

# Dinámica de la penetración de tecnologías alternativas para vehículos automotores y su impacto en las concentraciones de carbono atmosférico

## Alternative motor vehicles penetration and its impact on atmospheric carbon concentrations

Carlos Jaime Franco Cardona, Ph. D. & Andrés Ignacio Baena Arce, Ing.

Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín

cjfranco@unal.edu.co, aibaena@unal.edu.co

Recibido para revisión 16 de junio de 2010, aceptado 4 de octubre de 2010, versión final 5 de noviembre de 2010

**Resumen**— El calentamiento global está aumentando paulatinamente. Dentro de los sectores económicos que más emiten gases de efecto invernadero se encuentra el sector transporte y, por lo tanto, se han estado planteando muchas soluciones en el campo. El presente trabajo analiza la penetración de vehículos alternativos y el impacto que esta penetración tendrá en la cantidad de dióxido de carbono en la atmósfera.

**Palabras Clave**—Vehículos Alternativos, Cambio Climático, Racionalidad Limitada, Carbono Atmosférico.

**Abstract**—Global warming is slowly increasing. Transport sector is one of the most greenhouse gas emitting economic sectors, and many solutions have been proposed. The present work analyses the penetration of alternative vehicles and its impact on the amount of carbon dioxide in the atmosphere

**Keywords**— Alternative Vehicles, Climate Change, Bounded Rationality, Atmospheric Carbon.

### I. INTRODUCCIÓN

En este momento, el planeta se está calentando a una tasa lenta, pero peligrosa. Las consecuencias del cambio climático pueden ser altamente comprometedoras e irreversibles.

Para este problema de calentamiento atmosférico se han planteado varias soluciones a lo largo de las últimas décadas, siendo el sector transporte uno de los focos principales de acción para reducir la cantidad de gases de efecto invernadero, que son los causantes físicos del incremento en la temperatura del planeta.

La idea central de la solución planteada por muchos gobiernos alrededor del mundo es un cambio en las tecnologías automotrices que permita un menor nivel de emisiones de polución. En el presente documento se modelan cuatro tipos principales de vehículos alternativos, que según Romm [1] en su trabajo de 2006, son los más importantes para un futuro en el cambio tecnológico automotor: vehículos con motor de combustión interna, vehículos eléctricos, vehículos híbridos (eléctricos y combustión) y vehículos eléctricos impulsados por celdas de combustible.

### II. CAMBIO CLIMÁTICO

El gas de efecto invernadero más abundante, y que produce el mayor efecto invernadero, es el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). El efecto invernadero sobre la tierra es fundamentalmente diferente al efecto que se obtiene en un invernadero dado que éste último mantiene la temperatura mediante límites físicos como las paredes o el techo de lugar. El calentamiento global en la atmósfera es producido por que la luz solar no puede escapar de la tierra, debido a los gases que interactúan con la radiación infrarroja y que se encuentran en el aire[2].

Según Echarri [3] el calentamiento atmosférico es producido principalmente por el dióxido de carbono, que es el principal gas de efecto invernadero en la atmósfera. Este gas es producido en varios procesos industriales y en la combustión de hidrocarburos usados como energético para proveer de movimiento a los vehículos automotores convencionales, entre otras aplicaciones.

En el protocolo de Kyoto [4] se plantea que los países pertenecientes al Anexo B de dicho documento, caracterizados por ser los países desarrollados que firmaron el protocolo, deben

limitar sus emisiones de gases de efecto invernadero a 95% de las emisiones registradas en el año 1990 en cada país.

La mayoría de vehículos dependen de la combustión de hidrocarburos para derivar la energía necesaria para su propulsión. La combustión es una reacción entre el carburante y el aire que libera calor y otros productos. El calor es convertido en energía mecánica por un motor y los productos son liberados a la atmósfera. Un hidrocarburo (HC) es un compuesto químico con moléculas hechas de átomos de hidrógeno y oxígeno. Idealmente, la combustión de un hidrocarburo sólo produce dióxido de carbono y agua, pero realmente, esta combustión no es ideal. Además de los dos productos principales, en los motores, los productos contienen una cantidad considerable de óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono e hidrocarburos no quemados que son tóxicos para la salud humana [5].

Es necesario admitir que las tendencias globales actuales de transporte no son sostenibles y que el sistema, particularmente en Norteamérica, es altamente costoso e inefficiente y con altas probabilidades para empeorar, dado el creciente el deseo de la economía del hidrógeno [6]. A pesar de que se ha escuchado mucha retórica sobre la independencia energética y la estabilización del clima, los hechos son que las ventas de vehículos, el consumo de petróleo y las emisiones de dióxido de carbono van a continuar aumentando globalmente [2]. Un cuarto de todo el petróleo consumido por los humanos en toda la historia ha sido consumido desde el 2000 hasta el 2010 [7].

