

## Estimación anual de la emisión de CO<sub>2</sub> asociada a la transportación de los docentes de la ULVR

*Estimated annual CO<sub>2</sub> emission associated with the transportation of  
teachers at ULVR*

Julio Barzola  
Cristian Pavón

**Fecha de recepción:**  
8 de septiembre, 2014

**Fecha de aprobación:**  
24 de noviembre, 2014

### Resumen

La huella de carbono es un indicador de sustentabilidad que mide las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) atribuibles a un producto manufacturado, organización o individuo; es decir, mide directa e indirectamente el impacto o marca en el medio ambiente debido a las emisiones que el hombre deja durante todas sus actividades cotidianas. Este artículo determina la cantidad estimada de emisiones GEI producidos por parte de la población de docentes de la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil durante un año (agosto 2013-julio, 2014). Para este fin se consideró una muestra significativa con un nivel de confianza del 95%, a la cual se le aplicó una encuesta. Luego, con la información recopilada se hicieron estimaciones de la masa de CO<sub>2</sub> equivalentes por medio de dos métodos: Conservación de la masa y el de Factores de Emisiones. Los resultados vislumbran un bajo porcentaje de error entre ambos métodos. En consecuencia, se estima que cada docente de la ULVR durante un año produce 882,94 kg de CO<sub>2</sub> equivalentes.

**Palabras Claves:** Conservación de la Masa, Factores de Emisión, GEI, Huella de Carbono, ULVR.

### Abstract

The carbon footprint is a sustainability indicator that measures the emissions of Greenhouse Gases (GHG). These emissions are attributable to a manufactured product, an organization or an individual; i.e. it directly or indirectly measures the impact or mark left on the environment by the emissions caused by man's daily activities. This article estimates the GHG emissions produced by the population of teachers at Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE in Guayaquil for a year. For this purpose, a survey was applied to a significant sample with a 95% confidence level. Then with the information gathered, the estimations of the CO<sub>2</sub> mass were made from two different approaches: Mass Conservation and Emission Factors. The results show a low percentage of error between both methods. Consequently, it is estimated that each teacher at ULVR produces 882.94 kg of CO<sub>2</sub> or its equivalent during a year.

**Keywords:** Mass Conservation, Emission Factors, GHG, Carbon Footprint, ULVR.

Julio Barzola, Máster en Eficiencia Energética y fuentes de Energías Renovables, Universidad de Roma Sapienza; Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, Espol; Profesor e investigador Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil; jbarzola@ulvr.edu.ec

Cristian Pavón Magíster en Enseñanza de la Física, Espol; Ingeniero mecánico, Espol; profesor e investigador, Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil; cpavonb@ulvr.edu.ec

## Introducción

Actualmente, la mayoría de los países han manifestado su preocupación por las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI). De ahí que en la Conferencia de la Partes, COP 18 celebrado en Doha, Qatar se logró un acuerdo de continuar con el protocolo de Kioto hasta el 2020, aunque ya no participan muchos de los países industrializados que más contaminan, esta ampliación solo cubrirá el 15% de emisiones globales.

Este trabajo busca concienciar el impacto ambiental que tienen los GEI en nuestros cotidianos desplazamientos mediante una estimación de gas carbónico CO<sub>2</sub> emitidos en la transportación del personal docente de la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil (ULVR).

Existen algunos métodos para calcular la cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> en los automotores. Sin embargo, los más utilizados son el de la Conservación de Materia y el de Factores de Emisión (FE).

## Balance de la materia

Es bien conocida la Ley del Balance o Conservación de la Materia, además, de que las reacciones de los hidrocarburos pueden ser de combustión completa e incompleta. En la combustión completa se generan gas carbónico y vapor de agua.

En cambio, en la del tipo incompleta, la realizada por los motores de combustión interna se caracteriza por la emisión de vapor de agua, gas carbónico, monóxido de carbono, carbono y hasta

hidrocarburos no combustionados. Pero que por diversos procesos, tiempo y procesos atmosféricos se convertirán en CO<sub>2</sub>.

## Factores de Emisión

Un factor de emisión cuantifica y relaciona los contaminantes emanados a la atmosfera debido a una particular actividad. Por lo general se clasifican en dos tipos: de procesos y censal.

