

**Evaluación del impacto económico, ambiental y de movilidad de los medios de transporte particulares “verdes” en la ciudad de Bogotá, mediante el uso de la herramienta AHP (The Analytic Hierarchy Process)**

**Presentado por Mónica del Pilar Rojas Farías**

**UNIVERSIDAD JORGE TADEO LOZANO**

**FACULTAD DE INGENIERIA  
MAESTRIA EN INGENIERIA DE LA GESTION  
2017**

## INTRODUCCIÓN

Según un estudio realizado por la Secretaría de Ambiente en su informe de sostenibilidad del 2014, se ha hecho más notable el deterioro de la calidad del aire en la ciudad, esto se debe a que Bogotá es una de las ciudades con el aire más contaminado de Latinoamérica, equiparable a Ciudad de México y Santiago de Chile; en la actualidad, está superando la recomendación vigente anual, de un promedio de 20 microgramos de partículas por cada metro cúbico de aire ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), establecida por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Aunque se han venido realizando esfuerzos por mantener unos niveles controlables de la contaminación, según el estudio llevado a cabo por Gaitán M, Cancino J, Beheretz E. (2007) el acelerado crecimiento económico de la capital, manifestado en mayor demanda de Energía, así como un acelerado consumo de combustible fósil, hacen que las medidas de control de la contaminación que han sido implementadas, se hayan visto opacadas por el incremento en las emisiones que resultan del crecimiento económico.

La exposición en calles y avenidas parece el contacto más directo con el aire contaminado, pero no siempre es así, pues los espacios cerrados acumulan en gran proporción el material particulado (mezcla de contaminantes), en especial cuando no están bien ventilados y albergan actividades que producen contaminantes del aire.

El material particulado (PM10) es un conjunto de partículas en fase sólida y líquida, que están suspendidas en un medio gaseoso, en este caso, en el aire. Lo conforman contaminantes como humo, hollín y polvo muy fino, provenientes de combustión en la industria y el transporte, de procesos de producción industrial y de actividades de construcción, entre otras fuentes.

Como están las cosas en la actualidad y según un estudio de la OMS se espera que en 30 años la capital colombiana será como una gran nube de humo y congestión vehicular (Montezuma, 2009), pero otros estudiosos (Norregaard y Reppelin 2000) plantean que se pueden desarrollar ideas novedosas para evitar que esto ocurra, dentro de las cuales algunas puede ser, volverse hacia los sistemas de transporte ecológico; bien sea el uso

de vehículos eléctricos o híbridos y apoyado de otras estrategias de movilidad (bicicleta, a pie, uso de transporte público) o inclusive, empujando otros mecanismos de trabajo, que eviten el desplazamiento hasta el lugar de trabajo. (Teletrabajo)<sup>1</sup>

La Organización Mundial de la Salud (OMS), en su estudio Ambient air Pollution database (2014), informan que Bogotá se encuentra en la lista de las cuarenta ciudades más contaminadas del mundo, y si el gobierno no toma medidas urgentes o no diseña formas novedosas para mejorar la movilidad, el futuro de la ciudad y la salud de los bogotanos pueden estar en riesgo.

Con base en la información recolectada, este anteproyecto pretende plantear una estrategia de mitigación de la contaminación, evaluando el impacto que podría tener el uso de transporte particular basado en Energía Renovable (TBR); y para eso se usará una herramienta de análisis, conocida como metodología AHP (Analytic Hierarchy Process), desarrollada por Thomas L Saaty en 1980; con la cual se busca emplear criterios múltiples de selección, para la toma de decisiones, basada en evaluaciones subjetivas respecto a la importancia relativa de cada uno de los criterios y que posterior identificación de la preferencia con respecto a cada una de las alternativas de decisión y para cada criterio. El resultado del AHP es una jerarquización con prioridades que muestran la preferencia global para cada una de las alternativas de decisión (Toskano, s.f., p. 1).

## **PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN**

¿Es posible establecer un criterio que permita seleccionar un tipo de transporte particular basados en energía renovable (TER), de tal forma que éste sea la mejor respuesta entre las alternativas seleccionadas, en la ciudad de Bogotá?

## **JUSTIFICACIÓN:**

---

<sup>1</sup> Forma de organización laboral, que consiste en el desempeño de actividades remuneradas o prestación de servicios a terceros utilizando como soporte las tecnologías de la información y comunicación -TIC- para el contacto entre el trabajador y la empresa, sin requerirse la presencia física del trabajador en un sitio específico de trabajo". (Artículo 2, Ley 1221 de 2008).