El 85% estimado de la población mundial que no posee vehículo está esperando ansiosamente llegar al tan deseado sueño *móvil* americano. Una encuesta realizada en 2004 por A.C. Nielsen encontró que más del 60% de los residentes en cada uno de los siete países con más alto crecimiento, incluyendo India y China, aspiran tener un vehículo [7].

Los vehículos de combustión interna son los más abundantes en la actualidad. Como se ha visto, éstos generan gran parte de la contaminación y su combustible se basa en un recurso escaso: el petróleo. Actualmente se están desarrollando vehículos con fuentes energéticas alternativas para reemplazar algunos de los vehículos de combustión interna por otros más limpios y generar cada vez menos emisiones, con el fin de detener el cambio climático. En el presente trabajo se analizan cuatro tecnologías principales, las cuales, según Romm [1], son las que tienen mayores posibilidades de ocupar el parque automotor del mundo en los próximos años.

### III ESTADO DEL ARTE

Dentro de los aportes relacionados con el tema se encuentra el trabajo de Doll y Wietschel [8] en el cual concluyen que los sistemas actuales de transporte juegan un papel fundamental

en la sociedad, pero no son sostenibles en el largo plazo. Si las condiciones de mercado y tecnología son las adecuadas, la reducción de dióxido de carbono sería de un 60%, usando Vehículos Impulsados por Celdas de Combustible (FCVs).

Según [9], los vehículos híbridos son la solución del parque automotor en el futuro a pesar de su fracaso en la década de 1990. En su análisis mencionan tres elementos importantes e interdependientes uno del otro que definen la entrada de estos vehículos: la demanda, la oferta y el sector regulatorio. Para que los vehículos automotores entren exitosamente en un mercado específico, dicen, primero debe haber un nicho con una masa crítica de usuarios.

Hamelink y Faaij [10] aseguran que “Dentro de los combustibles alternativos, el hidrógeno ofrece la mayor perspectiva para el futuro de la tecnología en automotores [...]. Esta tecnología requiere de avances en cuanto al almacenamiento del hidrógeno para poder ser competitiva”.

Hackney y de Neufville [11] analizaron algunas tecnologías alternativas para reemplazar la gasolina como combustible. En su trabajo concluyen que la gasolina reformulada, es decir mezclada con derivados de gas natural, es la mejor opción por su bajo costo y debería ser la alternativa principal para las regiones con alto nivel de polución. En su trabajo, dejan a los vehículos eléctricos como última opción, dado su alto costo al momento de realizar la investigación y dada la baja demanda que se presenta para este tipo de vehículos.

Whelan [12] planteó un modelo econométrico, calibrado con datos desde 2001 hasta el año de su trabajo para estimar el uso de vehículos en Gran Bretaña hasta el año 2031. En su artículo concluye que el número de vehículos en tal año será de 36.35 millones de vehículos, representando un crecimiento de un 42%.

Oliver et al. [13] plantean que China, con su rápido crecimiento, necesita de estándares para la reducción de emisiones de dióxido de carbono, pues siendo el emisor más grande de gases de efecto invernadero, está soportando la presión internacional para emitir con los estándares de un país desarrollado sin serlo. El trabajo de Oliver et al. [13] se concentra en los estándares al nivel de los compradores de carros más que al nivel de empresas productoras, pues argumenta que es el consumidor final quien decide qué auto adquirir y qué tan a punto mantenerlo para controlar las emisiones de gases y contaminantes.

El grupo de expertos en hidrógeno en EEUU predijeron las diferentes etapas del desarrollo del hidrógeno en su nación. Hasta 2020: Investigación y pruebas. 2020 – 2030: Creación de infraestructura. Despues de 2030: Desarrollo del mercado[14]. En el mismo año y usando datos reales, Granovskii, Dincer y Rosen [15], realizaron una comparación ambiental entre cuatro tipos de vehículos: convencional, híbrido, eléctrico e impulsado por celdas de combustible. El análisis muestra que los autos híbrido y eléctrico tienen ventaja sobre los demás tipos de vehículos.

Fong, Matsumoto y Lung [16] plantean un modelo basado en dinámica de sistemas para el modelado de las tendencias de emisiones de dióxido de carbono, basados en la planeación urbana en Malasia. En su modelo analizan varias opciones de políticas que pueden llevar a dirigir un mejoramiento de los niveles de emisiones generadas por los vehículos automotores.

