

Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, FLACSO Ecuador
Departamento de Desarrollo, Ambiente y Territorio
Convocatoria 2014 – 2016

Tesis para obtener el título de maestría en Economía del Desarrollo

Instrumentos económicos para mejorar la calidad del aire en Quito: una aplicación a la
compra de vehículos más eficientes

Franklin David Macas Romero

Asesora: María Cristina Vallejo

Lectores: María de los Ángeles Barrionuevo y Francisco Rosales

Quito, diciembre de 2017

Dedicatoria

A mi madre y a mi hermana.

A los amigos de antes, de ahora, y de siempre.

A mí.

Epígrafe

“Los seguidores de Pitágoras [...] pensaban que la Tierra se situaba en el centro de las diez esferas perfectas del universo, cuyos movimientos producían una música armoniosa [...]. La tierra, el aire, el agua y los seres vivos del planeta han funcionado durante años en una armonía compleja y evolutiva, salpicada de tarde en tarde por algunas colisiones con asteroides. La acción humana ha añadido una nueva voz a esa armonía, una voz de sonido suave y compatible con las demás en un primer momento pero que, al final, ha entrado en conflicto con la música de las esferas. [De este modo, la humanidad] ha hecho sentir su influencia en la escala más pequeña y en la más grande.”

John Robert McNeill

Tabla de contenidos

Resumen	IX
Agradecimientos	X
Introducción	1
Capítulo 1	8
Marco Teórico	8
Introducción.....	8
1. Externalidades	9
1.1 El tratamiento de las externalidades	9
2. ¿Se puede influir en las elecciones de los agentes?	16
2.1 Planteamiento neoclásico: racionalidad de las preferencias	17
2.2 Planteamiento conductual: ¿de qué dependen las decisiones de un individuo?.....	18
2.3 Comportamiento del agente y calidad ambiental	21
3. Política ambiental basada en la conducta: ¿El camino hacia la sustentabilidad?	24
3.1 Instrumentos de gestión en política ambiental	25
3.2 Implicaciones de la conducta de los agentes en el ambiente	27
Capítulo 2	34
Calidad del aire y movilidad en áreas urbanas, el caso de Quito	34
Introducción.....	34
1. Contaminación del aire en áreas urbanas	35
1.1 Gestión de la calidad del aire: enfoques y conceptos	36
1.2 Movilidad urbana y su contribución a la contaminación atmosférica.....	42
2. Ciudades, movilidad y calidad del aire	48
2.1 Ciudad de Quito.....	48
3. A modo de conclusión.....	55
Capítulo 3	57
¿Cuánto afecta un incentivo a las compras de vehículos y a la calidad del aire en Quito?	57
Introducción.....	57
1. Metodología para la elección y compra de vehículos en Quito	58
1.1 Propuesta metodológica de Michel Mueller y Peter de Haan para la elección y.....	59
compra de nuevos vehículos	59
1.2 Estructura del modelo de simulación para la ciudad de Quito	73
2. Calidad del aire y tráfico vehicular en Quito con la aplicación de un subsidio	74

2.1 Descripción de la flota vehicular.....	76
2.2 Emisiones contaminantes	79
3. Evaluación de medidas alternativas al subsidio	82
3.1 Descripción de la flota vehicular.....	84
3.2 Emisiones contaminantes	86
4. Discusión de resultados.....	88
Conclusiones	91
Nuevas perspectivas en la valoración de la contaminación del aire	91
1. ¿Cuánto aporta el subsidio a la calidad del aire en Quito?	95
2. Proyección de la medida: cómo funciona el subsidio en otras ciudades.....	96
3. Alternativas de política al subsidio	99
4. Recomendaciones de política.....	101
5. Alcances de la investigación y planteamientos para futuras investigaciones	102
Anexos	105
Lista de referencias	108

Ilustraciones

Figuras

1.1. Efecto de los impuestos a nivel individual y agregado	15
1.2. Efecto de los subsidios a nivel individual y agregado	16
2.1. Modelo para la gestión de la calidad del aire	37
2.2. Proceso de medición de emisiones.....	39
2.3. Opciones de monitoreo.....	40
2.4. Instrumentos de gestión para reducir emisiones del tráfico vehicular	46
3.1. Estructura del modelo de simulación	73
3.2. Variación de demanda de vehículos según categorías de peso	78
3.3. Variación de demanda de vehículos según categorías de potencia.....	78
3.4. Variación de demanda de vehículos según categorías de emisiones	81
3.5. Variación de demanda de vehículos según categorías de peso	85
3.6. Variación de demanda de vehículos según categorías de emisiones	88

Tablas

1.1. Conceptos y teorías asociados a la racionalidad limitada	20
1.2. Análisis de la construcción de política ambiental de acuerdo con Arild Vatn.....	23
1.3. Variación del desempeño de la política ambiental en diferentes marcos conductuales	26
1.4. Estudios que vinculan la economía conductual y la economía ambiental	29
2.1. Efectos de los gases producidos por los gases del tráfico vehicular	44
2.2. Incentivos e instrumentos económicos: un estudio	47
2.3. Medición y monitoreo de la calidad del aire en Quito	50
2.4. Tratamiento de la contaminación producida por el tráfico en la ciudad de Quito	51
2.5. Emisiones contaminantes del tráfico vehicular privado en Quito.....	54
3.1. Caracterización de la población artificial.....	62
3.2. Distribución de los hogares reales de Quito por nivel de ingreso y tipos de hogar.	62
3.3. Proporción de los hogares en la ciudad de Quito	63
3.4. Distribución de los hogares artificiales de Quito	63
3.5. Caracterización del conjunto universal	64
3.6. Características técnicas evaluadas en la ponderación multifactorial de Mueller.....	67
y de Haan (2009).....	67

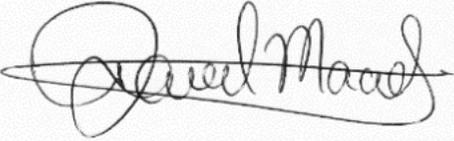
3.7. Características técnicas evaluadas en el modelo logit multinomial para la ciudad.....	68
de Quito.....	68
3.8. Variables sociodemográficas que caracterizan la población quiteña	71
3.9. Características técnicas que describen la flota vehicular	72
3.10. Participación en ventas de vehículos durante el año 2013	75
3.11. Composición de flota vehicular según tipo de propulsión	76
3.12. Efectos estimados sobre algunas características técnicas de los vehículos.....	77
3.13. Efectos estimados sobre el nivel de emisiones promedio	79
3.14. Estimación del desempeño de la medida.....	80
3.15. Desempeño ambiental del subsidio	82
3.16. Composición de flota vehicular según tipo de propulsión	84
3.17. Efectos estimados sobre algunas características técnicas de los vehículos.....	85
3.18. Efectos estimados sobre el nivel de emisiones promedio	86
3.19. Estimación del desempeño de las medidas	87
3.20. Desempeño ambiental de las medidas alternativas	88
A.1. Cronología de modelos de elección de vehículos de hogares en Europa.....	106

Declaración de cesión de derecho de publicación de la tesis

Yo, Franklin David Macas Romero, autor de la tesis titulada “Instrumentos económicos para mejorar la calidad del aire en Quito: una aplicación a la compra de vehículos más eficientes”, declaro que la obra es de mi exclusiva autoría, que la he elaborado para obtener el título de maestría en Economía del Desarrollo concedido por la Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, FLACSO Ecuador.

Cedo a la FLACSO Ecuador los derechos exclusivos de reproducción, comunicación pública, distribución y divulgación, bajo la licencia Creative Commons 3.0 Ecuador (CC BY-NC-ND 3.0 EC), para que esta universidad la publique en su repositorio institucional, siempre y cuando el objetivo no sea obtener un beneficio económico.

Quito, diciembre de 2017

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Franklin Macas', written over a horizontal line. The signature is enclosed in a light gray rectangular box.

Franklin David Macas Romero

Resumen

En esta tesis se estima el efecto de un subsidio, dirigido a incentivar la compra de automotores con mayor eficiencia en el consumo de combustible, sobre el nivel de emisiones contaminantes producidas por la flota de vehículos nuevos que se integra al tráfico quiteño. Este trabajo inicia con una revisión de las teorías que se han elaborado en torno al tratamiento de externalidades y los procesos de elección de los agentes, así como sus implicaciones y limitaciones en el ámbito de la política ambiental, referida, en este caso, a la contaminación atmosférica producida por el tráfico vehicular. En este sentido, la fundamentación teórica que se presenta es novedosa en la ciudad de Quito, pues no se conoce de estudios que hayan abordado el problema de la contaminación atmosférica producida por los automotores con un enfoque conductual. La estimación de los efectos del subsidio se logra a través de una simulación basada en agentes con racionalidad limitada, que sigue los lineamientos metodológicos propuestos por Michel Mueller y Peter de Haan (2009) para predecir los efectos de instrumentos de política dirigidos a influir sobre las elecciones de vehículos que hacen los hogares, recurriendo a un modelo de elección de dos etapas (no compensatoria y compensatoria). Esta simulación emplea variables sociodemográficas y de posesión de vehículos de los hogares quiteños para el año 2013, además de variables técnicas de los vehículos que estuvieron disponibles para la compra durante el mismo año. Los resultados de la simulación muestran que el subsidio no incide en el proceso de elección de los hogares quiteños, por lo que no puede considerarse una alternativa de política viable. Esto motiva la simulación de dos medidas alternativas al subsidio: la eliminación del subsidio a combustibles para vehículos particulares y el dominio de la conciencia ambiental en las decisiones de compra de los hogares. Estas medidas muestran un mayor grado de incidencia en el proceso de elección de los hogares respecto al subsidio: la eliminación del subsidio a combustibles tiene un mejor desempeño que el subsidio, pero su adopción está sujeta a la voluntad política de las autoridades; y, el dominio de la conciencia ambiental, por otro lado, tiene el mejor desempeño de las tres medidas, pero requiere de más investigaciones que comprueben los resultados obtenidos. Este trabajo permite explorar un enfoque alternativo en la formulación de políticas ambientales, centrado en la consideración de agentes con diferentes niveles de racionalidad, poniendo a prueba las concepciones actuales sobre el hombre económico y su vínculo con el ambiente.

Agradecimientos

A la Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, por darme la oportunidad de continuar con mi formación académica. A los profesores del programa de maestría, María Cristina, Wilson, Fernando, Nicolás, Roberta, Heike, Olga, y Marco, por los conocimientos y experiencias compartidos en las aulas.

A mi asesora, María Cristina Vallejo, por su apoyo durante la elaboración de este trabajo. A Francisco Rosales por las discusiones sobre la situación ambiental en la ciudad de Quito. A María de los Ángeles Barrionuevo por sus comentarios y sugerencias a la investigación.

Agradezco también a Cristina, Dayana, y Renier, por su cariño y compañía en esta aventura. A Sofía por todo el afecto y paciencia durante mi permanencia en FLACSO.

Finalmente, a Alexandra Espín de la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador, por su colaboración en la fase inicial de esta investigación.

Introducción

1. Antecedentes

Para controlar la contaminación atmosférica en el área urbana, producida por el tráfico vehicular, los gobiernos locales han emprendido diversos tipos de acciones que regulan el número de automotores en las vías, promueven revisiones técnicas periódicas, y motivan cambios en el modo de transporte habitual.

En las ciudades ecuatorianas, además de las medidas desarrolladas por cada gobierno local, se encuentran vigentes mecanismos adicionales de mitigación de la contaminación atmosférica, enfocados en incentivar la incorporación de vehículos con tecnología limpia, como son las exoneraciones arancelarias y tributarias a la compra de automóviles híbridos que se adoptaron en el año 2008.

En el caso específico del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), las medidas de mitigación de la contaminación del aire producida por los automotores, como la revisión técnica vehicular y el monitoreo de la calidad del aire, se vienen ejecutando desde la década de los 90; y, aunque inicialmente fueron concebidas como coadyuvantes al tratamiento de las emisiones contaminantes producidas por los vehículos enfocadas en la calidad ambiental, con el paso del tiempo este enfoque se trasladó a la movilidad, dificultando la posibilidad de generar alternativas a partir de su desempeño (Oviedo 2015).

Actualmente en Quito, el tráfico vehicular es considerado como la mayor fuente generadora de contaminantes del aire, siendo responsable del 98,5% de emisiones de monóxido de carbono (CO) y el 62,2% de emisiones de partículas sedimentables finas (PM_{2.5}) (Secretaría de Ambiente 2014). Esta situación parece no haber cambiado desde el 2011, cuando la ciudad se ubicó como una de las diez ciudades latinoamericanas con peor calidad del aire (Green y Sánchez 2013).

A pesar de los esfuerzos de las autoridades, el parque automotor quiteño continúa creciendo¹ y no se avizora una reducción en el nivel de concentraciones de emisiones contaminantes en

¹ Entre los años 1982 y 2000, el parque vehicular creció a un promedio del 5,70 %, mientras que entre los años 2001 y 2008 esta tasa se ubicó en un promedio anual del 9,53 % (Montalvo Gallo 2009). En este mismo ámbito,

el corto plazo, por lo que se hace necesario evaluar alternativas que motiven un cambio en la conducta de los agentes o modifiquen sus decisiones de compra.

Las medidas que actualmente forman parte de la estrategia de gestión de calidad del aire en la ciudad, como el *pico y placa* y la revisión técnica vehicular han sido diseñadas con un enfoque regulador caracterizado por el seguimiento y la aplicación de sanciones, sin considerar que también se pueden aplicar incentivos para lograr los mismos objetivos.

Es así que en este trabajo se propone modelar la aplicación de un incentivo a la compra de vehículos menos contaminantes como medida de mitigación de la contaminación atmosférica producida por los automotores partiendo del supuesto de agentes económicos con racionalidad limitada, cuyo proceso de toma de decisiones está condicionado por reglas de valoración compensatorias que responden a preferencias formadas en su entorno.

Una aproximación al tratamiento de los incentivos para influir en las decisiones de compra se puede encontrar en el estudio efectuado por Ye Feng, Don Fullerton y Li Gan (2013) quienes señalan que un incentivo dirigido a la compra de vehículos más eficientes se justifica por la dificultad de medir exactamente las emisiones individuales de los vehículos y por ende, la dificultad de gravar la contaminación bajo el principio de que “el que contamina paga”. Las dudas sobre el grado real de contaminación que produce un vehículo tienen lugar porque aún no se ha desarrollado la tecnología que permita medir sus emisiones individuales de manera confiable y eficiente; y algunos de los equipos que existen, *on-board diagnostic* por ejemplo, son demasiado costosos como para instalarlos en los miles de vehículos que forman parte del parque automotor de una ciudad; y aunque se podría optar por otros menos costosos, como sensores remotos, éstos no brindan datos suficientes que justifiquen gravar la contaminación que produce cada vehículo (Harrington y McConell 2003 en Feng, Fullerton y Gan 2013).

Asimismo, la admisión de agentes con racionalidad limitada en esta tesis se justifica en la necesidad de evaluar la implementación de políticas ambientales en un contexto en el que los individuos toman decisiones acudiendo a experiencias, información y conocimientos adquiridos previamente (Samson 2014). La inclusión del supuesto de racionalidad limitada

el Instituto Nacional de Estadística y Censos estimó que para el año 2010, la tasa de crecimiento del parque automotor fue del 5,4 % (INEC 2010).

plantea nuevas interrogantes en el diseño de instrumentos enfocados en la conducta de los agentes y su aplicabilidad como parte de una estrategia de gestión de calidad del aire, considerando que la evidencia sugiere que estos instrumentos deben formar parte de una política ambiental que pueda incidir en la formación de preferencias para promover conductas deseables en el largo plazo (Gsottbauer 2013, Vatn 2005).

De este modo, esta tesis constituye un aporte empírico en el área, referido al efecto que tienen las elecciones de vehículo del agente en el nivel de contaminación atmosférica en la ciudad.

Las preguntas de investigación que serán abordadas son: ¿Qué efecto tendrá un subsidio dirigido a promover la compra de vehículos con mayor eficiencia², en el nivel de emisiones atmosféricas de la ciudad de Quito? ¿Qué implicaciones supone este instrumento para el diseño de la política ambiental de la ciudad?

Para responder estas preguntas se establece la siguiente hipótesis de trabajo:

Un instrumento económico dirigido a incentivar la compra de vehículos menos contaminantes motivará su incorporación al tráfico vehicular quiteño, pero su aplicación podría provocar una expansión del parque automotor en la ciudad, con resultados contraproducentes en términos de emisiones contaminantes.

2. Objetivo general de la investigación

Estimar el efecto que tendría un subsidio dirigido a promover la compra de vehículos con mayor eficiencia en el consumo de combustible, sobre el nivel de emisiones atmosféricas en la ciudad de Quito.

3. Objetivos específicos de la investigación

- Explorar los efectos de los subsidios como instrumentos de política ambiental dirigidos al tratamiento de la contaminación atmosférica producida por los automotores en el área urbana; a fin de establecer la efectividad de los mismos.

² En esta tesis la eficiencia se entiende como la reducción del consumo de gasolina por unidad de movimiento (Gwilliam, Masami y Johnson 2004).

- Analizar el comportamiento de compra de los agentes desde la teoría económica neoclásica y la corriente conductual, para comprender las implicaciones de cada una en la formulación de políticas ambientales.
- Evaluar el efecto en el nivel de emisiones contaminantes, que se deriva de un subsidio dirigido a promover la compra de vehículos más eficientes en la ciudad de Quito, a través de una micro – simulación.
- Proponer recomendaciones de políticas ambientales en base a los resultados del trabajo empírico desarrollado.

4. Alcance

Este trabajo evalúa datos e información sobre la demanda de automotores, y el uso y posesión de vehículos correspondientes al año 2013 en la ciudad de Quito.

En lo referente a las medidas adoptadas por el gobierno de la ciudad para mitigar el efecto de la contaminación atmosférica producida por los automotores, se mencionan aquellas vigentes en el período de estudio.

5. Metodología

La evaluación de la hipótesis de trabajo se hará a través de la modelación de un escenario hipotético, en el cual se introduce un subsidio que motiva la compra de vehículos más eficientes en el consumo de combustible, para luego estimar los efectos sobre la cantidad de emisiones contaminantes a la atmósfera. Esta evaluación se hace empleando un modelo de simulación basada en agentes, y considerando al subsidio como única medida de mitigación de la contaminación atmosférica producida por los automotores.

Esta herramienta permite abordar el problema desde una perspectiva conductual, admitiendo que los individuos poseen racionalidad limitada³ y que ésta condiciona la elección que hacen. Los modelos basados en agentes permiten abordar la heterogeneidad que subyace a este tipo de problemas en específico, y suponen una estrategia válida para replicar la elección y compra

³ Para efectos de esta tesis, se entiende a la racionalidad limitada como una simplificación de decisiones, esto es, planteando restricciones para hacer una valoración no compensatoria previa de algunas de las características de los vehículos.

de vehículos (como sugiere la evidencia⁴), por lo que se propone adaptar la propuesta metodológica que mejor se ajusta a los requerimientos planteados.

Es así que el modelo de simulación que se emplea para cumplir los objetivos de esta tesis se construye a partir de los lineamientos del modelo de los investigadores Michel Mueller y Peter de Haan (2009): “¿Cuánto afectan los incentivos a la compra de vehículos? Simulación basada en agentes de la elección de vehículos nuevos”; el cual consiste en una micro simulación a nivel de hogares que evalúa la forma en que los incentivos influyen en la elección y compra de vehículos, entendiendo el proceso como un modelo de decisión de dos etapas, en el que tiene incidencia la racionalidad limitada de los agentes.

La simulación funciona como un modelo logit multinomial, en el que un hogar elige el vehículo que comprará evaluando las alternativas de un conjunto que ha sido construido específicamente para el referido hogar, empleando su información sociodemográfica y las reglas de compensación no económicas, referidas a las preferencias sobre el tipo de combustible con el que funcionará el automotor, y que actúan como límites a la racionalidad de los agentes. Asimismo, todas las compras que se simularán se consideran nuevas, es decir, que todas se realizan por primera vez y no para reemplazar otro vehículo.

El procedimiento contempla la doble ejecución del modelo: la primera ejecución sirve para construir una línea base que servirá como punto de comparación para el análisis posterior, la segunda ejecución se realiza considerando la incidencia del instrumento que se va a evaluar. Los resultados de ambas ejecuciones se comparan luego, para estimar los efectos de la adopción y puesta en marcha del instrumento propuesto en esta tesis.

6. Estructura de la investigación

Esta tesis de investigación se organiza en cuatro capítulos. En el primer capítulo se abordan los fundamentos teóricos que sostienen el problema de investigación, y dentro del cual se

⁴ Entre los estudios que se han elaborado en este ámbito destacan los siguientes: modelo de elección de vehículos, como parte del reporte de Medidas fiscales para reducir el nivel de emisiones de CO₂ (COWI 2002); Comparación de modelos de posesión de vehículos (de Jong et al 2004); modelos alternativos de conducta individual y sus consecuencias para la política ambiental (Van den Bergh et al 2000); Medidas que promocionan vehículos con mayor eficiencia energética: diseño de opciones para entender a los compradores y los posibles efectos secundarios; Actitudes ambientales y carga a las emisiones: un ejemplo de implicaciones de política en la elección de vehículos (Beck, Rose y Hensher 2013).

contrastan las concepciones, neoclásica y conductual del agente económico. El capítulo parte con el análisis de la teoría de externalidades y sus alternativas de tratamiento basadas en la noción de un agente racional, y admitiendo la contaminación ambiental como una falla de mercado. En un segundo apartado se revisan los argumentos que sustentan la visión conductual del agente económico, la admisión de límites en su racionalidad, y cómo ésta afecta el diseño y formulación de políticas ambientales enfocadas en incentivar una conducta menos agresiva con el ambiente.

En el segundo capítulo se aborda el problema de la contaminación atmosférica producida por el tráfico vehicular en la ciudad de Quito, sus efectos a nivel económico, social y ambiental, así como también las medidas que se han puesto marcha para mitigar sus efectos. El capítulo consta de dos partes: en la primera se hace un abordaje conceptual de la gestión de la calidad del aire en las ciudades, y se presentan las diferentes alternativas que podrían emplearse para lograr una reducción significativa del nivel de emisiones a la atmósfera, con énfasis en aquellas que sirven para tratar la contaminación que producen los vehículos; en la segunda parte, se revisan con mayor detenimiento las medidas que actualmente se encuentran en marcha en la ciudad de Quito, su desempeño durante el período 2010 – 2015, y su proyección hacia el futuro, considerando que algunas han producido resultados contrarios a los esperados.

El tercer capítulo comprende la estrategia metodológica que se empleará en esta tesis para evaluar la hipótesis de trabajo. En un primer apartado se presentan los lineamientos metodológicos de la propuesta de los investigadores Michel Mueller y Peter de Haan: una simulación basada en agentes para entender cuánto influyen los incentivos en las decisiones de compra de los hogares, y los efectos que estas decisiones pueden tener sobre la composición del parque automotor y el nivel de emisiones contaminantes, para luego pasar a la descripción de la estrategia que se seguirá para adaptar esta propuesta al contexto quiteño. La segunda parte del capítulo corresponde a la presentación de los resultados de la simulación de la aplicación del subsidio a vehículos menos contaminantes, y de la aplicación de dos medidas alternativas a este subsidio: la eliminación del subsidio a los combustibles a vehículos particulares y el dominio de la conciencia ambiental sobre las decisiones de compra de los hogares.

Finalmente, en el cuarto capítulo, se presentan las conclusiones de este trabajo. Este capítulo se complementa con la presentación de un resumen de los resultados a la luz de la pregunta de

investigación, la elaboración de recomendaciones de política, y la proyección que tiene este trabajo en el desarrollo de futuras investigaciones.

Capítulo 1

Marco Teórico

Introducción

En esta tesis se propone la evaluación potencial del efecto de un instrumento de política ambiental, admitiendo la racionalidad limitada de los individuos, para valorar una nueva perspectiva de tratamiento de las externalidades que contribuya a mejorar la calidad del entorno natural en el que se desarrollan las diferentes actividades de producción y consumo. De este modo, el objetivo del primer capítulo es contextualizar teóricamente el tratamiento de externalidades, considerando para ello, las propuestas que se han desarrollado desde la teoría económica tradicional, y el desarrollo de nuevos enfoques de análisis planteados por la economía conductual.

Así, en un primer apartado se expone la teoría de las externalidades, y se busca entender la forma en que, desde una visión neoclásica, la presencia de contaminación ambiental es concebida como una falla de mercado que puede tratarse a partir de la asignación de derechos de propiedad que faciliten una posterior negociación (siguiendo el enfoque de Ronald Coase), o a través de la intervención del estado con impuestos (de acuerdo con la propuesta de Arthur Pigou) o subsidios.

No obstante, la literatura revisada sugiere que ninguno de los mecanismos diseñados bajo estos planteamientos supone una herramienta efectiva para tratar las externalidades, por lo que en un segundo apartado se presentan los fundamentos de la economía conductual que adjudican una racionalidad limitada a los agentes y permiten explicar por qué los instrumentos empleados actualmente en la política ambiental no tienen el efecto deseado (cuando se evalúan en términos agregados). Esto último es posible, gracias a que la economía conductual ha incorporado en su análisis, supuestos *más realistas* sobre el comportamiento de los agentes, al que, sin embargo, considera invariable en el tiempo (lo que constituye una limitación en la capacidad analítica de este enfoque) y todavía enmarcado en el paradigma neoclásico.

En una tercera sección se explora cómo a partir de los planteamientos de la economía conductual, surge el interés por diseñar instrumentos de política ambiental (alternativos o complementarios a los ya existentes) que consideren aspectos como: la incidencia que tienen

las actitudes y hábitos de los agentes en sus decisiones de compra, y la influencia de normas sociales de conducta en sus elecciones, todo esto, con el fin de elaborar estrategias que permitan *atacar* efectivamente los problemas ambientales. En esta sección se analizan también la pertinencia y viabilidad de la aplicación de estos nuevos criterios en la formulación de políticas ambientales considerando que la propuesta conductual aún adolece de limitaciones teóricas.

De este modo queda sentado que las propuestas de tratamiento de externalidades que se presentan, implican una valoración monetaria del ambiente y responden a criterios enmarcados en la sostenibilidad débil, los cuales se muestran enfocados en *proveer soluciones* que se encuentren integradas al sistema económico, mientras contribuyen a remediar la degradación, de la cual ha sido víctima, el ambiente.

1. Externalidades

Las externalidades describen una situación en la que los efectos de la producción y el consumo de bienes y servicios, generan costos o beneficios que no están incluidos en los precios que se les ha asignado (OECD 1993).

Es por esto que Charles Wolf (1987) cataloga a las externalidades como una falla de mercado, y señala que su análisis, tal como se ha planteado, está incompleto (Wolf 1987, Bator 1958), pues las deficiencias en los procesos de producción y consumo generan resultados *inesperados* además de aquellos para los que fueron diseñados, violan las condiciones de equilibrio, y no se estaría alcanzando un verdadero punto óptimo al dejar fuera del análisis a los costos o beneficios adicionales, a nivel individual y social, que se generan en la producción y el consumo (Baumol y Oates 1988, Wolf 1987, Bator 1958, Pigou 1924).

Así, las externalidades constituyen un área crítica dentro del análisis económico, y generan constantes debates sobre la efectividad de los instrumentos utilizados en su tratamiento (Winterbotham 2012, Colander 2015).

1.1 El tratamiento de las externalidades

Aunque el tratamiento de las externalidades no puede considerarse reciente (las primeras ideas bosquejadas datan del siglo XVIII), destaca, sin embargo, el despegue de su importancia a finales de los años 60, y su consolidación en los años 70 luego de la Conferencia de las

Naciones Unidas sobre Medio Ambiente en Estocolmo en 1972, cuando el término “externalidad” empezó a ser utilizado para catalogar a la contaminación ambiental, que ya se consideraba un resultado colateral a los procesos de producción (Leff 2002, Schumacher 1978). De esta forma, el tratamiento de externalidades se transformó en una cuestión ambiental, y agregó una nueva categoría de análisis en su estudio, que antes estuvo enfocado únicamente en los resultados económicos de las actividades humanas⁵.

Alfred Marshall y Arthur Pigou fueron los primeros en extender y profundizar el análisis de los resultados de los procesos de producción (Arthur Pigou es el primero en catalogar a los problemas ambientales como externalidades), y los distinguen como positivos o negativos, además de tangibles a nivel social e individual, advirtiendo que merecen mayor atención si se deseaba alcanzar eficiencia en los mercados (Winterbotham 2012, Pigou 1924).

William Baumol (1988) cuestiona este análisis unidimensional –desde la perspectiva de la producción– y su extensión hacia los problemas ambientales (con especial énfasis en la contaminación ambiental) señalando éstos no se pueden atacar a través de instrumentos enfocados en alcanzar la eficiencia en los mercados y que se requiere de una comprensión más profunda de lo que verdaderamente ocurre, pues los modos de producción no son los únicos culpables, sino que existe un nivel de agencia individual que a veces se desconoce pues afectaría al motor del modelo capitalista: el consumo (Schumacher 1978).

Así, a pesar de los cuestionamientos al análisis de las externalidades, se reconoce que éstas pueden tratarse por la corriente pigouviana, a favor de la intervención del Estado, o la corriente coaseana, a favor de la asignación de derechos para lograr resultados óptimos a través de una negociación (Martínez-Alier y Roca Jusmet 2001, Winterbotham 2012); lo que en ambos casos supone la transformación de los problemas ambientales en mercados que requieren alcanzar resultados óptimos.

1.1.1 Solución vía intervención del Estado

Arthur Pigou profundizó el análisis de las externalidades que inició Alfred Marshall, y fue quien lo incluyó dentro de una parte de la economía calificada como del bienestar, cuyo

⁵ Adam Smith, en su obra “*La riqueza de las naciones*” recomendaba sufragar los costos que generaban la justicia, la educación y la formación religiosa, debido al alto beneficio social que suponía su ejecución (Smith 1776).

argumento principal sostiene que “es posible elevar la eficiencia del sistema económico y mejorar las condiciones de vida de la gente” con la intervención del estado, porque así, se pueden obtener resultados óptimos en un contexto de equilibrio de Pareto (Mishan y Quah 2007).

