

## ANÁLISIS DE EMISIONES DE CO<sub>2</sub> PARA DIFERENTES COMBUSTIBLES EN LA POBLACION DE TAXIS EN PEREIRA Y DOSQUEBRADAS

CO<sub>2</sub> emissions analyze for several fuel of taxis sector on Pereira and Dosquebradas.

### RESUMEN

El presente artículo muestra los resultados del estudio comparativo de las emisiones de dióxido de carbono producidas por el sector taxista de las ciudades de Pereira y Dosquebradas. El estudio enfrenta dos tipos de combustibles, Gasolina y Gas Natural Vehicular, contra el uso del biocombustible Etanol en mezclas Etanol – Gasolina en diferentes proporciones. En particular el estudio muestra la superioridad ecológica del uso de estas mezclas sobre el uso de Gasolina pura y el Gas natural vehicular.

Estos resultados hacen parte del estudio de viabilidad económica y mecánica para la conversión de motores de combustión interna a sistemas total flex o flex fuel, patrocinado por la Universidad Tecnológica de Pereira.

**PALABRAS CLAVES:** Emisiones de CO<sub>2</sub>, Sistemas de combustión, Gas natural vehicular, Etanol, Gasolina

### ABSTRACT

On this paper the results of the comparative study of emissions of carbon dioxide produced by the taxi sector in the cities of Pereira and Dosquebradas are showed. The study faces two types of fuels, Gasoline and Natural Vehicular Gas, against the use of biofuel ethanol in different mixtures proportions ethanol - gasoline. In particular, the study shows the superiority of using these organic mixtures on the use of pure gasoline and natural vehicular gas. These results are part of the economic and mechanics feasibility study for the conversion of internal combustion engines to total flex or flex fuel systems. This study was sponsored by the Universidad Tecnológica de Pereira.

**KEYWORDS:** CO<sub>2</sub> emissions, combustion systems, vehicular natural gas, Ethanol, Gasoline

### 1. INTRODUCCION

Los biocombustibles se han convertido con el paso de los años y las grandes problemáticas presentadas por los hidrocarburos, en una alternativa ideal para la disminución de la contaminación atmosférica debida al consumo indiscriminado de combustibles fósiles y/o hidrocarburos, empleados en los sistemas de transporte [1]. Día a día más personas en diferentes ciudades del mundo toman conciencia de que el problema de la contaminación ambiental y en especial, el problema de la contaminación atmosférica a través de las emisiones generadas por el transporte, es un problema que exige que todos sean parte de la solución [2]. Bajo la presión de muchas agrupaciones, gobiernos a nivel mundial han acordado bajar los índices de emisión de CO<sub>2</sub> y otros gases que producen el efecto invernadero. En especial la reciente reunión celebrada en Copenhague, liderada por las Naciones Unidas tuvo como tema central – el cambio climático, renovando algunos acuerdos propuestos en el marco del acuerdo de Kioto [3].

Por otra parte, las constantes guerras bélicas y de mercado generadas alrededor de los hidrocarburos, han puesto de manifiesto la necesidad estratégica de cada país de tener una independencia energética. De nuevo aquí, la búsqueda de alternativas energéticas, para el transporte en general ha colocado en el frente de las investigaciones científicas y de mercado a los biocombustibles.

Desde el año 2001 el gobierno colombiano se ha propuesto impulsar la producción de biocombustibles, obligando al mercado interno a utilizar una mezcla del 10% de Etanol en la gasolina para el 2005, buscando primordialmente, según citación referida por el Dr. Jorge Cárdenas Gutiérrez en el II Congreso de Vialidad y Tránsito [4], la disminución de la dependencia de los combustibles fósiles. La implementación de este programa se proyectó en diferentes fases que incluían el centro del país al inicio y que recientemente se ha completado para todo el territorio colombiano.

**JOSE DANIEL MOSQUERA A.**

Ing. Industrial

Joven investigador

Universidad Tecnológica de Pereira

[Xoce15@ingenieros.com](mailto:Xoce15@ingenieros.com)

**SERGIO FERNANDEZ HENAO**

M. Sc. en Investigación de operaciones

Ingeniero Industrial

Profesor Auxiliar

Universidad Tecnológica de Pereira

[sfernandez@utp.edu.co](mailto:sfernandez@utp.edu.co)

**JULIO CÉSAR MOSQUERA M.**

Ph. D en Física.