Larios [17] plantea que “A pesar de existir varias alternativas y tecnologías de producción no es probable que todas las alternativas se comercialicen debido a diferentes factores, tales como la disponibilidad de la fuente, el costo de la producción o transformación para su uso, el almacenamiento, la distribución al usuario final, los efectos ambientales que genere, la eficiencia energética, entre otras.”

Romm [1] asegura que en el futuro cercano, los vehículos dominantes serán los vehículos híbridos. En su trabajo, enfatiza que serán los híbridos que pueden conectarse a la red eléctrica, pues pueden viajar de tres a cuatro veces más que los autos con celdas de combustible por cada kilovatio-hora. Además, los vehículos híbridos pueden reducir de un 30% a un 50% el consumo de combustible y, por tanto, las emisiones de gases de efecto invernadero. En su trabajo, Romm (2006), plantea que los vehículos híbridos serán un paso intermedio entre los vehículos convencionales de combustión interna y los vehículos eléctricos que, según su trabajo, afirma que serán el auto del futuro lejano.

Finalmente, Figueroa [18] “estudia las barreras en la penetración de vehículos con fuentes alternativas de energía utilizando un modelo de dinámica de sistemas en el mercado colombiano. El modelo utilizado provee un ambiente de aprendizaje donde las interacciones entre factores y sus sensibilidades pueden ser analizadas y probadas sobre escenarios alternativos. La tesis se basa en datos colombianos sobre vehículos particulares partiendo de cinco fuentes convencionales y alternativas de energía: gasolina, diesel, gas natural vehicular, etanol y electricidad”.

Los anteriores trabajos muestran diversas aproximaciones al problema de la penetración de vehículos alternativos al mercado. Algunos como Fong et al. [16], Figueroa [18] y Larios [17] analizan el problema con la metodología de la dinámica de sistemas a un nivel local o regional. Otros como Romm [1], Doll y Wietschel [8], Granovskii et al. [15] y Hackney y de Neufville [11] analizan el problema desde una perspectiva un poco más amplia. Sin embargo, no se ha encontrado aún un trabajo en el cual se plantee este problema abordado de manera global, analizado como un sistema complejo y que además plantea el impacto ambiental que esta penetración pueda tener.

#### IV. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El replanteamiento de tecnologías alternativas para los

vehículos automotores, tendrá implicaciones socio-económicas tanto conocidas como desconocidas, que deben ser analizadas con anterioridad por parte de los gobiernos de cada país para evitar efectos colaterales indeseados como, por ejemplo, un incremento, en lugar de una disminución, de concentraciones de gases de efecto invernadero. Lo anterior suena contrario a la intuición, si se tiene en cuenta que se está intentando introducir tecnologías más limpias para el transporte. Sin embargo, se debe considerar el crecimiento vehicular en los países menos desarrollados, el cual podría crecer más de lo esperado actualmente [19].

Dentro de las consideraciones que se toman en cuenta dentro del análisis de la penetración de los diferentes tipos de vehículos se encuentra el crecimiento esperado del parque automotor de los países desarrollados y no desarrollados. Mientras que en los países desarrollados se espera que el crecimiento de los vehículos sea a lo sumo de 50%, en algunos países desarrollados se espera que este crecimiento supere el 300% en los próximos 20 años [19]. Teniendo en cuenta que dentro de estos países se encuentran algunos de los países más poblados del mundo (China, India, Brasil...), es difícil asegurar a simple vista los cambios que se pueden presentar con respecto a la penetración de tecnologías alternativas para los vehículos automotores.

Dada esta influencia en el clima del sector transporte, el trabajo propuesto se concentra en analizar la dinámica de la penetración de diferentes tecnologías energéticas para el sector automotor a nivel global, estimando el impacto que ésta generará en las concentraciones de carbono en la atmósfera analizando todo el sistema como un sistema único

#### V. METODOLOGÍA

Dentro de las metodologías para abordar el problema propuesto, se ha elegido la dinámica de sistemas, dada la característica global del sistema que se analiza. La dinámica de sistemas [20] es una metodología para estudiar y administrar sistemas complejos que presentan retroalimentación, como los que se encuentran en sistemas sociales como los negocios. De hecho la dinámica de sistemas se ha usado para tratar prácticamente cualquier sistema retroalimentado.

Si se analiza el problema propuesto, se trata de un sistema que presenta las características antes mencionadas por la Sociedad de Dinámica de Sistemas [20]. Se trata de un problema que presenta ciclos de retroalimentación desde dos puntos de vista. Primero, el clima atmosférico es un sistema complejo que debe ser analizado teniendo en cuenta un todo, pues tiene un sinnúmero de variables que determinan el estado del sistema y que se interrelacionan formando complejos ciclos de retroalimentación [21,22]. Por otro lado, el sistema que se analizará para estimar la manera en que se distribuirán las

diversas tecnologías alternativas para los vehículos, posee características complejas como un número de variables y relaciones entre éstas variables muy alto [17]. Dado este gran número de variables y relaciones, es posible que se presenten diferentes ciclos de retroalimentación que, sin un tratamiento adecuado, como el que permite la dinámica de sistemas, se puede llegar a resultados erróneos.