La propuesta de Arthur Pigou no sólo destacó por la asignación de un papel regulador al Estado, sino también porque sugirió una solución al problema de la contaminación ambiental bajo el principio de ‘el contaminador paga’, con el fin de que las empresas contabilicen el valor monetario del impacto ambiental que genera su modo de producción y consumo (Sandmo 2015, Martínez-Alier y Roca Jusmet 2001). Entonces, se puede indicar que esta visión busca “armonizar decisiones privadas con intervención estatal” (Winterbotham 2012) a través de instrumentos económicos (impuestos y subsidios) que contribuyan a la obtención de resultados eficientes (Bator 1958).

Arthur Pigou se enfocó principalmente en la aplicación de impuestos para el abatimiento de la contaminación ambiental, pues consideraba que ésta era una forma adecuada de asignar responsabilidades por la degradación ambiental producida por los procesos de producción, lo que a criterio de Bator (1958), corresponde a una apreciación acertada de las externalidades relacionadas con los modos de producción y consumo, o tecnológicas⁶, pero a una muy alejada de las externalidades que se producen por cambios en el sistema de precios, o pecuniarias⁷, puesto que éstas se solucionan a través de mecanismos de mercado naturalmente eficientes, y la aplicación de su propuesta produciría resultados ineficientes (Winterbotham 2012, Bator 1958). Con este argumento, Ronald Coase y otros críticos de la propuesta pigouviana, se dedicaron a la búsqueda de una alternativa que no afecte los mecanismos que subyacen en el tratamiento de externalidades pecuniarias, desarrollando así una propuesta de tratamiento considerando costos de transacción (Medema 2014, Coase 1960).

⁶ Las externalidades tecnológicas aparecen: *a*) en la *producción*: cuando el producto final de una firma depende de los factores de producción que ha utilizado y del producto final y factores de producción utilizados por otra firma o grupo de firmas; y *b*) en el *consumo*: cuando la utilidad de un consumidor, en función de una canasta de bienes o servicios, se ve afectada por el consumo de otros agentes. Aquí hay interdependencia física directa (Scitovsky 1954).

⁷ La principal diferencia con las externalidades tecnológicas, es que las externalidades pecuniarias están relacionadas con el intercambio y pueden darse como resultado de una externalidad tecnológica. Así, éstas ocurren cuando un incremento del consumo de un bien produce un cambio de precio que afecta el bienestar de otros agentes, sin necesidad de que los bienes se encuentren relacionados físicamente (Oleas 1994, Robert 2012, Scitovsky 1954).

1.1.2 Solución vía asignación de derechos de propiedad

Hasta 1960 las externalidades habían sido tratadas únicamente con la perspectiva pigouviana, que, aunque presentaba algunas deficiencias (Bator 1958, Coase 1960 en Winterbotham 2012), suponía un mecanismo útil para gestionar los efectos secundarios generados por las actividades económicas (Baumol 1988). Ese año, Ronald Coase presentó una propuesta alternativa a la visión intervencionista de Pigou y Marshall, fundamentada en el derecho, argumentando que se pueden obtener resultados óptimos a través de una negociación privada, siempre que se hayan definido los derechos de propiedad de cada una de las partes sobre los recursos, cuyo aprovechamiento está en juego (Winterbotham 2012, Coase 1960).

La propuesta de Ronald Coase es coherente con la visión economicista de la contaminación ambiental porque la transforma en un mercado (Dales 1968, Crocker 1966) en el que el agente puede comparar los valores que pierde al *ceder* en sus derechos de producir o consumir, con aquellos que pierde al generar contaminación (Martínez-Alier y Roca Jusmet 2001). En esta afirmación subyace una importante contribución de Coase al análisis de las externalidades: el concepto de costos de transacción, que dependiendo de su valor afectan el resultado de la negociación (Medema 2014); de este modo, sus argumentos dieron paso a la construcción de un teorema⁸ que puede enunciarse como sigue: “en ausencia de costos de transacción, el resultado económico [de una negociación, que sea viable⁹,] es siempre el mismo (y eficiente), con independencia de cómo se distribuyan los derechos [de propiedad] iniciales, siempre que [...] estén claramente definidos” (Martínez-Alier y Roca Jusmet 2001).

La precondition de costos de transacción iguales a cero, constituye un punto de inflexión que da paso al cuestionamiento de la propuesta coaseana como mecanismo válido para el tratamiento de externalidades ambientales, puesto que sólo podría ser aplicado cuando la degradación ambiental sea reversible en cierto grado (esto es, que se logre recuperar la diversidad biológica o la salud de un ambiente que se ha visto comprometido negativamente por las actividades humanas), o se acuerden niveles de afectación ambiental (a través de

⁸ El *Teorema de Coase* apareció gracias a Joseph Stigler, quien utilizando como base el artículo que Ronald Coase publicó en 1960 (*El problema del costo social*), promovió la aplicación de la negociación coaseana como mecanismo efectivo para obtener resultados eficientes (Medema 2014).

⁹ La viabilidad de la negociación hace referencia a una situación que se conoce como “monopolio bilateral”, que requiere que los agentes que intervienen en la negociación se pongan de acuerdo en los términos precisos del contrato que están por cerrar. Esta definición considera una situación donde sólo participan dos agentes (Martínez-Alier y Roca Jusmet 2001).

contratos, o permisos de contaminación) (Martínez-Alier y Roca Jusmet 2001), probando que el enfoque mercantilista del ambiente no puede, ni va a contribuir con el fin de la degradación ambiental (Schumacher 1978).

1.1.3 Intervención o negociación: ¿qué alternativa trata “mejor” las externalidades?

Como se expone en los apartados correspondientes a las propuestas de intervención y negociación, ambas comparten el mismo objetivo: valorar monetariamente las externalidades negativas para reducir su impacto sobre el ambiente; asimismo, cada una emplea un punto de partida diferente: la intervención pigouviana, parte del cálculo de la diferencia entre el producto marginal social y el producto marginal privado, mientras la negociación coaseana, parte de la definición de los derechos de propiedad sobre los recursos, lo que en ambos casos produce un cuestionamiento: ¿qué propuesta cumple efectivamente su objetivo?

En el primer caso, la intervención se materializa a través de impuestos o subsidios, que pretenden influir sobre la conducta de los agentes económicos, para lograr los objetivos ambientales, referentes, en su mayoría, a la contaminación y posterior degradación ambiental, pues ya se ha demostrado que los modelos de producción y consumo, requieren de un cierto grado de “intrusión”, para adecuarlos a la realidad que atraviesa el ambiente (Sandmo 2015).

Esta perspectiva ha demostrado, tener un nivel de efectividad aceptable, pues permite gestionar el problema relativamente pronto, dado que los instrumentos que emplea, se sostienen sobre una base teórica que garantiza el cumplimiento de los criterios de evaluación de su desempeño, en términos de eficiencia y equidad, y su puesta en marcha tiene un bajo costo (Hitchcock, y otros 2014). No obstante, esta propuesta ha sido criticada por “alterar” los mecanismos de ajuste que permite al mercado alcanzar un óptimo de Pareto (Medema 2014).

Es por esto último que la propuesta de Ronald Coase (1960), adquiere importancia, pues se sostiene sobre la idea de que la asignación de derechos de propiedad sobre un recurso natural, permitirá alcanzar el bienestar social, toda vez que se haya llevado a cabo una negociación entre quienes tienen algún tipo de disputa sobre dicho recurso.

Así, en el segundo caso, se aprecia una predilección hacia instrumentos que permitan llevar a cabo la negociación con cero costos de transacción, dado que esta condición debe cumplirse para que la negociación sea considerada viable. Aparecen entonces mecanismos mercantiles,

que lejos de contribuir a la preservación de la naturaleza, la convierte en una mercancía, pues se le otorga un valor monetario que facilita el logro de un acuerdo sobre el uso y explotación de recursos, cuya propiedad ha sido adjudicada por anticipado (Sandmo 2015).

Responder a la pregunta que se planteó al inicio de este apartado no resulta fácil, pues al destacar los aspectos favorables sobre una u otra perspectiva, se justifican implícitamente sus fallas, y se toman por ciertas, algunas apreciaciones específicas sobre los agentes económicos y su conducta en este tipo de situaciones; de tal manera, que si se debe escoger una de estas propuestas sobre la otra, la visión intervencionista de Pigou sería la ganadora, pues su planteamiento es más coherente con el objetivo de preservación de la naturaleza, y aunque sus instrumentos son cuestionados por su limitada vida útil, su fundamentación teórica constituye uno de los aportes más importantes a la economía y la forma en que puede gestionar las externalidades que producen los modos de consumo y producción.

¿Gravar o subsidiar? Ideas en torno al debate

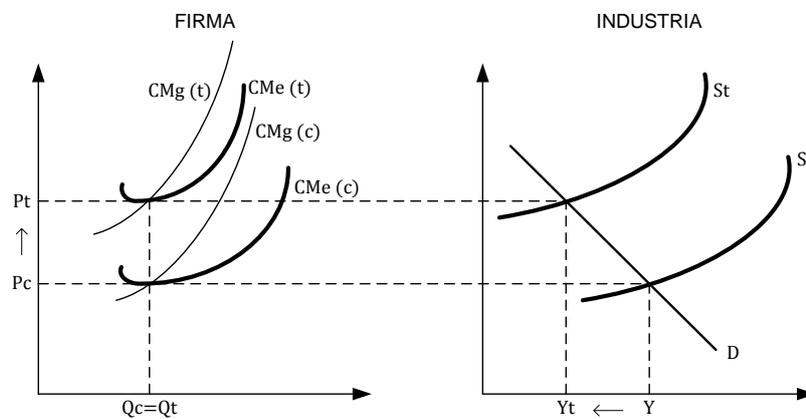
La forma en que el Estado hace tangible su intervención, supone nuevas implicaciones para el análisis económico, pues ésta puede darse a través de impuestos, subsidios o una combinación de los dos (Baumol y Oates 1988). Es así que surge un debate sobre ¿cuál es el instrumento más efectivo para que la intervención estatal produzca los resultados deseados?

Desde la perspectiva pigouviana, cabe indicar que en los dos mecanismos subyace un planteamiento común: minimizar el impacto de la contaminación ambiental (Baumol y Oates 1988), dando paso a un análisis profundo de impuestos y subsidios, para entender sus diferencias y campos de acción.

Los impuestos son “el instrumento que mejor se ajusta a la idea de que el que contamina debe pagar” (Martínez-Alier y Roca Jusmet 2001), y aunque no provocan una reducción de la contaminación a nivel individual, lo hacen a nivel agregado, así, por ejemplo (figura 1.1), una firma cuya producción se ve afectada por la imposición de un nuevo tributo a la contaminación que genera, verá aumentar sus costos medio y marginal, al mismo tiempo que el precio de los bienes que produce, dado que es competitiva y mantiene su nivel de producción, mientras tanto, el impuesto causará la salida de firmas que no sean capaces de gestionar la medida, por lo que a nivel de industria se observará una reducción de la

producción total, que en términos de política ambiental, significa una reducción de emisiones contaminantes (Baumol y Oates 1988).

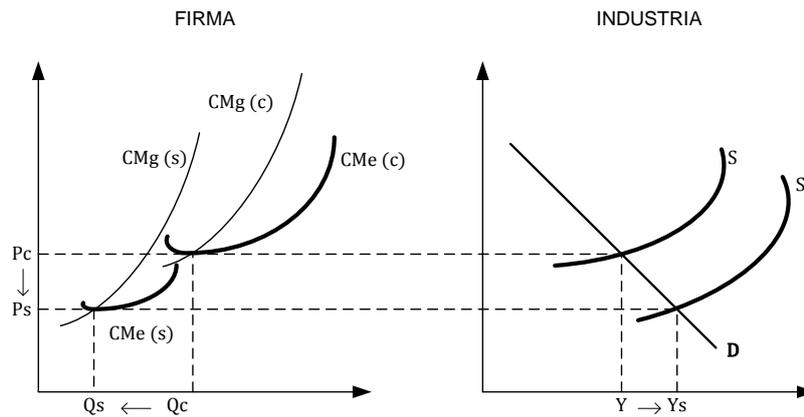
Figura 1.1. Efecto de los impuestos a nivel individual y agregado



Fuente: Teoría de política ambiental de William Baumol y Wallace Oates, 1988.

Los subsidios, por otro lado, se entienden como un incentivo para que quien contamine lo haga en menor medida (Martínez-Alier y Roca Jusmet 2001), y al contrario de los impuestos, la reducción de contaminación que provocan es apreciable a nivel individual, pero puede no ser significativa, o intensificarse a nivel agregado, así, retomando el ejemplo anterior (figura 1.2), cuando se establece un subsidio a la producción se produce un cambio en los costos medio y marginal, que se traduce en una reducción del nivel de producción de la firma, que en términos de política ambiental implica una reducción de emisiones contaminantes individuales, sin embargo, el subsidio podría motivar el ingreso de nuevas firmas a la industria, por lo que en el agregado se observa un aumento de la producción total, con el consecuente incremento de emisiones contaminantes (Baumol y Oates 1988).

Figura 1.2. Efecto de los subsidios a nivel individual y agregado



Fuente: Teoría de política ambiental de William Baumol y Wallace Oates, 1988.

Los ejemplos permiten demostrar por qué los hacedores de política ambiental prefieren los impuestos sobre los subsidios, pues sólo los primeros permiten lograr el objetivo de reducción de la contaminación a nivel agregado. Igualmente, en un análisis conjunto de ambos instrumentos, William Baumol y Wallace Oates (1988), demuestran que, para efectos de política ambiental, ninguno es perfecto sustituto de otro (aún en condiciones de competencia perfecta), pero que ambos generan cambios similares a nivel individual (modificaciones en las curvas de costos medio y marginal), y sigue prevaleciendo una política de impuestos. En respuesta a este análisis teórico, Joan Martínez-Alier y Jordi Roca (2001) consideran que ningún instrumento, en realidad, tiene garantizadas su efectividad y eficiencia, pues la normativa ambiental se formula separada del sistema económico, y los mecanismos utilizados tratan de ajustar este último a la normativa, por lo que cualquier tipo de análisis teórico es insuficiente frente a lo que puede ocurrir en el mundo real.

2. ¿Se puede influir en las elecciones de los agentes?

La posibilidad de influir en las elecciones de compra de agentes individuales para lograr mejores resultados sociales y económicos a nivel agregado puede materializarse a través de los precios, dado que éstos afectan el nivel de consumo/compra de bienes y servicios (Holton 2012).

Esta afirmación es coherente con una visión reduccionista e idealista de un agente racional, o como lo bautizaran los críticos de John Stuart Mill en 1836: *homo oeconomicus*¹⁰, que considera al ser humano, capaz de evaluar todas las alternativas posibles antes de tomar una decisión que le garantice su máxima utilidad, por lo que, siguiendo con lo expuesto por Christopher Holton (2012), una modificación de precios influiría en la decisión del agente, haciendo posible la promoción de conductas deseables para lograr beneficios a nivel social.

No obstante, ya se ha demostrado que la posibilidad de influir en la elección de un individuo es mínima, y que, contrario al argumento anterior, sus decisiones no son el resultado de una evaluación de todas las alternativas posibles, sino, solamente de aquellas que le son conocidas al agente en un entorno realista con poca información y desconociendo si lo que decide maximizará su utilidad (Epstein y Bar-Gill 2007); lo que implica entender que los errores en las decisiones de los agentes influyen en el desempeño de las políticas públicas, y que esto debe ser considerado en su formulación (Altman 2008).

2.1 Planteamiento neoclásico: racionalidad de las preferencias

Cuando se aborda el proceso de toma de decisiones de los agentes desde la perspectiva tradicional, se toman como ciertos, aquellos supuestos que responden a las características definidas por John Stuart Mill (1836) para el *homo oeconomicus*, entre las que destaca la racionalidad de los agentes, debido a que sostiene que los individuos toman decisiones en un entorno ideal, porque conocen toda la información necesaria para hacerlo, y buscan maximizar su utilidad o bienestar (Schuldt 2013, Altman 2008); además, son seres de naturaleza egoísta, pues actúan en coherencia con su interés personal y no se discute lo efectivo que esto resulta para obtener el mayor beneficio posible (Schuldt 2013).

De esta manera, el egoísmo natural del ser humano, como argumento subyacente a la racionalidad, está vinculado directamente a las preferencias, que se asumen completas y transitivas (Hicks 1956, Little 1949), pues se enfoca únicamente en el resultado económico que maximice el beneficio individual y excluye los efectos colaterales o externalidades que éstas pudieren generar. Por esta razón es que las externalidades fueron concebidas como fallas de mercado (Bator 1958) vinculadas al sistema de precios, que, según el paradigma

¹⁰ Aunque el término es adjudicado a John Stuart Mill, fue el sociólogo John Kells Ingram quien lo acuñó en 1888, para referirse de forma despectiva a los supuestos que Mill había planteado en su obra (Persky 1995).

neoclásico, ejercía influencia sobre las preferencias y no consideraba la afectación ambiental que las últimas pudieran generar (Schumacher 1978).

Es por esto que al integrar las externalidades (como fallas de mercado) al análisis económico el planteamiento pigouviano ganó mayor reconocimiento, dado que propone crear un instrumento que modifique el sistema de precios vigente, incluyendo un costo monetario de los efectos colaterales, con el fin de incidir en las preferencias de los agentes, y a través de éstas en su comportamiento, para obtener beneficio a nivel social (Baumol y Oates 1988). Así, la propuesta pigouviana supone una forma de tratar las externalidades en un contexto de racionalidad de los agentes, pues contribuye a que éstos actúen mejor al proveerles de más información sobre las decisiones que están tomando, sobre todo aquella relativa a la degradación ambiental (Fazio 2013).

No obstante, desde que se presentaron los enunciados que sustentan la racionalidad de los agentes, éstos han sido fuertemente criticados: en primer lugar, por quienes consideran que esta racionalidad es puramente instrumental (Fazio 2013) y no refleja la realidad que enfrentan los individuos cuando éstos se prestan a tomar decisiones (Altman 2008); en segundo lugar, por otros autores que cuestionan la premisa subyacente de maximización de utilidad o beneficios, por sus implicaciones para el ambiente en términos de extracción de recursos (Fazio 2013); y en tercer lugar, porque aun cuando las preferencias individuales sean coherentes con la racionalidad, al agregarlas pueden no lograr beneficio social (Arrow 1950). Finalmente, queda preguntar ¿qué se requiere para influir las decisiones de los agentes?

2.2 Planteamiento conductual: ¿de qué dependen las decisiones de un individuo?

Las críticas al supuesto de racionalidad del planteamiento teórico tradicional, aparecieron al mismo tiempo que su enunciación, y fueron formuladas por autores que ya se habían interesado en los fundamentos psicológicos de la economía¹¹, pero cuya propuesta sería considerada lejana al saber científico (Samson 2014), y que luego alcanzarían trascendencia con el trabajo de los investigadores Daniel Kahneman y Amos Tversky en 1979, quienes

¹¹ Adam Smith, en su “Teoría de los Sentimientos Morales” de 1759 relata cómo los individuos no actúan de forma aislada, y, por el contrario, basan sus acciones en lo que el resto de individuos piensa o está haciendo (Smith 1759), demostrando que existe un vínculo entre la economía y la psicología. Esta obra presenta evidencia de la influencia de factores psicológicos en la actuación de los agentes económicos

proporcionaran una visión más realista del agente económico y su naturaleza a través del desarrollo de su “teoría prospectiva” (Kahneman y Tversky 1979).

Sin embargo, el trabajo de estos autores no fue el primero que abordó los supuestos del agente económico desde una perspectiva psicológica, pues Herbert Simon en su trabajo de 1955 presentó “un modelo conductual de la elección racional” que serviría como fundamento para el desarrollo del término “racionalidad limitada” (Simon 1982), que además de incorporar la importancia de factores psicológicos en el proceso de toma de decisiones, precisaba que la mente humana debe comprenderse en relación al entorno en el que se desarrolló, dado que las decisiones que toman los agentes no siempre son óptimas y hay restricciones en términos de procesamiento de información que responden a limitaciones relacionadas con el acceso a la misma, y la capacidad computacional del individuo (Samson 2014, Simon 1982). Es así, que se han desarrollado diferentes temáticas referentes a la racionalidad limitada (tabla 1.1), que muestran una clara intención por comprender el funcionamiento individual de la mente humana y los efectos de las decisiones de los individuos cuando el análisis se realiza a nivel social.

Así, el aporte de Herbert Simon sentó las bases de lo que luego sería considerada una nueva corriente dentro de la economía neoclásica: la economía del comportamiento, que desarrolló supuestos más realistas sobre el agente económico que responden a una visión positivista del mismo (Thaler 1980) y contribuyen a la elaboración de un análisis económico más complejo, aceptando que el ser humano tiene una capacidad finita para resolver problemas, que puede no tomar en consideración las consecuencias futuras de su elección, y da cabida a la posibilidad de arrepentirse de su decisión; lo que puede implicar contradicciones con lo socialmente aceptable o con lo que el resto de personas está haciendo (Altman 2008, Ariely 2008, Simon 1956).

Del mismo modo, las temáticas desarrolladas en este contexto han sido abordadas desde muchas disciplinas, y han servido para exponer nuevos hallazgos en el comportamiento del agente, que para los economistas ambientales, han permitido entender por qué las políticas ambientales no tienen la respuesta esperada, incentivando el análisis de las motivaciones de los individuos que actúan guiados por actitudes a favor del ambiente y el bienestar social, para mejorar su diseño (Pasche 2013).

Tabla 1.1. Conceptos y teorías asociados a la racionalidad limitada

Categoría específica	Concepción “tradicional”	Teoría conductual	Hallazgo principal	Anomalías conductuales	Efectos
Elección bajo riesgo e incertidumbre	Utilidad esperada	Teoría prospectiva (Tversky y Kahneman 1979) y utilidad dependiente	Las preferencias violan los axiomas de la teoría de la utilidad esperada, son asimétricas y los pesos de las probabilidades son no lineales.	Preferencias dependientes de referencia Ambigüedad	Aversión a la pérdida Efecto cierto Efecto reflexivo Efecto de aislamiento Efecto del contexto “Status quo” Efecto de disposición Elasticidad asimétrica Sesgo por defecto Preferencias lexicográficas Aversión a la ambigüedad
Elección intertemporal	Utilidad descontada	Preferencias inconsistentes en el tiempo	Las preferencias inconsistentes afectan la toma de decisiones individual, al valorar, por ejemplo, el presente más que el futuro.	Descuento hiperbólico	Conducta miope Efecto de inmediatez Falta de autocontrol (Shefrin y Thaler 1981) Efecto signo (+/-) Efecto retraso Efecto de orden Formación de hábitos
Juicio	Maximización de utilidad con perfecta información y habilidades cognitivas	Heurística	Hay mecanismos implícitos en el juicio de las personas y sus decisiones que les permite superar la complejidad y falta de información	Heurística	Disponibilidad Representatividad Contabilidad mental Ajuste de anclaje
				Sesgo en el juicio	Sesgo de autoservicio Exceso de confianza (Roll 1986) Efecto del contexto Efecto focal Efecto de la mala interpretación Efecto del orden Efecto del proceso Efecto prominente Conducta guiada por las reglas Emociones Efecto prominencia

Fuente: Teoría política ambiental en un contexto de racionalidad limitada y otro tipo de preferencias de Elisabeth Gsottbauer, 2013. (Página 22)

2.3 Comportamiento del agente y calidad ambiental

Los planteamientos que se han presentado hasta ahora, muestran dos enfoques de análisis de los problemas ambientales: uno, tradicional, enfocado en la internalización de los efectos colaterales empleando instrumentos económicos o argumentos legales; y otro, más actual, orientado a la comprensión de la actuación del individuo a través del análisis de su entorno.

Por lo tanto, ambos enfoques plantean maneras diferentes de comprender el vínculo entre calidad ambiental¹² y comportamiento del agente:

- i. Dando por cierta la racionalidad completa, y aplicando el planteamiento pigouviano, es posible afirmar que una intervención dirigida a influir las preferencias del agente constituye una forma adecuada para tratar los problemas ambientales, dado que el individuo racional considera que el resto también lo es, y por tanto, tomarán la misma decisión, de tal manera que, sólo hace falta agregar sus preferencias para alcanzar los objetivos ambientales propuestos (Vatn 2005).
- ii. Contrario al argumento anterior, bajo el supuesto de racionalidad limitada, cualquier tipo de intervención para mejorar la calidad ambiental, requiere de un conjunto de medidas de apoyo adicionales basadas en información y motivaciones, porque un individuo cuyas decisiones se entienden desde su entorno y no se parece a ningún otro, no responde únicamente al instrumento de intervención, sino que actúa conforme a otros factores, como la presión social, los sentimientos y las actitudes, que no suponen ganancia alguna en términos monetarios (Altman 2008).

Como se puede notar, el logro de objetivos ambientales está vinculado directamente a la conducta individual de los miembros de una sociedad, sin importar cuál es la concepción de estos agentes en la formulación de las diferentes políticas ambientales. Asimismo, es importante señalar que el vínculo entre calidad ambiental y conducta del agente se fundamenta en el intento de la economía de integrar una visión del futuro en su estudio, considerando que el sistema económico funciona dentro de los límites impuestos por el ambiente y los recursos que éste posee (Fazio 2013, Vatn 2005, Martínez Alier 2004).

¹² La Agencia Ambiental Europea define a la calidad ambiental como un conjunto de características del ambiente (referentes a la pureza o contaminación de aire, agua, suelo y otros) que pueden tener efectos negativos sobre la salud física y mental de los seres humanos (European Environment Agency 2016).

2.3.1 Racionalidad e instituciones

La relación que existe entre las instituciones y la racionalidad, se explica por los fundamentos teóricos que emplea un gobierno a nivel local o nacional para sustentar las diversas políticas públicas que pone en marcha. Esto no es diferente en la temática ambiental, que para efectos de análisis ha recurrido al estudio de esta relación para explicar por qué las medidas y normas diseñadas no alcanzan el nivel de efectividad deseado (Pasche 2013) cuestionando, especialmente, la adopción de un agente racional (Vatn 2005).

Es precisamente Arild Vatn (2005), quien en coherencia con el último argumento, aborda teóricamente el problema que supone para la política ambiental emplear en su formulación los supuestos de un agente racional, desarrollando un análisis comparativo de la literatura, con respecto a dos perspectivas de estudio de las elecciones que hacen los individuos: una, fundamentada en un “hombre económico”, que hace elecciones en un entorno donde sólo importan las restricciones externas, como cambios en los precios, o penalidades de acuerdo con una legislación; y otra, basada en la noción de un “hombre social”, que hace elecciones coherentes con sus expectativas internas que, como resultado de su aprendizaje, responden a valores, reglas y percepciones específicas. Es de este modo que Arild Vatn (2005) plantea que el verdadero reto de los hacedores de política ambiental es “determinar cuál es el marco institucional más razonable para ser aplicado, dependiendo del problema que se esté tratando”, tomando en cuenta que algunos de los tecnicismos de la economía neoclásica constituyen “serias limitaciones cuando se analizan desde la perspectiva institucional” (Vatn 2005).

La importancia del individuo en la formulación de políticas ambientales

Al formular políticas ambientales, la conducta del agente se considera un factor crítico para el éxito de las mismas, de ahí que los conceptos de “hombre económico” u “hombre social” se empleen como punto de partida para su análisis en un contexto institucional y sean los fundamentos de las perspectivas, individualista y constructivista, respectivamente. De este modo, Arild Vatn (2005) sugiere que el análisis debe llevarse a cabo en tres partes: una primera, relacionada con la “formación de preferencias”, una segunda, referente al “proceso de elección”, y una tercera, dedicada a los “instrumentos de política”; para dar luces sobre cómo la concepción del vínculo entre el individuo y la sociedad afecta al medio ambiente (tabla 1.2).

Tabla 1.2. Análisis de la construcción de política ambiental de acuerdo con Arild Vatn.

Etapas de análisis	Hombre económico (perspectiva individualista)	Hombre social (perspectiva constructivista)
Formación de preferencias	Los individuos no tienen preferencias por bienes ambientales porque carecen de experiencia en mercados de este tipo (Diamond y Hausman 1994). Sin embargo, al darles un valor monetario, a través de la creación de mercados para estos bienes, se puede lograr que un individuo forme sus preferencias por estos bienes, haciendo que el modelo económico prevalezca.	Los individuos pueden no tener preferencias por bienes ambientales, pero esto se explica por el entorno que los rodean. Así, el verdadero asunto aquí, no es si las preferencias se construyen o no, sino si éstas son estables (Hanemann 1994). La sociedad tiene un rol central en la formación de preferencias del individuo, puesto que existe interés por parte de éste, de satisfacer las necesidades sociales mientras cubre las propias.
Proceso de elección	El individuo elegirá aquello que maximice su beneficio, para lo cual se crearán mercados, o se desarrollarán análisis de costo – beneficio, logrando que los individuos se enfoquen en “monetizar y negociar compensaciones”. Esta perspectiva ubica a los agentes en el papel de consumidores únicamente.	El agente decidirá sobre un conjunto de opciones, de las que evaluará su pertinencia y su efecto a nivel social. Estas opciones son una respuesta implícita a un grupo de valores que se quieren reproducir y mantener, para garantizar una convivencia armónica entre los miembros de una sociedad. En esta perspectiva, los individuos trascienden el papel de consumidores y se consideran ciudadanos, aparecen responsabilidades y expectativas que influyen su proceso de elección.
Instrumentos de política	Los instrumentos de política que se emplean, promueven una racionalidad instrumental, que implica maximizar el beneficio o utilidad, aplicando únicamente criterios de valoración monetarios, y considerando que quien toma las decisiones actúa de manera estratégica, esto es, tomando al resto de individuos como igual de racionales.	Para lograr los objetivos ambientales planteados se establecen instrumentos normativos, pues así se promueven conductas deseables entre los miembros de una sociedad; además de éstos, se utilizan incentivos y castigos para lograr lo que se ha propuesto. Se considera que el individuo actúa de la manera esperada pues existe reciprocidad por parte de quien impone la política.