En nuestro estudio utilizaremos del tipo procesos, ya que estimaremos emisiones de fuentes puntuales como son los automotores en el desplazamiento de docentes hacia la ULVR.

El Panel Intergubernamental de Cambio Climático–IPCC ha establecido una guía estándar para el cálculo de emisiones GEI para la preparación de inventarios. Esta metodología la utilizaremos como referencia principal en este método (IPCC, 2004).

## Materiales y Métodos

### Muestreo y Encuesta

El muestreo se lo realizó de forma aleatoria considerando estadísticamente a la población como una distribución normal. De ahí que, el tamaño de la muestra se lo calculó a partir de la ecuación (1).

$$N = \left(\frac{z}{e}\right)^2 (p)(1 - p) \quad (1)$$

Donde  $N$  es el tamaño de la muestra,  $z$  es la nota estandarizada correspondiente al nivel de confianza (en este caso se usó un nivel de confianza del 95%),  $e$  es el error relativo del muestreo, y  $p$  es la proporción estimada de casos en la población.

La población de docentes en la ULVR es de 258, al asumir un nivel aceptable de confianza del 95%, el valor de  $z$  es 1,96 con un error  $e$  de  $\pm 0,10$ . Según Tuckman (1999) en estos casos es recomendable usar un valor de  $p$  de 0,5 para que la muestra sea estadísticamente significativa. Por lo que al reemplazar en (1) se tiene:

$$N = \left( \frac{1,96}{0,10} \right)^2 (0,5)(1-0,5) \approx 96$$

El porcentaje que representa la cantidad de docentes ( $\%_p$ ) de cada Facultad y Escuela en relación a la población total ( $P$ ) está dada por la ecuación (2) y el porcentaje ( $\%_N$ ) que representan en relación a la muestra  $N$  calculada está definida por la ecuación (3).

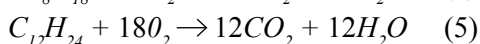
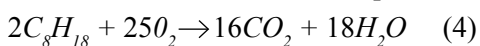
$$\%_p = \frac{T_p * 100}{P} \quad (2)$$

$$\%_N = \frac{\%_p * 100}{N} \quad (3)$$

Con las ecuaciones (1), (2) y (3) se procedió a realizar los cálculos y se evidenció que la muestra total considerada para las encuestas equivale a 97 docentes de distintas unidades académicas de la ULVR.

### Método Balance de Materia

Este método del tipo teórico toma como referencia la Ley de la Conservación de la Materia, y como los principales combustibles fósiles utilizados por los automotores, a la gasolina y al diésel. La gasolina está principalmente constituida por el octano,  $C_8H_{18}$ ; y el diésel por el dodeceno,  $C_{12}H_{24}$ . De ahí que, lo utilizaremos para calcular la masa del CO<sub>2</sub> mediante estequiometría según las ecuaciones de combustión completa:



Cabe acotar que se asumirá combustión completa para facilitar los cálculos y la estimación de CO<sub>2</sub> que será contrastado con el método de Factores de Emisiones, para luego analizar la concordancia de error entre ambos métodos.

Para los cálculos se consideraron los resultados de la encuesta en los que se tabularon y se determinó la masa de gasolina y diésel a partir de sus densidades comunes.

### Método Factores de Emisión según PICC

Este método del tipo experimental utiliza factores de emisión considerando la Guía de Inventarios para GEI de la PICC, (Cero CO<sub>2</sub>, 2007). Además en U. S. Department of Energy (2013) encontramos el detalle general de los factores de emisión de automotores.

A partir de la encuesta aplicada entre los meses de agosto 2013 y julio 2014, se determinó la cantidad de kilómetros recorridos según el tipo de transporte. En ella se preguntó el tiempo de movilización que a un docente le toma para recorrer los nodos: casa-ULVR u oficina-ULVR y viceversa. A este tiempo se le multiplicó la velocidad promedio permitida en la ciudad de Guayaquil, que es de 21 km/h (Metro Vía, 2012). Además, para el consumo de los buses urbanos se tomó como referencia el consumo de 5 Km/galón (Mantilla, J., Acevedo, H., Duque, C., Galeano, C. y Carrión, S., 2009).