El desarrollo urbano, unido al modelo de transporte de viajeros, en los últimos años ha tomado un rumbo absolutamente insostenible; desde el punto de vista medioambiental y de movilidad, el desplazamiento de personas en su vehículo particular ha crecido, principalmente por la facilidad de accesos a medios de transportes familiares, generando graves problemas ambientales, sociales y económicos en las ciudades

Dentro de los problemas ambientales se encuentra la contaminación atmosférica (incremento de gases como el CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y partículas), junto con el efecto invernadero provocados desde este análisis por la combustión de los vehículos automotores, responsables entre otras cosas del calentamiento global, merma en la calidad de vida, afecciones a la salud pública, caos en movilidad y consumo de recursos fósiles no renovables. (Gaitán, 2007)

Según un estudio del Observatorio Ambiental de Bogotá, para el año 2016, Bogotá contaba con dos millones ciento tres mil setecientos veinticinco (2.103.725) vehículos de uso particular registrados (excluyendo las motocicletas, mototriciclos, tracción animal y trolebuses) y de estos, novecientos treinta y siete mil doscientos ochenta (937.280) tiene antigüedades de modelo de más de 20 años

El actual modelo de transporte público y privado, ha tomado un rumbo absolutamente insostenible y más desde el punto de vista medioambiental, los desplazamientos por carretera han crecido de una forma constante e insostenible, generando graves problemas ambientales, sociales y económicos en las ciudades.

El mundo enfrenta hoy un crecimiento extraordinario de su población y de su demanda de energía. Solo el sector transporte consume alrededor de 2.500 millones de toneladas equivalentes de petróleo (MTEP), casi un tercio del consumo final de energía, abastecido principalmente por derivados de petróleo. (Trentadue y Carranza, 2014); aportando al alto índice de contaminación y riesgos para la salud pública.

Según datos de la Secretaria de Ambiente en su informe de sostenibilidad del 2014, informa que Bogotá (y sus áreas aledañas), por ejemplo, consumen el 24 por ciento del total de la energía que consume Colombia. También, y por lo mismo, es la ciudad más

contaminada del país y la tercera de América Latina. Fontibón, Puente Aranda y Kennedy, son las zonas más contaminadas. Las fuentes móviles como carros, buses y motos generan el 60 por ciento de la contaminación del aire. El otro 40 por ciento lo generan las fuentes fijas, como fábricas, chimeneas, etc.

Desde febrero del 2008 el alcalde en su momento de la ciudad Capital, suscribió un pacto con Ecopetrol para reducir las partículas tóxicas en la gasolina que se vende en la ciudad y con eso se esperaba reducir la contaminación, dijo Juan Antonio Nieto, Secretario de Ambiente de Bogotá quien participó en el panel sobre energía y aire. Nieto reconoció que el índice de contaminación del aire de Bogotá está por encima de lo que es saludable según la norma ambiental. “Los buses, busetas y colectivos son de lejos el medio que más contamina, aunque muevan un mayor número de pasajeros”, dijo José Antonio Vargas Lleras, presidente de Codensa y quien ha hecho estudios sobre el uso de energía eléctrica para el transporte público y privado.

Según datos del Distrito compilados en el estudio de Codensa, en Bogotá hay alrededor de 600.000 vehículos particulares con una edad promedio de 14 años y 18.000 buses con un promedio de 12 años. Una de las alternativas para mejorar en movilidad y reducir la contaminación también es el rediseño urbano de las ciudades. A diferencia de los modelos que separan las zonas residenciales de las zonas donde se trabaja, integrar ambas reduce las distancias de movilización de las personas. De esta manera es más factible que la gente camine a sus trabajos o use la bicicleta.

De lo anterior se puede inferir sobre las necesidades urgentes: i) mejora de la eficiencia energética del transporte; ii) reducción de la dependencia energética de los derivados del petróleo; iii) reducción de los contaminantes del transporte en ámbitos urbanos y iv) mejorar la calidad de vida de los ciudadanos y la salud pública. Los vehículos ecológicos o TBR, son una alternativa que contribuye a mejorar la sostenibilidad del transporte urbano, integrándose a una Estrategia de Movilidad Sostenible.

“Colombia tiene un gran potencial de energía eléctrica gracias a su gran capacidad de agua para hidroeléctricas y por eso creo que es la solución más evidente”, y una de las alternativas es la evolución hacia medios de transporte eléctricos, dijo José Antonio

Vargas Lleras (presidente de CODENSA) y recordó que hace 20 años la ciudad tenía un sistema de Trolebuses movidos por electricidad. Según Vargas Lleras, este tipo de transporte público consume menos energía por kilómetros recorrido, contamina menos y dura más que los vehículos de gasolina.

Uno de los retos tecnológicos más importantes hoy para las ciudades es como almacenar la energía de fuentes alternativas, pues fuentes como el viento o el sol son oscilantes y se necesita tener acceso a la energía de forma constante, dijo Edgar Blanco, director para América Latina del Centro para el Transporte y la Logística del Massachusetts Institute of Technology en Estados Unidos y quien estuvo en Bogotá para participar en el foro Bogotá 2038.