Profesor Asistente

Universidad del Quindío

[jmosquera@uniquindio.edu.co](mailto:jmosquera@uniquindio.edu.co)

Por otra parte y debido a que en la producción de combustibles alternativos a los convencionales hay grandes intereses económicos que entran en juego, es necesario realizar un estudio serio e imparcial que permita juzgar sobre los beneficios ambientales y económicos reales del uso de uno u otro combustible. Este es el objetivo central del trabajo de investigación realizado y en este artículo se presentan los resultados del estudio de los beneficios ecológicos de cada grupo de combustibles.

## 2 NECESIDAD DE PRODUCCION DE BIOCOMBUSTIBLES

El consumo de biocombustibles no sólo es una respuesta a los problemas de contaminación ambiental y la dependencia energética que nuestros países presentan, sino que simultáneamente es una nueva fuente de empleo que permitirá un mejoramiento sustancial del índice de empleo en los países y especialmente en Colombia, donde cada año se presenta un aumento en la población desplazada desde los campos de cultivo.

Décadas atrás, el ser humano comenzó a consumir combustibles fósiles al desarrollar sus industrias y grandes metrópolis, sin tener ninguna preocupación por la contaminación producida por las emisiones gaseosas vertidas a la atmósfera. Por supuesto que tampoco se hicieron estudios que permitieran predecir los impactos que tendrían sobre el clima general de la Tierra la emisión de gases tipo invernadero. Hasta los años 2000 – 2002 incluso los gobiernos más desarrollados y mayormente responsables de tal contaminación negaban los efectos de tal contaminación, en particular el llamado calentamiento global. Sólo la aparición de grandes catástrofes como “los tsunamis”, “el huracán katrina” y el derretimiento de los cascos glaciales han logrado llamar la atención de estos gobiernos [5]. Los desastres naturales causaron casi 900.000 muertes en el último decenio, según un informe de Naciones Unidas [6].

Asia, ha padecido en su territorio el 43 % de todas las catástrofes naturales de la última década y el 70 % de las muertes de todas estas catástrofes, en cuestión local.

Los cambios climáticos y la imposibilidad de realizar pronósticos confiables han dejado ver meses en los cuales algunas regiones son asoladas por la sequía y luego por largos periodos son asoladas por torrenciales aguaceros. Estos fuertes cambios climáticos hacen que las agro-economías sean altamente volátiles, como sucede constantemente en el Urabá con el banano, en el altiplano Cundí boyacense con el cultivo de flores y con Huila en el cultivo del arroz.[7]

Es con base a estos eventos catastróficos que se está generando poco a poco una consciencia global guiada hacia a la preservación y cuidado del medio ambiente surgiendo cientos de proyectos que buscan la conservación de las fuentes naturales no renovables.

Si se mira la producción del biocombustible por medio de la caña de azúcar en la cual, una hectárea de tierra sembrada produce y libera a la atmósfera 40 toneladas de oxígeno y remueve 60 toneladas de CO<sub>2</sub>, se estima que en el área total sembrada de caña se capturan más de 11 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>. Por lo que se convierte en un cultivo, que reduce las emisiones de los gases generadores del calentamiento global de manera significativa.

El beneficio ambiental se puede observar cuando se realiza la combustión en los motores, ya que por cada kilogramo de petróleo se emiten 7,14 kg de CO<sub>2</sub> y por cada kg de alcohol quemado, se emiten 0,956 kg de CO<sub>2</sub> [8]. Esto permite indicar que el petróleo emite siete veces más gases de efecto invernadero respecto al alcohol. Adicionalmente se deben sumar los efectos de los cultivos mismos, que como ya se expresó, transforman los gases tipo CO<sub>2</sub> en oxígeno y azúcares. Como si fuera poco, los biocombustibles son biodegradables mientras que los combustibles fósiles pueden tardar años en degradarse, produciendo un impacto negativo y un calentamiento en el medio ambiente.