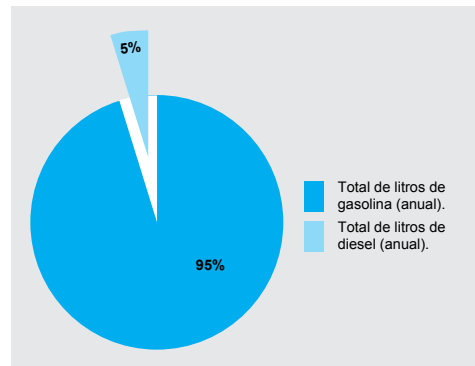
Con esta información se estimaron, con ayuda de los factores de emisión, las toneladas de CO<sub>2</sub> emanados a la atmósfera (Marchese & Golato, 2011; Ecologistas en acción, 2014).

Ambos métodos que se han planteado en este trabajo han sido desarrollados en otros estudios considerando otros escenarios adicionales como el del trayecto aéreo (Naciph, K., Rivadeneira, L. y Cazorla, M., 2013).

## Resultados

La encuesta realizada a la muestra de docentes determinada, recopiló información considerando la frecuencia de asistencia a la ULVR, el tiempo medio invertido para el desplazamiento desde la casa/otro lugar hacia la ULVR y viceversa; el tipo de transporte; en el caso de poseer vehículo propio se recopiló también información acerca de la marca, modelo y año.

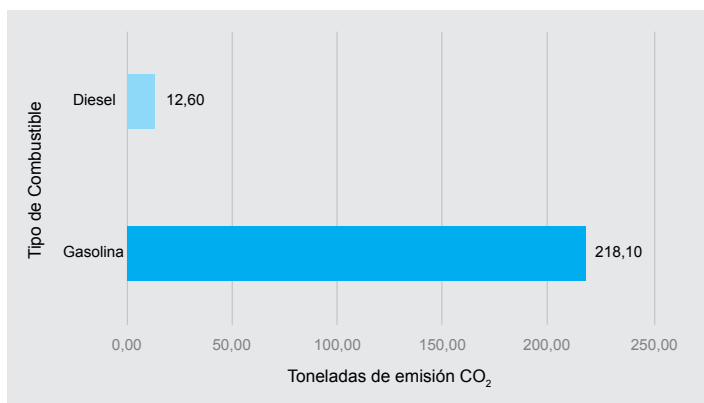
En la figura 1 se resume el porcentaje estimado del tipo de combustible que es consumido por la comunidad de docentes de la ULVR durante un año. Los autos propios y taxi consumen 95.581 litros de gasolina, es decir un 95% del total de combustible, mientras que el 5% (4.745 litros) corresponde al consumo de diesel por parte de buses y la metrovía.



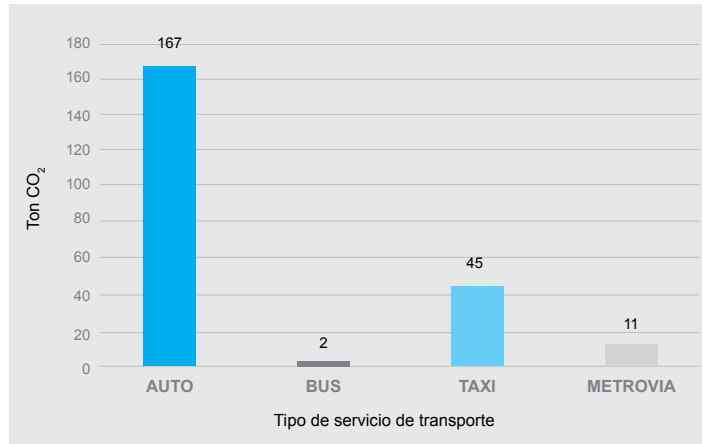
**Figura 1.** Porcentaje de los volúmenes de combustibles consumidos durante un año debido a la movilización del personal docente.

## Resultados del Método 1

Con ayuda de los datos recopilados en la encuesta, las estimaciones de los volúmenes y asumiendo las densidades para gasolina el de la nafta 0,739 kg/L y para el diesel 0,845 kg/L (USEPA, 1985); la figura 2 presenta el total de kilogramos de CO<sub>2</sub> emitidos durante un año por los vehículos de los docentes de la ULVR, según los cálculos estequiométricos realizados con las ecuaciones (1) y (2).