## **MARCO TEÓRICO**

La elaboración de un marco teórico además de identificar con exactitud lo que se busca mediante el desarrollo de la investigación, permite evaluar las opciones disponibles para llevar a cabo dicha investigación.

La construcción del marco teórico de la presente documento, se basa en la revisión documental y bibliográfica y estará relacionada con los problemas de decisión, uno de los principales métodos de decisión multicriterio, su integración y aplicación a la resolución del problema a resolver

La metodología AHP proporciona la posibilidad de incluir datos cuantitativos relativos a las alternativas de decisión; la ventaja del AHP consiste en que adicionalmente permite incorporar aspectos cualitativos que suelen quedarse fuera del análisis debido a su complejidad para ser medidos, pero que pueden ser relevantes en algunos casos (Toskano, s.f., p. 1); por su parte Saaty T, (1980), adiciona que el método AHP permite obtener una opción de entre diferentes alternativas analizadas, con base a criterios, variables y términos que normalmente se encuentran en conflicto .

El AHP, mediante la construcción de un modelo jerárquico, permite de una manera eficiente y gráfica organizar la información respecto de un problema, descomponerla y

analizarla por partes, visualizar los efectos de cambios en los niveles y sintetizar. El AHP “trata de desmenuzar un problema y luego unir todas las soluciones de los sub problemas en una conclusión” (Toskano, s.f., p.1).

El método AHP, consiste en llevar a cabo los siguientes pasos:

- Obtener las posibles alternativas para realizar la decisión en otra etapa subsiguiente.
- Determinar los criterios, los cuales deben ser claros y en lo posible específicos.
- Luego de conocer las alternativas y tener establecidos los criterios, se define la importancia de cada criterio en base a pesos. Esta es una de las contribuciones del método y es básico para realizar el proceso de comparación de entrada para los criterios, propuestas por (Saaty T., 1980) la escala se presenta en la tabla 1.

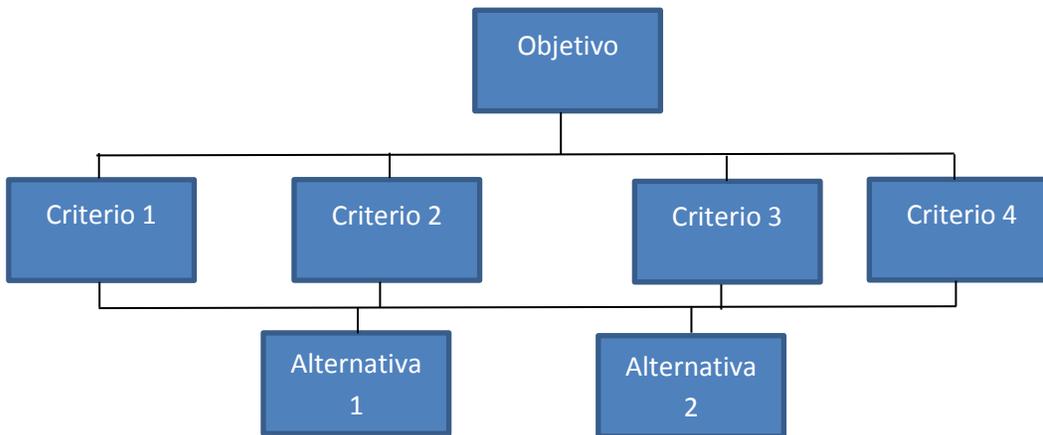


Fig. 1. Jerarquía representada en el árbol de decisión, Zahedi (1986)

### Escala de Preferencias

Planteamiento verbal de la preferencia	Calificación
Extremadamente preferible	9
Entre muy fuertemente y extremadamente preferible	8
Muy fuertemente preferible	7
Entre fuertemente y muy fuertemente preferible	6
Fuertemente preferible	5
Entre moderadamente y fuertemente preferible	4
Moderadamente preferible	3

Entre igualmente y moderadamente preferible	2
Igualmente importancia	1

Tabla 1. Clasificación de los criterios de acuerdo con Saaty 1980.

El AHP es una herramienta metodológica que ha sido aplicada en varios países para incorporar las preferencias de actores involucrados en un conflicto y/o proceso participativo de toma de decisión (Ávila, 2000, p. 7; citado por Salas, 2011, p. 70).

Algunas de las ventajas del AHP frente a otros métodos de Decisión son: (Berumen. Llamazares, 2007):

- Permite demostrar un evento con un sustento matemático.
- Permitir desglosar y analizar un problema por etapas.
- Permitir medir criterios cuantitativos y cualitativos mediante una escala común.
- Permite incluir la participación de diferentes personas o grupos de interés.
- Permite generar una síntesis y dar la posibilidad de realizar análisis de sensibilidad.
- Es de fácil uso y permitir que su solución se pueda complementar con métodos matemáticos de optimización.