Fuente: Racionalidad, instituciones y política ambiental de Arild Vatn, 2005. (Páginas 207-208)

Estos dos contextos, como se muestra, implican una aceptación tácita de los supuestos que rigen la conducta del individuo en la sociedad, pero que aún no logran trascender el paradigma neoclásico, por lo que algunos cuestionamientos se encuentran sin respuesta aparente. No obstante, y a pesar de las limitaciones de ambas perspectivas, puede notarse que se emplean los instrumentos de política formulados a partir de la concepción de un hombre social para el tratamiento de los problemas ambientales, por su enfoque normativo, pues el ambiente se trata básicamente de un “bien común”, y requiere del establecimiento de responsabilidades sociales para lograr los objetivos ambientales planteados. Esto sugiere que la conducta de los individuos está considerada en la formulación de instrumentos de política,

pero, que su concepción aún está lejos de abordar la complejidad que supone el comportamiento de los agentes.

3. Política ambiental basada en la conducta: ¿El camino hacia la sustentabilidad?

Como se expone en la sección anterior, ya se ha reconocido que los fundamentos teóricos que rigen la formulación de políticas ambientales responden a un tipo específico de individuo, que, en el caso de la política formulada bajo la concepción de un hombre económico, adolece de fallas y limitaciones relacionadas, principalmente, con el poder explicativo y entendimiento del concepto de sustentabilidad; a lo que se suman las críticas a la reducida efectividad de los instrumentos que emplea para llevar a la economía hacia un “camino más sustentable”, y los problemas derivados de la utilización de supuestos “artificiales” sobre la conducta del agente y el funcionamiento de los mercados (Pasche 2013).

Este último argumento explica el porqué del interés de muchos investigadores en el estudio de las bases conductuales de diversos asuntos que tienen un impacto ambiental considerable, como los patrones de consumo y la motivación de actuar a favor del ambiente (Pasche 2013, Knetsch 2003), que han permitido mejorar el diseño de instrumentos de gestión para la política ambiental, empleando para ello evidencia empírica, y apelando por una visión positiva del agente, puesto que un “buen entendimiento” de la conducta individual y la toma de decisiones contribuye a la explicación y predicción de las acciones de las personas en asuntos ambientales, mejorando el diseño de políticas referentes a este ámbito (Gsothbauer 2013).

No obstante, aunque el enfoque conductual ha contribuido significativamente al desarrollo de innovaciones en el diseño de políticas ambientales, los hallazgos que se han realizado en este contexto han sido criticados por su falta de universalidad, pues no se derivan de manera “lógica” como su contraparte tradicional; además, este planteamiento requiere de la utilización de modelos conductuales que dependen del contexto y cuyos resultados no están siempre respaldados por significancia estadística, por lo que cualquier sugerencia de política, proveniente de ellos es cuestionable, y se recomienda limitar las conclusiones a los factores y hechos tratados (Pasche 2013).

3.1 Instrumentos de gestión en política ambiental

La problemática ambiental representa un reto para los hacedores de política, pues se requiere del diseño sistemático de instrumentos y mecanismos de gestión que sean “efectivos, eficientes y justos”, y que se fundamenten en un enfoque hacia la preservación de los recursos naturales, para tornar a las decisiones que afectan a la naturaleza (referentes a los modos de producción y consumo), más sostenibles (Gsottbauer 2013).

El diseño de los instrumentos y mecanismos de gestión materializa el propósito de la política ambiental, que, de acuerdo con Manuel Rodríguez y Guillermo Espinoza (2002) responde a uno de los siguientes objetivos:

- i. Proteger un ecosistema.
- ii. Fortalecer las capacidades de quienes promueven la protección ambiental o compensación de su posición.
- iii. Incidir en factores del contexto como: manejo de información y la transformación de condiciones político-institucionales, socioeconómicas o tecnológicas.

Todos estos objetivos buscan fortalecer el vínculo entre ser humano y naturaleza, por lo que, los instrumentos y mecanismos que harán posible su logro gozan de neutralidad, y sólo adquieren importancia dentro de la política ambiental, toda vez que se les haya asignado un propósito¹³, que será determinante en su ejecución y que luego modelará su evaluación y reformulación, de ser necesaria (Rodríguez-Becerra y Espinoza 2002).

Tradicionalmente, se han empleado únicamente dos tipos de instrumentos de gestión en la política ambiental: económicos, correspondientes a la dinámica del mercado, y, de tipo comando y control, que responden a la lógica de la regulación directa, generando un nutrido debate sobre su efectividad para tratar la problemática ambiental, alimentado por quienes consideran que se requieren instrumentos y mecanismos más dinámicos y realistas.

¹³ Rodríguez-Becerra y Espinoza (2002) señalan a los siguientes como propósitos de los instrumentos de gestión dentro de la política ambiental: *a*) la fijación de condiciones ambientales, *b*) el impulso de procesos de prevención, *c*) la concienciación de los ciudadanos, *d*) el cambio de comportamiento de los agentes económicos, y *e*) el mejoramiento de los procesos de formulación, evaluación y ejecución de políticas ambientales.

Para cumplir este último requerimiento, y tomando en consideración la compleja institucionalidad de los países latinoamericanos, Manuel Rodríguez y Guillermo Espinoza (2002) proponen agregar nuevos tipos de instrumentos: de planificación, de información y tecnológicos, para fortalecer las capacidades administrativas y de difusión del conocimiento sobre la problemática ambiental, con el fin de generar conciencia pública y lograr influir sobre la conducta de los agentes.

Estas consideraciones tienen efecto en el diseño de instrumentos de gestión en la política ambiental, y, es lo que a criterio de Elisabeth Gsottbauer (2013), la convierte en una norma que busca corregir fallas de mercado, al mismo tiempo que corregir aquellas producidas por la conducta y las elecciones “no tan racionales” de los individuos, por lo que debe traducirse en conjuntos de instrumentos complementarios entre sí.

Así, a pesar de que esta nueva perspectiva supone un avance en la formulación de políticas ambientales, existen dudas sobre su desempeño en el “mundo real”, puesto que, al utilizar marcos conductuales en el proceso, se desconoce su efecto sobre los criterios de evaluación de la normativa, que, en algunos casos, puede resultar contraproducente, si se compara con su formulación alterna, fundamentada en agentes racionales (tabla 1.3).

Tabla 1.3. Variación del desempeño de la política ambiental en diferentes marcos conductuales

Categoría general	Categoría específica	Evaluación con respecto a enfoque tradicional		
		Eficiencia	Efectividad	Equidad
Racionalidad Limitada	Riesgo e incertidumbre	<i>peor desempeño</i>	<i>peor desempeño</i>	<i>igual o peor desempeño</i>
	Elección intertemporal	<i>peor desempeño</i>	<i>igual o peor desempeño</i>	<i>igual o peor desempeño</i>
	“Juicio”	<i>desempeño mucho peor</i>	<i>desempeño mucho peor</i>	<i>igual o peor desempeño</i>

Fuente: Teoría política ambiental en un contexto de racionalidad limitada y otro tipo de preferencias de Elisabeth Gsottbauer, 2013. (Página 40)

En este sentido, Elisabeth Gsottbauer (2013) argumenta que la construcción de argumentos teóricos definitivos sobre el desempeño de la política ambiental fundamentada en categorías conductuales es difícil, porque no se han desarrollado los suficientes trabajos de investigación que los sustenten, de tal manera que cualquier idea que intente explicarlo no puede considerarse nada más que una hipótesis.

En un esfuerzo por explicar lo que podría estar pasando, ella presenta las siguientes ideas:

- i. La efectividad de la política ambiental podría ser menor en un contexto de racionalidad limitada, debido a la combinación de motivaciones propias y factores psicológicos en el proceso de cognición de los agentes económicos, que no responde únicamente a incentivos económicos.
- ii. Del mismo modo, la eficiencia de la normativa ambiental, podría verse comprometida, dado que cada agente, guiado por su proceso cognitivo, buscaría lograr su óptimo individual, que al ser agregado al de otros, vuelve poco probable el cumplimiento del óptimo social.
- iii. En cuanto a la equidad, se puede esperar una ligera tendencia hacia una mejor distribución del bienestar, sobre todo en contextos de elección intertemporal y riesgo e incertidumbre, donde se valora el efecto potencial de las decisiones presentes sobre el futuro.

Así, los argumentos centrales de las ideas de Elisabeth Gsottbauer (2013), demuestran que la base teórica sobre la que se construya política ambiental, condiciona su desempeño y promueve una forma específica de entendimiento del vínculo entre seres humanos y naturaleza, que en el caso de la perspectiva conductual, da cuenta de la necesidad de instrumentos complementarios que reconozcan las limitaciones de la cognición humana, y busquen incidir precisamente ahí, donde el agente económico deja de ser racional.

3.2 Implicaciones de la conducta de los agentes en el ambiente

La combinación de fundamentos psicológicos y económicos en la formulación de políticas ambientales, puede mejorar la predicción de la conducta económica del agente y de sus efectos sobre el ambiente (Camerer 1999).

Dentro de esta conducta económica se encuentran los patrones de consumo y modos de producción, que constituyen un problema que debe tratarse desde la realidad que enfrenta la humanidad, lejos de la idealización de individuos maximizadores y egoístas (Pasche 2013, Gsottbauer 2013, Venkatachalam 2008, Thaler 2000).

De este modo, la perspectiva conductual denota un mayor interés por el estudio de los efectos que puede tener la conducta económica de un agente sobre el ambiente, cuando se admite que

toma sus decisiones en un contexto de racionalidad limitada. La tabla 1.4 presenta un resumen de trabajos en los que se han evaluado factores psicológicos (conciencia ambiental, hábitos, identidad y otros) como parte de la compleja composición de los problemas ambientales.

Esto demuestra que el componente psicológico tiene un papel importante dentro del proceso de toma de decisiones del agente, y puede explicar por qué algunos de instrumentos que se han empleado hasta ahora, no son efectivos. Así, por ejemplo, se ha logrado determinar que el vínculo entre las actitudes y las acciones, es sumamente importante cuando se examina la conducta pro-ambiente (Beck, Rose y Hensher 2013), puesto que a cualquier nivel de preocupación por la naturaleza se revelan conductas asociadas a este hecho (Mobley y Vagias 2010). También, se ha podido encontrar, que, en muchos casos, estas conductas “sostenibles” se presentan únicamente en algunos contextos, en los que el agente tiene mayor acceso a información acerca de lo que ocurre con el ambiente (Phyper y MacLean 2009).

Igualmente, la evidencia empírica sugiere que todos los miembros de una sociedad poseen un nivel de “preocupación” por lo que hace el resto¹⁴, que los motiva a adoptar nuevas conductas, promoviendo las preferencias sociales de manera voluntaria (Gsoottbauer 2013). Finalmente, se puede decir que estas teorías conductuales, acercan a personas e instituciones hacia una mejor comprensión de la problemática ambiental.

Aunque estos nuevos hallazgos, brindan el soporte necesario para desarrollar propuestas de mecanismos nuevos y complementarios, se considera que aún no pueden integrar una nueva forma de hacer política ambiental, por los problemas que supone (tabla 1.3), y porque las herramientas que se elaboren dentro de este marco, servirán únicamente en contextos específicos.

¹⁴ En este ámbito se pueden encontrar diversos aportes relacionados con la temática ambiental referidos al reciclaje (Brekke, Kipperberg y Nyborg 2007), la compra de vehículos (Johansson-Stenman y Martinsson 2006), y el uso de electricidad (Ek y Söderholm 2008). Algunas de las conclusiones de estos trabajos señalan que los individuos se preocupan sobre la opinión que otros pudieran tener sobre ellos (Johansson-Stenman y Martinsson 2006), haciendo que busquen mejorar su imagen adquiriendo bienes verdes (Ek y Söderholm 2008), y contribuyendo voluntariamente al bien común (Brekke, Kipperberg y Nyborg 2007).

Tabla 1.4. Estudios que vinculan la economía conductual y la economía ambiental

Temática ambiental	Sub – temática	Teoría conductual	Anomalías conductuales y motivos sociales	Hallazgos
Consumo sustentable	Desperdicio de energía mientras viaja	Teoría prospectiva	“Status quo” Aversión a la pérdida Sesgo por “defecto”	El valor monetario de las decisiones de los agentes, influenciado por las anomalías conductuales, afecta negativamente el costo de la misma. Se propone que la adopción de nueva tecnología sea puesta como la primera opción.
		Preferencias inconsistentes en el tiempo	Hábitos	El comportamiento pro-ambiente se construye a través de hábitos, por lo que promover buenos hábitos a través de incentivos económicos podría resultar.
		“Otras” preferencias	Altruismo Motivaciones internas Identidad	Los hogares cuyos miembros tienen algún grado de preocupación ambiental, tienen mayor predisposición para adoptar primero nuevas tecnologías. Asimismo, las motivaciones internas y la construcción de identidad generan utilidad, del mismo modo que sus creencias y valores reducen el costo de las actividades ambientales.
	Bienes públicos		Altruismo Motivaciones internas Identidad Reciprocidad Normas sociales	Las normas sociales están relacionadas directamente con la conducta pro-ambiente y pueden llevar a la cooperación. La regulación externa podría ser contraproducente, pero un sistema de incentivos podría lograr el cumplimiento de los objetivos.
Diseño de políticas	Elección y diseño regulatorio	Teoría prospectiva Heurística o <i>resolución de problemas</i> Preferencias inconsistentes en el tiempo “Otras” preferencias	Efecto de la dotación “Status quo” “Juicio” Hábitos Altruismo “Estatus”	Los mecanismos que responden a la lógica del mercado podrían ser ineficientes, de igual manera, la política ambiental, podría resultar mal entendida por todos los miembros de la sociedad, dependiendo de las categorías y contexto que se empleen en su formalización. Aunque la búsqueda de estatus y los hábitos individuales mejoren la eficiencia de la política, al agregarse podrían afectar el óptimo de Pareto.

Fuente: Teoría política ambiental en un contexto de racionalidad limitada y otro tipo de preferencias de Elisabeth Gsottbauer, 2013.

3.2.1 Consumo sustentable: el caso de los vehículos

La comprensión del consumo sustentable en un contexto conductual supone un desafío para economistas, psicólogos y hacedores de política ambiental, que han encontrado en la propuesta conductual, una forma de lograrlo, dado que, ésta integra conceptos teóricos y epistemológicos de la economía, la psicología y la sociología.

La investigación acerca de los efectos que tiene la conducta de los individuos, en términos de consumo, sobre el ambiente, ganó especial relevancia después de la presentación del informe Brundtland en 1987, que se centró en un “futuro común”, con el que todos deben comprometerse. Este informe marcó un hito para los investigadores, quienes se volcaron al estudio de los problemas ambientales que podrían representar una amenaza para el futuro del planeta. Apareció entonces, un problema relacionado con los patrones de consumo implantados por el ideal moderno: tener un vehículo (Miralles-Guasch y Cebollada 2008).

La compra de un vehículo suponía un logro dentro del imaginario modernista (aún hoy se considera uno de los objetos que hacen tangible al progreso), que derivó en poco tiempo, en un conjunto de problemas mucho más graves: mayor intensidad en la quema de combustibles fósiles, la contaminación del aire y el tráfico vehicular, que, luego de iniciados, parecen no mostrar una clara señal de estar próximos a resolverse (Lizárraga 2006).

Es así que desde entonces, se han desarrollado varios estudios que buscan promover nuevos modelos de consumo contruidos a partir de los fundamentos conductuales; en uno de los más recientes trabajos, Christopher Bratt y otros (2015) elaboran el modelo casa – auto – vacaciones, que busca explicar cuánto del comportamiento de consumo de un hogar puede advertirse por sus actitudes pro-ambiente, para lo cual desarrollan un análisis de las decisiones tomadas en los tres contextos definidos, concluyendo que cada uno requiere una valoración diferente para poder formular una política específica, y que en el caso de la compra de un vehículo, se requiere de políticas que “habiliten al consumidor a hacer compras más sustentables” (Bratt, y otros 2015), coincidiendo con el criterio de Elisabeth Gsottbauer (2013), quien considera además, que éstas opciones más sustentables, deben ser las que se encuentren “disponibles por defecto”.

En la misma línea se ubica también, el trabajo que desarrollaran Caspar Chorus, Mark Joetse y Anco Hoen (2013), quienes parten del cuestionamiento a la disponibilidad de opciones más

sustentables de vehículos, para lo cual, evalúan las preferencias de los consumidores por vehículos que empleen combustibles alternativos desde dos perspectivas: maximización de utilidad y reducción del arrepentimiento, y concluyen que ambas llegan a resultados similares, pero esto puede cambiar, si se asignan diferentes probabilidades de adquirir un tipo específico de vehículo, apelando al juicio de los individuos, que puede verse afectado por cómo se presentan las opciones (Gsottbauer 2013).

Quienes también se enfocan en el estudio de los factores que inciden en la decisión de compra de un tipo específico de vehículo y su efecto en áreas urbanas, son los investigadores Matthew Beck, John Rose y David Hensher (2013) que a través de una encuesta a compradores de vehículos nuevos, determinan la existencia de un vínculo entre el tipo de combustible y las preferencias de los compradores; y concluyen que los nuevos instrumentos que se planteen usar en este ámbito, requieren de la comprensión de los perfiles de los compradores para formular políticas que incentiven un cambio de vehículo, basado en el tipo de combustible que usa.

El estudio también señala que los perfiles de los compradores deben incluir características sociodemográficas y patrones de movilidad; de este modo se fortalecerá la teoría conductual que considera que la formación y réplica de hábitos en los agentes, dan cuenta de factores que explican las “decisiones más sustentables” y contribuyen a lograr un tipo de consumo menos agresivo con el ambiente (Gsottbauer 2013).

Concepción del proceso cognitivo de elección y compra de un vehículo

La elección y compra de vehículos han sido abordadas ampliamente en el estudio del comportamiento del consumidor (Mueller y de Haan 2009). Esto, porque un vehículo constituye un bien duradero de precio elevado sobre el que se espera que existan previamente búsqueda y evaluación intensivas (Beatty y Smith 1987). No obstante, la evidencia contradice esta aseveración, y muestra que, previo a la compra de un vehículo, las actividades de búsqueda y evaluación son, en realidad, limitadas (Newman y Staelin 1972).

Esto ocurre en cualquier caso para diferentes tipos de compradores. Así, compradores experimentados buscan y evalúan alternativas de vehículos empleando sus experiencias y conocimientos previos, dejando por fuera el resto de alternativas de los que no tienen referencias previas (Beatty y Smith 1987, Newman y Staelin 1972). Por otra parte,

compradores novatos reducen la incertidumbre de la elección, buscando y evaluando alternativas de vehículos de las que obtiene información a través de referencias de amigos, familiares, y anuncios (Beatty y Smith 1987). Los argumentos presentados son coherentes con la evidencia de que durante los períodos de búsqueda y evaluación de alternativas, cada comprador reúne cantidades diferentes de información (Claxton, Fry y Portis 1974).

Todos estos hallazgos permiten bosquejar el proceso cognitivo subyacente a la elección y compra de un vehículo. Este proceso se ejecuta en etapas múltiples, debido a que el problema de decisión se considera una tarea compleja, por el número de alternativas disponibles para la elección y compra (Olshavsky 1974). Esta concepción del proceso cognitivo que termina en la compra de un vehículo específico responde al tipo de información de la que dispone el comprador antes de enfrentar el problema de decisión (Claxton, Fry y Portis 1974), así, de manera inicial se espera que el comprador haga valoraciones no compensatorias de algunos atributos, con el fin de reducir el número de alternativas (esto es lo que ocurre, por ejemplo, cuando un comprador reduce sus opciones a vehículos que tengan aire acondicionado); y en una etapa posterior, luego de que se han definido sus opciones, el comprador hace valoraciones compensatorias de otro grupo de atributos que determinarán finalmente cuál es el vehículo que elegirá el comprador (en esta etapa el comprador hace valoraciones de atributos como el precio, y el costo de funcionamiento del vehículo) (Bettman y Park 1980).

Efectos de las políticas que favorecen la adopción de vehículos menos contaminantes

Lograr que los individuos tomen decisiones de compra más sustentables, requiere de una comprensión del alcance de las políticas que se hayan formulado para el efecto, pues, aunque los resultados en el corto plazo sean los esperados, en un periodo más largo, éstos podrían ser contraproducentes. En la investigación de Peter de Haan, Michel Mueller y Anja Peters (2005), se propone un modelo para evaluar los efectos de las políticas que motivan el cambio de un vehículo por otro menos contaminante, habiendo identificado para ello tres efectos directos:

- i. Un aumento en el tamaño promedio de la carrocería de los vehículos: explicado por las características de los autos menos contaminantes, cuya carrocería se ajusta al rendimiento del tipo de combustible que emplea para moverse.
- ii. Un aumento en el número promedio de vehículos por hogar: explicado por las compras de vehículos nuevos o adicionales.

- iii. Un aumento en el número de kilómetros manejados: explicado por la percepción de que se contamina menos, motivando a los individuos a manejar más.

Estos efectos responden al planteamiento de William Jevons (1865) acerca de lo que él denomina “efecto rebote”, que aparece cuando el incentivo a usar tecnología más eficiente, que inicialmente muestra efectos positivos, puede convertirse, en el largo plazo, en un mayor consumo de energía por parte de quienes la adoptan, dando como resultado un deterioro ambiental más agudo, debido a que la percepción inicial de menor contaminación, puede generar “sesgos en el juicio” de los agentes, invalidando el objetivo ambiental para el que el instrumento fue creado (Gsottbauer 2013).

Esto último, es lo que limita la aplicación de instrumentos con bases conductuales dentro de la política ambiental, y aunque quedan por explorar más temas dentro de este ámbito, los estudios revisados permiten entender por qué este trabajo de investigación pretende hacer un abordaje alternativo del funcionamiento de un instrumento dirigido a influir sobre las decisiones de compra de vehículos de los individuos, considerando que en el contexto en el que será evaluado, la institucionalidad carece de capacidades para generar propuestas efectivas y el deterioro ambiental se intensifica día tras día (Russell y Powell 1997).

Capítulo 2

Calidad del aire y movilidad en áreas urbanas, el caso de Quito

Introducción

La aplicación de nuevos enfoques de análisis planteados por la economía conductual, en el ámbito de la gestión de la calidad del aire en las ciudades, requiere de la comprensión de la situación actual de las normas e instrumentos que están en marcha, abordando, para ello, representaciones conceptuales y positivas que permitan establecer criterios de contrastación de su funcionamiento y resultados en relación a instrumentos alternativos. De este modo, y a partir de un abordaje conceptual, este capítulo tiene como objetivo contextualizar el problema del deterioro de la calidad del aire en la ciudad de Quito, con énfasis en la contribución que hace el modelo actual de movilidad a esta problemática, recurriendo a un análisis de las medidas que se ejecutan en esta ciudad en este ámbito y cuyo objetivo es incentivar un cambio de comportamiento de sus habitantes.

Es así que en un primer apartado se explica, en términos conceptuales, cómo se ejecuta actualmente la gestión de calidad del aire, para lo cual se inicia con el análisis de la gravedad que supone un aire de mala calidad para el desarrollo económico, social y ambiental de las ciudades, por las afectaciones que produce en términos de salud y degradación ambiental. El enfoque que se emplea en este apartado permite entender la forma en que los instrumentos de gestión de calidad del aire, sirven, en primer lugar, a la mitigación de los efectos negativos de la contaminación del aire, y, en segundo lugar, a regular el nivel de emisiones producidas por el modelo actual de movilidad en las ciudades.

Continuando con el desarrollo de este capítulo, en un segundo apartado se presenta el caso de la ciudad de Quito, que entre las medidas de preservación de la calidad del aire, incluye la aplicación de diversos instrumentos de política ambiental en el ámbito de la movilidad urbana, como revisiones técnicas periódicas, y restricción a la circulación de vehículos en horas pico, que buscan incentivar un cambio de conducta de sus habitantes, todo esto, con el propósito de enfocar el análisis de la propuesta de un instrumento alternativo (subsidio a la compra de vehículos menos contaminantes), en el contexto de la economía conductual, cuya aplicación se simulará en el siguiente capítulo.

Finalmente, este capítulo concluye con un análisis a la aplicación de instrumentos económicos en el ámbito de la movilidad, su efectividad para abordar la conducta de los agentes, y sus fundamentos teóricos y epistemológicos, todo esto, con el fin de sentar bases para la discusión de los resultados de este trabajo.

1. Contaminación del aire en áreas urbanas

La contaminación atmosférica supone la presencia de “una o más sustancias, o niveles de energía en concentraciones y duración tales, que pueden originar riesgos, daños o molestias a seres humanos y otros organismos vivos, además de perjuicios a los bienes, y/o cambios de clima” (López Bonillo 2002).

Como problema actual, la contaminación del aire es una consecuencia de las actividades humanas, el desarrollo tecnológico y la concentración demográfica en áreas reducidas (Hester y Harrison 2009, Lizárraga 2006, López Bonillo 2002); constituye además una de las dos mayores alteraciones del ecosistema urbano (la otra es la contaminación del agua) (Bettini 1998), y se considera como uno de los costos inevitables del proceso de urbanización, que inició con la quema de madera y carbón en pequeños poblados, para luego intensificarse con la Revolución Industrial y el crecimiento de las ciudades, vinculando el crecimiento económico con el desarrollo urbano y la contaminación atmosférica (Hertel y Goodsite 2009).

Aunque los efectos negativos de la contaminación del aire ya causaban preocupación en el siglo XIX, cuando los niveles de contaminación en la atmósfera dificultaban la visión y eran la causa principal de enfermedades del sistema respiratorio, éstos adquirieron mayor relevancia a finales del siglo XX, específicamente, en la década de los 80, cuando se reconoce que el modelo de desarrollo económico no era sostenible, y se requería regular el nivel de emisiones contaminantes a la atmósfera (McNeill 2003), pues los modos de producción y consumo habían causado alteraciones en la composición del aire, que afectaban la salud de las personas y la preservación de los ecosistemas urbanos (Lizárraga 2006, López Bonillo 2002).

Desde entonces, las iniciativas que se dieron en este ámbito han logrado identificar algunos de los efectos negativos que la contaminación atmosférica tiene sobre los ecosistemas urbanos y la salud humana.

En el primer caso, la mala calidad del aire es responsable de la degradación del suelo, la lluvia ácida, la niebla tóxica, la formación de sustancias nocivas como el benceno, los formaldehídos, y los fenoles, la inhibición de los procesos de descomposición que son ejecutados por bacterias, y la asfixia de líquenes y musgos (Forman 2014).

En el segundo caso, las emisiones contaminantes tienen un efecto negativo sobre la salud de quienes se encuentran expuestos a ellas, provocando que pierdan oportunidades de desarrollo humano, las cuales se traducen en afectaciones económicas (con pérdidas que ascienden al 5% del PIB en ciudades en desarrollo, debido a una reducción en el nivel de productividad) y sociales (explicadas por la ausencia escolar provocada por enfermedades respiratorias) (UNEP 2012, Maynard 2009). Para tener una idea del nivel de afectación que produce la contaminación del aire sobre las personas, se pueden revisar las cifras presentadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS), que para el año 2014 determinó que la exposición a aire contaminado es responsable del 6,7% de muertes a nivel mundial y la causa principal de muerte por enfermedades respiratorias prevenibles (OMS 2016). En este mismo ámbito, el informe de la ONU sobre población señala que estas cifras pueden aumentar si no se ponen en marcha medidas para la mitigación de los efectos de este tipo de contaminación, tomando en cuenta que las expectativas de crecimiento urbano son preocupantes, pues se prevé que, para mediados de este siglo, el 66 % de la población mundial será urbana (ONU 2014).

1.1 Gestión de la calidad del aire: enfoques y conceptos

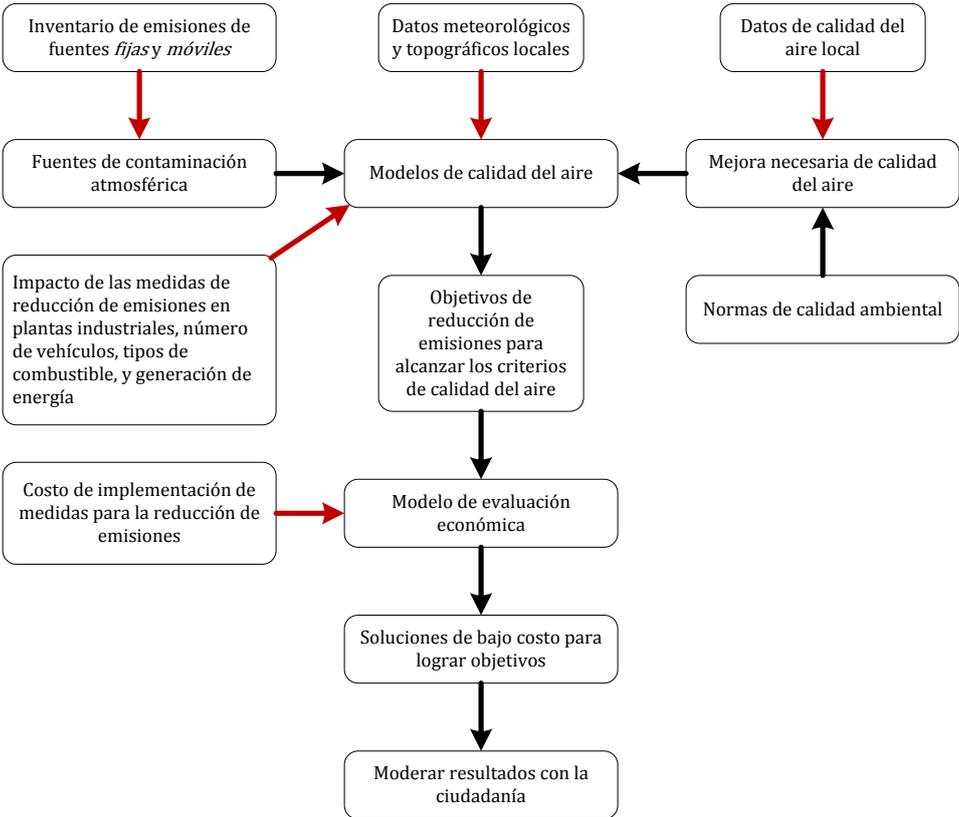
La gestión de la calidad del aire en las ciudades tiene como objetivo articular las acciones que deben ejecutarse para controlar y reducir la contaminación atmosférica a niveles aceptables, independientemente de sus causas, “que garanticen que las materias o formas de energía, incluidos los posibles ruidos y vibraciones, presentes en el aire no impliquen molestia grave, riesgo o daño inmediato o diferido, para las personas y para los bienes de cualquier naturaleza”, además de plantas, animales, y ecosistemas (AEC 2016, Murray 1997). Es por esto que se han puesto marcha una serie de políticas de gestión del aire para “manejar el deterioro de su calidad”, asociado con el uso intensivo de transporte motorizado, el crecimiento poblacional, la actividad industrial y el proceso de urbanización (Cox 2010, Schwela 2011, Lizárraga 2006).