Figura 1. Contaminación producida por un Bus  
Fuente: Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional (SUR) Uniandes [9].

## 3. METODOLOGIA

Uno de los objetivos del estudio fue mostrar cuanto dióxido de carbono emiten los vehículos públicos (taxis) de las ciudades de Pereira y Dosquebradas y comparar dichas emisiones con las emisiones que se producirían por la utilización del etanol en el sistema de combustión (SB)<sup>1</sup> de cada sub-población.

<sup>1</sup> Sistema de combustión será utilizado abreviadamente para el presente artículo como SB

Para el logro de este objetivo se realizó una encuesta al sector de los taxistas usando un muestreo sistemático, teniendo un  $K = 5$ , es decir cada 5 taxis se realizaba una encuesta. Se aplicaron 348 encuestas, teniendo un margen de confianza del 95% y una cuota de error del 5% para la muestra seleccionada. Las encuestas fueron aplicadas en 12 diferentes sitios de la ciudad, elegidos a partir de una encuesta piloto sobre los lugares de mayor estacionalidad de taxis llamados bahías de taxistas. Los sitios se eligieron bajo el criterio de que cada lugar debía tener por lo menos 10 vehículos estacionados en disposición de servicio, lo cual permitiría tener tiempo suficiente para la realización de la encuesta, que en promedio tardaba cuatro minutos en ser realizada completamente.

Con la información recolectada por medio del instrumento se pudo determinar entre algunas variables, la proporción de taxis que utilizan como sistema de combustión la Gasolina, Gas Natural Vehicular o ACPM, el consumo de cada tipo de combustible en pesos y los días trabajados a la semana. En la figura 2 se muestra la proporción de taxis que utilizan los diferentes sistemas de combustión.



Figura 2. Combustibles usados por los taxistas

En las ciudades de Pereira y Dosquebradas se conoce por los registros del Área Metropolitana Centro Occidente (AMCO), que hay un total de 2.669 taxis registradas a diciembre del 2009. Esta información permite realizar comparaciones poblacionales entre las cantidades de  $\text{CO}_2$  emitidas por los sistemas de combustión de Gasolina y Gas frente al Etanol, descartando al sistema de combustión que utiliza el ACPM por su baja representatividad en la población estudiada además de ser un SB que salió del mercado<sup>2</sup>, quedando pocos vehículos en circulación en la ciudad.

<sup>2</sup> información suministrada por los gerentes de las compañías de taxis

#### 4. RESULTADOS DE LA INVESTIGACION

Se conoce teóricamente que el Etanol presenta un aumento en el consumo de masa por la disminución del poder calorífico [10]. Este efecto repercute en el aumento de consumo volumétrico de la mezcla que se esté utilizando. Los estudios realizados en esta investigación, permiten cuantificar este aumento en una proporción que puede ser aproximada de manera lineal con un coeficiente de correlación superior al 95%, como muestra la figura 3. Para el cálculo del aumento del consumo volumétrico para cada mezcla, respecto del consumo volumétrico de gasolina pura, se puede usar la ecuación aproximada:

$$\text{Consumo} \approx 0,394x - 0,063\% \quad [1]$$

Donde el resultado está dado en porcentaje y  $x$  – es la mezcla utilizada medida en porcentaje de Etanol

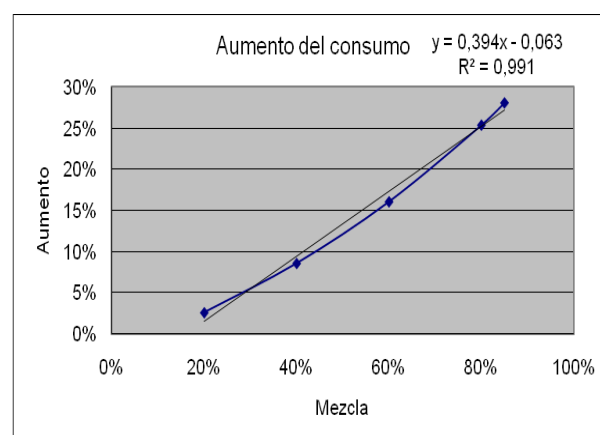
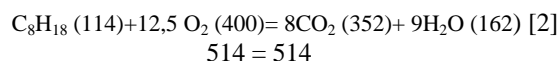


Figura 3. Aumento del consumo

#### Combustión de la Gasolina

Felipe Soto Pao (Ph.D Brasileño, especialista en biocombustibles), en la conferencia de Biocombustibles realizada en la Universidad Libre seccional Pereira a finales de marzo del 2009, en la ponencia “Motores anhidros e hidratados” hace referencia a los kilogramos emitidos a la atmosfera por la combustión de la Gasolina y el Etanol.