El AHP trata directamente con pares ordenados de prioridades de importancia, preferencia o probabilidad de pares de elementos en función de un atributo o criterio común representado en la jerarquía de decisión.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El problema a estudiar son los modelos actuales de transporte particular, los cuales debido al uso de combustible fósil son generadores de contaminación y aportan al caos vehicular de la ciudad de Bogotá

Como ya planteamos en capítulo anterior, la Capital Colombiana presenta altos niveles de contaminación; dentro de todos los contaminantes que existen en la atmósfera, se identifican 5 críticos que afectan la salud inmediatamente desde su inhalación que son: monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), ozono troposférico (O<sub>3</sub>) y partículas en suspensión con diámetro aerodinámico menor a 10 µm (PM<sub>10</sub>). Además de éstos, se incluye al CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) por su aporte al efecto invernadero [19].

En el 2005, la Organización Mundial de la Salud (OMS) [20] realizó un estudio de comparación de las distintas regiones en el mundo, concluyendo que Asia y Latinoamérica tienen concentraciones mayores de PM<sub>10</sub> que Europa y Norteamérica principalmente por su crecimiento en producción industrial y el uso de combustibles de baja calidad. La contaminación del aire en Colombia es causada principalmente por el uso de combustibles fósiles, ya sea por fuentes de emisiones móviles, fijas o aéreas y el 41% del total de las emisiones se genera en las principales ciudades del país donde Bogotá lidera, seguida por Medellín y Cali [16]. La mayor emisión de partículas en suspensión es menor a 10 micras (PM<sub>10</sub>), de óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y monóxido de carbono (CO) son ocasionadas por fuentes móviles (vehículos, motocicletas, trenes, aviones, barcos, etc.) que son los que utilizan fuentes fósiles de energía. Mientras que las partículas suspendidas totales (PST) y los óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>) son generados por las fuentes fijas como establecimientos industriales y termoeléctricos principalmente, dentro de las fuentes aéreas se encuentran principalmente el transporte aéreo que emplea combustibles fósiles con características especiales.

La participación de los distintos sectores en la contaminación del aire es: 86% en el transporte terrestre, 8% en la industria, 3% termoeléctricas, 2% en los sectores residencial y comercial y 1% en el transporte aéreo. La contaminación del aire es una de las mayores

preocupaciones para los colombianos ya que es el mayor generador de costos sociales después de la contaminación del agua y de los desastres naturales. Estos costos han sido estimados en el 2004, como 1.5 billones de pesos anuales y están relacionados con efectos sobre la salud pública, mortalidad y morbilidad (Conpes3344, 2005).

El contaminante monitoreado de mayor interés, dado sus efectos nocivos sobre la salud humana es las partículas en suspensión (PM10 y PST), ya que con frecuencia las concentraciones de este contaminante superan los estándares ambientales de la regulación vigente. En las Cifras de la contaminación ambiental de la red de monitoreo de la calidad del aire para Bogotá (RMCAB): El PM10 sobrepasó los niveles máximos de exposición en varias zonas de la ciudad, a pesar de que su distribución depende de condiciones meteorológicas, así como del sitio donde se tome la muestra, en general Bogotá estuvo con niveles por encima de los 60  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , límite permitido hasta finales del 2010.

Colombia todavía tiene niveles permisivos muy altos con respecto a los índices europeos, como es el caso del Reino Unido, donde la concentración máxima de PM10 es de 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Según el inventario de gases de efecto invernadero de Bogotá de la Secretaría de Ambiente, la capital emite al año 10.873.331 toneladas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Este gas es causante del calentamiento global que sufre el planeta. Se puede dividir en cuatro segmentos de acuerdo a fuente de emisión: Energía (establecimientos que utilizan combustibles), establecimientos con procesos industriales sin combustión, agricultura y residuos (rellenos sanitarios). El segmento de energía es quien más aporta toneladas de CO<sub>2</sub> con el 72,46 % del total de las emisiones (7.879.293 toneladas). Dentro de este grupo, el gran responsable es el transporte terrestre que emite el 60,15 % (más de 4 millones de toneladas), siguen el comercio con 15,9 %, industrias manufactureras y de construcción con 14,2 %, zonas residenciales con 6,7 % y el transporte aéreo con 2,8 %. Un automóvil genera en promedio 175 g CO<sub>2</sub> /Km aunque en Europa se quiere reglamentar que los vehículos nuevos emitan un límite de 130 g CO<sub>2</sub> /Km.

De la mano de los estudios y mediciones anteriores, en el año 2011, el gobierno nacional avala la importación de 50 taxis eléctricos por un convenio liderado por la empresa Codensa - Emgesa con el propósito de realizar una prueba piloto en Bogotá, Medellín y

Cali; que permita evaluar el desempeño de los vehículos en la ciudad. En diciembre de 2013 se aprueba el decreto 2909 que autoriza el ingreso de 750 vehículos eléctricos e híbridos cada año, exentos del pago de aranceles de aduana, con la restricción de que el vehículo y su cargador no superen los US\$52.000.