En este sentido, la Asociación para la Conservación Ambiental de la Industria del Petróleo (IPIECA) en su informe del año 2004: “Limpiar el aire”, hace una propuesta de modelo de

gestión de calidad del aire que puede adaptarse a los patrones temporales y espaciales, de contaminación atmosférica, de cada ciudad (Schwela 2011, IPIECA 2004).

Esta propuesta (figura 2.1) apunta que la gestión de calidad del aire inicia con la selección de normas de calidad ambiental, alineadas, por lo general, con las directrices de salud elaboradas por la Organización Mundial de la Salud (OMS), que luego, junto a los datos de calidad del aire, permitirán reconocer los ámbitos en los que es necesaria una mejora, que se identifican gracias a la elaboración de inventarios de las fuentes y el tipo de emisiones. Así, los inventarios de emisiones y los datos meteorológicos, topográficos y de calidad del aire, son empleados en modelos de predicción de calidad del aire, que permiten predecir concentraciones futuras de emisiones contaminantes, que luego serán determinantes para la formulación de objetivos del plan de gestión de calidad del aire, y facilitarán la evaluación económica de las medidas que se pretende adoptar (IPIECA 2004).

Figura 2.1. Modelo para la gestión de la calidad del aire



Fuente: Limpiando el aire: estrategias y opciones para la gestión del aire urbano de IPIECA, 2004. (Página 9)

1.1.1 Estrategias para la gestión de la calidad del aire

Las estrategias que se plantean en el ámbito de la gestión del aire, tienen por objetivo “manejar el deterioro en la calidad del aire, asociado con altos niveles de crecimiento de la población, urbanización, actividad industrial y uso de vehículos motorizados”, y responden a características físicas, culturales, sociales y económicas específicas de la ciudad en la que se van a poner en marcha. Otros factores que inciden en la formulación de estas estrategias incluyen: los problemas atmosféricos específicos y los patrones temporales y espaciales de las fuentes de contaminación (Schwela 2011).

Así, toda iniciativa de gestión de calidad del aire que se pretende poner en marcha, inicia con la identificación de las fuentes generadoras de contaminación, cuyo origen puede ser natural o antropogénico, y pueden ser agrupadas en tres categorías: fuentes de área, fuentes puntuales y fuentes móviles (Secretaría de Ambiente 2014)

Las fuentes de área agrupan a todas las actividades que se realizan a nivel de hogar, como uso de gas doméstico y aerosoles, y quema de madera, basura y residuos agrícolas. En esta categoría se incluye también a los incendios forestales, la minería superficial, volcanes, océanos, plantas y digestión aerobia y anaerobia (Schwela 2011).

En la categoría de fuentes puntuales, se incluyen los procesos industriales, la combustión en termoeléctricas, y los rellenos sanitarios (Secretaría de Ambiente 2014).

Finalmente, en la categoría de fuentes móviles se incluye al tráfico vehicular motorizado y al tráfico aéreo (Secretaría de Ambiente 2014).

A continuación, se revisan los lineamientos generales de las estrategias que componen la gestión de la calidad del aire: medición y elaboración de inventarios de emisiones, monitoreo y predicción de concentraciones de gases contaminantes.

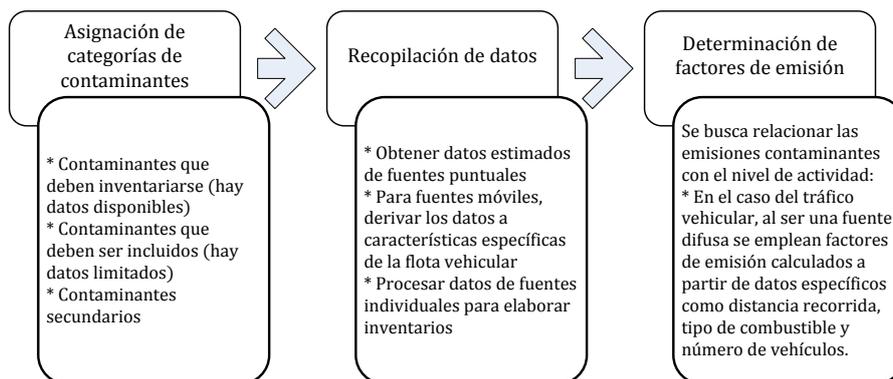
Medición e inventarios de emisiones

La medición del nivel de emisiones que produce cada fuente de contaminación proporcionará la información necesaria para elaborar inventarios de emisiones, que luego serán utilizados como insumo para la formulación de políticas específicas que contribuyan a una mejora en la calidad del aire que se respira en las ciudades. A su vez, los inventarios permiten tener un

conocimiento cuantitativo de las fuentes de contaminación y las emisiones que éstas producen.

El proceso de medición de emisiones para elaborar inventarios (figura 2.2), inicia con la asignación de categorías de contaminantes que se van a medir, que pueden ser primarios (de los cuales existe información disponible), secundarios (cuya formación se atribuye a la interacción de los gases contaminantes con aquellos que componen el aire), u otros (de los cuales existen datos limitados); continúa con la recopilación de información cuantitativa de la “fuerza” que posee la fuente contaminante, esto es, determinar el monto de emisiones que cada una produce, para finalizar con la determinación de factores de emisión, los cuales relacionan las emisiones contaminantes con el nivel de actividad de la fuente. Los inventarios se componen de la información obtenida en los dos últimos pasos del proceso, pues muestran el nivel y composición de las emisiones que producen las fuentes de contaminación.

Figura 2.2. Proceso de medición de emisiones



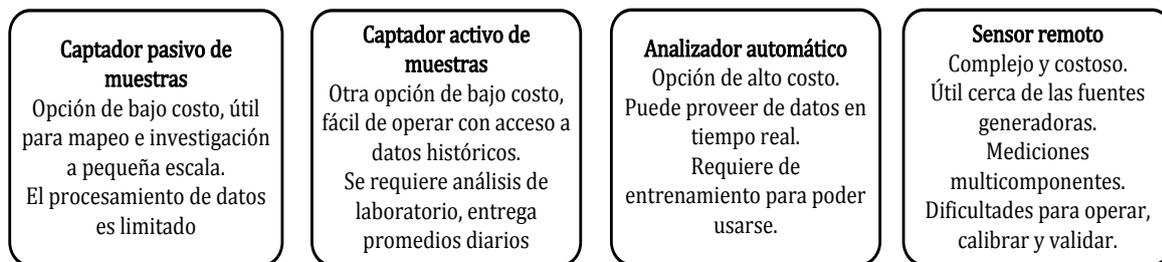
Fuente: Gestión de la calidad del aire de Schwela, 2011. (Páginas 14-16)

Monitoreo de calidad del aire

El monitoreo de la calidad del aire tiene como objetivo “entregar la información necesaria a los científicos, formuladores de políticas y planificadores para tomar decisiones fundamentadas para su gestión y mejoramiento”, también permite determinar el nivel de exposición al que se encuentran las personas, y el nivel de amenaza que enfrentan los ecosistemas urbanos; también brinda información sobre las fuentes generadoras de contaminación y el cumplimiento de las normas de calidad del aire. Para su ejecución, se requiere del diseño de una red de monitoreo, cuya dimensión y disposición en el área urbana dependerán de los objetivos de gestión de calidad del aire (Schwela 2011).

Existen varias opciones de redes de monitoreo (figura 2.3), como captadores de muestras, analizadores de muestras y sensores remotos. La elección de una de estas opciones estará sujeta al presupuesto que se haya destinado para el monitoreo de la calidad del aire, y al nivel de abordaje que se quiere hacer del problema.

Figura 2.3. Opciones de monitoreo



Fuente: Gestión de la calidad del aire de Schwela, 2011. (Página 20)

Predicción de los niveles de concentración de emisiones

Con la información que proveen los inventarios de emisiones y el monitoreo de calidad del aire en áreas urbanas, es posible elaborar modelos matemáticos para “la predicción de contaminantes, concentraciones primarias o secundarias, y en consecuencia [...] impactos [sobre la población y los ecosistemas urbanos]” (IPIECA 2004). La elaboración de este tipo de modelos permite “interpolación, predecir y optimizar” las estrategias de control, pues una vez que ha sido validado, puede utilizarse para evaluar las diferentes opciones de políticas de calidad del aire, al comparar las consecuencias esperadas de cada una. Igualmente, permiten hacer simulaciones cuando la medición de un contaminante es difícil, y evaluar planes de desarrollo urbano, que incluyen la construcción de nuevas plantas industriales y carreteras (IPIECA 2004, Schwela 2011).

1.1.2 Propuestas para el control de fuentes de emisiones

La normativa sobre la que se formulan las medidas de mitigación de la contaminación atmosférica y el control de las emisiones al aire, es la base de las estrategias de gestión de la calidad del aire. Esta normativa ha sido tradicionalmente bajo la propuesta “comando y control”, que contempla la regulación de actividades contaminantes a través de leyes y licencias, cuyo no cumplimiento de las condiciones estipuladas genera multas para la industria o persona que las obtuvo.

Aunque su uso es muy común, el “comando y control” adolece de varias debilidades, entre las que destacan un enfoque rígido, omisión de la equidad, y su incapacidad para incentivar una reducción de emisiones. Por esta razón, en las últimas décadas, muchas ciudades han optado por cambiar de propuesta, incorporando a la gestión de la calidad del aire instrumentos económicos y mecanismos de coregulación y autoregulación, los cuales se han diseñado para incentivar un cambio en la conducta de los agentes, promoviendo su participación activa.

Los instrumentos económicos disminuyen los costos de operación, y han demostrado hacer progresos en la gestión de la calidad del aire. Por su parte, la autoregulación y la coregulación, han contribuido a la difusión de procesos de producción menos contaminantes, al mismo tiempo que han permitido obtener inventarios de emisiones más realistas.

A continuación, se presentan algunas alternativas para el control de emisiones de los diferentes tipos de fuentes de contaminación atmosférica.

Control de fuentes de área

Por sus características variables, el control que se aplica para reducir la contaminación de fuentes de área requiere de la combinación de varias estrategias, que pueden ser técnicas, regulatorias, educativas o de mercado (Schwela 2011):

- Las estrategias técnicas, se enfocan en buscar alternativas a los modos de producción contaminantes, promoviendo para ello, buenas prácticas en la utilización de recursos, y mejoras tecnológicas que generen menos contaminación.
- Las estrategias regulatorias, se alinean a la idea de “comando y control”, y suponen controles de calidad de combustibles, prohibición de quemas, y multas.
- Las estrategias educativas, buscan informar a las personas sobre los impactos de las emisiones contaminantes, así como también de la mala calidad de algunos combustibles.
- Las estrategias de mercado, se aplican con el objetivo de incentivar el uso de objetos menos contaminantes y reducir el de aquellos que tienen mayor impacto.

Adicionalmente, se pueden considerar planes de crecimiento urbano, con el fin de evitar la expansión de las ciudades cerca de fuentes de contaminación de origen biogénico.

Control de fuentes puntuales o fijas

El control de las emisiones de fuentes puntuales puede hacerse a través de estrategias referidas a la planificación de nuevas instalaciones industriales. En este tipo de fuentes, la fase de planificación constituye la opción más poderosa y costo-efectiva para la gestión de la calidad del aire en las industrias. Esto se debe a que la planificación involucra decisiones sobre la ubicación de la planta industrial, lejos de los receptores sensibles, la optimización de procesos y modificaciones en sus procesos que signifiquen una reducción significativa de emisiones. La planificación también debe alinearse a los lineamientos establecidos por las autoridades en las normativas de uso de suelo, y emisiones contaminantes (Schwela 2011).

En cuanto se refiere a plantas industriales ya establecidas, se puede lograr la reducción de emisiones en la fuente, a través de cambios operacionales, que incluyan modificaciones de combustión en los procesos productivos o el uso de combustibles más eficientes.

Control de fuentes móviles

En cuanto se refiere a fuentes móviles, las ciudades optan por la formulación de estrategias integradas, que puedan abordar la complejidad que supone la gestión de calidad del aire en este tipo de fuente. Esto se debe a que es imposible poner en marcha una sola acción que reduzca las emisiones que producen estas fuentes, sin producir afectaciones en la movilidad en el área urbana, considerando, también, que aún no hay manera de determinar la contribución individual de cada vehículo al deterioro de la calidad del aire en las ciudades.

Por eso, las estrategias integradas que buscan reducir las emisiones que producen estas fuentes, se sustentan sobre varios componentes, que incluyen: el ingreso de tecnología más limpia, la gestión del tráfico a través de medidas económicas para limitar el uso transporte motorizado, el mejoramiento del transporte público, y reformas institucionales, a partir de participación ciudadana; esto requieren de la formulación de instrumentos, cuyo trabajo coordinado contribuya a los objetivos de calidad de aire planteados (Litman 2006).

1.2 Movilidad urbana y su contribución a la contaminación atmosférica

La historia de la movilidad puede trazarse junto a la del desarrollo industrial y urbano. La ubicación de las primeras fábricas motivaba la migración de personas, que para mantener su trabajo decidían asentarse cerca de las mismas, formando pequeñas aglomeraciones demográficas, desde las cuales les tomaba menos tiempo trasladarse. Con el auge industrial y

el desarrollo tecnológico, aparecieron nuevos sectores económicos que atraían cada vez a más personas, provocando el crecimiento de las aglomeraciones y el distanciamiento entre obreros y lugar de trabajo, dando paso a la necesidad de optimizar el tiempo de traslado que esto suponía, dando origen al transporte urbano (Hester y Harrison 2009, Miralles-Guasch y Cebollada 2008).

En su origen, el transporte urbano se entendía como el traslado de fuerza de trabajo, e implicaba un análisis de movimiento de masas que incidía en la actividad industrial, pues mientras más obreros se movilizaren mayor sería el desarrollo de este sector. Esto fue así, hasta la década de los 70, cuando la crisis del modelo económico vigente, que incluyó un incremento en la tasa de desempleo, motivó un replanteo de la perspectiva con que se analizaba el transporte, pasando del movimiento de masas a un modelo de desplazamiento individualizado enfocado en las personas y el uso que éstas hacen de los medios de transporte disponibles, en el que se incluyó por primera vez el “ir andando”, bajo la denominación de movilidad urbana (Miralles-Guasch y Cebollada 2008).

Este nuevo término, implica la comprensión de la movilidad en áreas urbanas como “un sistema de satisfacción de necesidades” que incorpora “un enfoque y visión integral que supera el concepto de transporte y lo sitúa como componente del desarrollo humano, donde la participación ciudadana y el respeto por el medio ambiente son los pilares en los que se soporta” (CAF 2013, Gerencia de Planificación de la Movilidad 2009).

De acuerdo con esto, la movilidad urbana incorpora en su esfera de acción el nivel de afectación ambiental que pudiesen producir los medios de transporte que empleen los habitantes de las ciudades. Esto determinará los niveles de desarrollo tecnológico, organizativo, y cultural de las ciudades, ya que el nivel de contaminación del aire al que se exponen las personas, influye sobre sus actividades, pudiendo generar pérdidas en términos económicos y sociales (Litman 2006). No por nada, el modelo de movilidad urbana actual ha sido señalado como generador de “gran parte de los problemas de sostenibilidad ambiental, social y energética”, debido a que, en los últimos 50 años del siglo XX, su crecimiento se ha basado en la intensificación del uso de vehículos motorizados, provocando altos niveles de contaminación atmosférica, cuyos efectos son más notorios en ciudades cuyo crecimiento no fue planificado (Lizárraga 2006).

En este sentido, las estrategias de gestión de calidad del aire que han empleado las ciudades, han sido la clave para identificar plenamente los efectos que tienen las emisiones contaminantes producidas por el tráfico vehicular sobre el ambiente y la salud de las personas (tabla 2.1). Estas estrategias han contribuido enormemente a la formulación de planes de movilidad y transporte, que hoy buscan trascender el uso de combustible, y promover una conducta ciudadana más amigable con la naturaleza¹⁵.

Tabla 2.1. Efectos de los gases producidos por los gases del tráfico vehicular

Contaminante	Efectos sobre la salud humana	Efectos sobre el ambiente
CO: monóxido de carbono	Hipoxia o falta de oxígeno, afecta corazón, cerebro y sistema circulatorio.	Reduce el transporte de oxígeno en la sangre de los vertebrados, causando su muerte.
CO₂: dióxido de carbono	Disminución de percepción visual y capacidad de trabajo.	Modificaciones en la composición del suelo, afectando agricultura y calentamiento global
NO_x: óxidos de nitrógeno	Irritación ocular, de nariz y garganta, tos, dificultad para respirar profundo, malestar general.	Su interacción con el aire provoca niebla tóxica.
SO: monóxido de azufre	Conjuntivitis e irritación severa de vías respiratorias y pulmones.	Daños en los tejidos de plantas. Lluvia ácida y daños materiales.
PM₁₀: partículas de 10µm de diámetro	Irritación de vías respiratorias, y ocular. Agrava el asma y causa enfermedades cardiovasculares.	Afectaciones al crecimiento de plantas, provoca la muerte de líquenes y musgos.
Partículas sedimentables	Causa deterioro del sistema respiratorio (Corto Plazo) cáncer (Largo Plazo).	Vuelve las aguas más turbias, provocando la muerte de peces y anfibios.

Fuente: Informe de calidad del aire de Municipio del DMQ, 2015; Ecología urbana de Forman, 2014.

Políticas e instrumentos referidos a la movilidad en la gestión de calidad del aire

La dificultad que supone determinar el nivel de emisiones que produce cada vehículo dentro de las ciudades, ha motivado a investigadores y hacedores de política ambiental a diseñar políticas e instrumentos basados en los factores que inciden en la producción de emisiones contaminantes, los cuales ofrecen la posibilidad de mejorar la calidad del aire a través de su valoración (Litman 2006). Algunos de los factores que han contribuido en la elaboración de normativas con mayor efectividad son:

- El motor y la tecnología que emplea el vehículo para su funcionamiento. Además de su edad, kilometraje y estado mecánico.
- Las propiedades y calidad del combustible que utiliza el vehículo.
- La composición de la flota vehicular en las ciudades y las tasas de uso por tipo de vehículo.

¹⁵ En el anexo 1 se presenta un resumen de los esfuerzos que se realizan en Ecuador.

- Los estándares de emisiones.
- La altitud, temperatura y humedad del área urbana.
- La identificación de patrones de uso de vehículos y transporte públicos.

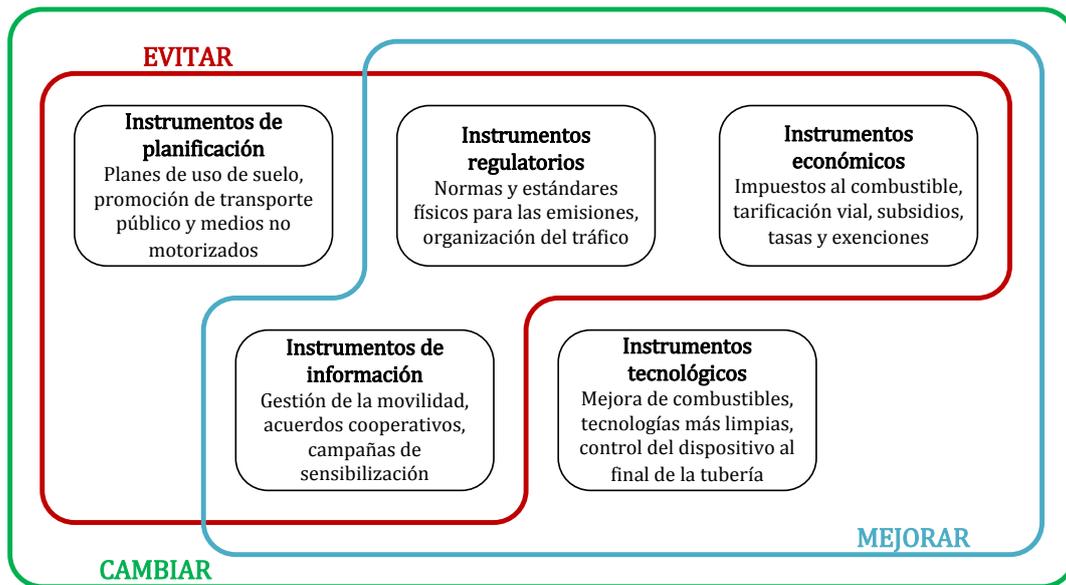
Es por esto que muchas ciudades han elaborado estrategias de control de las emisiones producidas por el tráfico vehicular, integrando todos estos factores, porque permiten cumplir con los objetivos de calidad del aire propuestos. Estas estrategias han aumentado las oportunidades de los gobiernos locales para reducir las emisiones del tráfico vehicular, pues permiten abordar la dificultad de la problemática (la existencia de múltiples unidades pequeñas de contaminación) y son coherentes con las siguientes acciones:

- *Evitar*: por ejemplo, los desplazamientos en medios motorizados.
- *Cambiar*: por ejemplo, a medios de transporte más sostenibles.
- *Mejorar*: por ejemplo, la eficiencia energética de los medios de transporte y la tecnología de los vehículos.

La evidencia sugiere que una estrategia fundamentada en estas acciones puede lograr una reducción en la necesidad de desplazamiento en vehículos, un cambio modal en los desplazamientos cortos (mayor uso de medios no motorizados y el transporte público), y una mayor eficiencia en el transporte motorizado individual (en términos de eficiencia energética y la tecnología de los vehículos) (Hitchcock, y otros 2014).

Estos logros son el resultado del funcionamiento coordinado de los instrumentos que se formulan dentro de cada acción estratégica, que pueden ser económicos (enfocados en estimular una reducción en el uso de transporte motorizado y la adopción de vehículos con mayor eficiencia energética), regulatorios (apuntan a controlar directamente las emisiones contaminantes a través de medidas que limitan o prohíben el uso de vehículos), de planificación (son medidas que se centran en la planificación de infraestructura para reducir y optimizar el uso de medios de transporte motorizados), de información (empleados para inducir conductas deseadas a través de la sensibilización de las personas hacia medios de transporte menos contaminantes) o tecnológicos (centrados en la promoción de combustibles y vehículos más limpios). Así, cada uno de los instrumentos que se emplean, sirven a un propósito determinado por la acción estratégica que elija la ciudad (figura 2.4).

Figura 2.4. Instrumentos de gestión para reducir emisiones del tráfico vehicular



Fuente: Calidad del aire y transporte urbano de Hitchcock y otros, 2014.

Instrumentos económicos en movilidad

La adopción de instrumentos económicos en el ámbito de la movilidad, para reducir el nivel de emisiones contaminantes, responde a la búsqueda de un equilibrio entre la intervención y la voluntad individual. Esto ocurre porque su implementación pretende dar cumplimiento a los objetivos de calidad del aire propuestos a nivel de gobierno a través de mecanismos de ajuste de precios y cantidades que incidirán en las decisiones de compra de vehículos de las personas. Estos mecanismos se aplican al tipo de combustible y a la tecnología de los vehículos.

Los instrumentos (tabla 2.2) que se emplean para el control de las fuentes móviles son los impuestos, los subsidios y los esquemas de licitación (negociación de precios y cantidades). Los impuestos tienen el propósito de reducir la demanda de transporte motorizado, por lo que se emplean para desmotivar la adquisición de vehículos con tecnologías que empleen combustibles cuya combustión produzca altos niveles de contaminación. Los subsidios, en cambio, pueden usarse para incentivar la compra de vehículos menos contaminantes o para promover un cambio modal (hacia medios no motorizados) para viajes cortos. Finalmente, los esquemas de licitación, buscan llegar a un acuerdo sobre el precio de vehículos cuando se han adoptado medidas de restricción en cuanto al número de vehículos que pueden circular un área urbana (Breithaupt 2006).

Tabla 2.2. Incentivos e instrumentos económicos: un estudio

Incentivo	Instrumentos posibles	Medidas específicas
Reducir la demanda por transporte motorizado	Impuesto a la compra, propiedad o desguace de vehículos	Impuesto por registro Impuesto por (re) venta Impuesto anual
	Límites al número de vehículos y/o nuevos registros	Esquema de subastas Registro de propiedad de vehículos
Promover un cambio modal en viajes cortos	Impuestos al uso del vehículo	Impuesto al combustible Cargos a la recarga en bombas
	Impuestos al acceso o uso de infraestructura	Tarifas de estacionamiento Peajes en puentes Tarificación vial y por congestión
	Subsidios para el transporte público	Subsidios de transporte público Deducibles en transporte público
Incentivar la adopción de tecnología más limpia	Impuestos al uso del vehículo	Diferenciación de impuestos Tarifas de emisiones Subsidios a vehículos más limpios

Fuente: Instrumentos económicos para transporte sustentable de Breithaupt, 2006.

¿Cuánto influye la racionalidad limitada de los individuos en el éxito de estas medidas?

El interés por comprender cómo la concepción de un individuo con racionalidad limitada afecta el desempeño de medidas en el ámbito de la movilidad tiene su origen en 1987, cuando se desarrolló el primer “modelo de patrones de transporte”¹⁶ basado en usuarios “limitadamente racionales”. Desde ese momento, su estudio se intensificó, y al día de hoy ha permitido reconocer que existen tres maneras en que este supuesto de la economía conductual condiciona el éxito de los instrumentos que se empleen en el control de emisiones de fuentes móviles (Gifford y Checherita 2008):

- *Tratan el problema de forma marginal:* se logra que los individuos reduzcan el número de alternativas sobre las que toman decisiones, apelando a su conducta racional, esto es, evaluando restricciones relacionadas con el presupuesto, el tiempo y los costos de transacción para optimizar su utilidad. Aunque incorpore el supuesto de racionalidad limitada, ésta se entiende como consecuencia de un proceso de maximización, que reduce el conjunto de elección a dos o tres alternativas.
- *Resuelven el problema:* se logra “mejorar” las decisiones de los individuos y modificar sus intereses a largo plazo, a través de la provisión de información, que condicionará sus decisiones. En este caso, la racionalidad limitada justifica una intervención para alcanzar los objetivos propuestos.

¹⁶ Hani Mahmassani y Gang-Len Chang (1987) desarrollaron un modelo de elección modal de transporte en el que encontraron que, aunque las decisiones que toman los individuos no eran las más óptimas, éstas satisfacían su necesidad de transporte.

- *Establecen la racionalidad limitada de los agentes “por defecto”*: se adopta una postura que considera que la racionalidad limitada puede llevar a tomar decisiones óptimas, si se considera que ésta satisface algoritmos que explotan la estructura del entorno en el que se toman decisiones.

Los avances que se han hecho en este ámbito apoyan cada vez más la adopción de medidas en contextos establecidos por supuestos conductuales, dando cuenta de la realidad que enfrentan los individuos al tomar decisiones que podrían afectar la calidad del aire en las ciudades. La valoración de estos supuestos a la hora de formular políticas ambientales, permite al ser humano, con sus limitaciones, comprender mejor cómo su interacción con el ambiente es intrínseca a las actividades económicas que realiza.

2. Ciudades, movilidad y calidad del aire

Como ya se ha comentado, una mejora en la calidad del aire en las ciudades requiere del establecimiento de medidas de control para sus fuentes de contaminación, entre las que destacan aquellas dirigidas a tratar las emisiones que producen los vehículos (fuentes móviles), por sus implicaciones para el modelo de desarrollo, en términos de movilidad, salud humana, preservación ambiental, e infraestructura urbana. Es así que en esta sección se revisa cómo estas medidas (sobre todo aquellas que incluyen instrumentos económicos) han configurado el tratamiento de la contaminación atmosférica producida por el tráfico vehicular en la ciudad de Quito, analizando su aplicación y resultados, con el fin de brindar un contexto de análisis válido para el desarrollo de propuestas de intervención, como la que se plantea en esta tesis.

2.1 Ciudad de Quito

Mejorar la calidad del aire en la ciudad de Quito supone uno de los desafíos más importantes que deben enfrentar el gobierno local y sus habitantes, puesto que el aire es uno de los mayores receptores de externalidades, y su degradación representa complicaciones para la salud humana, deterioro del paisaje, y pérdidas de biodiversidad en el área urbana.

La contaminación atmosférica en Quito es un problema, en una gran proporción, de naturaleza antrópica, y su creciente grado de afectación puede explicarse por el desarrollo urbano que ha experimentado la ciudad desde inicios del siglo XX. Así mismo, se trata de un problema que ha recibido atención de los hacedores de política ambiental desde la década de los 80, cuando

operó una pequeña red de monitoreo atmosférico¹⁷. Esta caracterización de la contaminación del aire en la ciudad responde a la identificación de las principales fuentes generadoras de emisiones contaminantes, entre las que se cuentan a fábricas, hogares, y vehículos, siendo estos últimos los señalados como los mayores contribuyentes en la concentración de este tipo de emisiones (se calcula que en 2009 fueron responsables del 97,8% de emisiones de monóxido de carbono, y el 46% de emisiones de material particulado fino) de acuerdo con el estudio de perspectivas de ambiente y cambio climático de 2011.