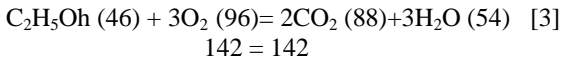
De los estudios del doctor Soto se puede concluir que la combustión de 1 litro de Gasolina o su equivalente en masa - 0,74 kilogramos presenta el siguiente ciclo de combustión y su ecuación de balance:



En este ciclo de combustión se emiten a la atmosfera **2,28 kg de  $\text{CO}_2$**  (Los valores que están entre paréntesis son los pesos moleculares de los compuestos).

**Combustión del Etanol**

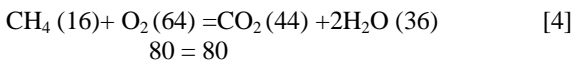
La combustión de 1 litro de Etano, pesando 0,80 kilogramos, está representada en la fórmula 3



Por la combustión del litro de Etanol se emite a la atmosfera **1,53kg de CO<sub>2</sub>**

**Combustión del GNV (Gas Natural Vehicular)**

La combustión de un m<sup>3</sup> de metano GNV, está dada por la formula 4



Teniendo una emisión de CO<sub>2</sub> de **1,51 kilogramos**

Conociendo la cantidad de emisión por cada combustible se realizara el análisis ambiental, utilizando las estimativas poblaciones presentados para la población de taxis de Pereira y Dosquebradas [11].

Inicialmente se calculó el consumo de galones promedio de la población taxista que utiliza Gasolina (58,9%) y el consumo de galones necesarios para satisfacer está población con las diferentes mezclas analizadas, teniendo en cuenta el aumento de consumo de galones por la utilización de la gasolina oxigenada en diferentes porcentajes.

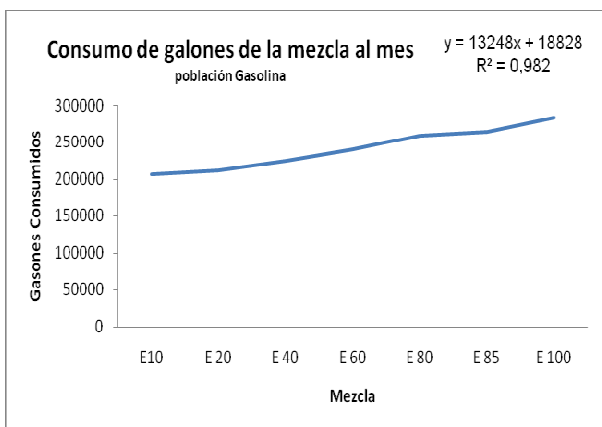


Figura 4. Consumo de galones de la mezcla (etanol-gasolina) al mes

La nomenclatura E10 hace referencia a la mezcla utilizada siendo el Etanol al 10% y la Gasolina al 90%, para lo cual el número que acompaña a la E indica el porcentaje de Etanol usado en la mezcla.

Conociendo el consumo mensual de galones para la población de combustible y la cantidad de CO<sub>2</sub> emitido al

medio ambiente por la combustión de un litro del Etanol y la gasolina, se puede determinar las toneladas CO<sub>2</sub> emitidas por esta población. Los resultados son mostrados en la figura 5.