En Colombia, los Vehículos verdes no tienen la acogida deseada debido a sus altos costos

y a la carencia de infraestructura de carga. En Bogotá D.C. son evidentes cuatro situaciones

que favorecen el desarrollo de estas tecnologías y sistemas de transporte, la mala calidad del aire; la pérdida de la capacidad de autoabastecimiento del petrolero y la promoción de sistemas de transporte masivo: i) La mala calidad del aire en Bogotá D.C. asociada a las emisiones de partículas en suspensión y ruido es evidente; emisiones de óxido de nitrógeno

y azufre, monóxido y dióxido de carbono, son representativas y en conjunto afecta las características naturales del aire. ii) El crecimiento de la demanda de viajes diarios, la consolidación del mercado entorno al vehículo particular y motocicletas, la voluntad política limitada para sustituir el modelo actual de operación de transporte público colectivo, la ausencia de un programa para dar de baja a los vehículos con una edad de servicio superior a 20 años y la ausencia de nuevos yacimientos petroleros, colocan en riesgo la confiabilidad del suministro de energía para el transporte en el país. Sistemas como Transmilenio en Bogotá han argumentado el incremento del costo del pasaje en función del aumento del precio del diesel. iii) Los sistemas de transporte público masivo no adoptan posiciones claras en consecuencia a la expansión de las ciudades que deben contemplar horizontes de largo plazo que permitan evidenciar los beneficios potenciales y los costos de oportunidad de decisiones. iiiii) Las presiones ambientales y el interés de las grandes potencias en reducir su dependencia energética de los combustibles fósiles sin sacrificar sus modelos de desarrollo, han reactivado proyectos de Investigación y desarrollo en movilidad eléctrica, con importantes recursos gubernamentales (en Bogotá tenemos como ejemplo al tren de cercanías y el metro). Así mismo, los incentivos generados en torno a las nuevas tecnologías han incrementado los intereses del sector automotriz para cubrir esta nueva y creciente demanda. Dentro de las investigaciones impulsadas se encuentran el desarrollo de baterías recargables ligeras y con alta

densidad energética, controladores electrónicos, estaciones de recarga rápida, generación de energía por fuentes renovables, nuevas referencias de vehículos eléctricos, redes de distribución inteligentes. En este escenario de desarrollo proyecta resultados promisorios para las nuevas tecnologías, que se convertirán en la pieza clave para la masificación de Vehículos verdes.

El aumento en la contaminación ambiental, el precio del petróleo y la escasez de reservas para suplir la demanda futura, han hecho que el hombre busque nuevas alternativas de combustible para movilizarse. Dentro de las múltiples posibilidades, se encuentran los vehículos TBR como una de las opciones más promisorias. Países como Noruega, Francia, Alemania, Estados Unidos y España han incrementado el número de este tipo de vehículos en los últimos años. Actualmente, en Bogotá D.C. se adelantan varias pruebas piloto de Vehículos TBR y se trabaja en la creación de incentivos y leyes que permitan dar viabilidad a la masificación de tecnología en la ciudad.

En el último informe de KeyWorld 2014 Statistics [1], se destaca que el sector transporte demanda la mayor cantidad de petróleo en el mundo. Esta demanda ha venido en aumento durante los últimos 30 años, pasando de 45,4 % del petróleo en 1972 al 63,5 % en el 2012. Estos porcentajes altos de consumo de petróleo en sector transporte generan dependencia del petróleo, precios altos debido a políticas económicas de oferta y demanda junto con la contaminación reflejada en cambios climáticos. Una alternativa a mediano y largo plazo es mejorar la eficiencia energética del sector transporte terrestre mediante la promoción de modos de transporte energéticamente eficientes y la utilización de nuevas tecnologías en los vehículos. En la última década se ha desarrollado un programa de mejoramiento tecnológico de los sistemas de combustión interna que permiten una reducción del consumo de combustibles fósiles, aprovechamiento de biocarburantes en mezclas con combustibles fósiles y empleo del gas natural. Sin embargo, estos avances han demostrado no ser una garantía relevante en las emisiones de contaminantes debido a la existencia de condicionamientos externos como: Crecimiento exponencial en el parque automotor, mantenimiento y calibración de los vehículos, prácticas de conducción, congestionamiento y bajas velocidades de desplazamiento que limitan su eficacia.

En los últimos diez años, el sector automotor ha sido uno de los más dinámicos en el mundo y en especial el que más registra un comportamiento de recuperación tras la crisis financiera desatada en el mundo a finales de 2007. La producción mundial de vehículos ha presentado un crecimiento del 37 % pasando de 58,3 millones de unidades en el año 2000 a una producción récord que superó los 80 millones de unidades en el 2011, logrando superar la crisis internacional del sector, especialmente en el 2009, reportando tasas de crecimiento del 25,6 % y 3,2 % en 2010 y 2011 respectivamente.