En este ámbito, se puede acudir también a los inventarios de emisiones contaminantes que efectúa la alcaldía desde el año 2006, mismos que dan cuenta del peso que tienen los vehículos en la contaminación atmosférica: en el último inventario de emisiones disponible (2011) se reporta que los niveles de emisiones de monóxido de carbono (CO) y material particulado fino (PM_{2,5}), generados por fuentes móviles alcanzan el 98,5% y el 62,2%, respectivamente (Secretaría de Ambiente 2014).

Estos datos generan interrogantes sobre algunos aspectos de la estrategia de gestión de calidad del aire de la ciudad de Quito concernientes a la movilidad, especialmente sobre aquellos referidos a su concepción, los ámbitos que aborda para contextualizar el problema de contaminación atmosférica, los mecanismos que emplea en su ejecución, y su proyección al futuro; todos, importantes para el logro de objetivos ambientales referentes a la preservación del recurso aire.

Gestión de calidad del aire en Quito

La gestión de la calidad del aire en la ciudad se concentra principalmente en cuantificar el nivel de emisiones contaminantes e identificar las fuentes que los generan, para ajustar y aplicar medidas que contribuyan a su mitigación en el corto plazo (tabla 2.3). La ciudad de Quito es también un referente a nivel nacional en este ámbito, con esfuerzos por medir la calidad del aire que datan de un poco más de 4 décadas atrás, y un plan de manejo de calidad del aire que consiente la adopción de medidas para establecer un modelo de movilidad sostenible.

¹⁷ Esta red funcionó desde la década de los 80 hasta inicio de los años 90. Un estudio preliminar de la calidad del aire señala que los datos que eran producidos por esta red no podían ser comparados con los levantados por otras instituciones debido a sus diferencias en la recolección y métodos de medida, dificultando su utilización en la formulación de políticas específicas.

Tabla 2.3. Medición y monitoreo de la calidad del aire en Quito

Actividades	Descripción
Medición e inventario de emisiones	<p>En Quito, la medición y elaboración de inventarios de emisiones contaminantes es responsabilidad de la Secretaría de Ambiente desde el año 2010, en el que se disolvió la CORPAIRE.</p> <p>La medición contempla la recopilación de información de los siguientes contaminantes:</p> <ul style="list-style-type: none">• Monóxido de carbono (CO)• Dióxido de carbono (CO₂)• Óxidos de nitrógeno (NO_x)• Metano (CH₄)• Gases de efecto invernadero (GEI)• Compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano (COVNM)• Material particulado (PM) <p>Los inventarios se elaboran desde el año 2003 y tienen una periodicidad bianual; en éstos se presenta un resumen detallado del nivel de emisiones contaminantes desagregado por las fuentes generadoras.</p>
Monitoreo atmosférico	<p>El monitoreo de la calidad del aire en Quito es llevada a cabo de forma permanente por la Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito (REMMAQ) desde el año 1994 en 9 estaciones ubicadas a lo largo de la ciudad. La red se compone de analizadores automáticos, por lo que es posible obtener datos en tiempo real; incluye también un laboratorio para análisis de muestras.</p> <p>Los esfuerzos del monitoreo están dirigidos a la obtención de datos confiables para la elaboración, ejecución y evaluación de políticas orientadas a mitigar los efectos de las emisiones contaminantes en la ciudad.</p>

Fuente: Secretaría de Ambiente, 2014; Gestión de la calidad del aire de Schwela, 2011; Plan de Manejo de la Calidad del Aire 2005 – 2010 de Secretaría de Ambiente, 2005.

Con la información que proporciona la medición de emisiones y el monitoreo atmosférico se determinan los cursos de acción que servirán para el control de los diferentes tipos de fuentes generadoras de contaminación atmosférica.

El control de las fuentes fijas y de área, lo ejecuta la Secretaría de Ambiente de forma periódica, a través de su departamento de control ambiental, que es el encargado de llevar un registro de todos los establecimientos y áreas geográficas que representan focos de contaminación atmosférica. Esta actividad se encuentra complementada con el uso de instrumentos regulatorios (automonitoreo, reporte de los generadores); e instrumentos de información (prevención de incendios, separación de residuos) y de planificación (reforestación, cierre técnico de canteras), en el caso de las fuentes de área, con el fin de reducir el impacto de la contaminación que generan.

El control de las fuentes móviles en Quito no es exclusivo de la Secretaría de Ambiente, puesto que su abordaje se hace considerando los efectos que podría tener sobre el sistema de movilidad en la ciudad, integrando a esta actividad a la Agencia Metropolitana de Tránsito y la Secretaría de Movilidad, como lo demuestran las medidas que se han adoptado para tratar el problema de contaminación atmosférica generada por los vehículos (tabla 2.4), diseñadas para reducir los niveles de emisiones contaminantes influyendo en el accionar de los quiteños que utilizan transporte motorizado público y privado.

Tabla 2.4. Tratamiento de la contaminación producida por el tráfico en la ciudad de Quito

Medida	Descripción	Sistematización
Revisión Técnica Vehicular (RTV)	Medida vigente desde 2003, que consiste en la revisión periódica del estado mecánico, de seguridad y de emisiones de los vehículos que circulan en la ciudad. Estos automotores aprueban la RTV si cumplen con los requerimientos fijados en la normativa ambiental. En el 2009 se adjudicó la ejecución de esta tarea a la Secretaría de Ambiente.	Un control anual para vehículos particulares. Un control semestral para vehículos de servicio público (hasta abril 2016)
Control del crecimiento del parque automotor	Esta medida hace referencia a la búsqueda de mecanismos que permitan mejorar la tecnología del parque automotor, al mismo tiempo que permitan desacelerar el ritmo de incorporación de nuevos vehículos. Los mecanismos que se han adoptado en este ámbito, sólo han contribuido a una reducción de emisiones temporal.	Pico y placa (reduce el número de vehículos en las vías) Chatarrización (promueve la incorporación de vehículos menos contaminantes)
Cambio modal	Una de las medidas más ambiciosas para tratar el problema de contaminación atmosférica, concebida primordialmente como parte de la solución de movilidad, busca promover el transporte intermodal entre los habitantes, que recorrerían un trayecto haciendo cambios entre transporte motorizado y no motorizado.	Bicicleta Pública Sistema Integrado de Transporte
Mejora en la calidad del combustible	Esta medida se encuentra dirigida a la reducción progresiva del contenido de azufre en la composición del combustible que usan los vehículos de la ciudad de Quito para su funcionamiento. Considerada como una estrategia para mitigar los efectos de la contaminación atmosférica, fue concebida por el sector energético, para emplear mejores insumos en la producción de combustible.	Impuestos verdes (Petroecuador financia el plan de mejora de combustible con lo recaudado por este rubro)

Fuente: Actualización del Plan de Manejo de Calidad del Aire 2015-2020 de Secretaría de Ambiente, 2014; Análisis económico de la contaminación del aire en Quito de Fernanda Jaramillo, 2013; Boletín N. 018 de Petroecuador, 2012.

Estas medidas, de acuerdo con el informe de actualización del Plan de Manejo de la Calidad del Aire 2005 -2010, no han cumplido con los objetivos propuestos en el plan inicial y han sufrido modificaciones que menguaron su efectividad, y, en el caso de la bicicleta pública, no se concibieron siquiera como parte de la estrategia de gestión de la calidad de aire (Oviedo

2015). El informe también presenta una evaluación del desempeño de estas medidas durante el período 2005 – 2015:

- La *Revisión Técnica Vehicular (RTV)* es señalada como uno de los puntos débiles del plan anterior, pues las cifras demuestran que se ha estancado y ha pasado de ser un instrumento dinámico de gestión de calidad del aire a un “trámite administrativo necesario para la matriculación”. Esta transformación ha perjudicado el desarrollo de instrumentos basados en su funcionamiento, y su aplicación se califica como un fracaso en las circunstancias actuales (Oviedo 2015).

A la situación de la RTV se suma el anuncio, en abril de 2016, de la reducción en el número de controles anuales que debe aprobar el transporte público a nivel nacional, complicando más el logro de objetivos ambientales a través de esta medida (Decreto No. 975, Decreto No. 1213).

- El *Pico y Placa*, se adoptó como parte del paquete de medidas que buscan reducir el número de vehículos particulares que transitan las vías en la ciudad, pero a diferencia de otras ciudades, en Quito se aplica únicamente en las horas de mayor tráfico vehicular. Aunque al inicio la medida representó una reducción significativa en el nivel de emisiones de monóxido de carbono (CO) (Secretaría de Movilidad 2011) y una reducción de entre 2% y 4% en la compra de nuevos vehículos (Carrillo, Malik y Yoo 2014), ésta no ha sido suficiente para reducir las emisiones que producen los vehículos a diesel, que tienden a incrementar, de acuerdo con el informe de actualización del plan (Oviedo 2015)
- El *Plan de renovación vehicular RENOVA* estuvo vigente hasta diciembre de 2015 (Ministerio de Transporte y Obras Públicas 2016) y logró la chatarrización de 18.620 unidades de transporte público a nivel nacional durante los 8 años de su aplicación. En el informe de actualización del plan de manejo de calidad aire no se hace referencia al desempeño de esta medida en la ciudad de Quito, por lo que no se puede conocer el impacto real de esta medida en el nivel de emisiones contaminantes.
- Los *Sistemas Integrados de Transporte* y la *Bicicleta Pública* se consideran medidas complementarias en el manejo de la calidad del aire, pues no están concebidas para mitigar el efecto de las emisiones del transporte motorizado privado como tal, sino para facilitar la movilidad al interior del área urbana de la ciudad, provocando una reducción mínima en el nivel de emisiones. De hecho, no existen medidas que refieran su contribución a mejorar la calidad del aire quiteño, pero, de forma general, se concluye

que su accionar es muy limitado, y que en términos de movilidad, los resultados tampoco ofrecen una apreciación positiva sobre su desempeño (Oviedo 2015, Jaramillo 2013).

- Los *impuestos verdes* se adoptaron como instrumentos de ámbito nacional para cubrir costos asociados del tráfico vehicular (admitiendo la idea de quien contamina, paga), y cuya recaudación se destina a la importación de nafta de mayor octanaje, con el fin de mejorar la calidad del combustible con el que funcionan los vehículos en Ecuador. Aunque su adopción responde a una propuesta de Petroecuador, una evaluación inicial de esta medida da cuenta de un logro importante en la reducción de emisiones contaminantes al aire de Quito (se redujo la concentración de azufre en los combustibles de 7.000 ppm a 500 ppm), que sin embargo, no es suficiente para lograra los objetivos de calidad ambiental planteado, pues en la tendencia mundial apunta al uso de combustible con una concetración de azufre de 10 ppm.

Los párrafos anteriores denotan la necesidad de replantear las medidas que están ejecutándose en el ámbito de la gestión de la calidad del aire en Quito, pues parece que ninguna es coherente con la situación del aire en la ciudad, y de continuar así, sólo agravarían el problema de contaminación con los consecuentes resultados para el desarrollo económico y social de la urbe.

Hay que considerar además, que algunas de las medidas puestas en marcha en la ciudad, como el *pico y placa*, y la revisión técnica vehicular, fueron concebidas con enfoques diferentes al que tienen actualmente, lo que, reduce la capacidad de acción de las autoridades para tratar la contaminación atmosférica, porque los esfuerzos no se enmarcaron en la misma estrategia, sino que, se les fueron adjudicando nuevos propósitos que finalmente transformarían su intención. Así, la revisión técnica vehicular pasó de ser el instrumento por excelencia de control de emisiones del tráfico a uno de los requisitos que deben cumplir los automotores para transitar las vías; y el *pico y placa* pasó de ser un mecanismo de control de tráfico a una medida que, aunque marginalmente, contribuye a reducir el nivel de emisiones contaminantes en las horas de mayor tráfico vehicular.

Es necesario entonces, apoyar la adopción de mecanismos nuevos o complementarios en la estrategia de gestión del aire, fundamentados en los vacíos o falencias que presentan las medidas actuales, para ajustarlas y mejorarlas, buscando fortalecer sus capacidades.

No todas las medidas pueden configurarse para satisfacer las necesidades locales, pero, se pueden evaluar opciones que complementen el desempeño de los mecanismos que están en marcha. La elaboración de esta tesis pretende cubrir este último precepto, y plantea emplear el enfoque de las medidas más destacadas de la gestión del aire en Quito: la revisión técnica vehicular y el pico y placa.

Algo común en estas medidas, es que ambas están dirigidas a controlar el tráfico vehicular privado en la ciudad, que presenta patrones de consumo de combustible y de generación de contaminación alarmantes, responsable del 29,24% de emisiones de monóxido de carbono y del 28,65% de emisiones de dióxido de carbono (tabla 2.5) en el año 2011. Es precisamente en estas medidas donde las falencias son más notorias, pues como señala Jorge Oviedo (2015), la revisión técnica vehicular se transformó en un trámite administrativo, y el pico y placa, de seguirse aplicando bajo las mismas condiciones, puede provocar un incremento en el nivel de emisiones contaminantes (Oviedo 2015).

Tabla 2.5. Emisiones contaminantes del tráfico vehicular privado en Quito

En toneladas por año						
Fuentes	CO	SO2	NOX	PM 10	PM 2,5	CO2
Gasolina	23.014	415	3.137	132	72	1.034.970
Diésel	120	17	75	28	21	34.696
Total particulares	23.134	432	3.212	160	93	1.069.666
En porcentaje con relación al TOTAL de emisiones de fuentes móviles						
Fuentes	CO	SO2	NOX	PM10	PM 2,5	CO2
Gasolina	29,51%	35,59%	18,09%	12,05%	8,65%	39,86%
Diésel	0,15%	1,46%	0,43%	2,56%	2,52%	1,34%
Total particulares	29,67%	37,05%	18,52%	14,61%	11,18%	41,19%
En porcentaje con relación al TOTAL DE EMISIONES						
Fuentes	CO	SO2	NOX	PM10	PM 2,5	CO2
Gasolina	29,09%	8,73%	12,52%	4,01%	5,39%	27,72%
Diésel	0,15%	0,36%	0,30%	0,85%	1,57%	0,93%
Total particulares	29,24%	9,09%	12,82%	4,86%	6,96%	28,65%

Fuente: Inventario de emisiones contaminantes 2011 de Secretaría de Ambiente, 2014.

Adicional a la consideración del tráfico vehicular privado o particular, subyace en ambas medidas, el interés por influir en el accionar individual de quien posee un automotor, trasladando la efectividad de su ajecución a los quiteños.

Con esto en mente, es posible esbozar un nuevo instrumento de gestión de calidad del aire, que también se fundamente en la conducta de quienes utilizan medios de transporte motorizado particulares, y que contribuya a mejorar el desempeño de las medidas de revisión

técnica vehicular y, pico y placa; todo esto, enmarcado en la búsqueda de una mejor comprensión del impacto que tienen las actividades humanas en el ambiente.

3. A modo de conclusión

Este capítulo permite acercar la gestión de calidad del aire en las ciudades al lector, revisando su concepción, formulación y sistematización, con el fin de establecer las categorías de análisis que se abordan en el siguiente capítulo, y que permiten comprender el contexto en el que se desarrolla la propuesta de adoptar un instrumento económico como parte de la estrategia de gestión de calidad del aire en Quito.

Asimismo, se presentan diferentes paquetes de instrumentos que pudieran servir para reducir los niveles actuales de contaminación atmosférica que experimentan las ciudades, reconociendo que se requiere de un abordaje integral del problema que permita atacar las causas en lugar de gestionar las consecuencias, y que cimente las bases de un modelo de desarrollo sostenible para las áreas urbanas, considerando que éstas se encuentran encaminadas a convertirse en polos de desarrollo económico y social a nivel mundial.

Precisamente este pronóstico es el que motiva a buscar alternativas de solución al problema de la contaminación que producen los vehículos, porque no sólo se trata de respirar un aire más limpio y reducir la depredación de recursos naturales y energéticos, sino que además se espera gozar de un modelo de movilidad que no signifique pérdidas para el desarrollo de la ciudad.

En este sentido, la ciudad de Quito constituye un referente a nivel nacional de la gestión de la calidad del aire, pues ha abordado el problema de forma técnica y sistemática, y generado, información confiable para formulación y puesta en marcha de medidas dirigidas a tratar la contaminación atmosférica.

A pesar de que se reconoce su liderazgo en la gestión del recurso aire, la ciudad de Quito ha fallado en darle seguimiento a algunos de sus planes más ambiciosos en este ámbito, que como se muestra en el segundo apartado, requieren de una revisión inmediata antes de continuar con su aplicación. Esto, porque algunas de las medidas que forman parte de estos planes fueron concebidas con un enfoque distinto al de reducción de la contaminación atmosférica, y

priorizaron el tratamiento de la congestión vehicular y el transporte de pasajeros, lo que explicaría por qué su contribución en el mejoramiento de la calidad del aire ha sido mínima.

Todo esto es lo que viabiliza la evaluación de un instrumento que no forma parte de la estrategia de gestión de calidad del aire en Quito, pues es necesario que se evalúen nuevas opciones si quiere continuar liderando el tratamiento de la contaminación atmosférica.

Este capítulo incluye un pequeño apartado sobre el abordaje de la conducta del individuo en el ámbito de la política ambiental referida a la gestión de la movilidad, que complementa la revisión que se hace a las diversas medidas que forman parte de la gestión de la calidad del aire en las ciudades, y permite establecer criterios de valoración de las medidas que actualmente están en marcha en Quito.

Capítulo 3

¿Cuánto afecta un incentivo a las compras de vehículos y a la calidad del aire en Quito?

Introducción

Como se muestra en el capítulo anterior, la estrategia de gestión de calidad del aire en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) tiene un enfoque regulador y está construida en torno a las políticas y objetivos de movilidad que ha planteado el gobierno de la ciudad.

Esto ocurre porque los mecanismos de regulación se consideran efectivos para motivar cambios de conducta orientados a reducir los niveles de contaminación atmosférica que produce el tráfico vehicular. No obstante, estos instrumentos regulatorios han experimentado, durante los últimos años, una reducción en su efectividad, que plantea un problema para los hacedores de política ambiental, quienes deben considerar la reformulación de los mecanismos vigentes o la adopción de instrumentos complementarios.

Es así, que este capítulo tiene como objetivo estimar los efectos de la adopción de un subsidio a la compra de vehículos menos contaminantes en la calidad del aire de la ciudad de Quito, empleando un modelo de simulación basada en agentes. La simulación basada en agentes permite explorar cómo las decisiones y elecciones individuales de los hogares afectan el desempeño de un instrumento económico en diversos escenarios. En esta tesis, la simulación se desarrolla en un contexto de racionalidad limitada, partiendo de la hipótesis de que el subsidio motivará la incorporación de vehículos más eficientes al tráfico quiteño, pero, que al mismo tiempo, provocaría un “efecto rebote”, esto, en términos de composición del parque automotor con el consecuente aumento en los niveles de contaminación atmosférica.

El subsidio que se propone en esta tesis no ha sido incluido anteriormente en la estrategia de gestión de calidad del aire de ninguna ciudad ecuatoriana, sin embargo, desde el año 2008, se encuentran vigentes exenciones¹⁸ arancelarias y tributarias a vehículos híbridos, que comparten el mismo propósito con el subsidio propuesto: motivar la incorporación de vehículos menos contaminantes al tráfico urbano, con la diferencia de que el subsidio se

¹⁸ Las exenciones arancelarias se adoptaron para impulsar la utilización de vehículos híbridos, que generen un tratamiento ambiental favorable y contribuyan a reducir el costo del subsidio a combustibles. (Decreto No. 592 2007, Decreto No. 1543 2009, Decreto No. 375 2010, Decreto No. 497 2010). Esta medida fue complementada con la adopción de exenciones tributarias de impuestos al valor agregado y a los consumos especiales.

aplicaría sin distinción del tipo de propulsión del automotor, por lo que, este análisis es de carácter más general.

Este capítulo se organiza de la siguiente manera: en el primer apartado se presentan los lineamientos metodológicos del modelo de simulación. Aquí se expone la propuesta metodológica de los profesores Peter de Han y Michel Mueller (2009), quienes desarrollaron un modelo de decisión de dos etapas para explicar la elección y compra de vehículos que hacen los hogares en escenarios con diferentes incentivos económicos (subsidios e impuestos), empleando supuestos de racionalidad limitada en su fundamentación, estimando los efectos que tienen este tipo de mecanismos en términos de emisiones contaminantes, adopción de vehículos menos contaminantes, y crecimiento del parque automotor. Esta sección incluye también la adaptación que se hace de la propuesta metodológica al contexto quiteño, sus parámetros y un esquema detallado del modelo.

En el segundo apartado se presentan los resultados del modelo de simulación, que apuntan a definir la conveniencia de la adopción de un subsidio en la gestión de calidad del aire en la ciudad de Quito. Estos resultados son analizados considerando las especificaciones metodológicas empleadas, además de las condiciones que rigen este tipo de instrumentos de gestión, si se toma en cuenta que su adopción podría resultar en mayores niveles de contaminación atmosférica.

En un tercer apartado se estiman los efectos de dos medidas alternativas al subsidio propuesto: la eliminación del subsidio a combustibles para vehículos particulares y el dominio de la conciencia ambiental sobre las decisiones de compra de los hogares; esto, con el fin de contrastar el desempeño de diversos instrumentos de política dirigidos a reducir el nivel de emisiones contaminantes producidas por los automotores. Los resultados de estas medidas alternativas permiten evaluar una posible adopción del subsidio.

Finalmente, en el cuarto apartado se presenta una discusión de los resultados del modelo.

1. Metodología para la elección y compra de vehículos en Quito

La adopción de un instrumento económico (subsidio) complementario en la estrategia de gestión de calidad del aire de la ciudad de Quito en el ámbito de la movilidad, supone la evaluación de motivaciones pecuniarias por las que se podría lograr los resultados

ambientales deseados. Esto, porque se parte de la idea de que un incentivo monetario modificaría la conducta de los individuos, motivándolos a elegir y comprar productos y activos menos contaminantes, y se podrían alcanzar los objetivos ambientales propuestos (Gsottbauer y van den Bergh 2011).

Para comprobar esta afirmación y evaluar la pertinencia de un instrumento de este tipo, es necesario acudir a una metodología que permita construir escenarios donde se pueda valorar el desempeño del mecanismo bajo diferentes hipótesis, controlando variables que reflejen la realidad.

En este sentido, la propuesta metodológica de los investigadores Michel Mueller y Peter de Haan (2009) constituye un mapa de ruta adecuado para cumplir con los objetivos de esta tesis, dado que se enfoca en el análisis de las implicaciones que los instrumentos económicos suponen para la movilidad urbana y los niveles de contaminación atmosférica, permitiendo abordar, desde la perspectiva conductual, un tipo de instrumentos que, al igual que las exenciones arancelarias y tributarias a los vehículos híbridos, motiven la incorporación de vehículos menos contaminantes al parque automotor de la ciudad de Quito.

1.1 Propuesta metodológica de Michel Mueller y Peter de Haan para la elección y compra de nuevos vehículos

La propuesta metodológica de Michel Mueller y Peter de Haan (2009) consiste en la ejecución de una simulación basada en agentes para pronosticar los efectos, a nivel agregado, de la adopción de instrumentos económicos dirigidos a reducir la contaminación atmosférica producida por el tráfico, a partir de las decisiones individuales de compra de vehículos que hacen los hogares, diferenciados por características sociodemográficas¹⁹.

La elección de este enfoque responde a las características del problema que se desea abordar, porque, aparte de valorar la decisión individual que hace cada agente, se cuenta con un conjunto bien detallado de alternativas sobre las que se va a tomar una decisión; explotando de esta forma la característica más valiosa del método, referida a la posibilidad de “estudiar procesos complejos y dinámicos de forma efectiva” (Chen 2012), pudiendo determinar

¹⁹ La propuesta metodológica desarrollada por Mueller y de Haan (2009) puede considerarse una refinación de varios modelos de elección de vehículos elaborados previamente en el contexto europeo. En el Anexo 2 se hace un recuento cronológico de estos modelos.

resultados para combinaciones específicas de conductas y características, en poblaciones heterogéneas, y facilitar la transformación de fundamentos teóricos en algoritmos matemáticos para mejorar la interpretación y el análisis de resultados.

Adicionalmente, con este enfoque se puede abordar la respuesta individual a las políticas propuestas, que, de acuerdo con la evidencia empírica, está gobernada por la heurística²⁰ y reglas cognitivas, y no por procesos analíticos (Kahneman 2003), además de proveer nuevos argumentos al uso de modelos conductuales en el ámbito de la política ambiental.

¿Cuánto afectan los incentivos a las compras de nuevos vehículos?

La propuesta de Michel Mueller y Peter de Haan (2009) se concibe como un proceso de decisión de dos etapas, que busca replicar el proceso de toma de decisiones de los hogares. En la primera etapa, los hogares filtran las alternativas disponibles usando reglas no compensatorias para reducir el número de opciones que efectivamente evaluarán, acudiendo a sus preferencias, experiencias y referencias previas. Esta etapa puede denominarse como de descarte simple por emplear criterios de evaluación simple. En la segunda etapa, los hogares valoran las características técnicas de las opciones de vehículos que superaron la primera etapa, a través de reglas compensatorias, que responden a criterios objetivos, como el beneficio proporcionado por un tipo determinado de propulsión del automotor o el monto del incentivo monetario asociado a un vehículo. Esta etapa puede denominarse analítica por emplear criterios cuantitativos para ordenar las alternativas evaluadas, y permitir a los agentes tomar decisiones (racionales) que maximicen su beneficio.

Esta concepción de las decisiones de los agentes responde a la complejidad de la tarea, determinada por el número de opciones que los agentes deben evaluar, y a la recomendación de utilizar modelos con etapas múltiples (Bettman y Park 1980, Olshavsky 1974) para abordar problemas de decisión relacionados con la compra de bienes duraderos (activos), en los que, de acuerdo a la evidencia, su elección y compra supone un proceso continuo de acumulación de información y no uno limitado a la compra específica (Claxton, Fry y Portis 1974).

²⁰ Se entiende por heurística al uso de “atajos” para simplificar la decisión, sustituyendo una pregunta complicada, por una más fácil, reduciendo el número de alternativas que evalúan los agentes (Kahneman 2003).

Esta propuesta metodológica se sostiene en dos pilares: los agentes y la disposición de bases de datos detalladas. Los primeros, son las entidades que compran nuevos vehículos y cuyo proceso de decisión será replicado siguiendo los lineamientos del modelo de decisión de dos etapas. El otro pilar de esta propuesta está relacionado con la capacidad de sintetizar la mayor cantidad de información posible sobre los agentes y las características técnicas de los vehículos para hacer estimaciones más exactas. Antes de iniciar con la simulación, se describen las entradas de información que se requiere para funcionar: la población artificial y el conjunto universal de opciones.

La población artificial está compuesta de “hogares artificiales”, definidos como hogares que “representan un número determinado de hogares reales dentro de una clasificación estructurada de hogares”, y cada uno tiene un peso asociado a su representatividad dentro de la población total (Hensher, Rose y Greene 2005). En esta tesis, los hogares artificiales corresponden a representaciones de hogares en la ciudad de Quito que reportaron tener exactamente un vehículo en el año 2013 para uso particular, diferenciadas por características sociodemográficas y de posesión de vehículos. El uso de esta especificación en el tipo de agentes responde al nivel de agregación que tiene la información que se emplea en esta tesis. Con estas representaciones se busca recoger y replicar la heterogeneidad de la población que se va a estudiar.

En el estudio original de Mueller y de Haan, la población artificial está caracterizada como se muestra en la tabla 3.1. Para la simulación en el contexto quiteño se emplea la misma caracterización de la población artificial que hacen Mueller y de Haan, porque las variables que usan son de carácter general y, a excepción del idioma y los grupos de edad, no suponen restricciones adscritas a la adaptación de un modelo elaborado en el contexto europeo.

Tabla 3.1. Caracterización de la población artificial

Características sociodemográficas	Posesión de vehículo
Estructura del hogar: <ul style="list-style-type: none"> • Solteros: que viven con sus padres o que viven solos • Parejas: con hijos o sin hijos Nivel de ingreso: <ul style="list-style-type: none"> • Bajo • Medio • Alto Sexo de la persona que hace la compra: <ul style="list-style-type: none"> • Hombre o mujer Grupo de edad de quien hace la compra: <ul style="list-style-type: none"> • Menor de 29 años • De 29 años o mayor Idioma: <ul style="list-style-type: none"> • Alemán o francés 	Tipo de transacción: <ul style="list-style-type: none"> • compra de vehículo nuevo • compra de reemplazo Características del vehículo: <ul style="list-style-type: none"> • marca • modelo • tipo de transmisión • tipo de combustible

Fuente: ¿Cuánto afectan los incentivos a la compra de vehículos? de Peter de Haan y Michel Mueller, 2009.

En este trabajo, la población artificial de la ciudad de Quito, sobre la que se simulará la política de subsidio, se construye aplicando el marco de generación de hogares artificiales presentado en “Análisis de Elección Aplicado” de Hensher, Rose y Greene (2005). La distribución de estos hogares artificiales será la misma que la distribución de hogares reales que se obtenga de la Encuesta de Empleo y Desempleo Urbano (ENEMDU) de diciembre de 2013 (INEC 2013), de acuerdo a los niveles de ingreso y tipos de hogar definidos por Mueller y de Haan. La clasificación de los hogares quiteños en función de su nivel de ingresos se hace definiendo tres percentiles para el ingreso per cápita de cada hogar reportado en la ENEMDU. La distribución de hogares quiteños reales que reportaron tener un vehículo en 2013 se muestra en la tabla 3.2.

Tabla 3.2. Distribución de los hogares reales de Quito por nivel de ingreso y tipo.