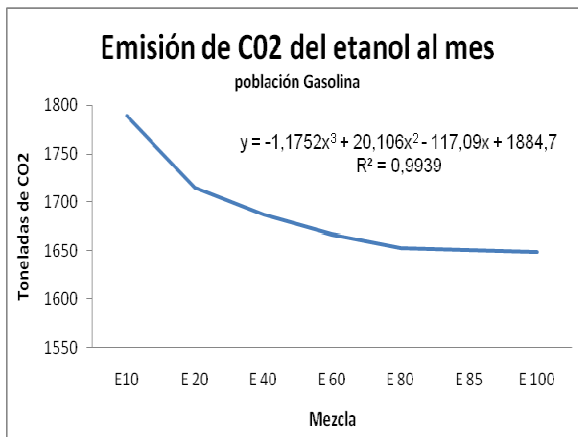


Figura 5. Emisión de CO<sub>2</sub> del etanol al mes

Este estudio demostró que aunque la utilización del Etanol mezclado con la Gasolina aumenta el consumo linealmente a la mezcla utilizada (Figura 3), la emisión de CO<sub>2</sub> a la atmosfera decrece cúbicamente con el aumento de la proporción de Etanol en la mezcla utilizada (Figura 5). Un coeficiente de correlación de 0,9939 demuestra la bondad teórico ambiental del uso del Etanol en diferentes proporciones de mezcla, frente al uso de Gasolina pura.

Estimaciones similares realizadas en la población de taxistas que usa como sistema de combustión el GNV “Gas Natural Vehicular” presenta conclusiones divergentes, debido posiblemente a la dificultad de comparar los patrones de medida de gases y líquidos en los diferentes sistemas. Sin embargo se puede afirmar que frente al Gas, como lo muestra la tabla 1 el Etanol emite a la atmosfera más CO<sub>2</sub>.

Combustible	Total Emisiones de CO <sub>2</sub> Toneladas al mes
Gas	889
E-10	1243
E 20	1191
E 40	1172
E 60	1158
E 80	1148
E 85	1147
E 100	1145

Tabla 1. Gas-Etanol

No obstante no se puede obviar la bondad que tiene el etanol por ser un agente neutro, por lo tanto no contribuye a la generación del efecto invernadero como es expresado gráficamente en la figura 6, y como ya se mencionó, la producción misma del etanol incluye en su proceso, el crecimiento de plantas que disminuyen directamente el contenido de CO<sub>2</sub> en la atmósfera y aumentan la producción de oxígeno.



Figura 6. El ciclo del carbono y la conversión de la energía solar

Información encontrada en la página web de mundo motor [12] menciona que por cada kilómetro recorrido por un vehículo que usa en el SB la gasolina, se emite a la atmósfera 154 gr de CO<sub>2</sub>, y en los automóviles que usan en el SB el GNV emite a la atmósfera 119 gr de CO<sub>2</sub> por kilómetro recorrido, permitiendo esta información ser comparada con las emisiones producidas al mes teóricamente. Esta comparación se muestra en la tabla 2.

Combustible	Total Emisiones de CO <sub>2</sub> Toneladas al mes		
	Experimental	Teórica	Variación
Gasolina	1458	1735	315
GNV	655	889	234

Tabla 2. Emisiones Experimentales Vs Teóricas

En la tabla 2, las emisiones tomadas experimentalmente son menores a las emisiones propuestas teóricamente. Las emisiones teóricas corresponden a un nivel óptimo de los vehículos es decir vehículos nuevos. Las emisiones experimentales se realizaron sobre vehículos a los cuales se les realizaron varias modificaciones en el sistema de combustión que se reflejan en una notable disminución del CO<sub>2</sub>. [13], [14], generando así esta considerable diferencia.

## 5. CONCLUSIONES

El desarrollo de este trabajo de investigación permitió concluir que: aunque la utilización del Etanol mezclado con la Gasolina aumenta el consumo volumétrico de combustible siendo para E85 del 27%, las mezclas Etanol - Gasolina presenta menores emisiones de CO<sub>2</sub> en comparación a la utilización de la Gasolina actual E10 siendo esta reducción del 8% para E85.

Sin embargo al comparar los sistemas de combustión que usan el Gas Natural Vehicular (GNV), el cambiar el combustible a Etanol representa un aumento en las emisiones de CO<sub>2</sub>. Esto significa que desde una primera aproximación, es ecológicamente más rentable la utilización del GNV que las mezclas Gasolina - Etanol.

