

## Cálculo de las emisiones de CO<sub>2</sub> de la Universidad San Francisco de Quito pertenecientes al rubro de transporte estudiantil del Segundo Semestre 2012-2013

Karen Naciph<sup>1</sup>, Laura Rivadeneira<sup>1</sup> y María Cazorla<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Universidad San Francisco de Quito - Instituto de Investigaciones Atmosféricas – Colegio de Ciencias e Ingeniería, Diego de Robles S/N, Cumbayá.

\*Autor principal/Corresponding author, e-mail: cazorla.chem@gmail.com

Editado por/Edited by:

Recibido/Received: 11/10/2013. Aceptado/Accepted: 11/11/2013.

Publicado en línea/Published on Web: 09/12/2013. Impreso/Printed: 09/12/2013.

### Abstract

This document presents an engineering estimation of the amount of CO<sub>2</sub> emissions generated due to transportation of student population at Universidad San Francisco de Quito (USFQ) during the second semester of the academic year 2012-2013. A survey was applied to 500 students, 10 % of the student population that attends school regularly over one semester, regarding their means of transportation. With this information the CO<sub>2</sub> emissions were calculated by two methods. The first method is an application of the principle of conservation of mass. The second, is standard methodology to calculate CO<sub>2</sub> emissions using emission factors. The two methods are in agreement within 2 %. The calculation includes flight emissions due to student travel. Results show that in one semester students at USFQ generate 299 kg of CO<sub>2</sub> per person.

**Keywords.** CO<sub>2</sub> emissions, Transportation, USFQ.

### Resumen

Este documento presenta una estimación de ingeniería de las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por el transporte de la población estudiantil de la Universidad San Francisco de Quito (USFQ) durante el segundo semestre 2012-2013. Se aplicó una encuesta a una muestra de 500 estudiantes, que representa el 10 % de la población estudiantil de un semestre, para recopilar datos sobre su forma de transporte. Con esta información se obtuvo la masa de CO<sub>2</sub> mediante dos métodos: una aplicación del principio de conservación de la materia y el conocido método de factores de emisión. Los dos métodos arrojan resultados en un rango del 2 % de concordancia. Adicionalmente, se obtuvo información de viajes aéreos de los estudiantes y se realizó el mismo cálculo. Los resultados indican que la cantidad de CO<sub>2</sub> emitida por transporte estudiantil durante el semestre mencionado, es de 299 kg de CO<sub>2</sub> por persona.

**Palabras Clave.** Emisiones de CO<sub>2</sub>, Transporte, USFQ.

En este trabajo se presenta la metodología y los resultados del cálculo másico de las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por el transporte de los estudiantes desde sus hogares hacia la USFQ en un semestre. Este estudio se ha realizado de manera independiente al estudio del año 2004, del cálculo de la huella ecológica de la USFQ [1].

Para realizar este trabajo se aplicó una encuesta a 500 estudiantes de la USFQ, a fin de obtener datos de los medios de transporte que utilizan para trasladarse desde sus hogares a la Universidad. La muestra corresponde al 10 % de la población estudiantil y la encuesta se hizo en el mes de Mayo de 2013. La encuesta recopiló información del número de estudiantes que se transporta en bus y del que utiliza vehículo propio. También se obtuvo in-

formación de la marca, modelo y año de los vehículos. Esta información fue tabulada cuidadosamente. Con las especificaciones de los vehículos, se obtuvo la eficiencia aproximada de cada motor, que oscila entre 25 y 40 MPG (millas por galón) y el tipo de combustible que utilizan esos vehículos [2]. Adicionalmente, la encuesta recopiló detalles sobre el sector desde el que se trasladan los estudiantes, la distancia recorrida, el tiempo de viaje, el número de días a la semana que asisten a la universidad y el número de personas que comparten un vehículo. Una vez obtenidos estos datos, se utilizó dos métodos independientes para calcular la masa de CO<sub>2</sub> generada por la población muestreada. El primer método consistió en aplicar un balance de materia y el segundo, en utilizar factores de emisión (FE).