Tipos de hogar	Nivel del ingreso			TOTAL
	Bajo	Medio	Alto	
Mujer soltera	19.302	13.260	8.958	41.520
Hombre soltero	6.959	4.785	7.284	19.028
Mujer soltera que vive c/padres	1.762	692	1.746	4.200
Hombre soltero que vive c/padres	597	1.177	615	2.390
Pareja sin hijos, jefe mujer	-	-	2.019	2.019
Pareja sin hijos, jefe hombre	5.928	5.768	11.047	22.743
Pareja con hijos, jefe mujer	1.787	2.925	2.603	7.316
Pareja con hijos, jefe hombre	16.527	27.974	49.929	94.430
TOTAL DE HOGARES	52.861	56.583	84.202	193.646

Fuente: INEC – Encuesta Nacional de Empleo y Desempleo Urbano de Diciembre de 2013.

Con la distribución de hogares reales definida por la ENEMDU de diciembre de 2013, se procede a calcular su proporción dentro de la población total, la cual servirá como peso en la población artificial. Las proporciones se muestran en la tabla 3.3.

Tabla 3.3. Proporción de los hogares en la ciudad de Quito

Tipos de hogar	Nivel del ingreso			TOTAL
	Bajo	Medio	Alto	
Mujer soltera	0,09968	0,06848	0,04626	
Hombre soltero	0,03594	0,02471	0,03762	
Mujer soltera que vive c/padres	0,00910	0,00357	0,00902	
Hombre soltero que vive c/padres	0,00308	0,00608	0,00318	
Pareja sin hijos, jefe mujer	-	-	0,01043	
Pareja sin hijos, jefe hombre	0,03061	0,02979	0,05705	
Pareja con hijos, jefe mujer	0,00923	0,01511	0,01344	
Pareja con hijos, jefe hombre	0,08534	0,14446	0,25784	
TOTAL DE HOGARES	0,27298	0,29220	0,43483	1

Fuente: INEC – Encuesta Nacional de Empleo y Desempleo Urbano de Diciembre de 2013.

Luego de que se han calculado las proporciones, éstas se multiplican por el número de hogares sobre los que se evaluará la política, que son 48.396 en total. Este número corresponde a las ventas de vehículos durante el año 2013. La distribución de los hogares artificiales en Quito se presenta en la tabla 3.4.

Tabla 3.4. Distribución de los hogares artificiales de Quito

Tipos de hogar	Nivel del ingreso			TOTAL
	Bajo	Medio	Alto	
Mujer soltera	4.824	3.314	2.239	10.377
Hombre soltero	1.739	1.196	1.820	4.755
Mujer soltera que vive c/padres	440	173	436	1.049
Hombre soltero que vive c/padres	149	294	154	597
Pareja sin hijos, jefe mujer	-	-	505	505
Pareja sin hijos, jefe hombre	1.481	1.442	2.761	5.684
Pareja con hijos, jefe mujer	447	731	651	1.827
Pareja con hijos, jefe hombre	4.130	6.991	12.478	23.599
TOTAL DE HOGARES	13.211	14.141	21.044	48.396

Fuente: INEC – Encuesta Nacional de Empleo y Desempleo Urbano de Diciembre de 2013.

La clasificación empleada para definir los tipos de hogar dentro de la población de la ciudad de Quito, es la misma que se muestra en el trabajo de Michel Mueller y Peter de Haan,

quienes emplean los lineamientos de un estudio que la Unión Europea ordenó a COWI²¹ en el año 2002, en el que se desarrolló un modelo de elección de vehículos común para todos los países miembro con el fin de evaluar medidas fiscales que apunten a una reducción en el nivel de emisiones de CO₂. En el estudio de COWI, la identificación de los diferentes tipos de hogar que compran un vehículo nuevo se logró utilizando información de los mercados automotrices danés y alemán, y se identifican 24 tipos de hogar, que en el modelo de Mueller y de Haan son expandidos a 40, puesto que éstos incluyeron la edad de quien hace la compra como una de las características sociodemográficas que identifica a los hogares, y esto significó un incremento en el número de tipos de hogar que se identifican para la simulación.

Para la simulación en el contexto quiteño se acude a esta misma clasificación, por ser usada en los estudios sobre elección de vehículos que anteceden la propuesta de Michel Mueller y Peter de Haan, entre los que se encuentran el estudio de COWI, y un modelo de elección de vehículos para el contexto danés; y, por la falta de trabajos que aborden la elección de vehículos en el Ecuador. En la ciudad de Quito se identificaron 22 tipos de hogar, como se observa en la tabla 3.4. Para la simulación que se plantea en esta tesis, el conjunto universal de opciones está compuesto por todas las versiones de vehículos disponibles para la compra en la ciudad de Quito, entre enero y diciembre de 2013. La base de datos que se emplea se construyó con bases de datos comerciales y técnicos. Al final, se validaron las características técnicas (tabla 3.5) de 211 versiones de vehículos.

Tabla 3.5. Caracterización del conjunto universal

Características técnicas de la flota vehicular		
Marca		Tipo de combustible
Modelo		Consumo de combustible <i>litros/100km</i>
Tipo de transmisión		Presencia de filtro de partículas <i>Dummy</i>
Tamaño del vehículo		Tiempo de aceleración de 0 a <i>S</i>
Potencia del motor	<i>kW</i>	100km/h
Precio de compra	<i>EUR</i>	Motor de inyección directa <i>dummy</i>
Capacidad del motor	<i>ccm</i>	Emisiones de CO ₂ <i>g/km</i>
Peso	<i>kg</i>	Emisiones de CO <i>g/km</i>
Capacidad de carga	<i>litros</i>	Emisiones de HO <i>g/km</i>
Longitud máxima	<i>mm</i>	Emisiones de NO _x <i>g/km</i>
Longitud mínima	<i>mm</i>	Emisiones de PM <i>g/km</i>

Fuente: ¿Cuánto afectan los incentivos a la compra de vehículos? de Peter de Haan y Michel Mueller, 2009.

²¹ COWI es una consultora internacional de origen danés, especializada en investigaciones económicas y ambientales, que en el 2002 elaboró un modelo de elección de vehículo para la Unión Europea.

Después de que se han descrito las entradas de datos que requiere el modelo de simulación, sigue la explicación de su funcionamiento, de acuerdo a su concepción, en dos etapas.

El objetivo de la primera etapa, o etapa no compensatoria, es definir el tamaño y la composición del conjunto de elección de cada uno de los hogares de la población artificial. En esta etapa se ejecutan dos procesos: uno para definir el tamaño de cada conjunto, esto es, el número de alternativas que evaluará cada hogar artificial; y, otro para determinar los elementos de cada conjunto, esto es, las versiones de vehículos que serán evaluadas por cada hogar. En esta etapa no compensatoria, se incorpora la noción de racionalidad limitada al modelo, puesto que cada hogar artificial evalúa un conjunto de decisión diferente al de otro hogar artificial, lo que refleja sus preferencias sobre el tipo de propulsión del vehículo.

La definición del número de elementos que conformarán cada conjunto se hace siguiendo la estrategia descrita en el trabajo de Michel Mueller y Peter de Haan (2009), quienes plantean la utilización de la forma funcional de una distribución gamma, que tiene una distribución unimodal y sesgada, está definida para enteros positivos, provee de una variedad de formas y es fácil de parametrizar, justificando su elección en la evidencia sobre la intensidad de búsqueda de información que hacen los compradores²², y, la dificultad de obtener información consistente sobre el número de alternativas que componen el conjunto que evalúan los agentes, quienes además, desconocen la forma en que procesan la información disponible antes de realizar una compra. Para determinar la distribución que tendrá el tamaño del conjunto de decisión de los hogares artificiales se aplica la siguiente fórmula:

$$p(n; \alpha, \theta) = \frac{e^{-n/\theta}}{\theta^\alpha \Gamma(\alpha)} n^{\alpha-1}$$

Donde $\Gamma(\alpha)$ es la función gamma, α es el parámetro de su forma, y θ es el parámetro de dispersión de la distribución. En esta tesis, se emplean los siguientes valores: $\alpha = 4$ y $\theta = 6$, para tener una distribución con media $\mu = 24$, esto es, el número promedio de alternativas que evalúa cada hogar artificial, y desviación estándar $\sigma = 12$, unimodal y sesgada. La elección de estos valores para los diferentes parámetros de la función gamma es arbitraria, y

²² Basados en sus investigaciones sobre la intensidad de búsqueda de información que hacen los compradores, Furse et al (1984) y Claxton et al (1974) concluyen que el número de opciones que se evalúan presenta una distribución unimodal y sesgada.

responde a la dificultad que supone levantar datos sobre el número de alternativas de vehículos que evalúa cada hogar quiteño, porque los agentes no llevan un registro detallado de las opciones que evaluaron antes de hacer su compra.

Luego de que se ha descrito la estrategia que servirá para definir el tamaño del conjunto específico, sigue explicar la forma en que se determinan los elementos que componen este conjunto, que, para el modelo de simulación que se desarrolla en esta tesis, emplea la noción de “restricciones pre decisionales”, las cuales pueden entenderse como decisiones tomadas con anticipación para simplificar la toma de una decisión de compra (Punj y Brookes 2002), como definir de antemano el tipo de propulsión del vehículo que se va a comprar.

Esta forma de definir los elementos que forman parte del conjunto de elección de cada hogar artificial, responde al tratamiento que se hace a las compras de vehículos en el contexto quiteño, considerándolas a todas como compras que se hacen por primera vez, debido a que no se dispone de investigaciones previas sobre elección y compra de vehículos en el contexto local. Este supuesto difiere con el modelo desarrollado por Michel Mueller y Peter de Haan (2009), que utiliza las reglas pre decisionales para profundizar en el análisis de las compras de reemplazo que hacen los hogares suizos, sobre la consideración de que una parte de los hogares buscará mantener algunas de las características de los vehículos que van a reemplazar.

Entonces, los elementos que conforman cada conjunto se definen a partir de la participación real en ventas de los vehículos según sus diferentes tipos de propulsión, esto es, repartiendo las alternativas de vehículos en las mismas proporciones que reportan las ventas de vehículos nuevos en la ciudad de Quito durante el año 2013, a lo largo de los 48.396 conjuntos de elección de los hogares artificiales. Con esto se logra que las elecciones de los hogares artificiales repliquen la distribución que tienen los datos reales.

Luego de que se han definido el número de opciones y las versiones de vehículos que conforman los conjuntos de elección específicos para cada hogar, sigue explicar la etapa compensatoria o analítica del proceso de toma de decisiones de los hogares, que culmina en la determinación de probabilidades de elección de cada una de las alternativas de vehículos que conforman los conjuntos de elección específicos.

En el modelo de Michel Mueller y Peter de Haan, esto se logra aplicando una ponderación multifactorial concebida como un modelo de elección discreto, esto es, un modelo en el que los agentes (hogares) deben elegir una de las alternativas que componen el conjunto de elección, el cual es finito. La ponderación factorial, concebida a partir de un modelo logit multinomial, que emplean Mueller y de Haan, permite pronosticar la elección de un vehículo combinando las variables sociodemográficas de los hogares con las características técnicas de la flota vehicular disponible en el mercado. Para calcular la probabilidad que tiene una alternativa de ser elegida con la siguiente fórmula:

$$P_i = \frac{V_i}{\sum_{j \in I} \exp(V_j)} = \frac{\exp(\sum_{j=1}^n \beta_i^j C_i^j)}{\sum_{j \in I} \exp(\sum_{k=1}^n \beta_j^k C_j^k)}$$

Donde P_i es la probabilidad de elección de la alternativa i , V_i es la utilidad de la alternativa i , medida como la suma ponderada de las características técnicas de la alternativa i , I es el conjunto de elección específico de cada hogar, definido en la etapa no compensatoria, las C^i 's denotan variables técnicas de los vehículos (tabla 3.6), y las β 's corresponden a los factores de ponderación de las características técnicas que están asociados a cada tipo de hogar.

Tabla 3.6. Características técnicas evaluadas en la ponderación multifactorial de Mueller y de Haan (2009)

Variables	Descripción
C_1	Logaritmo del precio en euros (€).
C_2	Costo de combustible en euros (€) para recorrer 100km.
C_3	Logaritmo de la longitud del vehículo en milímetros (mm).
C_4	Logaritmo de la capacidad de carga en litros (l).
C_5	Logaritmo del tiempo de aceleración de 0 a 100 km en segundos (s).
C_6	El vehículo se ubica por debajo del precio promedio de compra (dummy).
C_7	El vehículo se ubica por encima del precio promedio de compra (dummy).
C_8	Marca del mercado nacional (alemana, francesa o italiana).

Fuente: ¿Cuánto afectan los incentivos a la compra de vehículos? de Peter de Haan y Michel Mueller, 2009.

Los factores de ponderación de las características técnicas que están asociados a cada tipo de hogar (β 's), y que emplea la ponderación factorial de Mueller y de Haan, provienen del modelo de elección de vehículos que desarrolló COWI (2002), por las siguientes razones:

1. El modelo logit multinomial que desarrolló COWI pronostica elecciones individuales de vehículos, igual que la propuesta de Michel Mueller y Peter de Haan.

2. COWI desarrolló su modelo para analizar las consecuencias de las políticas aplicadas para reducir el nivel de emisiones de CO₂ del tráfico vehicular en todos los países de la Unión Europea, concibiéndolo como un marco estándar.
3. Para estandarizar el modelo, COWI comparó estadísticamente los parámetros asociados a cada tipo de hogar que obtuvo, con parámetros de otros modelos europeos y llegó a concluir que, en efecto, el modelo es aplicable en todos los países de la Unión Europea.

En el contexto quiteño, la aplicación de la ponderación factorial tal como se describe en Mueller y de Haan (2009), se dificulta debido a que en Ecuador no se dispone de un estudio como el de COWI, en el que se determinen los valores de los factores de ponderación de las características técnicas asociados a los diferentes tipos de hogar que conforman la población artificial; sin embargo, es posible determinar la probabilidad de elección de las alternativas dentro del conjunto de cada hogar artificial empleando un modelo logit multinomial básico²³.

El logit multinomial es un modelo de elección discreto que permite determinar la probabilidad de elección de cada una de las alternativas que conforman un conjunto de elección específico, empleando variables que describen al agente y a las alternativas, que, en esta tesis corresponde a los hogares artificiales y a las versiones de vehículos disponibles para la compra a diciembre de 2013 en Quito, respectivamente. Como se muestra en la tabla 3.7, las características técnicas que se evalúan en el contexto quiteño excluyen la valoración que hacen los hogares de la nacionalidad de las marcas porque no se dispone de información sobre este aspecto en el contexto local.

Tabla 3.7. Características técnicas evaluadas en el modelo logit multinomial para la ciudad de Quito

VARIABLES	DESCRIPCIÓN
C_1	Logaritmo del precio en dólares (\$).
C_2	Costo de combustible en dólares (\$) para recorrer 100km.
C_3	Logaritmo de la longitud del vehículo en milímetros (mm).
C_4	Logaritmo de la capacidad de carga en litros (L).
C_5	Logaritmo del tiempo de aceleración de 0 a 100 km en segundos (s).
C_6	El vehículo se ubica por debajo del precio promedio de compra (dummy).
C_7	El vehículo se ubica por encima del precio promedio de compra (dummy).

Fuente: Modificado de ¿Cuánto afectan los incentivos a la compra de vehículos? de Peter de Haan y Michel Mueller, 2009.

²³ En el Anexo 3 se presenta una descripción del modelo logit multinomial que abarca su funcionamiento y características.

En este modelo, la probabilidad de que una alternativa de vehículo i sea elegida es:

$$P_i = \frac{\exp(\sum_{j=1}^n \beta_i^j C_i^j)}{1 + \sum_{j \in I} \exp(\sum_{k=1}^n \beta_j^k C_j^k)}$$

Donde P_i es la probabilidad de elección de la alternativa i , I es el conjunto de elección específico de cada hogar, definido en la etapa no compensatoria, las C 's denotan variables técnicas de los vehículos (tabla 3.7), y las β 's corresponden a los parámetros que determinan diferentes probabilidades para cada alternativa i en función de las características de los tipos de hogar. En este modelo el cálculo del término $\beta_i^j C_i^j$ se realiza en conjunto, es decir, sin la necesidad de conocer los valores específicos de las β 's, permitiendo la ejecución del modelo de simulación en el contexto quiteño.

Este modelo, al igual que la ponderación factorial de Michel Mueller y Peter de Haan, tiene como fundamento subyacente la maximización de la utilidad que hacen los hogares, esto es, admitiendo que, aunque cada hogar evalúe un número diferente de opciones, prevalece la noción de agentes racionales que toman decisiones maximizando su utilidad.

Finalmente, la demanda total de cada una de las 211 versiones de vehículos que se evalúan en el contexto quiteño, se obtiene al sumar las probabilidades individuales que se calcularon para cada versión de vehículo dentro de cada uno de los 48.396 conjuntos de elección definidos para la población artificial.

La simulación de política sigue el mismo procedimiento descrito en esta sección, añadiendo a las características técnicas de los vehículos evaluadas, una transformación lineal del subsidio a vehículos menos contaminantes, de la forma $x' = bx$, donde x es el valor monetario del subsidio, y $b \cong 0.0001$, que es el valor de la primera derivada del logaritmo natural del límite inferior de precios de los vehículos (\$ 13.500) en Quito, tal como se describe en el trabajo de Michel Mueller y Peter de Haan, quienes emplean este artificio para introducir los incentivos en el modelo, que recurre a la transformación logarítmica del precio del vehículo. El subsidio a vehículos más eficientes se evalúa para tres porcentajes (5 %, 10 %, y 15 %) y se entiende como una reducción al precio de compra de los vehículos cuyas emisiones de CO₂ sean menores a 150 g/km, y que en ningún caso podrá superar los USD 5.000.

Esta forma de aplicación del subsidio propuesto (reducción de precio) se hace con un enfoque complementario al de las exenciones tributarias y arancelarias que se aplican a los vehículos híbridos, al incluir a todos los vehículos que cumplan con la condición impuesta (emisiones de CO₂ menores a 150g/km) sin distinguir su tipo de propulsión.

Fuentes de información

La simulación para el contexto quiteño emplea fuentes de información disponibles a diciembre de 2013; esto, porque es cuando finalizan los períodos fiscales (para los reportes de ventas) y el INEC recoge datos referentes a la conducta ambiental de los hogares, incluyendo la posesión y uso de vehículos en el hogar. Los registros que se emplean en este trabajo son:

- Encuesta Nacional de Empleo y Desempleo Urbano (ENEMDU) – INEC.
- Datos del mercado automotriz: tipos de vehículos, potencia del motor, combustible, nivel de emisiones – Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE).
- Precio del combustible – Petroecuador.
- Estándares de Calidad del Aire – CORINAIR, EPA y Secretaría de Ambiente.

En las siguientes tablas se describen con mayor detalle las variables que se emplearán, así como su origen, unidades y escalas.

Tabla 3.8. Variables sociodemográficas que caracterizan la población quiteña

Categoría	Variable	Descripción	Opciones	Escala	Fuente de información	Período de información
Características sociodemográficas	Estructura del hogar	Composición del hogar en relación a estado civil y personas con quienes lo comparte.	Soltero que vive solo Soltero que vive con sus padres Pareja sin hijos Pareja con hijos	Hogar	ENEMDU - Diciembre	2013
	Nivel de ingreso	Referente a los ingresos anuales del hogar. Las categorías de ingreso se obtienen a través de una operación estadística para definir tres segmentos (percentiles).	Bajo Medio Alto	Hogar	ENEMDU - Diciembre	2013
	Sexo del jefe de hogar	Se considera que es el jefe de hogar quien decide sobre la compra de activos (como un vehículo), por lo que se toma en consideración esta característica.	Hombre Mujer	Hogar	ENEMDU - Diciembre	2013
	Edad del jefe de hogar	En el modelo original se establecen dos categorías para esta característica, debido a que COWI, en su estudio, señala que existe preferencia por la aceleración en el grupo de edad de 18 a 29. En el contexto quiteño no se hace esta distinción.		Hogar	ENEMDU - Diciembre	2013
Posesión de vehículo	Tipo de propulsión	Método de propulsión del vehículo que posee el hogar.	Combustión interna Híbrido	Hogar	ENEMDU - Diciembre	2013
	Tipo de combustible	Combustible que emplean para el vehículo en el hogar.	Gasolina (súper y extra) Diésel	Hogar	ENEMDU - Diciembre	2013

Fuente: ¿Cuánto afectan los incentivos a la compra de vehículos? de Peter de Haan y Michel Mueller, 2009.

Tabla 3.9. Características técnicas que describen la flota vehicular

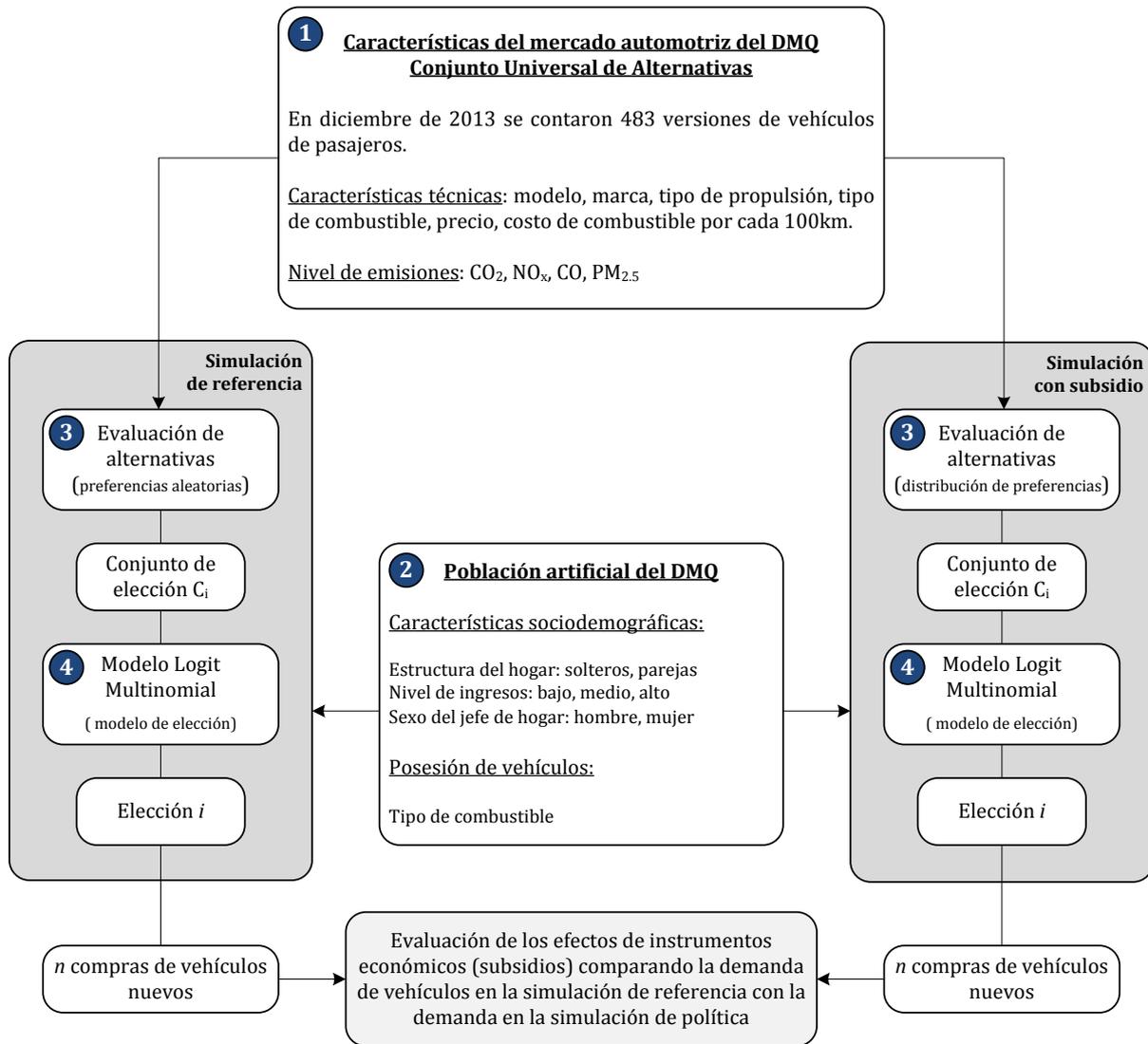
Categoría	Variable	Descripción	Unidad de medida	Escala	Fuente de información	Período de información
Características de la flota vehicular	Marca	Marca del vehículo		Vehículo	AEADE	2013
	Modelo	Modelo del vehículo		Vehículo	AEADE	2013
	Precio	Precio de venta del modelo estándar del vehículo.	US \$	Vehículo	AEADE Revista Carburando	2013
	Costo de funcionamiento	Costo del combustible que se necesita para recorrer 100 km.	US \$ por 100 km	Vehículo	AEADE Petroecuador	2013
	Longitud	Longitud del vehículo, como <i>proxy</i> del tamaño del mismo.	mm (milímetros)	Vehículo	AEADE Web del fabricante	2013
	Capacidad de carga	Carga máxima que puede mover el vehículo, incluyendo el peso del conductor.	l (litros)	Vehículo	AEADE Web del fabricante	2013
	Tiempo de aceleración de 0 a 100 km/h	Tiempo que le toma al vehículo alcanzar los 100 km/h desde el arranque.	s (segundos)	Vehículo	AEADE Web del fabricante	2013
	Nivel de emisiones de CO ₂	Cantidad de emisiones de dióxido de carbono que produce el vehículo en su recorrido.	g/km	Vehículo	AEADE EPA Web del fabricante	2013
	Nivel de emisiones de CO	Cantidad de emisiones de monóxido de carbono que produce el vehículo en su recorrido.	g/km	Vehículo	AEADE CORINAIR EPA	2013
	Nivel de emisiones de NO _x	Cantidad de emisiones de óxidos de nitrógeno que produce el vehículo en su recorrido.	g/km	Vehículo	AEADE CORINAIR EPA	2013
Nivel de emisiones de CH ₄	Cantidad de emisiones de metano que produce el vehículo en su recorrido.	g/km	Vehículo	AEADE CORINAIR EPA	2013	

Fuente: ¿Cuánto afectan los incentivos a la compra de vehículos? de Peter de Haan y Michel Mueller, 2009.

1.2 Estructura del modelo de simulación para la ciudad de Quito

La simulación que se plantea para la ciudad de Quito, tiene la siguiente estructura:

Figura 3.1. Estructura del modelo de simulación



Fuente: Adaptado de ¿Cuánto afectan los incentivos a la compra de vehículos? de Peter de Haan y Michel Mueller, 2009

La simulación se realiza en dos etapas (explicadas en la sección 1.1) y en dos escenarios: con ausencia de subsidio (referencia) y en presencia de subsidio. Los resultados que arrojan estos escenarios son comparados para determinar la pertinencia de la adopción de un subsidio en la estrategia de gestión de la calidad del aire en Quito en el ámbito de la movilidad.

Esta simulación se ejecuta bajo los siguientes supuestos:

- i. El subsidio a vehículos es el único mecanismo dirigido a mitigar la contaminación atmosférica producida por los automotores.
- ii. Todos los hogares compran un vehículo nuevo solamente.
- iii. Los hogares compran un vehículo por primera vez, por lo que solamente han definido preferencias por el tipo de propulsión.
- iv. Cada hogar evalúa un conjunto de elección específico, es decir, los conjuntos de elección son todos diferentes entre sí.
- v. Los hogares definen probabilidades de elección para cada alternativa dentro de su conjunto específico, asignando la mayor probabilidad al vehículo que les proporcione la mayor utilidad.

En la simulación, no se contempla la combinación del subsidio a vehículos con otros mecanismos de control vigentes en la ciudad de Quito, como el *pico y placa* y la revisión técnica vehicular; esto, porque ninguno tiene incidencia directa en la compra de vehículos. De igual manera, los resultados se refieren únicamente a la flota de vehículos nuevos que se incorporan al tráfico.

2. Calidad del aire y tráfico vehicular en Quito con la aplicación de un subsidio

Luego de que se ha descrito la estrategia metodológica, sigue presentar y analizar sus resultados a la luz del eje central de esta tesis: la aplicación de un instrumento económico en la gestión de calidad del aire en la ciudad de Quito.

Este modelo de “simulación basada en agentes” es estático en el sentido de que tanto los parámetros de elección, las características demográficas y la flota vehicular disponible para la venta, no cambian; éste ha sido calibrado para representar las ventas de vehículos nuevos en la ciudad de Quito durante el año 2013.

Se dispone de información referente al número de vehículos por categorías de propulsión que se vendieron, distribuidos como se muestra en la columna “Participación en ventas real” de la tabla 3.6, pero, debido a que sólo se dispone de información a nivel agregado sobre las ventas totales de cada categoría de propulsión, se realiza una simulación de referencia para establecer

la distribución de ventas de cada modelo específico de vehículo, cuyos resultados aparecen en la columna “Participación en ventas simulada” de la tabla 3.10.

Tabla 3.10. Participación en ventas de vehículos durante el año 2013

Categoría de propulsión	Participación en ventas real	Participación en ventas simulada
Gasolina	78,21%	67,25%
Híbrido	0,65%	0,86%
Diésel	21,13%	31,89%

Fuente: Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador, 2013; Resultados del modelo de simulación.

La simulación de referencia tiene un error medio absoluto (MNAE) de 21.92 %, un sesgo fraccionario medio (MFB) de 17.57 % y una correlación (r) de 0.6828; estas medidas de desempeño muestran un nivel aceptable²⁴ de acercamiento a las cifras de ventas reales, recurrente en este tipo de simulaciones. Un ejemplo de esto, es el trabajo de Michel Mueller y Peter de Haan (2009).

El desempeño de la simulación permite establecer algunas consideraciones con respecto a las estimaciones que resultan de la aplicación del algoritmo de simulación. Se aprecia una estimación por exceso en la participación en ventas de vehículos eficientes (diésel e híbridos) y una estimación por defecto en la participación en ventas de vehículos a gasolina.