Sin embargo, la información que tiene un usuario al escoger un producto es, en general, limitada y además, no realiza el trabajo de calcular su relación costo-beneficio a largo plazo, tomando así decisiones que pueden perjudicarlo a través del tiempo [23]. Las teorías neoclásicas generalmente hacen

asunciones no evidentes y de gran peso acerca de los procesos de decisión de usuarios finales, incluyendo: información completa, racionalidad absoluta y falta de percepción del riesgo [24]. Según Dyner y Franco [24], el usuario final escoge determinado producto dependiendo de sus deseos y de sus oportunidades reales, las cuales están limitadas por el conocimiento que éste tenga de tales oportunidades.

La metodología que se empleará será la descrita por la Sociedad de Dinámica de Sistemas, con el fin de tener las conclusiones más correctas para el problema planteado.

## VI. DESCRIPCIÓN DEL MODELO

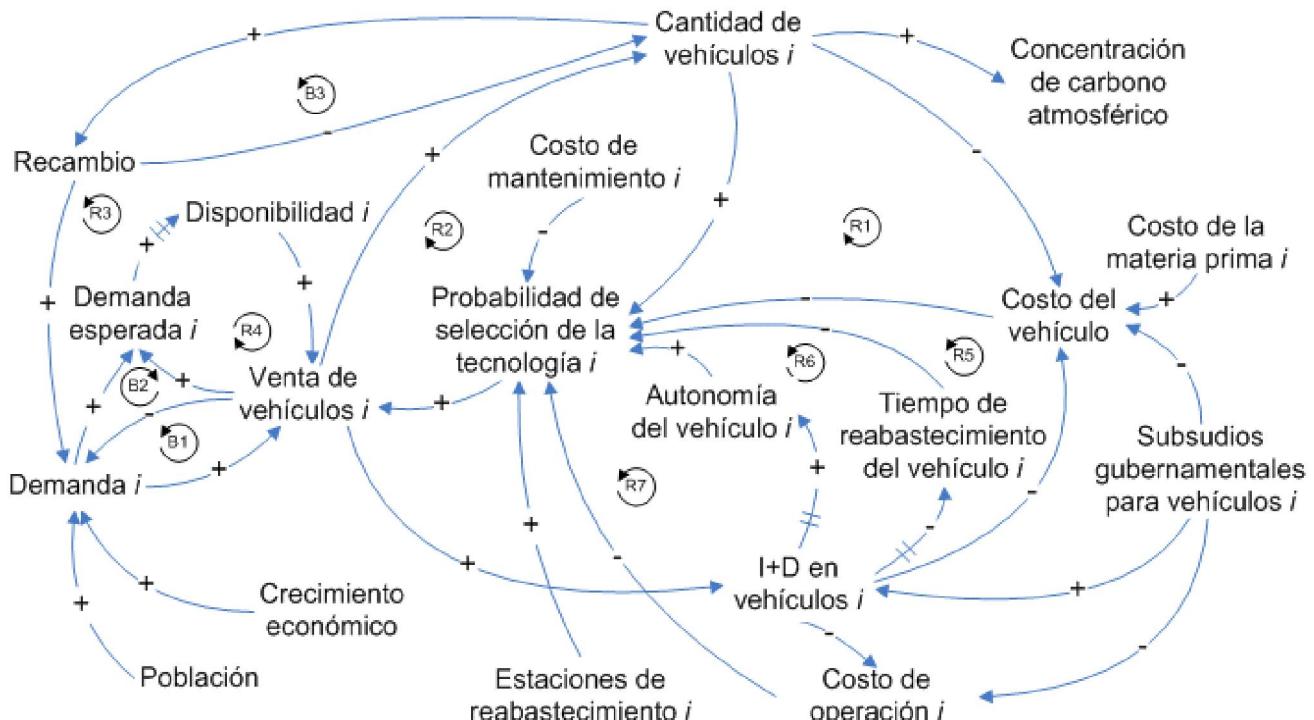


Figura 1. Hipótesis dinámica.