En el 2011, los principales productores de vehículos en el mundo fueron: China con el 23 % de la producción de autos y vehículos comerciales, seguido por Estados Unidos y en tercer lugar Japón con el 11 % y 10 % respectivamente.

En total, el año 2013 se vendieron en el mundo 111.718 Vehículos verdes, con un incremento del 97 % respecto al 2012, según estudios en los países de Europa el crecimiento ha sido incluso mayor al mostrado en los informes oficiales. Durante 2012 apenas se entregaron 14.000 vehículos verdes, en 2013 la cifra ha crecido hasta 42.194 unidades, mientras que en Japón el tercer mercado por volumen de ventas parece algo estancado.

A nivel nacional se aprecia una dinámica en el sector automotor, registrando un crecimiento en los últimos años, que lo ha posicionado como un sector estratégico para el país. Según cifras del Ministerio de Comercio, Industria y Turismo MCIT (2010), el sector representa el 6,2 % del PIB y da empleo aproximadamente al 2,5 % de la población ocupada, y se ubica el país como el quinto productor de automóviles en Latinoamérica. Las ventas a nivel nacional revelan un crecimiento significativo en especial en los años 2010-2011.

El parque automotor registrado en la ciudad de Bogotá, se compone de vehículos de servicio particular, público y oficial para el año 2011, donde los particulares representan el 92 % (1.455.062 vehículos), público el 7 % (104.298 vehículos) y oficiales el 1 % (13.351 vehículos). La mayor cantidad de vehículos registrados corresponde a particulares. Se encuentran discriminados según la clase como se muestra en la Figura 2



Figura 2. Clase de los vehículos de servicio particular año 2011. Fuente: Registro Distrital Automotor (RDA) - Concesión Servicios Integrales para la Movilidad (SIM)

## **OBJETIVOS**

El objetivo principal de este documento, es proponer un criterio que permita identificar y priorizar aplicando el Proceso Analítico Jerárquico que inciden en la selección de nueva alternativa para un transporte particular sostenible en la ciudad de Bogotá.

## **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Identificar y determinar las mejores alternativas de adquisición de los vehículos ecológicos buscando concientizar a los compradores sobre sus ventajas de uso.
- Desarrollar una metodología para la obtención de la clasificación de alternativas para la toma de decisiones, que permita la incorporación de múltiples criterios a partir de la teoría AHP.
- Analizar las alternativas para el uso de un transporte particular sostenible y su impacto en la movilidad Bogotana.
- Obtener la mejor opción de entre diferentes alternativas, analizadas en base a criterios y variables que se encuentran en conflicto.
- Clasificar Los aspectos cualitativos identificados en la adquisición de vehículos “verdes”, mediante el desarrollo de un marco conceptual para el usuario.

## ESTADO DEL ARTE

La evolución en la tecnología de los vehículos eléctricos e híbridos ha tenido avances considerables en los últimos años; sin embargo no ha logrado alcanzar la importancia en el mercado; por otro lado algunos gobiernos están implementando estrategias y planificando acciones para impulsar la expansión del vehículo eléctrico en el futuro (Ceño & Santamarta, 2009); esperando obtener inmensas ventajas con el uso de este tipo de vehículos frente a efectos positivos en el terreno ambiental e industrial.

Según Pérez, Díaz & Bermúdez (2009); las personas viven sometidos a la dominación de la energía; se produce y se consume energía no solo para llevar a cabo hábitos diarios y vitales como el calentarse o alimentarse, sino también para actividades de entretenimiento, lectura, y demás actividades rutinarias, dentro de las cuales se encuentra movilizarse. Por más de un siglo la movilidad ha dependido completamente del petróleo; Según Perez (2009) afirma que el 90 % de los automóviles que circulan por el mundo dependen exclusivamente de la gasolina que es derivada del petróleo hasta que no surjan otros sistemas económicamente atractivos tanto para vendedores como para compradores; por ende en los próximos años se verá como los cambios tanto ambientales como sociales obligan a adecuar un sistema de movilidad que no esté basado en el petróleo, debido a que sus reservas se agotarán. (Pérez et al., 2009)

En la actualidad la protección al medio ambiente por parte de los países y el avance en la tecnología ha logrado que se inicie una nueva etapa para la industria automotriz por medio de la creación de los vehículos eléctricos. A pesar de tener los avances en la tecnología, la comercialización para implementar estos vehículos en el mundo ha sido muy baja porque los consumidores observan inconvenientes al momento de su uso. Entre estos problemas se puede observar su alto precio de venta, su baja velocidad y su limitado rango de movilidad en donde se ve la falta de infraestructura para su recarga; los cuales hacen que los vehículos eléctricos, híbridos o eólicos tengan una desventaja frente a los vehículos de combustión. Las desventajas de éstos vehículos verdes dificultan la comercialización y penetración en el mercado ya que las empresas automotrices como Toyota desechan la idea de fabricación de estos vehículos porque observan que estas limitantes dificultan satisfacer las necesidades del consumidor (Carrete & Arroyo, 2013).