El análisis de resultados se hace comparando los resultados, en términos de emisiones contaminantes, de la simulación de referencia con los de las simulaciones de política para diferentes porcentajes de subsidio, con el propósito de definir si la introducción de un subsidio a los vehículos menos contaminantes permite reducir las emisiones totales de gases de efecto invernadero (GEI). El escenario en el que se ejecutan las simulaciones tiene al subsidio como único instrumento enfocado en la gestión de calidad del aire vigente en la ciudad, por lo que el parámetro más relevante en el análisis es el nivel de emisiones contaminantes que produce la flota vehicular que se incorpora el tráfico quiteño, cuantificado para un recorrido anual promedio de 15.000 km en el área urbana (Cárdenas 2014).

²⁴ La validación del modelo se hace empleando los criterios de validación para modelos de predicción de calidad del aire que se encuentran en el trabajo de Ashok Kumar, Jie Luo y Gary Bennet (1993). Estos criterios son: $NMAE \leq 0.5$ y $-0.5 \leq MFB \leq +0.5$. Las medidas de desempeño se encuentran dentro de estos rangos.

2.1 Descripción de la flota vehicular

La composición de la flota vehicular (tabla 3.11) refleja la predilección por los vehículos que funcionan con gasolina, que se intensifica con la incidencia del incentivo (hasta el 70.61 % de participación en ventas); la demanda por vehículos de propulsión híbrida también se intensifica, las estimaciones muestran un incremento en su participación en ventas (del 0.86% al 1.25 % en la simulación con el subsidio más alto); todo esto, en contraste con de los vehículos que funcionan con diésel, cuya participación en ventas se ve afectada negativamente con la adopción del instrumento (una reducción de entre el 4.43% y el 11.8%).

Tabla 3.11. Composición de flota vehicular según tipo de propulsión

Categoría de vehículos	Simulación de referencia	Simulación de política		
		Subsidio del 5%	Subsidio del 10%	Subsidio del 15%
Híbridos (# de vehículos)	415	484	545	603
Variación con respecto a la referencia		16,58%	31,26%	45,20%
Participación en ventas	0,8576%	0,9998%	1,1256%	1,2452%
Gasolina (# de vehículos)	32.547	33.162	33.796	34.177
Variación con respecto a la referencia		1,89%	3,84%	5,01%
Participación en ventas	67,2505%	68,5215%	69,8329%	70,6191%
Diésel (# de vehículos)	15.434	14.750	14.055	13.617
Variación con respecto a la referencia		-4,43%	-8,94%	-11,78%
Participación en ventas	31,8919%	30,4787%	29,0415%	28,1357%

Fuente: Resultados del modelo de simulación.

Continuando con la descripción de la flota vehicular (tabla 3.12), la aplicación del subsidio produce una reducción progresiva en el peso promedio de los vehículos de entre 1.07 y 3.32 puntos porcentuales, mostrando un ligero cambio hacia la compra de automotores más pequeños; también, el consumo de combustible se reduce entre el 1.75 % y el 4.86 %, el consumo de gasolina muestra un nivel de reducción mayor (entre 2.29 % y 6.06 %) que el consumo de diésel, cuya reducción se estima entre 0.42 % y 1.50 %.

Tabla 3.12. Efectos estimados sobre algunas características técnicas de los vehículos

Característica	Simulación de referencia	Variación en porcentaje		
		Subsidio del 5 %	Subsidio del 10%	Subsidio del 15%
Consumo de combustible (L/100km)	8,740	-1,75%	-3,54%	-4,86%
Consumo gasolina (L/100km)	8,648	-2,29%	-4,49%	-6,06%
Consumo diésel (L/100km)	8,937	-0,42%	-0,98%	-1,50%
Peso al vacío (kg)	1.632,348	-1,07%	-2,29%	-3,32%
Cilindrada (cm ³)	2.111,518	-1,43%	-3,00%	-4,27%

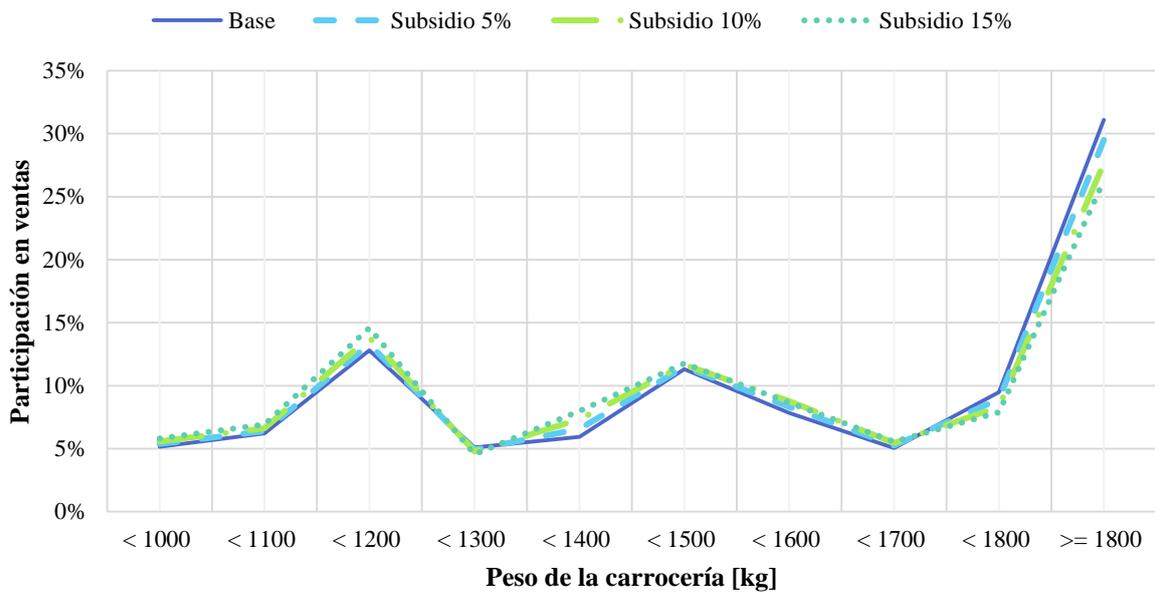
Fuente: Resultados del modelo de simulación.

Revisando las variaciones de las características técnicas, es posible notar que el instrumento (subsidio) tiene efectos positivos en términos de consumo de combustible y peso del vehículo, dado que promueve la incorporación de vehículos más eficientes y pequeños, reduciendo así el costo de funcionamiento de estos vehículos.

Esto último podría ser la causa de un efecto rebote, dado que se aprecia también, una reducción en la potencia media de los automotores (que tiene efecto en el precio), que combinado con el ahorro en combustible podría motivar la compra de un número mayor de vehículos. Este aspecto, sin embargo, no puede analizarse con este modelo de simulación estático, cuyas condiciones iniciales asumen un tamaño fijo del parque vehicular nuevo, y lo que se analiza es el cambio en su composición.

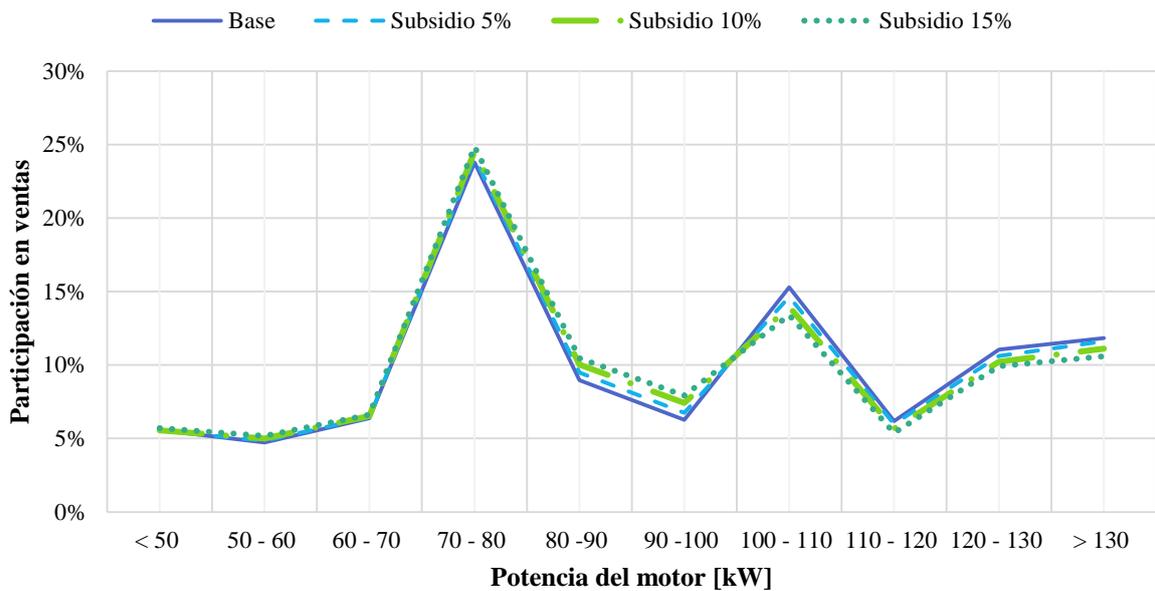
El subsidio, en cualquiera de sus niveles, produce variaciones mínimas en las características técnicas de la flota de vehículos que se incorporan al tráfico quiteño. Esto se puede explicar por los supuestos de racionalidad limitada en los que se basa el modelo aplicado.

Figura 3.2. Variación de demanda de vehículos según categorías de peso



Fuente: Resultados del modelo de simulación

Figura 3.3. Variación de demanda de vehículos según categorías de potencia



Fuente: Resultados del modelo de simulación

Las figuras 3.2 y 3.3 muestran que el subsidio no produce cambios sustanciales en la composición de la flota de vehículos nuevos. Los incrementos en la demanda de vehículos de menor tamaño y potencia son mínimos, por lo que podría decirse que el subsidio no cumple con promover un cambio en la elección del vehículo que hacen los hogares.

2.2 Emisiones contaminantes

Una vez que se han descrito los cambios que produce un subsidio en la composición de la flota vehicular que se incorpora al tráfico, sigue la estimación de los efectos que producen estos nuevos vehículos en el aire de la ciudad de Quito. Esta parte comprende el análisis de las estimaciones (tabla 3.13) para cuatro contaminantes: monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), y metano (CH₄).

Tabla 3.13. Efectos estimados sobre el nivel de emisiones promedio

Emisiones	Simulación de referencia	Variación porcentual		
		Subsidio del 5 %	Subsidio del 10%	Subsidio del 15%
Emisiones de CO ₂ (g/km)	193,902	-2,209%	-4,484%	-6,131%
Emisiones de NO _x (g/km)	1,147	-0,714%	-1,442%	-2,205%
Emisiones de CO (g/km)	11,610	-3,245%	-6,436%	-8,773%
Emisiones de CH ₄ (g/km)	0,047	0,081%	0,166%	-0,039%

Fuente: Resultados del modelo de simulación

Como se expuso en el capítulo anterior, las fuentes móviles, en especial los vehículos, son los mayores contribuyentes al deterioro progresivo de la calidad del aire en la ciudad de Quito, dando mayor relevancia al análisis de los efectos potenciales del subsidio propuesto.

En cuanto se refiere a las emisiones de dióxido de carbono, con la incidencia de la política se aprecia una reducción que oscila entre el 2.21 % (cuando el subsidio es del 5 %) y el 6.13 % (cuando el subsidio es del 15 %) en su nivel promedio de emisiones. El efecto sobre este contaminante es directo, dado que el subsidio está concebido para favorecer a los hogares que compran vehículos con emisiones de CO₂ menores a 150 g/km.

Para estimar las emisiones del resto de contaminantes se emplearon factores de emisión. Los resultados muestran que la aplicación del subsidio (a cualquier nivel) provoca una reducción en los niveles de emisión de los óxidos de nitrógeno y monóxido de carbono. En cuanto se refiere al metano, sus emisiones muestran un comportamiento variable, en el que se aprecia una mínima reducción en sus niveles de emisión cuando el subsidio es del 15 %, mientras que, cuando el subsidio es del 5 % o el 10 % sus emisiones muestran una tendencia creciente. Esta variabilidad en el nivel de emisiones del metano puede explicarse por el incremento en

las ventas de los vehículos a gasolina, los cuales producen cuatro veces más emisiones de metano que los automotores a diésel²⁵.

La estimación del desempeño del subsidio (tabla 3.14) muestra que requiere de una contribución anual de entre 21.3 (cuando el subsidio es del 5 %) y 70.05 millones de dólares (cuando el subsidio es del 15 %) para su aplicación; esto reduciría entre 3.110 (subsidio del 5 %) y 8.630 (subsidio del 15 %) las toneladas de CO₂ que emiten los vehículos.

Tabla 3.14. Estimación del desempeño de la medida

Agregados	Simulación de referencia	Estimaciones		
		Subsidio del 5 %	Subsidio del 10%	Subsidio del 15%
Volumen del incentivo (en millones de dólares)	0,0	\$ 21,30	\$ 48,52	\$ 70,05
Reducción de emisiones de CO ₂ (%)	0,0	-2,209%	-4,484%	-6,131%
Reducción de CO ₂ (toneladas)	0,0	-3.110,09	-6.311,32	-8.630,74
Costo por tonelada de CO ₂ abatido (\$/tCO ₂)	0,0	\$ 306,72	\$ 804,49	\$ 1.490,73

Fuente: Resultados del modelo de simulación

El costo de abatimiento de la medida se obtiene al aplicar la siguiente fórmula²⁶:

$$\text{Costo de abatimiento} = \frac{CAT_{\text{Subsidio}} - CAT_{\text{Base}}}{Emisiones_{\text{Subsidio}} - Emisiones_{\text{Base}}} \text{ [$/tCO}_2\text{]}$$

Donde *CAT* es el costo anualizado total de cada opción, que se obtiene al agregar el costo de funcionamiento del vehículo (combustible) con la inversión anual (valor presente del precio) que supone su elección, como se muestra en la siguiente fórmula:

$$CAT = \text{Costo de funcionamiento} + \text{Inversión} \times \text{Factor de recuperación de capital}$$

²⁵ De acuerdo con las directrices del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, los factores de emisión de metano (en kg/TJ) son 20 kg/TJ para vehículos a gasolina y 5 kg/TJ para vehículos a diésel. Las emisiones de metano aumentan cuando el motor hace combustión incompleta (GCE 2009).

²⁶ Esta fórmula corresponde a la usada en la construcción de curvas de abatimiento de los países que forman parte del Programa de Fortalecimiento de Capacidades en Bajas Emisiones (LECB) del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Con este planteamiento se busca un marco estándar de comparación del costo de las diferentes opciones de mitigación que se evalúan en los países miembros (Clerc, Díaz y Campos 2013).

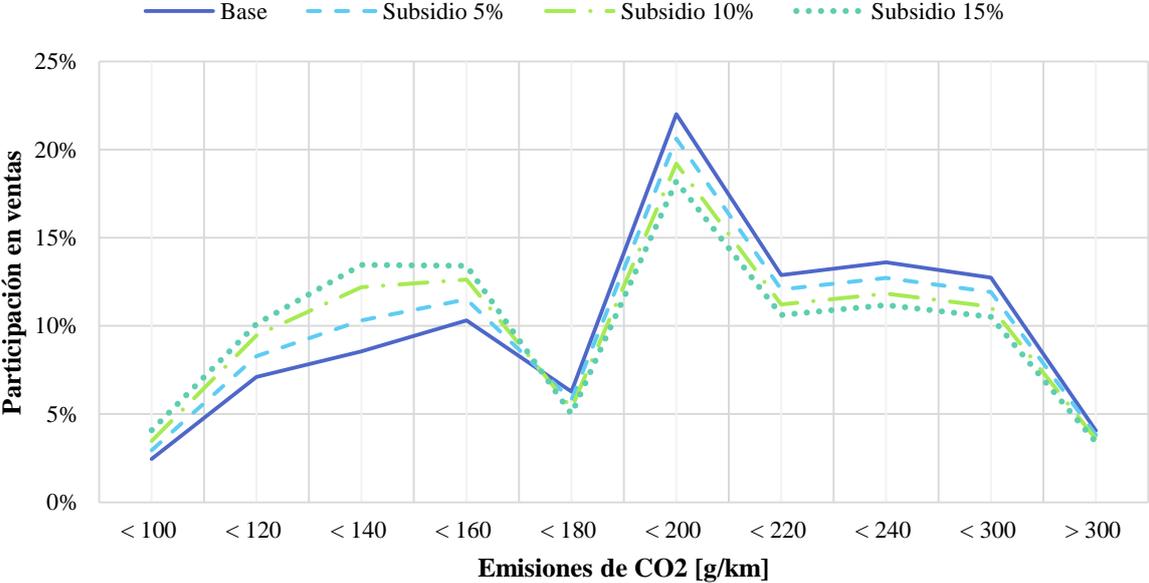
El cálculo del costo anual de funcionamiento e inversión de un vehículo permite comparar el costo – efectividad anual de diferentes opciones de mitigación; es por esto que la fórmula incluye un factor de recuperación del capital de inversión (FRC), dado por:

$$FRC = \frac{d(1 + d)^n}{(1 + d)^n - 1}$$

En donde *d* corresponde a la tasa de descuento; y *n*, a la vida útil del vehículo. Para su cálculo en esta tesis se define: *d* = 16.30 %²⁷ y *n* = 10²⁸.

Una vez realizadas las estimaciones, es posible apreciar que el costo de abatimiento calculado a cualquier nivel de subsidio es alto (entre \$ 307 y \$ 1.490 por tonelada de CO₂ abatido). El efecto de estas medidas en la composición de la flota de vehículos nuevos, en términos de nivel de emisiones, puede verse en la figura 3.4.

Figura 3.4. Variación de demanda de vehículos según categorías de emisiones



Fuente: Resultados del modelo de simulación

²⁷ Este valor corresponde a la tasa de interés activa efectiva máxima para el sector consumo en diciembre de 2013 (Banco Central del Ecuador 2013).

²⁸ Este valor corresponde a un supuesto que la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos emplea para el cálculo de emisiones (EPA).

De acuerdo con los resultados de la simulación, la aplicación del subsidio provoca un crecimiento en la participación en ventas de vehículos con emisiones menores a 160 g/km (efecto directo), y una ligera reducción, respecto a la base, en el nivel de ventas de vehículos cuyas emisiones están entre 200 y 300 o más g/km. La caída que se observa en la participación en ventas de vehículos con emisiones menores a 180 g/km puede explicarse porque esa categoría se ubica en el umbral del promedio de emisiones estimado.

3. Evaluación de medidas alternativas al subsidio

Los resultados del modelo de simulación presentados en la sección anterior muestran que la aplicación de un subsidio a autos más eficientes contribuye muy poco a la reducción en el nivel de emisiones contaminantes que produce el tráfico en la ciudad de Quito; de hecho, si se considera el monto total de emisiones que producen anualmente los vehículos particulares²⁹, la reducción alcanza un máximo de 0.67 % (cuando el subsidio es del 15 %), como se puede ver en la tercera columna de la tabla 3.15.

Tabla 3.15. Desempeño ambiental del subsidio

Medida simulada	Reducción anual estimada de CO ₂ (toneladas)	Reducción estimada de CO ₂ en relación al total de emisiones producidas por vehículos particulares (porcentaje)
Subsidio del 5 %	-3.110,09	-0,2397%
Subsidio del 10 %	-6.311,32	-0,4865%
Subsidio del 15 %	-8.630,74	-0,6653%

Fuente: Resultados del modelo de simulación

Estos resultados, sumados a los altos costos de abatimiento que se estiman para la aplicación del subsidio, motivan la evaluación de dos medidas alternativas: la eliminación del subsidio a los combustibles, y, el dominio de la conciencia ambiental sobre las decisiones de compra de los hogares.

i. Eliminación del subsidio a combustibles para vehículos particulares

En el Ecuador se encuentra vigente una política de subsidio a los combustibles que mantiene congelados los precios de la gasolina y el diésel, que sirven en el funcionamiento de vehículos

²⁹ El efecto del subsidio en relación al total de emisiones que producen los vehículos particulares en Quito se calculó empleando el inventario de emisiones de contaminantes criterio del año 2011, que estima que, en ese año, los vehículos particulares produjeron 1'297.327 toneladas de CO₂ (Secretaría de Ambiente 2014).

particulares, desde el año 2005. Este congelamiento de precios constituye un incentivo para quienes tienen o desean tener un vehículo.

La consideración de la eliminación del subsidio a combustibles como alternativa de política nace, precisamente, de la última proposición del párrafo anterior, porque el costo de funcionamiento influye en la elección de vehículos que hacen los hogares. Con la eliminación del subsidio a combustibles se espera una mayor variación en la composición de la flota de vehículos nuevos; en relación a la estimada para el subsidio a vehículos menos contaminantes.

Para la simulación de esta medida, el precio de un galón de gasolina es de \$ 3,14 y el de un galón de diésel es de \$ 3,12. Los montos corresponden a los precios de importación de estos combustibles en el año 2013.

Este escenario permite evaluar el impacto de una medida de este tipo, lejos de sus implicaciones sociales y políticas, lo cual puede servir para generar argumentos que apunten a su adopción en el futuro.

ii. Dominio de la conciencia ambiental

El dominio de la conciencia ambiental sobre las decisiones de compra, supone la adopción de reglas compensatorias, que den cuenta del nivel de afectación ambiental que produce cada vehículo, en la evaluación de alternativas que hacen los hogares en la ciudad de Quito. Con esta medida se espera alterar sustancialmente la elección de los agentes, lo que se evidenciará en la composición de la flota de vehículos nuevos.

Para la simulación de esta medida, se establece que cada vehículo verá reducida la probabilidad de ser elegido en función al nivel de emisiones que produce. Esta reducción de la probabilidad se calcula incluyendo el nivel de emisiones de CO₂ reportado, como una variable adicional en el modelo de elección; esto significa que los hogares valorarán negativamente las emisiones que producen las alternativas de vehículos que forman parte de sus conjuntos de elección específicos. Esta medida se simula en dos contextos: el primero, con precios de combustible subsidiados; y el segundo, con precios de combustible no subsidiados.

Considerar a la conciencia ambiental como norma y no como excepción, constituye la limitación más importante en este escenario, puesto que, implícitamente, supone que todos los

hogares poseen el mismo grado de conciencia ambiental. Esto, sin embargo, permite hacer un abordaje no económico del problema de elección que enfrentan los hogares, y esboza un camino que podría contribuir efectivamente a la mitigación de la contaminación atmosférica. En los siguientes párrafos se presentan los resultados de las simulaciones para estas dos medidas, tomando como base la misma simulación de referencia de la sección anterior.

3.1 Descripción de la flota vehicular

En contraste con el subsidio a vehículos menos contaminantes, las medidas de eliminación del subsidio a combustible y el dominio de la conciencia ambiental, alteran significativamente la flota de vehículos nuevos (tabla 3.16). Se observa un crecimiento significativo en la participación en ventas de vehículos híbridos (69.47 % cuando se elimina el subsidio a los combustibles; y un máximo de 192.54 % cuando influye la conciencia ambiental), y vehículos a gasolina (un incremento de 11.18 % sin subsidio a combustibles; y un máximo de 17.11 % cuando hay dominio de la conciencia ambiental). La participación en ventas de los vehículos a diésel se ve afectada por una reducción que se ubica en 25.44 %, sin subsidio a combustibles, y entre 16.72 % y 41.26 % cuando influye la conciencia ambiental.

Tabla 3.16. Composición de flota vehicular según tipo de propulsión

Categoría de vehículos	Simulación de referencia	Simulación de medidas alternativas		
		SIN subsidio a combustibles	Conciencia ambiental CON precios de combustibles subsidiados	Conciencia ambiental SIN precios de combustibles subsidiados
Híbridos (# de vehículos)	415	703	804	1.214
Variación con respecto a la referencia		69,47%	93,63%	192,54%
Participación en ventas	0,8576%	1,4533%	1,6605%	2,5088%
Gasolina (# de vehículos)	32.547	36.184	34.738	38.116
Variación con respecto a la referencia		11,18%	6,73%	17,11%
Participación en ventas	67,2505%	74,7666%	71,7783%	78,7584%
Diésel (# de vehículos)	15.434	11.509	12.855	9.066
Variación con respecto a la referencia		-25,44%	-16,72%	-41,26%
Participación en ventas	31,8919%	23,7801%	26,5612%	18,7327%

Fuente: Resultados del modelo de simulación

En cuanto se refiere a las características técnicas de los vehículos (tabla 3.17), se aprecia una reducción en todas las características técnicas presentadas. Así, el peso de los vehículos se reduce en 6.11 % cuando se elimina el subsidio a combustibles, y entre 6.57 % y 11.91 % cuando hay influencia de la conciencia ambiental. El consumo de combustible también muestra esta tendencia, y su reducción es mayor cuando se evalúa la influencia de la conciencia ambiental (entre 8.42 % y 14.95 % menos). Todos estos valores superan los efectos estimados en la sección anterior, por lo que, estas alternativas constituyen medidas más efectivas para promover la compra de vehículos más pequeños y eficientes.

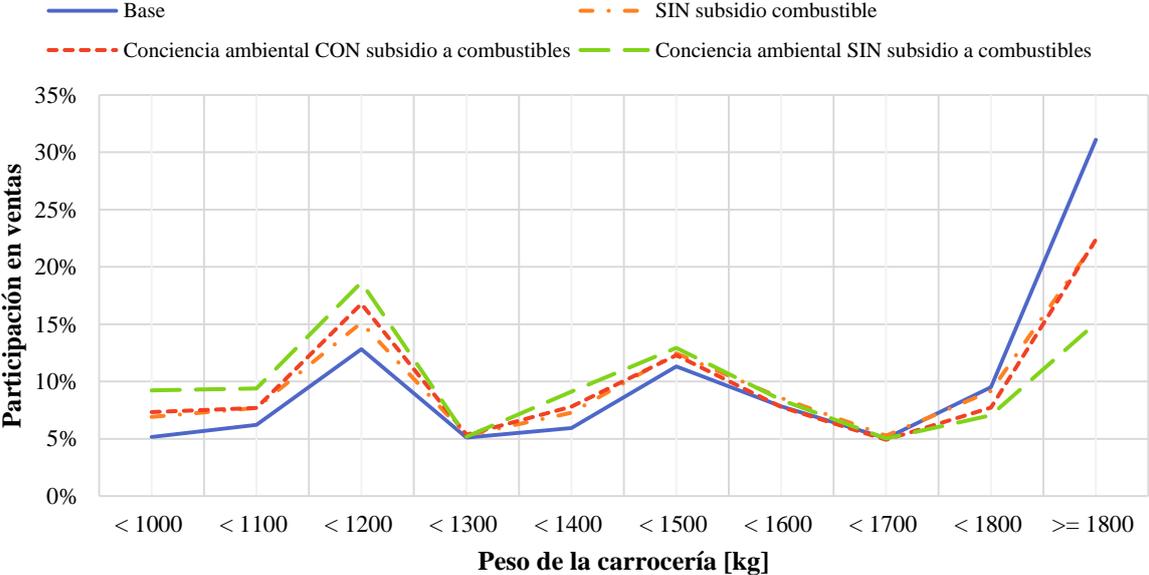
Tabla 3.17. Efectos estimados sobre algunas características técnicas de los vehículos

Característica	Simulación de referencia	Variación en porcentaje		
		SIN subsidio a combustibles	Conciencia ambiental CON subsidio a combustibles	Conciencia ambiental SIN subsidio a combustibles
Consumo de combustible (L/100km)	8,740	-7,10%	-8,42%	-14,95%
Consumo gasolina (L/100km)	8,648	-7,92%	-10,16%	-16,51%
Consumo diésel (L/100km)	8,937	-3,51%	-3,18%	-6,46%
Peso al vacío (kg)	1632,348	-6,11%	-6,57%	-11,91%
Cilindrada (cm ³)	2111,518	-5,83%	-7,91%	-13,04%

Fuente: Resultados del modelo de simulación

La variación que producen estas medidas en la composición de la flota vehicular según categorías de peso puede apreciarse en la figura 3.5. Es posible observar una reducción significativa en la participación de vehículos con un peso mayor a 1 800 kg.

Figura 3.5. Variación de demanda de vehículos según categorías de peso



Fuente: Resultados del modelo de simulación

Esta alteración podría motivar un cambio progresivo en la oferta de vehículos en la ciudad, con mayor presencia de automotores eficientes (menor consumo de combustible), que, en el largo plazo produciría un ambiente estable para la aplicación de otras medidas a favor de este tipo de vehículos.

3.2 Emisiones contaminantes

Las medidas de eliminación del subsidio a combustibles y dominio de la conciencia ambiental en las decisiones de los hogares, tienen un efecto mayor (tabla 3.18) en el nivel de emisiones de dióxido de carbono (CO₂), en comparación con los efectos estimados para la aplicación del subsidio a vehículos menos contaminantes.

Tabla 3.18. Efectos estimados sobre el nivel de emisiones promedio

Emisiones	Simulación de referencia	Variación porcentual		
		SIN subsidio a combustibles	Conciencia ambiental CON subsidio a combustibles	Conciencia ambiental SIN subsidio a combustibles
Emisiones de CO ₂ (g/km)	193,902	-7,048%	-11,407%	-17,617%
Emisiones de NO _x (g/km)	1,147	-3,285%	-3,882%	-6,342%
Emisiones de CO (g/km)	11,610	-10,567%	-16,685%	-24,434%
Emisiones de CH ₄ (g/km)	0,047	4,611%	-0,395%	3,514%

Fuente: Resultados del modelo de simulación

Con la eliminación del subsidio a los combustibles se estima una reducción de 7.05 % de las emisiones de dióxido de carbono. Esta reducción es mayor cuando existe influencia de la conciencia ambiental: entre 11.41 % y 17.62 % menos emisiones. Las estimaciones para las emisiones de óxidos de nitrógeno y monóxido de carbono, presentan la misma tendencia; de hecho, el monóxido de carbono presenta los niveles de reducción más altos.