En la **Figura 1** se muestra la hipótesis dinámica planteada en este trabajo. Ésta consta de tres ciclos de balance y 7 ciclos de refuerzo que representan la dinámica del sistema. El ciclo **R1**, ciclo del costo del vehículo, representa cómo aumenta la venta de vehículos cuando aumenta la probabilidad de selección de una tecnología. Este incremento en la venta, necesariamente aumentará la cantidad de vehículos de un tipo, en las calles y, por consiguiente, disminuirá su costo. Un incremento en el costo del vehículo, finalmente disminuirá la probabilidad de venta de la tecnología.

El ciclo **B1** es el primer ciclo de balance del modelo. Éste representa la satisfacción de la demanda que decide comprar

determinado tipo de vehículo. Así, un incremento en la demanda del vehículo  $i$ , aumentará la venta de tal vehículo. Pero un incremento en las ventas, habrá satisfecho cierta parte de la demanda, por lo cual, esta última variable disminuirá.

El ciclo **B2** representa el momento histórico que están viviendo las tecnologías alternativas en el momento, pues la disponibilidad de éstas es limitada. A medida que se dan más ventas de vehículos la demanda disminuye. Cuando la demanda aumenta, la demanda esperada aumenta y por tanto, pero con un retardo, la disponibilidad de vehículos aumenta. Este aumento de disponibilidad, generará más ventas, dado que éstas también están influenciadas por la demanda en el ciclo **B1**.

El ciclo **B3**, el ciclo del recambio, representa la cantidad de vehículos que por accidentes o término de la vida útil, deben ser cambiados y disminuyen la cantidad de vehículos en las calles.

El ciclo **R2**, representa la dependencia de la probabilidad de escogencia de la masa crítica de vehículos que existen. Este comportamiento se debe a que un usuario de una tecnología *i*, aumenta su probabilidad de escogencia de otra tecnología *j*, proporcionalmente al número de usuarios de ésta tecnología *j*[26]. Igualmente la probabilidad de escogencia de una tecnología, conllevará a un aumento en las ventas de determinado vehículo *y*, por consiguiente, a la cantidad de vehículos de una tecnología en las calles del mundo.

El ciclo **R3**, modela el caso cuando un vehículo ha cumplido su tiempo de vida útil debe ser reemplazado por otro nuevo generando un incremento en la demanda de vehículos. La variable ‘Recambio’ está directamente causada por la cantidad de vehículos que existen, dado que se aumenta la cantidad de vehículos que son usados y la probabilidad de pérdidas por accidentes de tránsito.

El ciclo **R4** es el ciclo que define qué tantos autos estarán disponibles en un año dado. La disponibilidad de vehículos depende de la demanda esperada *y*, ésta a su vez, de la venta y la demanda de una tecnología. El retardo que se presenta entre las variables ‘Demanda esperada *y*’ y ‘Disponibilidad *i*’ responde al hecho de que no necesariamente la demanda esperada estará disponible el año en que se espera, dadas las restricciones tecnológicas y gubernamentales que existan.

El ciclo **R5**, representa la influencia directa que tiene la venta de una tecnología sobre la inversión en investigación y desarrollo en el campo. Un incremento en esta última variable influirá en una disminución del costo del vehículo. Un incremento en el costo producirá, con un retardo, una disminución en la probabilidad de selección, la cual tiene un efecto directo sobre las ventas.

Los ciclos **R6** y **R7** representan la influencia de la inversión en investigación en las características propias de la tecnología, en este caso el tiempo de reabastecimiento energético y la autonomía. A pesar de tener una influencia negativa en una variable y positiva en otra, finalmente los ciclos son de refuerzo por causa de la influencia negativa y positiva respectiva de cada una de las variables sobre la probabilidad de elección de una tecnología. Dado que no es inmediato que una inversión en Investigación y Desarrollo se haga efectiva en términos de características técnicas, existe un retardo entre la Inversión en I+D y estas dos cualidades de la tecnología.

Los vehículos alternativos requieren inevitablemente de incentivos gubernamentales para poder entrar al mercado [1]. Éstos influirán de manera directa, y negativa, sobre los costos del vehículo y de operación del mismo. También serán parte de la inversión en investigación y desarrollo de determinada

tecnología.

Finalmente, la probabilidad de elección de una tecnología depende de algunas variables que, aunque no tengan realimentación del modelo, son imprescindibles para el análisis realizado. La demanda potencial, que es función de la población y la tasa de crecimiento económico, determina cuántos posibles compradores existen para todas las tecnologías en conjunto. El número de puntos de reabastecimiento energético será crucial para que un usuario escoja cierta tecnología, pues es un parámetro que la persona considera como parte de la seguridad de la tecnología.

A continuación se muestran algunos resultados de las simulaciones realizadas.

## VII. RESULTADOS

En la **Figura 2** se muestra la probabilidad a lo largo de la simulación.

