Autobuses S.A Inventario de Gases de Efecto Invernadero, 2012).

Tabla 4. Huella de Carbono Total t CO₂-e por emisiones indirectas

	UDTA	Interurbana de Autobuses S.A.
Alcance 2	133,44	125,89

4. CONCLUSIONES

Se categorizaron las fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero, clasificando las fuentes de emisiones por alcances, siendo el Alcance 1 (camioneta D-MAX), que representó la fuente de emisión directa de la UDTA y que se encuentra en el área de transferencia Ingahurco. El Alcance 2 comprendió emisiones por energía y estaba conformado por el consumo eléctrico del área de transferencia Ingahurco; en el Alcance 3 se encontró la flota vehicular de las 3 áreas de transferencia Ingahurco, Cashapamba y América.

Se evaluó el factor de emisión de GEI en las fuentes móviles, obteniéndose un valor promedio de 78131,532 kg CO₂/TJ. La mayor aportación a la Huella de Carbono de la organización fue dada por la flota vehicular que se consideró en el Alcance 3, siendo la responsable de la actividad principal de la misma.

Para la disminución de la Huella de Carbono en la UDTA se recomienda la elaboración e implementación de un Plan de Manejo Ambiental para las áreas de transferencias. El mismo que deberá enfocarse en el desarrollo de programas de intervención y mitigación de los puntos críticos detectados. Los vehículos deberán adaptarse a la calidad del combustible.

REFERENCIAS

- Aguilar, J., Echániz, G., Sandoval, P. Garibay, V., Iniestra, R., Allen, J., Tejada, D. (2007). Guía Metodológica para la estimación de emisiones vehiculares en ciudades mexicanas. Secretaría de Medioambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. México D.F.
- Asamblea Nacional, 2010b, "Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización", Registro Oficial Suplemento 303 de 19 octubre 2010, Quito, Ecuador.
- BACHARACH (2014). Manual de Analizador de Combustión Ambiental ECA450. Bacharach Inc.
- Barrett, J. & Scott, A. (2015). Local Environment. The Application of the Ecological Footprint: A case of passenger transport in Merseyside. 8, 167-183. doi: 10.1080/1354983032000048488.
- Cooper, R.J., Melvin, T.M., Tyers, I. et al. (2012). A tree-ring reconstruction of East Anglian (UK) hydroclimate variability over the last millennium 21. doi: 10.1007/s00382-012-1328-x
- Davies, C., Harnisch, J., Lucon, o., Scott, R. & Walsh, M. (2006). Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Vol. 2 Energía. Capítulo 3 Combustión Móvil. Estados Unidos.
- El Heraldo. (22-02-2016). Terminales Movilizan 9000 pasajeros diarios. Recuperado de: <http://www.elheraldo.com.ec/index.php?fecha=2016-02-22&seccion=Ciudad¬icia=66079>
- Interurbana de Autobuses S.A Inventario de Gases de Efecto Invernadero, 2012. Recuperado de: <https://www.interbus.es/documents/10179/12919/Informe%20GEI%20Huella%20Carbono?version=1.0&t=1380555208641>
- Lipman, T., y Delucchi, M. (2002). Emissions of Nitrous Oxide and Methane from Conventional and Alternative Fuel Motor Vehicles, 53, 477-516.
- Ministerio del Ambiente de Ecuador. (2012). MAE trabaja en programas de mitigación y adaptación para reducir emisiones de CO₂ en Ecuador. Recuperado de: [http://www.ambiente.gob.ec/mae-trabaja-en-](http://www.ambiente.gob.ec/mae-trabaja-en)

programas-de-mitigacion-y-adaptacion-para-reducir-emisiones-de-co2-en-ecuador/.

Ministerio del Ambiente de Ecuador. (2013). Factor de Emisión de CO₂ del Sistema Nacional Interconectado de Ecuador. Recuperado de: www.ambiente.gob.ec

ISO 14064-1:2006. Greenhouse gases part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals.

Organización Mundial de la Salud (OMS) (2006). Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. En línea en http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair_aqg/en/.

SASA (2014). Huella de Ciudades. Recuperado de: <http://www.huelladeciudades.com/diagnostico.html#quito>



Manolo Alexander Córdova Suárez. Docente investigador de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos de la UTA, Ing. Químico, Magister en Gestión de la Producción Industrial, Magister en Prevención de Riesgos del Trabajo, Master Universitario en Prevención de Riesgos Laborales.

Presidente de LAB&HES CIA. LTDA. y consultor en el área de seguridad, salud y ambiente en empresas de alto riesgo.



María de los Ángeles Carrasco Ortiz. Ingeniera Bioquímica graduada en la Universidad Técnica de Ambato. Actualmente tiene su empresa de cosméticos 100% naturales enfocados en proveer productos libres de parabenos, derivados del petróleo y aditivos nocivos para el organismo mejorando así la

calidad de vida de los ecuatorianos y a la vez ser una fuente de generación de empleos.



Paola Salomé Padilla Valle. Ingeniera Bioquímica. Sus estudios los realizó en la Universidad Técnica de Ambato. Continúa con su formación académica en el campo ambiental y espera constituirse como emprendedora social y contribuir a la comunidad con sus conocimientos y es por esto que además

actualmente se desempeña como docente.



Sonia Estefanía Garcés Sánchez. Nació en Ambato, Ecuador en 1993. Ingeniera Bioquímica titulada en la Universidad Técnica de Ambato. Actualmente, estudia una Maestría en Sistemas Integrados de Gestión en la Universidad Internacional de la Rioja. Tiene experiencia como técnico de Seguridad y

Salud Ocupacional.