**Figura 2.** Toneladas de CO<sub>2</sub> estimadas mediante el método teórico de la Conservación de la Materia.



**Figura 3.** Toneladas de CO<sub>2</sub> estimadas mediante el método Experimental de Factores de Emisión

**Resultados del Método 2**

Aplicando factores de emisión de CO<sub>2</sub> a estos volúmenes estimados de combustible, la figura 3 presenta las estimaciones anuales de toneladas según el tipo de transporte.

**Discusión**

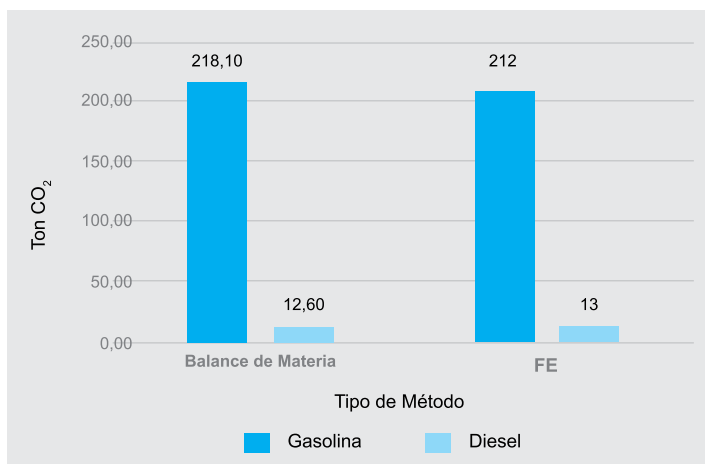
Las figuras 2 y 3 presentan los resultados de dos métodos para los cálculos de estimaciones de CO<sub>2</sub>. El primer método

contempla un análisis desde el punto de vista teórico de la estequiometría y la Ley de la Conservación de la materia. A eso se debe el resultado de una cantidad mayor de las toneladas estimadas en comparación del método 2.

En cuanto al método 2 es del tipo experimental y para el cálculo de estimaciones se utilizó información recopilada de la encuesta a la muestra de docentes de la ULVR.

**Tabla 1.** Equivalencias GEI de la huella de carbono de los vehículos de los docentes ULVR, según la calculadora de la EPA.

GEI emitidos durante un año por:	Equivalencias
Toneladas de desperdicios enviados al relleno sanitario.	81,6
Camiones de basura de residuos reciclados en lugar de rellenos sanitarios.	11,7
Libras de carbón quemado.	244.683
Energía de hogares usada por 1 año.	20,8
Electricidad de hogares usada por 1 año.	31,3
Vagones equivalentes en carbón quemado.	1,2
Lámparas incandescentes cambiadas por las fluorescentes.	5.959
Barriles de petróleo consumido.	530
Cilindros de gas propano usado en parrilladas caseras.	9.492
Carbono secuestrado por Plántulas de árboles cultivados por 10 años.	5.841



**Figura 4:** Comparación entre ambos métodos y sus resultados obtenidos.

La figura 4 confronta ambos métodos en referencia al número estimado de toneladas totales de CO<sub>2</sub> emitidas en la movilidad anual de los 258 docentes de la ULVR según el tipo de combustible. Si analizamos estos resultados notamos que existe un porcentaje de discrepancia del 2,52% los cuales son aceptables. En promedio, la población de docentes de la ULVR deja una huella de carbono estimada en 227,80 toneladas de CO<sub>2</sub> anualmente.

Esta estimación de huella de carbono total lo podríamos interpretar con otras equivalencias utilizando la calculadora de la Agencia de Protección del Medio Ambiente (EPA, 2014), conforme lo muestra la tabla 1.

No obstante, este porcentaje de discrepancia entre ambos métodos podría disminuir considerando una encuesta más detallada en la que se contemple el conteo de los kilómetros recorridos, mediante un registro del odómetro del auto.

Por último, se cuantifica que la huella

de carbono que deja un docente durante año debido a la transportación desde la casa u oficina hacia la ULVR y viceversa es en promedio 882,94 Kg de CO<sub>2</sub>. Estimaciones similares durante un semestre se reportaron en un estudio realizado en la ciudad de Quito (Naciph et al., 2013).