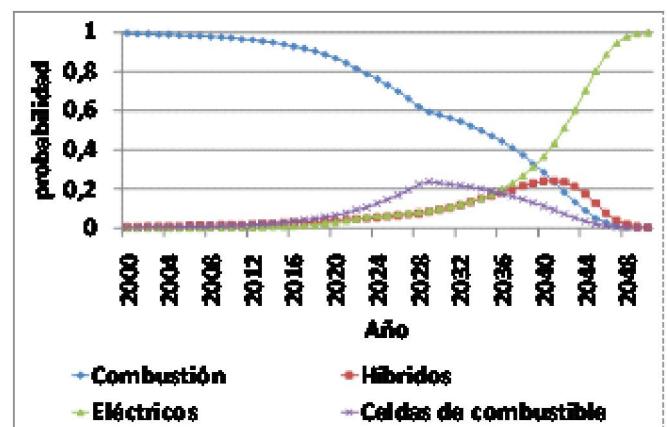


Figura 2. Probabilidad de selección de las tecnologías alternativas.

La cantidad de vehículos mostrado en la **Figura 3**, es creciente en todo momento, permaneciendo los vehículos convencionales como dominantes.

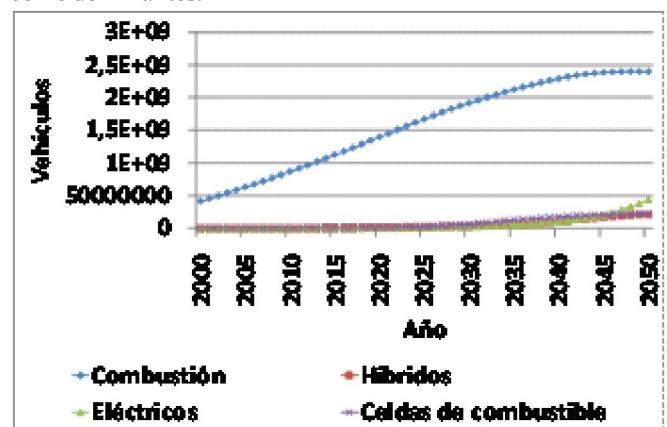


Figura 3. Cantidad de vehículos alternativos.

Igualmente, el carbono es creciente a lo largo de toda la simulación, debido a la cantidad de vehículos convencionales de combustión interna que permanecen en el sistema.

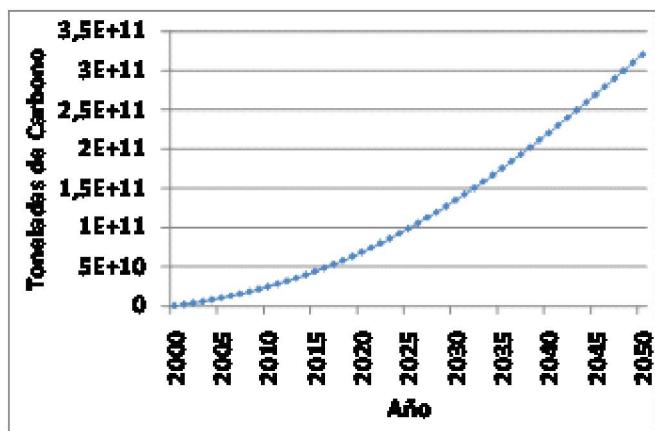


Figura 4. Carbono total emitido.

Un resultado importante es la comparación entre los vehículos convencionales y todos los alternativos. En la **Figura 5** se puede notar que, al llegar alrededor de la mitad de la simulación, la cantidad de autos alternativos iguala la cantidad de vehículos de combustión interna convencionales, superándolos hacia el final, en el año 2050.

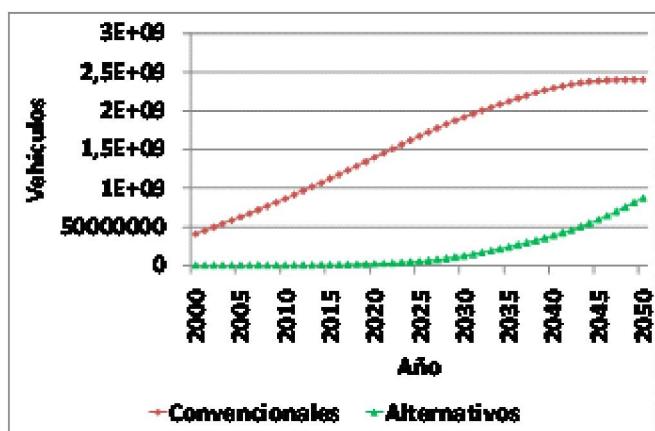


Figura 5. Vehículos Convencionales vs. Alternativos.