Medio de transporte	Número de muestras	Consumo Galones/semana	Ton CO <sub>2</sub> /semana Método de balance	Ton CO <sub>2</sub> /semana Método de FE	Ton CO <sub>2</sub> por semestre
Autos	202	523.1 gasolina	5.470	5.500	99.4
Buses	167	48 diesel	0.482	0.489	8.8
Otros	39	0	0.000	0.000	0.0
Total	408	(*)	5.670	5.800	108.2

(\*) Los volúmenes no son aditivos.

**Tabla 1: Combustible consumido y CO<sub>2</sub> generado por el transporte de la muestra de población estudiantil desde sus hogares a la USFQ y de regreso, durante el segundo semestre 2012-2013.**

El cálculo efectuado mediante el primer método, es una aplicación del principio de conservación de la materia y presupone lo siguiente: a) todo el carbono de los combustibles fósiles pasará en algún momento a formar dióxido de carbono en la atmósfera, b) la combustión es completa, c) la gasolina se modela como octano y el diesel como ciclo dodecano. Las Ecuaciones 1 y 2 muestran los modelos de combustión aplicados.



Las suposiciones mencionadas permiten realizar una estimación propia de las emisiones de CO<sub>2</sub> por quema de combustibles fósiles, a fin de contrastarla con otros métodos de cálculo de emisiones de CO<sub>2</sub> propuestos en investigaciones previas [3, 4]. Este primer método tiene incertidumbres, pues las reacciones de combustión, en general, no son completas y los combustibles comerciales no son el cien por ciento los compuestos propuestos. Sin embargo, de las combustiones incompletas o reales, se generan, como productos, monóxido de carbono e hidrocarburos no combustionados que, por diversos procesos atmosféricos, en una escala de tiempo comparable a la escala de tiempo de persistencia del CO<sub>2</sub> en la atmósfera, terminan convirtiéndose en CO<sub>2</sub> [5]. Asimismo, la gasolina está formada por mezclas de hidrocarburos de seis, siete y ocho átomos de carbono, mientras que el diesel, que es más pesado, es una mezcla de hidrocarburos de once, doce y trece carbonos. Por estas causas, se ha considerado razonable aplicar estas simplificaciones.

Para proceder con el cálculo, se utilizó la eficiencia de los motores de los vehículos en millas por galón y la distancia recorrida en los viajes. Así, se obtuvo los galones de combustible consumidos en el semestre por la muestra poblacional. Este volumen de combustible, multiplicado por su densidad, resulta en la masa de combustible consumido. Se usó valores típicos de la densidad de la gasolina y el diesel a condiciones ambiente, sin hacer consideraciones de la dependencia termodinámica de la densidad con la temperatura. Así, para la gasolina se utilizó la densidad de la nafta de 0.739 kg L<sup>-1</sup>, y para el diesel el valor utilizado fue de 0.845 kg L<sup>-1</sup> [4, 6]. Finalmente, la estequiometría de las reacciones de combustión, Ecuaciones 1 y 2, por el principio de

conservación de la materia, fijan la masa de CO<sub>2</sub> generada durante estos procesos.

En el caso del transporte por bus, se aplicó el modelo del ciclo dodecano, pues en general el combustible de los buses es el diesel. Para la eficiencia del motor de buses, se asumió 13.8 MPG promedio. Este valor es utilizado por la comunidad local que investiga temas de elaboración de inventarios de emisiones urbanas en el Ecuador. Este número tiene el sustento de encuestas municipales hechas a propietarios de vehículos, más consultas a técnicos automotrices. No hay, sin embargo, publicaciones específicas sobre la obtención de la eficiencia del combustible en vehículos de transporte público, en nuestro medio.