Estudios futuros deben considerar el ciclo completo de producción - combustión de Etanol a fin de presentar afirmaciones más concluyentes sobre la bondad ecológica del uso de Etanol sobre el GNV.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] [http://www.ecoguia.com/pags/contaminacion\\_aire.php?pagina=cont\\_auto](http://www.ecoguia.com/pags/contaminacion_aire.php?pagina=cont_auto)- último enlace Marzo 14-2010
- [2] LACASAÑA, M.N., AGUILAR, C.G., ROMIEU, I., "Evaluación de la contaminación del aire e impacto de los programas de control en tres mega ciudades de América latina", Salud pública de México, vol. 41, No 3, pp. 203-215, mayo 1999, [online]: <http://www.scielosp.org/pdf/spm/v41n3/41n3a08.pdf>
- [3] <http://www.elnuevodiario.com.ni/nacionales/63549>- último enlace Marzo 14-2010
- [4] [http://expovialcolombia.com/expovial/index.php?option=com\\_content&task=view&id=26&Itemid=9](http://expovialcolombia.com/expovial/index.php?option=com_content&task=view&id=26&Itemid=9)- último enlace Marzo 14-2010
- [5] [http://www.belt.es/noticiasmdb/home2\\_noticias.asp?id=4760](http://www.belt.es/noticiasmdb/home2_noticias.asp?id=4760)- último enlace Abril 28-2010
- [6] [http://www.consumer.es/web/es/medio\\_ambiente/2002/08/10/50439.php](http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/2002/08/10/50439.php)- último enlace Abril 28-2010
- [7] [http://www.cambioclimatico.gov.co/documentos/Doc\\_RefCambioClimatico/DocsEspanol/Colombia/Cambio%20Clim%20C3%A1tico%20y%20Riesgo.%20Cruz%20Roj.pdf](http://www.cambioclimatico.gov.co/documentos/Doc_RefCambioClimatico/DocsEspanol/Colombia/Cambio%20Clim%20C3%A1tico%20y%20Riesgo.%20Cruz%20Roj.pdf)- último enlace Abril 28-2010
- [8] [http://www.larepublica.com.co/archivos/OPINION/2009-08-14/alcohol-carburante\\_80829.php](http://www.larepublica.com.co/archivos/OPINION/2009-08-14/alcohol-carburante_80829.php)- último enlace Abril 28-2010



[9] ROJAS, N.Y., VARGAS, F.A., RODRIGUEZ, A.M., “Evaluación de la medición de emisiones con fines regulatorios en Colombia: dos estudios de caso”, Revista de ingeniería, Vol. 30, pp. 112-121, diciembre 2009, [online]: <http://revistaing.uniandes.edu.co/pdf/A12%2030.pdf?ri=c6c358182f46c1fcc5d95bef1434a850>

[10] GAVIRIA, L.G. “Diseño, Construcción y prueba de sistemas Full flex E(85) de alta eficiencia con turbocompresores implementado en un vehículo con motor de aspiración atmosférica” trabajo de grado Facultad de ingeniería Mecánica UTP. pp 117

[11] MOSQUERA, J.D., ORTIZ, C.D., “Viabilidad económica y mecánica para la conversión de motores de combustión interna a sistemas total flex o flex fuel” trabajo de grado, Facultad de Ingeniería Industrial UTP, Junio 2010, pp 60-80

[12] <http://www.mundoautomotor.com/eco/2008/06/21/citroen-c3-gnv/>- último enlace Abril 28-2010

[13] OSORIO, G.G., VIGANÓ, R.,” Propuesta de solución bimodal al problema de la contaminación vehicular urbana”, Revista ingeniería e investigación, vol. 27, No 3, pp. 143-148, diciembre 2007, [online]: <http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v27n3/v27n3a16.pdf>

[14] ACUÑA, F.G., MUÑOZ, V.Y., “Celdas de combustible”. Ingeniería y desarrollo, Vol.10, pp. 94-104 abril 2001, [online] : [http://ciruelo.uninorte.edu.co/pdf/ingenieria\\_desarrollo/10/celdas\\_de\\_combustible.pdf](http://ciruelo.uninorte.edu.co/pdf/ingenieria_desarrollo/10/celdas_de_combustible.pdf)