A continuación se presentan las conclusiones más importantes del trabajo.

## VIII. CONCLUSIONES

Según Pacala y Socolow [25], no basta con una sola mejora en las tecnologías energéticas para reducir exitosamente la emisión de dióxido de carbono en la atmósfera. Una de tales mejoras mencionadas en su trabajo es el aumento de la eficiencia

energética en los vehículos automotores. El presente trabajo muestra resultados coherentes con su teoría, pues, sólo se está analizando el impacto en la concentración de dióxido de carbono atmosférico en el caso de tener vehículos alternativos en el mercado, con las demás variables que influyen en el problema de calentamiento global constantes. Este resultado muestra que no sólo basta con mejorar la tecnología automotriz para controlar el calentamiento global que se experimenta actualmente, sino que además, se deben mejorar el resto de sistemas que generan gases de efecto invernadero y, por consiguiente, un cambio climático perjudicial para la humanidad.

Los autos con tecnologías energéticas alternativas son una excelente opción para limpiar la atmósfera terrestre de dióxido de carbono y algunos otros gases que producen los vehículos de combustión interna. Sin embargo, éstos últimos tienen como ventaja ante los compradores el hecho de que ocupan más del 95% de la población vehicular en el mundo. Entonces, aunque la probabilidad de comprar los demás vehículos sea muy alta, sus cantidades tendrán un retardo de largo plazo para representar un porcentaje significativo del parque automotor mundial.

La concentración de carbono atmosférico, a pesar de que su reducción puede parecer prometedora con el cambio en las tecnologías de transporte, no basta con un solo cambio, pues la producción de CO<sub>2</sub> tiene muchas otras fuentes. Sin embargo, tampoco es sensato descuidar este sector, pues sus emisiones, según la EIA (2008), siguen en crecimiento. La solución propuesta para tal problema es, primero que todo, una concientización de la humanidad del problema, de las consecuencias que éste puede traer y de las posibles soluciones que cada uno puede aportar para lograr un objetivo común a la humanidad: detener el cambio climático.

Para lograr este objetivo desde el parque automotor, los gobiernos podrían plantear políticas de reducción de uso de vehículos de combustión interna así como políticas de fabricación y comercialización de vehículos alternativos, para acelerar el cambio tecnológico en este campo de la economía. El objetivo principal yace en disminuir la cantidad de vehículos de combustión interna y aumentar la cantidad de vehículos 'limpios' para poder llevar la tasa de emisión de dióxido de carbono por debajo de la tasa natural de consumo.

## REFERENCIAS

- [1] Romm, Joseph - 2006 - The car and fuel of the future. Energy Policy. Center for Energy and Climate Solutions, 2900 South Quincy Street, Suite 410, Arlington, VA 22206, USA.
- [2] Hansen, James - 2003 - Can we defuse the global warming time bomb? NASA Goddard Institute for Space Studies. En: [http://naturalscience.com/ns/articles/01-16/ns\\_jeh.html](http://naturalscience.com/ns/articles/01-16/ns_jeh.html)
- [3] ECHARRI PRIM, Luis. Ciencias de la tierra y el medio ambiente. Universidad de Navarra. En: <http://www.tecnun.es/Asignaturas/ecologia/Hipertexto/00General/Principal.html>. Libro electrónico.