## Conclusiones

En base a los resultados podemos aceptar como válidos ambos métodos para estimar la cantidad de CO<sub>2</sub> emitidos en la movilización de los docentes durante un año. Además, se podría proponer el mismo método para estimar la cantidad de CO<sub>2</sub> producida por todos los estudiantes de la ciudad, por ejemplo, y tratar de buscar alternativas para reducir en parte las emisiones.

Se podría disminuir la huella de carbono que deja cada docente de la institución con la aplicación de medidas tales como la adquisición de nuevos autos ya que son más eficientes y han mejorado el tiempo de ignición, de combustión y de consumo.

Otra alternativa podría ser un sistema de transportación para los docentes de la ULVR por medio de expresos. Esto porque en base a los resultados, la producción de CO<sub>2</sub> en buses es mucho menor (casi 13 veces menos), no tanto por la eficiencia del motor, sino por la cantidad de pasajeros que transporta en una sola ruta.

### Agradecimientos.

Nuestros agradecimientos a Maribel Nazareno y Johnny Barzola, estudiantes de la Facultad de Ingeniería Civil de la ULVR, quienes colaboraron con la aplicación de las encuestas.

### Referencias

- Cero CO<sub>2</sub>. (2007). *Memorias de emisiones CO<sub>2</sub>*. Recuperado de: [http://www.ecodes.org/docs/Memoria\\_Emisiones\\_ECOCODES2007.pdf](http://www.ecodes.org/docs/Memoria_Emisiones_ECOCODES2007.pdf)
- Ecologistas en acción. (2014). *Emisiones GEI de diferentes medios de transporte*. Recuperado de: [https://www.ecologistasenaccion.org/IMG/pdf\\_grafico\\_2.pdf](https://www.ecologistasenaccion.org/IMG/pdf_grafico_2.pdf)
- EPA. (2014). *Greenhouse Gas (GHG) Equivalencies Calculator*. Recuperado de <http://www.epa.gov/cleanenergy/energy-resources/calculator.html>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (27-29 July, 2004). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* [Meeting report]. Prepared and review by the Technical Support Unit of the IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme. Recuperado de [http://www.ipcc-tfi.iges.or.jp/meeting/pdffiles/Washington\\_Report.pdf](http://www.ipcc-tfi.iges.or.jp/meeting/pdffiles/Washington_Report.pdf)
- Mantilla, J., Acevedo, H., Duque, C., Galeano, C. y Carrion, S. (2009). Proyección de costos de un bus articulado con Motor dedicado a gas natural para ser utilizado En los sistemas de transporte masivo de Colombia. *Dyna*, 76(157). Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49611942006>
- Marchese, R. y Golato, M. (junio, 2011). El consumo de Combustible y Energía en el transporte. *Revista Cet*, 33. Recuperado de <http://www.herrera.unt.edu.ar/revistacet/ultimonro/nro33/pdf/n33ext02.pdf>
- Metro Vía. (2012). *Sistema de Metrovía*. Recuperado de: [www.metrovia-gye.com.ec/pdf/proyecto.php](http://www.metrovia-gye.com.ec/pdf/proyecto.php)
- Naciph, K., Rivadeneira, L. y Cazorla, M. (2013). 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. *Avances*, 5(2). Recuperado de [http://issuu.com/usfq/docs/avances\\_5\\_2\\_2013/65](http://issuu.com/usfq/docs/avances_5_2_2013/65)
- Tuckman, B. (1999). *Conducting Educational Research*, (5ª ed.) Recuperado de <http://ww2.odu.edu/~jritz/attachments/coedre.pdf>
- U. S. Department of Energy. (2013). *Energy Efficiency and Renewable Energy*. Recuperado de: <http://www.fueleconomy.gov/feg/make.shtml>
- USEPA. (1985). *Miscellaneous data and conversion factors. Appendix A*. Recuperado de: <http://www.epa.gov/ttnchie1/ap42/appendix/appa.pdf>

Para citar este artículo utilice el siguiente formato:

Barzola, L. y Pavón, C. (diciembre, 2014). Estimación anual de la emisión de CO<sub>2</sub> asociada a la transportación de los docentes de la ULVR. *YACHANA, Revista Científica*, 3(2), 13-19.