Los resultados obtenidos mediante el primer método, se contrastaron con la metodología estándar para la preparación de inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero [3]. Este segundo método de cálculo, utiliza el poder calorífico de la gasolina y el diesel, que corresponde a 44.3 y 43 TJ Gg<sup>-1</sup>, respectivamente [3]. Con estas propiedades del combustible se aplica un factor de emisión de masa de CO<sub>2</sub> por unidad de energía producida por ese combustible, que corresponde a 69300 y 74100 kg TJ<sup>-1</sup> respectivamente, para la gasolina y el diesel [3]. La utilización del consumo de combustible junto con los factores de emisión y el poder calorífico del combustible, generan directamente la masa de CO<sub>2</sub> descargada a la atmósfera. Se comprobó que los dos métodos arrojan resultados similares, como se explica más adelante.

En forma similar se cuantificó la cantidad de CO<sub>2</sub> que es generada por los estudiantes de intercambio al llegar del extranjero al país, así como las emisiones generadas por viajes asociados con la actividad académica estudiantil, a la estación científica Tiputini y al Campus Galápagos. La información de viajes aéreos de los estudiantes de la USFQ fue obtenida de la oficina de Programas Internacionales. Para llevar a cabo el cálculo de este rubro, se asumió un modelo estándar de avión, el Boeing 737 para viajes comerciales internacionales. El cálculo de la distancia recorrida por los estudiantes extranjeros fue hecho asumiendo rutas directas. Con estos datos se realizó el balance de materia con el modelo del octano para el jet fuel. Como método comparativo, se utilizó el cálculo del ICAO, International Civil Aviation Organization [7], para obtener directamente las toneladas de CO<sub>2</sub> por vuelo. Al igual que en el caso del transporte terrestre, ambos métodos arrojaron valores cercanos.

Medio de transporte	Población en número	Total de emisiones Ton CO <sub>2</sub> /Semestre
Autos	2475	1217.9
Buses	2045	107.8
Otros	480	0.0
Total	5000	1325.7

**Tabla 2:** Toneladas totales de CO<sub>2</sub> generadas por la población estudiantil de la USFQ al transportarse de sus hogares a la Universidad y de regreso, durante el segundo semestre 2012-2013.

La Tabla 1 resume los resultados obtenidos por los dos métodos de las emisiones correspondientes a transporte terrestre. La tabla incluye el consumo de combustible de la muestra poblacional por semana. El número de encuestas aplicadas originalmente fue de 500, pero 92 tuvieron que descartarse por presentar información poco clara o incompleta. En el caso de la población que se desplaza por bus, el consumo total del combustible se encuentra dividido para un número promedio de 40 pasajeros en un bus. Este valor se obtuvo de consultas informales a varios conductores de los vehículos. El rubro "Otros" corresponde a las personas que se desplazan caminando o en bicicleta. Hubo solo una persona que registró una motocicleta como medio de transporte. Este dato aislado no se consideró en el cálculo global.

La concordancia en los resultados de la masa de CO<sub>2</sub> obtenida por los dos métodos es del 2 %. La generación de CO<sub>2</sub> en un semestre de 18 semanas es de 108.2 toneladas totales.

Los porcentajes poblacionales que utilizan diferentes medios de transporte son los siguientes: 49.5 % de los estudiantes se desplazan mediante auto propio, 40.9 % utilizan buses y 9.6 % caminan o utilizan bicicletas para ir de sus casas a la Universidad y de regreso. El cálculo toma en cuenta el número de viajes por semana que cada persona realiza, según respuestas de la encuesta.

El número total de estudiantes que utiliza cada medio de transporte y la generación total de CO<sub>2</sub> de cada rubro, se calculó aplicando el factor de extrapolación de la muestra a la población total. La muestra efectiva fue del 8.2 % de la población total. Los resultados se exhiben en la Tabla 2.