- [4] UNFCCC - 1998 - The Kyoto Protocol. En: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>
- [5] Ehsani, Mehrdad; Gao, Yimin; Emadi, Ali - 2010 - Modern Electric, Hybrid Electric and Fuel Cell Vehicles: Fundamentals, Theory and Design. Segunda Edición. CRC Press.
- [6] Cefo, Nevres - 2009 - Two Cents per Mile: Will President Obama Make it Happen With the Stroke of a Pen?. Nevlin LLC.
- [7] Sperling, Daniel y Gordon, Deborah - 2009 - Two Billion Cars: Driving toward sustainability. Oxford University Press.
- [8] Doll, Claus y Wietschel, Martin - 2008 - Externalities of the transport sector and the role of hydrogen in a sustainable transport vision. Energy Policy. doi:10.1016/j.enpol.2008.06.027.
- [9] Dijk, Marc y Yarime, Masaru - 2010 - The emergence of hybrid-electric cars. Innovation path creation through co-evolution of supply and demand. Technological Forecasting & Social Change. An International Journal. doi:10.1016/j.techfore.2010.05.001.
- [10] Hamelinck, Carlo y Faaij, André - 2006 - Outlook for advanced biofuels. Energy Policy. Aziëlaan 774, 3526 SZ Utrecht, the Netherlands. Utrecht University, Copernicus Institute, Heidelberglaan 2, 3584 CS Utrecht, The Netherlands.
- [11] Hackney, Jeremy y de Neufville, Richard - 2001 - Life cycle model of alternative fuel vehicles: emissions, energy and cost trade-offs. Transportation Research Part A. No. 35. Elsevier Science Ltd.
- [12] Whelan, Gerard - 2007 - Modelling car ownership in Great Britain. Transportation Research Part A. No. 41. doi:10.1016/j.tra.2006.09.013.
- [13] Oliver et al. - 2009 - China's fuel economy standards for passenger vehicles: Rationale, policy process, and impacts. Energy Policy. No. 37. doi:10.1016/j.enpol.2009.06.026
- [14] Van Mierlo, J.; Maggetto, G. y Lataire, Ph. - 2006 - Which energy source for road transport in the future. A comparison of battery, hybrid and fuel cell vehicles. Energy & Conversion Management. No. 47. pp. 2748–2760.
- [15] Granovskii, Mikhail; Dincer, Ibrahim y Rosen, Marc - 2006 - Economic and environmental comparison of conventional, hybrid, electric and hydrogen fuel cell vehicles. Journal of Power Sources. No. 159. pp. 1186–1193. doi:10.1016/j.jpowsour.2005.11.086
- [16] Fong, Matsumoto y Lun - 2009 - Application of System Dynamics model as decision making tool in urban planning process toward stabilizing carbon dioxide emissions from cities. Building and Environment. N. 44. doi:10.1016/j.buildenv.2008.07.010
- [17] Larios, María - 2007 - Alternativas Energéticas Limpias para Utilización en Transporte Automotor. Tesis de Especialización. Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín.
- [18] Figueroa, Diego - 2007 - Utilización de la dinámica de sistemas para el modelamiento de las barreras en la penetración de vehículos con fuentes alternativas de energía en el mercado colombiano. Tesis de Grado. Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín.
- [19] Energy Information Administration - 2008 - International Energy Outlook. En: [http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/pdf/0484\(2008\).pdf](http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/pdf/0484(2008).pdf)
- [20] System Dynamics Society - 2009 - What is System Dynamics? En: [http://www.systemdynamics.org/what\\_is\\_system\\_dynamics.html](http://www.systemdynamics.org/what_is_system_dynamics.html)
- [21] Baena, Andrés y Becerra, David - 2007 - Dinámica del calentamiento atmosférico producido por gases de efecto invernadero. V Encuentro latinoamericano de dinámica de sistemas. Buenos Aires, Argentina.
- [22] Sterman, John y Booth Sweeney, Linda - 2007 - Understanding public complacency about climate change. Adults' mental models of climate change violate conservation of matter. Climatic Change. No. 80. pp. 213-238. doi:10.1007/s10584-006-9107-5
- [23] Turrentine, Thomas y Kurani, Kenneth - 2007 - Car buyers and fuel economy?. Energy Policy. No. 35. doi:10.1016/j.enpol.2006.03.005
- [24] Dyner, Isaac y Franco, Carlos - 2004 - Consumers' Bounded Rationality: The Case of Competitive Energy Markets. Systems Research and Behavioral Science. Doi: 10.1002/sres.644
- [25] Pacala, S. y Socolow, R. - 2004 - Stabilization Wedges: Solving the Climate Problem for the Next 50 Years with Current Technologies. Science Magazine. Vol. 305. pp. 968-972.
- [26] Rogers, Everett - 2003 - Diffusion of Innovations. Quinta Edición. Free Press.

# Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín

## Facultad de Minas



## Escuela de Ingeniería de Sistemas

### Misión

La misión de la Escuela de Ingeniería de Sistemas es fomentar y apoyar la generación o la apropiación de conocimiento, la innovación y el desarrollo tecnológico en el área de ingeniería de sistemas e informática sobre una base científica, tecnológica, ética y humanística.



### Visión

La formación integral de profesionales desde el punto de vista científico, tecnológico y social que les permita adoptar, aplicar e innovar conocimiento en el campo de los sistemas e informática en sus diferentes aspectos, aportando con su organización, estructuración, gestión, planeación, modelamiento, desarrollo, procesamiento, validación, transferencia y comunicación; para lograr un desempeño profesional, investigativo y académico que contribuya al desarrollo social, económico, científico y tecnológico del país.

Escuela de Ingeniería de Sistemas  
Dirección Postal:  
Carrera 80 No. 65 - 223 Bloque M8A  
Facultad de Minas. Medellín - Colombia  
Tel: (574) 4255350 Fax: (574) 4255365  
Email: [esistema@unalmed.edu.co](mailto:esistema@unalmed.edu.co)  
<http://esisistema.unalmed.edu.co/>