Sin embargo, empresas como Nissan, Renault, Volkswagen y General Motors han incursionado en este mercado intentando posicionar y comercializar estos vehículos. En Colombia Eco citi ha iniciado la producción y comercialización de vehículos eléctricos híbridos o eólicos. (J.D. Power & Associates, 2010). Eco city tiene una versión de prueba implementados como taxis en Bogotá. Según el Departamento de Planeación Nacional (DPN) en el 2005; analiza la relación entre el número de habitantes y la cantidad de automóviles en Bogotá y como su uso permanente afecta el medio ambiente; debido a esto se observan indicadores sobre la densificación urbana, el transporte inherente, la ineficiencia en la operación del sistema actual, entre otros; los cuales construyen un escenario preocupante para la problemática del medio ambiente. (Uribe, 2011).

Según Giffi, Vitale, Drew, Kuboshima & Sase (2013) en la Industria automotriz se ha analizado el entorno del mercado para lograr entender cuando y donde los consumidores son más atraídos a adoptar los vehículos eléctricos; pues los diferentes estudios han demostrado que la implementación del vehículo eléctrico es una incógnita ya que todo gira en torno al consumidor. La encuesta realizada por el Grupo global de la Industria Manufacturera de Deloitte Touche Tohmatsu Limited mostro que la mayoría de los encuestados están dispuestos a comprar un Vehículo Eléctrico, híbridos o eólicos; sin embargo, las expectativas analizadas por los consumidores en dicha encuesta demuestran un desbalance entre lo que desean y lo que la industria ofrece hoy; puesto que para los consumidores el Vehículo ecológicos debe tener la capacidad de ir más lejos, con menos tiempo de carga y por un precio más bajo que los vehículos a combustión. (Giffi et al., 2013).

El vehículo eléctrico híbrido o eólico a diferencia del vehículo de motor de combustión interna, se ahorra costos de mantenimiento al no tener aceite, lubricantes, por tener ausencia de trasmisión mecánica; por otro lado se ve afectado en un nivel medio la seguridad para los consumidores en términos de confort, prestaciones mecánicas, capacidad de transporte, entre otros. Si bien los vehículos verdes no emite Calor y el motor no vibra tanto y por tal motivo se disminuye la afectación auditiva; el precio del vehículo de combustión es más asequible para los consumidores.

Según Antúnez & Perea (2012) para lograr aumentar la competitividad del vehículo eléctrico tanto los comercializadores como los productores deben buscar disminuir el

coste de adquisición; puesto que el coste adicional que se encuentra actualmente con respecto a un vehículo de combustión interna supera los 15.000 Euros; los cuales pueden disminuir gracias a los avances en los nuevos diseños, proceso de fabricación, entre otros. Un aspecto importante para este tema se basa en la reducción de costes de fabricación logrados por la economía de escala la cual permite reducir el sobrecoste del vehículo eléctrico de un 65% para el año 2020; el sobrecoste a su vez puede amortizarse a largo plazo tomando en cuenta el ahorro en coste de: mantenimiento y consumo. (Antúñez et al., 2012). Otro punto crucial para lograr la implementación del vehículo eléctrico en Bogotá se centra en la red de carga ya que la ciudad necesita una red que permita aportar la energía requerida por estos vehículos. En la carga eléctrica debe de implementarse puntos en los diferentes centros comerciales, gasolineras y oficinas donde los consumidores de los vehículos eléctricos logren recargar sus vehículos sin problema. Por otro lado, se ve a simple vista la gran falta de consenso entre los fabricantes sobre la estandarización de componentes como baterías, puestos de carga entre otros, lo que entorpece la universalización y desarrollo de la red de suministro. (Antúñez et al., 2012).

Antúñez & Perea (2012) afirman que una de las principales barreras comerciales del vehículo eléctrico es la batería por su limitada autonomía frente al vehículo de combustión interna; ya que en el vehículo eléctrico la batería contiene menor capacidad de energía frente al carburante fósil. Un ejemplo es la distancia recorrida por un carro Diesel el cual es de 1.200 Km sin necesidad de recargar; mientras que el vehículo eléctrico no ofrece una autonomía superior a los 150 Km. Otra limitante es el tiempo de recarga de las baterías; la cual obliga al vehículo a permanecer estacionado entre 6 y 8 horas para completar un ciclo de recarga. Según Mata (2010) los vehículos eléctricos están diseñados para su utilización con un mejor rendimiento en zonas urbanas porque la velocidad en las áreas urbanas es limitada y las paradas como las puestas en marcha son continuas, con una autonomía entre 65 y 160 Km la cual cubre el desplazamiento diario de los consumidores en su vida cotidiana. Mata (2010) afirma que uno de los problemas para la implementación de toma de recarga es la comunidad de vecinos los cuales se oponen a su instalación porque piensan en los costes que aumentan al momento de recargar el vehículo.