Respecto del transporte aéreo, la distancia total recorrida por los estudiantes extranjeros, asumiendo las rutas más directas desde sus lugares de origen, corresponde a 194437.07 km de viaje de ida solamente. La distancia recorrida por viajes internos de los estudiantes, por motivos de sus actividades académicas, desde la USFQ a la estación Tiputini, a Galápagos y de regreso, es de 956 km. Por lo tanto, los resultados obtenidos de la masa de CO<sub>2</sub> producida por los viajes aéreos de los estudiantes, tanto por el método del balance de materiales con el modelo del octano, como por el método de factores de emisión del ICAO, arrojan resultados similares y corresponden a 169.5 toneladas de CO<sub>2</sub> por semestre.

Finalmente, la Tabla 3 resume la generación semestral de CO<sub>2</sub>, extrapolada para toda la población estudiantil de la USFQ.

Producción de Ton CO <sub>2</sub> Totales/Semestre	
Autos	1217.9
Buses	107.8
Avión	169.5
Total	1495.2

**Tabla 3:** Producción Total de CO<sub>2</sub> por transporte terrestre y aéreo durante el segundo semestre 2012-2013.

Sobre la base de los resultados discutidos anteriormente, se concluye que la producción de CO<sub>2</sub> generada por los estudiantes de la USFQ, por el rubro de transporte terrestre y aéreo, es de 299 kg de CO<sub>2</sub> por estudiante. El 81.5 % de emisiones de CO<sub>2</sub> corresponde al traslado de los estudiantes en automóvil propio. El transporte por bus contribuye en un 7.2 %. Finalmente, el transporte aéreo de los estudiantes contribuye en un 11 % al valor total de emisiones. El cálculo se hizo por dos métodos independientes: una estimación de ingeniería, que asume la combustión completa del combustible, y el modelo estándar de factores de emisión. Los resultados por ambos métodos se encuentran en un rango del 2 % de concordancia. Este trabajo puede ser incorporado a estudios de mayor rango que incluya el cálculo de la generación de emisiones de CO<sub>2</sub> por otros rubros, para determinar la huella de carbono de la USFQ.

### Agradecimientos

Agradecemos a los estudiantes de Ingeniería Ambiental de la USFQ por su ayuda con la aplicación de las encuestas. Agradecemos a Valeria Ochoa, René Parra, Ximena Córdova, Henry Naranjo y Alexandra Velasco por su colaboración en diversos aspectos de este trabajo.

### Referencias

- [1] Tomaselli, M. 2004. "Investigación de la huella de carbono en la Universidad San Francisco de Quito: cálculo y creación de un reportaje". *Universidad San Francisco de Quito, Tesis de Licenciatura: Quito*.
- [2] U. S. Department of Energy. 2013. "Energy Efficiency and Renewable Energy". <http://www.fueleconomy.gov/feg/make.shtml>, Fecha de consulta: 20 Junio de 2013.
- [3] IPCC. 2006. "2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme". *Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan*.
- [4] Parra, R. 2013. "Factor de emisión de CO<sub>2</sub> debido a la generación de electricidad en el Ecuador durante el período 2001-2011". *Avances*, 5(1):C39 – C42.
- [5] Seinfeld, J.; Spyros, P. 2006. "Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change". *Wiley&Sons, Inc.: New Jersey*.

- [6] USEPA. 1985. "Miscellaneous data and conversion factors". *Appendix A*, *Enlace: <http://www.epa.gov/ttnchie1/ap42/appendix/appa.pdf>*, *Fecha de consulta: Julio 2013*.
- [7] International Civil Aviation Organization. 2010. "Carbon Emissions Calculation. Version 3, August 2010". *Enlace: [http://www2.icao.int/en/carbonoffset/Documents/ICAO % 20MethodologyV3.pdf](http://www2.icao.int/en/carbonoffset/Documents/ICAO%20MethodologyV3.pdf)*, *Fecha de consulta: 1 Julio 2013*.