Todo lo anterior lleva a concluir que los vehículos eléctricos a pesar de sus desventajas pueden llegar a satisfacer las necesidades y exigencias de la movilidad personal que hoy en día cubre un vehículo de combustión interna.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcaldía Mayor de Bogotá (2014). Secretaria de Ambiente, Informe de sostenibilidad.
- Alcaldía Mayor de Bogotá (2016). Secretaria de Ambiente. Datos e indicadores, para medir la calidad del ambiente en Bogotá. Recuperado el 03 de Octubre de 2017 de: <http://oab2.ambientebogota.gov.co/es/indicadores?id=272&v=l>
- Ávila Mogollón, L. M. (2000). El AHP (Proceso Jerárquico Analítico) y su aplicación para determinar los usos de las tierras. El caso de Brasil. Santiago: Proyecto GCP/RLA/126/JPN.
- Asociación Española de operadores de productos petroleros. Combustibles de automoción. Revisión y análisis comparativo de diferentes opciones. (2015). Recuperado el 28 de abril de 2017 de: [http://gasnam.es/wp-content/uploads/2016/02/Estudio-comparacion-carburantes-auto-\\_AOP-def2.pdf](http://gasnam.es/wp-content/uploads/2016/02/Estudio-comparacion-carburantes-auto-_AOP-def2.pdf).
- Berumen, Sergio A. Llamazares Redondo Francisco (2007). La utilidad de los métodos de decisión multicriterio en un entorno de competitividad creciente.
- Gaitán M, Cancino J, Beheretz E. (2007). Análisis del estado de la calidad del aire en Bogotá. Recuperado el 28 de abril de 2017 de: <http://www.scielo.org.co/pdf/ring/n26/n26a11.pdf>.
- Hennessey, Alejandra.(2014). Estrategias de mercadeo para impulsar la comercialización de carros eléctricos en Bogotá.
- Lu, J. 2007. Decision Making. En: Multi – Objective Group Decision Making: methods, software and applications with fuzzy set techniques. Sydney, Imperial College

Press. pp. 3-15.

- Montezuma, Ricardo. (2009). Revista Análisis del perfil de Salud Urbana en Bogotá. Organización Mundial para la Salud.
- Morales Q, Blas. (2014). Modelo de masificación de vehículos eléctricos en Bogotá D.C. Recuperado el 15 de Mayo de 2017. De <http://www.bdigital.unal.edu.co/48580/1/73575424.2015.pdf>
- Norregaard John, Reppelin- Hill Valerie. (2000). Control de la Contaminación, mediante el uso de impuestos y licencias negociables. Recuperado el 9 de mayo de 2017 <https://www.imf.org/external/pubs/ft/issues/issues25/esl/issue25s.pdf>.
- Salas Villegas, V. S. (2011). Modelo de priorización de proyectos de inversión pública con enfoque multicriterio: caso SEMAPA. Perspectivas, No. 28 (julio-diciembre), p. 63-90. Recuperado el 12 de abril de 2017 de: <http://www.redalyc.org/pdf/4259/425941257004.pdf>.
- Stanislav Peregrin, Josef Jablonsky. 2016 Analytic hierarchy process as a tool for group evaluation of healthcare equipment. International Journal of Business and Systems Research 10:2-4,124-141. Online publication date: 4-Apr-2016.
- Thomas L. Saaty, 1980. The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation.
- Trentadue Carlos, Carranza Hugo (2014). La eficiencia energética en el transporte. Recuperado el 13 de Mayo del 2017 de: [http://www.petrotecnica.com.ar/octubre2014/Pdfs\\_SIN\\_Public/LaEficiencia.pdf](http://www.petrotecnica.com.ar/octubre2014/Pdfs_SIN_Public/LaEficiencia.pdf).
- Toskano Hurtado, G. B. (s.f.). El proceso de análisis jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores. Tesis Digitales UNMSM. Recuperado el 10 de Abril de 2017 de:

[http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/Tesis/Basic/toskano\\_hq/cap3.PDF](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/Tesis/Basic/toskano_hq/cap3.PDF) .

- Uribe (2011, 17 de Mayo). Debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas sobre el planteamiento de la energía eléctrica como alternativa para el transporte en Colombia. Recuperado de: <http://biblioteca.uniminuto.edu/ojs/index.php/Inventum/article/view/7/7>.

- Zanazzi, J. 2003. Anomalías y supervivencia en el método de toma de decisiones de Saaty. En: Problemas del conocimiento en ingeniería y geología. Córdoba, Editorial Universitas. pp. 148- 170.