En el caso del metano, las estimaciones muestran un incremento en sus emisiones cuando se ha eliminado los subsidios a combustibles; esto se explica por el efecto que tienen los precios no subsidiados en la elección de vehículos, que, como muestra la tabla 3.12 supone un incremento en la participación en ventas de los automotores a gasolina e híbridos (la mayoría emplea gasolina en su funcionamiento), los cuales producen un nivel mayor de metano.

En cuanto se refiere a la estimación del desempeño de estas medidas (tabla 3.19), se aprecian niveles de reducción de las emisiones de CO₂ más altos en comparación al subsidio a vehículos, que van desde las 9 920 toneladas (cuando se eliminan los subsidios a

combustibles) hasta las 24 798 toneladas (cuando se considera la conciencia ambiental). No obstante, estos niveles de efectividad vienen acompañados con costos de abatimiento altos, los cuales pueden explicarse por los cambios que produce la adopción de este tipo de medidas en el proceso de elección de los hogares, obligándolos a aumentar el nivel de actividad de búsqueda previa a la compra; esto es, aumentar el número de alternativas o factores que se evaluarán antes de hacer una elección.

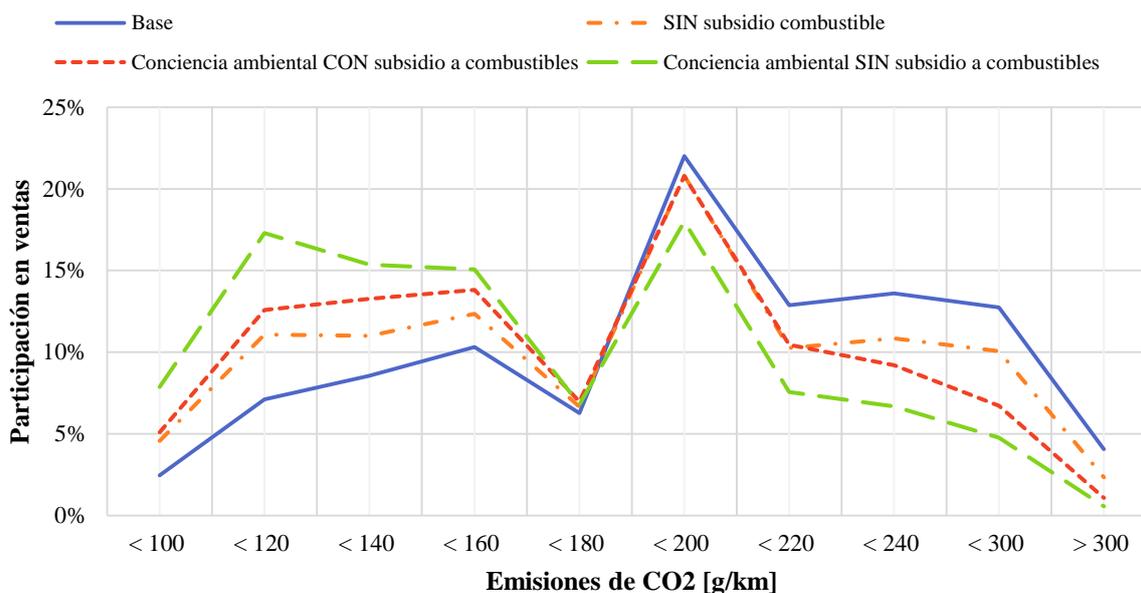
Tabla 3.19. Estimación del desempeño de las medidas

Agregados	Simulación de referencia	Estimaciones		
		SIN subsidio a combustibles	Conciencia ambiental CON subsidio a combustibles	Conciencia ambiental SIN subsidio a combustibles
Reducción de emisiones de CO ₂ (%)	0,0	-7,048%	-11,407%	-17,617%
Reducción de CO ₂ (toneladas)	0,0	-9.920,77	-16.055,91	-24.798,24
Costo por tonelada de CO ₂ abatido (\$/tCO ₂)	0,0	\$ 1.072,37	\$ 1.038,93	\$ 997,15

Fuente: Resultados del modelo de simulación

Las estimaciones de los niveles de emisiones contaminantes muestran que tanto la eliminación del subsidio a combustibles, como el dominio de la conciencia ambiental en la elección de los hogares, producen una mayor alteración en la composición de la flota de vehículos nuevos. De hecho, cuando esta flota se reparte en diferentes categorías de emisiones (figura 3.6), se observa una reducción importante en la participación en ventas de vehículos con emisiones mayores a 300 g/km; y un incremento significativo en la participación en ventas de vehículos con emisiones menores a 160 g/km.

Figura 3.6. Variación de demanda de vehículos según categorías de emisiones



Fuente: Resultados del modelo de simulación

En contraste con la aplicación de un subsidio a vehículos menos contaminantes y considerando el monto total de emisiones que producen anualmente los vehículos particulares, la eliminación del subsidio a combustibles y el dominio de la conciencia ambiental, alcanzan mayores niveles de reducción de emisiones de CO₂, que, sin embargo, no suponen una mejora significativa en la calidad del aire en la ciudad, como se puede ver en la tercera columna de la tabla 3.20.

Tabla 3.20. Desempeño ambiental de las medidas alternativas

Medida simulada	Reducción anual estimada de CO ₂ (toneladas)	Reducción estimada de CO ₂ en relación al total de emisiones producidas por vehículos particulares (porcentaje)
SIN subsidio a combustibles	-9.920,77	-0,7647%
Conciencia ambiental CON subsidio a combustibles	-16.055,91	-1,2376%
Conciencia ambiental SIN subsidio a combustibles	-24.798,24	-1,9115%

Fuente: Resultados del modelo de simulación

4. Discusión de resultados

La reducción del nivel de emisiones contaminantes que produce el tráfico vehicular supone una tarea que está lejos de terminar, pues parece que cada vez se complica un poco más la adopción de instrumentos que aborden de forma efectiva el problema y promuevan cambios

significativos en el patrón de consumo y movilidad de los individuos que habitan en las áreas urbanas.

En este sentido, el presente trabajo de investigación pretende contribuir con una pequeña parte de la tarea, evaluando la incidencia de un subsidio a vehículos menos contaminantes sobre el nivel de emisiones contaminantes en el aire de la ciudad de Quito, a través de una simulación basada en agentes, cuyas decisiones se sujetan a una racionalidad limitada y son influenciadas por el entorno que las rodean.

La fortaleza de este método radica en la posibilidad de representar la complejidad que suponen los procesos de toma de decisiones de los individuos, y los cambios que éstos pueden sufrir cuando se introducen políticas e instrumentos que pretenden modificarlos.

Los resultados del modelo de simulación muestran que la aplicación del subsidio a vehículos menos contaminantes produce una reducción mínima en el nivel de emisiones, y no genera cambios sustanciales en el peso promedio y el consumo promedio de combustible de la flota de vehículos nuevos, por lo que no se puede decir que este instrumento contribuya efectivamente a un cambio en el patrón de consumo de los hogares.

Por su parte, las medidas de eliminación de subsidio a combustibles y dominio de la conciencia ambiental, presentan niveles de reducción de emisiones más altos que el subsidio a vehículos, aunque aún su contribución global es muy pequeña; sus resultados muestran que estas medidas alteran significativamente la composición de la flota de vehículos nuevos, aumentando la participación en ventas de vehículos menos pesados, y con un consumo de combustible menor, por lo que puede decirse, que estas medidas contribuyen efectivamente a modificar el patrón consumo de los hogares.

De todas las medidas evaluadas con el modelo de simulación, la eliminación del subsidio a combustibles es la que presenta el mejor desempeño en términos de reducción de emisiones de gases contaminantes. Para hacer esta distinción se descartan los resultados estimados para el dominio de la conciencia ambiental en las decisiones de compra de los hogares, porque, como se explica en su fundamentación, homogeniza el grado de conciencia ambiental de los hogares, lo que reduce la capacidad que tiene el modelo de mostrar resultados mejor ajustados a la realidad que está replicando.

Adicionalmente, el desempeño de la medida de eliminación del subsidio a combustibles prevalece cuando se compara con el desempeño de las medidas de exoneración tributaria y arancelaria que se aplicaron en el Ecuador entre 2008 y 2012, con el fin de incentivar la incorporación de vehículos híbridos al parque automotor. Pablo Tapia (2013) desarrolla una investigación en este contexto, y estima que las exoneraciones de aranceles e impuestos a los híbridos, produjeron una reducción de 9.823 toneladas de CO₂ a nivel nacional a finales de 2011, lo que corresponde a casi el mismo nivel de reducción estimado para la eliminación del subsidio a combustibles en la ciudad de Quito.

Aparte del desempeño ambiental que tiene la eliminación del subsidio a combustibles, su costo de abatimiento asociado es menor al correspondiente al nivel más alto del subsidio a vehículos menos contaminantes, confirmando que su adopción provocaría un cambio positivo en la ciudad de Quito, en términos ambientales. La adopción de esta medida, sin embargo, se encuentra sujeta a una voluntad que podría costar mucho en términos de capital político, pues podría ocurrir que el solo anuncio de la medida genere un nivel de rechazo que tergiverse su verdadero sentido.

La evaluación de diversas medidas de mitigación de la contaminación atmosférica producida por los vehículos, muestra que las formas de valoración no económica (dominio de conciencia ambiental), podrían contribuir a tratar el problema, pero su puesta marcha constituye una acción que nace desde los hogares, por lo que debería analizarse la posibilidad de adoptar instrumentos enfocados en influir en el proceso de formación de los individuos, para que éstos construyan restricciones fundamentadas en criterios de calidad y preservación ambiental.

Conclusiones

Nuevas perspectivas en la valoración de la contaminación del aire

Esta tesis plantea el desarrollo de un modelo de simulación para estimar los efectos de la aplicación de un subsidio a vehículos, basado en su nivel de emisiones, sobre la calidad del aire en Quito, a partir de las preguntas: ¿Qué efecto tendrá un subsidio dirigido a promover la compra de vehículos menos contaminantes, en el nivel de emisiones atmosféricas de la ciudad de Quito?, y, ¿Qué implicaciones supone este instrumento para la política pública?; y la hipótesis de que un subsidio dirigido a la compra de vehículos con menor nivel de emisiones contaminantes motivará su incorporación al tráfico vehicular, pero su aplicación podría promover la expansión del parque automotor, siendo contraproducente en términos de emisiones contaminantes; esto, con el fin de evaluar las condiciones en que convendría aplicar un subsidio y sus limitaciones como estrategia de política ambiental.

Anteriormente, en el Ecuador ya se habían puesto en marcha mecanismos a favor de la incorporación de vehículos menos contaminantes (híbridos) como exoneraciones tributarias y arancelarias, que, reducían su precio de venta final (actuando como un subsidio) y los hacían más atractivos para los hogares que habían decidido comprar un vehículo. La adopción de estas exoneraciones buscaba disminuir el nivel de emisiones contaminantes que produce el parque automotor, y reducir el costo, para el estado, del subsidio a combustibles.

No obstante, esta política de exoneraciones arancelarias y tributarias tuvo varias alteraciones desde que entró en vigencia. Inicialmente, esta medida favorecía a todos los vehículos híbridos sin distinción alguna, lo que provocó un crecimiento significativo en sus ventas³⁰. Después de dos años, en 2010, la medida fue reformada, para desacelerar la introducción de vehículos híbridos, cuya cilindrada no produzca beneficio fiscal o ambiental alguno, causando una reducción significativa en su participación. En el año 2012, entraron en vigencia cuotas de importación de vehículos, híbridos incluso, que terminaron de diluir el propósito de las exoneraciones; y para el 2013, las ventas de híbridos alcanzaron 521 unidades a nivel nacional (AEADE 2014).

³⁰ Entre 2009 y 2010, los vehículos híbridos registraron ventas totales de 5.946 unidades. En 2010 alcanzaron su nivel más alto de ventas: 4.509 unidades. Ese mismo año se introdujeron las primeras reformas, provocando una caída en ventas del 48 % en el 2011.

Todo el proceso que rodea la aplicación de las exoneraciones tributarias y arancelarias en Ecuador, muestra que una intervención del estado dirigida a tratar el problema de contaminación atmosférica con incentivos a la compra de vehículos menos contaminantes, altera la elección de vehículo de un grupo reducido de agentes³¹, y necesita de tiempo para afianzarse y producir resultados significativos. Esto es coherente con la apreciación teórica de Elisabeth Gsottbauer (2013) sobre la reducida efectividad de la política ambiental en contextos de racionalidad limitada, donde prevalece la combinación de motivos y factores psicológicos en el proceso de cognición de los agentes.

Es así que puede decirse, que los incentivos aplicados por el gobierno (exoneraciones arancelarias y tributarias), no consideraron la heterogeneidad en la racionalidad de los agentes, y, que los cambios que se introdujeron después, sólo mostraron con mayor claridad esta deficiencia.

Con esto en mente, se evaluó el subsidio a vehículos menos contaminantes en un contexto de racionalidad limitada, considerando que fue aplicado durante todo el año 2013 en la ciudad de Quito, que fue elegida por la disponibilidad de información sobre: *a)* monitoreo de calidad del aire; *b)* inventarios de emisiones contaminantes, con fuentes plenamente identificadas; y, *c)* concentración de las ventas de vehículos nuevos³².

El modelo de simulación empleado para hacer la evaluación del subsidio, es una adaptación de los lineamientos metodológicos propuestos por Peter de Haan y Michel Mueller para estimar los efectos, en términos de emisiones de CO₂, de incentivos económicos a la compra de vehículos menos contaminantes, en un contexto de racionalidad limitada. Para aplicarse en el contexto quiteño, se establecieron los siguientes supuestos, aparte de los límites a la racionalidad: *a)* todas son compras de vehículos nuevos; *b)* todas son compras que se realizan por primera vez; *c)* el subsidio a vehículos es el único mecanismo de mitigación de la contaminación atmosférica; y *d)* todos los hogares eligen la alternativa que proporciona el mayor nivel de utilidad (como criterio subyacente al modelo de elección empleado). Se hizo

³¹ Suponiendo que todos los compradores de vehículos híbridos hicieron su elección con base en las exoneraciones, estas medidas habrían afectado positivamente al 3.4 % del total de compradores en 2010, el 1.6% en 2011, el 1.2 % en 2012 y el 0.46 % en 2013 (AEADE 2014).

³² Según los datos reportados por la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador, en el año 2013, en Quito se hicieron el 40.7 % de las ventas totales de vehículos.

una simulación de referencia para definir la línea base con la que se compararon los resultados de las simulaciones de política, esto es, cuando se introduce el subsidio.

La simulación de referencia tiene un buen desempeño: replica con una precisión aceptable (MNAE = 21.92 %; MFB = 17.57 %; R = 0.6828) la composición de la flota de vehículos nuevos que se incorporaron al tráfico quiteño en el año 2013, según su tipo de propulsión, permitiendo desarrollar el análisis de resultados en un contexto similar al real.

La elección de un subsidio como política ambiental para tratar la contaminación atmosférica producida por los automotores, se sustenta teóricamente en las facilidades que supone su adopción: costos de implementación relativamente bajos, implementación casi inmediata, y efectos visibles en el corto plazo (Hitchcock, y otros 2014). En el contexto quiteño, adicional a estas facilidades, la elección del subsidio responde a la necesidad de evaluar un instrumento con mayor alcance que las exoneraciones arancelarias y tributarias propuestas por el gobierno.

El modelo de simulación produce resultados que pueden clasificarse en dos categorías: la composición de la flota de vehículos nuevos, y la generación de emisiones de gases de efecto invernadero que producen los vehículos en Quito.

Descripción de resultados de la simulación de referencia

Como se expuso anteriormente, la simulación de referencia replica con una precisión aceptable la composición de la flota de vehículos nuevos en Quito, según su tipo de propulsión. Aparte del tipo de propulsión, esta simulación de referencia permite explorar la composición de la flota vehicular según diferentes características técnicas como el consumo promedio de combustible (estimado en 8.74 L/100km), el peso promedio de la carrocería (estimado en 1 632.35 kg) y el cilindraje promedio del motor (estimado en 2 111.52 cm³).

En la simulación de referencia se estiman también los niveles de emisión promedio de cuatro contaminantes: monóxido de carbono (estimado en 11.6 g/km), dióxido de carbono (estimado en 193.9 g/km), óxidos de nitrógeno (estimado en 1.15 g/km), y metano (estimado en 0.05 g/km).

Todos los valores estimados en la simulación de referencia, para las características técnicas y los niveles de emisión, se toman como línea base para la comparación con los resultados de las simulaciones de política.

Descripción de resultados de la simulación de política con subsidio del 5 %

Cuando el subsidio alcanza el 5 %, la composición de la flota de vehículos nuevos muestra una reducción en el consumo promedio de combustible del 1.75 %, esto también ocurre con el peso promedio de la carrocería, y el cilindraje promedio del motor, que se reducen en 1.07 % y 1.43 %, respectivamente.

Las emisiones promedio de tres gases contaminantes también muestran reducciones: las emisiones de monóxido de carbono se reducen un 3.24 %, las de dióxido de carbono un 2.21%, y las de los óxidos de nitrógeno un 0.71 %. El metano, a diferencia de los otros tres gases, muestra un incremento que alcanza el 0.08 %, que podría explicarse por el incremento en el nivel de ventas de vehículos a gasolina, que, como se mencionó en el capítulo anterior, tienen emisiones de metano más altas que los vehículos que funcionan con diésel.

Descripción de resultados de la simulación de política con subsidio del 10 %

La simulación de política con un subsidio del 10 %, muestra reducciones en el consumo promedio de combustible (3.54 %), el peso promedio de la carrocería (2.29 %) y el cilindraje promedio del motor (3 %), de la flota de vehículos nuevos.

En lo referente a las emisiones promedio de gases contaminantes, el instrumento provoca reducciones para el monóxido de carbono (6.43 %), el dióxido de carbono (4.48 %) y los óxidos de nitrógeno (6.44 %). En este escenario, el metano presenta un incremento que alcanza el 0.17 %.

Descripción de resultados de la simulación de política con subsidio del 15 %

En la simulación de política que evalúa un subsidio del 15 %, es posible apreciar reducciones en: el consumo promedio de combustible (4.86 %), el peso promedio de la carrocería (3.32 %) y el cilindraje del motor (4.27 %), de la flota vehicular nueva.

A este nivel de subsidio, las emisiones promedio de todos los gases contaminantes muestran reducciones: las emisiones de monóxido de carbono se reducen en 8.77 %, las de dióxido de carbono en 6.13 %, las de los óxidos de nitrógeno en 2.21 % y las de metano en 0.04 %.

1. ¿Cuánto aporta el subsidio a la calidad del aire en Quito?

Los resultados presentados en la simulación de política para los diferentes niveles de subsidio, muestran un efecto mínimo sobre la composición de la flota de vehículos nuevos y el nivel de emisiones contaminantes.

Sobre la flota de vehículos nuevos es posible concluir que la aplicación del instrumento altera muy poco su composición, y si bien, se aprecia una creciente participación en ventas de vehículos de menor peso, y con menor consumo de combustible, este cambio de elección no es suficiente para apuntar la aplicación de un subsidio a vehículos menos contaminantes.

Cuando se traslada el efecto del subsidio en la composición de la flota vehículos nuevos, al nivel de emisiones esperados, se aprecian reducciones que no sobrepasan el 6.3 %, y, que al compararse con el total de emisiones que produce el tráfico vehicular privado en Quito, representa una reducción de apenas el 0.67 %.

Si además se considera la evaluación financiera del subsidio, ésta tampoco ofrece un panorama favorable para su introducción en el plan de gestión de calidad del aire de la ciudad, pues requiere de un aporte económico que podría ir de 21 a 70 millones de dólares anuales; que, a un costo de abatimiento estimado, por tonelada de CO₂, ubicado entre \$ 306.72 (cuando el subsidio es del 5 %) y \$ 1 490.73 (cuando el subsidio es del 15 %), denota que el instrumento, como se ha planteado, no es eficiente.

Adicionalmente, la aplicación del subsidio podría generar efectos rebote³³, como resultado de las ganancias en el consumo promedio de combustible y en el cilindraje promedio del motor de la flota de vehículos nuevos. Estas ganancias podrían traducirse en bajos costos de funcionamiento que motiven un incremento en la intensidad del uso de los automotores, esto

³³ Para efectos del análisis de resultados, se entiende al efecto rebote como un incremento en la demanda (en términos de kilómetros recorridos o número de vehículos) provocado por ganancias en la eficiencia (menor consumo de combustible y menor cilindraje del motor) del vehículo, que genera emisiones contaminantes adicionales (Saunders 2000).

es, un mayor número de kilómetros recorridos con el vehículo, o que, a su vez, permitan ahorrar lo suficiente para adquirir más vehículos, lo que derivaría en otro tipo de problemas ambientales y de movilidad. No obstante, estos efectos no pueden ser abordados por la metodología que se utilizó en esta tesis.

2. Proyección de la medida: cómo funciona el subsidio en otras ciudades

El subsidio a la compra de vehículos menos contaminantes ya ha sido incorporado a la estrategia de gestión de calidad del aire de otros lugares del mundo, con resultados positivos en términos de adopción de tecnologías limpias y participación en ventas, por lo que en esta parte se revisa su funcionamiento, para establecer criterios de valoración que no pudieron ser abordados por el modelo de simulación.

En Europa, los incentivos económicos que forman parte de las políticas de mitigación de la contaminación atmosférica producida por los vehículos están en vigencia desde 2008 en Francia, y desde 2011 en Irlanda y Reino Unido; y, se adoptaron con el fin de promover la adquisición de vehículos menos contaminantes, esto es, tomando en cuenta el nivel de emisiones que reportan las marcas. Estos incentivos se aplican de forma similar en los tres países; en Reino Unido el monto máximo que puede descontarse al precio de un vehículo eléctrico es de £ 4.500; en Irlanda, el descuento para los vehículos eléctricos alcanza un máximo de € 5.000; y en Francia la reducción máxima es de € 1.000 para automotores de diésel o gasolina y € 5.000 para los eléctricos.

El incentivo que se aplica en Reino Unido ha sido modificado en función del desempeño que ha presentado durante los primeros años de vigencia, su aplicación aumentó el número de beneficiarios de 109 en el último trimestre de 2011 a 8.453 en el mismo período del año 2015. Asimismo, el monto del incentivo se ha reducido con el fin de mantenerlo hasta el año 2018, y se han definido categorías de emisiones para los vehículos que se beneficiarán con él (Morris 2016).

En Irlanda, el incentivo se ha cuestionado por ser insuficiente para lograr la incorporación de vehículos eléctricos, pues aún con el descuento, poseer uno puede ser inalcanzable. Esto afectó directamente las proyecciones gubernamentales de la participación de los eléctricos en la flota nacional de vehículos, esperando que ésta alcance el 10 % para el 2020; proyección

que luego sería revisada en 2014, por la lentitud con la que se están incorporando los vehículos eléctricos (Ryan 2017).

Finalmente, en Francia el incentivo es el complemento de una carga impositiva a la compra de vehículos contaminantes, que en conjunto se denominan *Bonus/Malus*. Después de su anuncio, este incentivo supuso un crecimiento inesperado de al menos 13 % en las ventas de vehículos menos contaminantes, ya que éste era el único criterio de diferenciación para beneficiarse con él. Este incremento en las ventas, sin embargo, produjo un aumento en el recorrido promedio que hacen los vehículos, con el consecuente efecto en el nivel de emisiones contaminantes. En el largo plazo se espera que la medida contribuya con una pequeña reducción, si se logra reemplazar todos los vehículos que actualmente circulan en el país (D'Haultfoeuille, Givord y Boutin 2014).

Abordar la aplicación del subsidio en el contexto europeo es necesario porque el modelo de simulación que se emplea en esta tesis fue desarrollado como un marco estándar para abordar este mercado, no obstante, su forma de aplicación (a nivel nacional) no permite establecer criterios de valoración específicos al área urbana, por lo que se procede a analizar el funcionamiento del incentivo en contextos más locales, como son California y Quebec.

El uso de incentivos económicos para impulsar la incorporación de vehículos menos contaminantes al tráfico urbano forma parte de las estrategias de gestión de calidad del aire de California, en Estados Unidos, y de Quebec, en Canadá, desde 2010 y 2012 respectivamente; y, han significado un incremento en la participación en ventas de automotores eléctricos y de automotores con menor consumo de combustible.

Aunque el propósito es el mismo, la aplicación del instrumento es diferente en Quebec y California. En Quebec, el subsidio se aplica a las características tecnológicas de los vehículos, como contar con una batería con una capacidad mínima de 4 kWh, o reportar un consumo de combustible máximo de 6.3 litros por cada 100 km; mientras que, en California, el subsidio se aplica considerando el nivel de ingresos del comprador del vehículo menos contaminante.

La aplicación del subsidio en ambos contextos ha sido objeto de cuestionamientos en torno a su focalización. En el caso de Quebec, se cree que el subsidio podría estar beneficiando a quienes de cualquier forma hubiesen elegido un vehículo eléctrico o híbrido (Chandra, Gulati

y Kandlikar 2010), por lo que no estaría cumpliendo con motivar un cambio en el patrón de compra de los individuos. En California, en cambio, se evidencia que la forma en que se otorga el subsidio, reduce el número de beneficiarios de la medida, afectando negativamente la capacidad del instrumento para lograr los objetivos de incorporación de vehículos menos contaminantes al tráfico urbano; lo que ha significado una extensión de su aplicación, con los costos asociados que esto representa.

Un punto de discusión adicional tiene que ver con la forma en que el subsidio se hace efectivo. Así, para recibir el beneficio económico que supone adquirir un vehículo menos contaminante, los compradores en Quebec y California deben registrar su adquisición en un período de tiempo determinado. Este registro, sin embargo, se realiza en condiciones diferentes: en Quebec, donde el subsidio se sujeta a las características del vehículo, éste puede ser calculado durante la compra, reduciendo la incertidumbre sobre el monto exacto que se reduce al precio del automotor; mientras que, en California, donde el subsidio está sujeto al nivel de ingreso del comprador, el monto del mismo es conocido meses después de realizada la compra. La diferencia en el momento en que se conoce el monto del subsidio también reduce su capacidad para motivar la compra de vehículos menos contaminantes. Los cálculos que se han hecho estiman en 20 % el nivel de afectación de la incertidumbre en la efectividad del subsidio (Yang, y otros 2016, Gallagher y Muehlegger 2011).

En este contexto, se puede concluir que el subsidio cumple con su propósito de forma marginal, pues no altera de forma significativa la elección de los hogares, y dificulta el logro de objetivos relacionados con la incorporación de vehículos menos contaminantes al tráfico urbano. Cabe preguntar entonces, ¿por qué evaluar este instrumento en el contexto quiteño?

Dejando de lado las evidentes diferencias entre las áreas urbanas norteamericanas y latinoamericanas, en los últimos años, se ha experimentado un creciente interés en la posibilidad de adoptar mecanismos que promuevan la incorporación de automotores menos contaminantes al tráfico urbano. En el Ecuador, este fue uno de los argumentos que justificó la exoneración de aranceles y tributos para los vehículos híbridos, la cual podría considerarse similar a un subsidio, dado que fue adoptada con el objetivo de hacer menos costosa la adquisición de un híbrido, para lo cual renunciaba a una parte de los ingresos que el estado tenía por concepto de impuestos y aranceles a vehículos. Esta exoneración de aranceles y tributos en Ecuador, al igual que el subsidio en Quebec y California, tuvo efectos positivos

mínimos en términos de reducción de emisiones contaminantes y de incorporación de vehículos híbridos al tráfico urbano.

La forma en que se aplicó esta medida, como una exoneración que beneficiaba directamente a los importadores, pudo reducir su efectividad, y por eso se planteó evaluar un subsidio que se oferta directamente al comprador, el cual, como muestran los resultados de la simulación de política genera beneficios relativamente más altos³⁴.

3. Alternativas de política al subsidio

Los resultados estimados en la simulación del subsidio muestran que este instrumento tiene un efecto mínimo en el nivel de emisiones contaminantes que produce el tráfico en la ciudad de Quito, lo que motiva la evaluación de medidas alternativas al subsidio, con el fin de hacer valoraciones comparativas que permitan tomar una postura mejor fundamentada sobre la incorporación de este instrumento a la estrategia de gestión de calidad del aire.

Es así que se planteó evaluar las siguientes medidas: la eliminación del subsidio a combustibles para vehículos particulares, como un desincentivo económico que motive la compra de vehículos con bajo costo de funcionamiento; y, el dominio de la conciencia ambiental sobre las decisiones de compra, como una restricción propia del entorno en el que los hogares toman sus decisiones, y en la que no hay intervención directa del estado.

La eliminación del subsidio a los combustibles es una recomendación de política impopular en Ecuador, por el enfoque redistributivo y de incentivo a la producción nacional con el que se justificó su adopción en primer lugar; esto, sin embargo, no excluye la posibilidad de evaluar su desempeño, para hacer un análisis comparativo de sus resultados con los del subsidio a vehículos menos contaminantes.

Los resultados de la simulación muestran que la eliminación del subsidio a los combustibles tiene efectos positivos sobre las características técnicas de la flota de vehículos nuevos, produciendo reducciones del 7.1 % en el consumo promedio de combustible, del 6.11 % en el peso promedio de la carrocería, y del 5.83 % en el cilindraje promedio del motor.

³⁴ El modelo estima que el subsidio produciría una reducción máxima de 8 630 toneladas de CO₂ en Quito, mientras que para la exoneración de aranceles y tributos se ha estimado una reducción máxima de 9 823 toneladas de CO₂ a nivel nacional.

En lo referente a las emisiones promedio de los gases contaminantes, la eliminación del subsidio a los combustibles provoca reducciones en el monóxido de carbono (10.57 %), el dióxido de carbono (7.04 %) y los óxidos de nitrógeno (3.29 %). El metano, por otro lado, presenta un incremento del 4.61 %, que, como se expuso anteriormente, podría explicarse por el incremento en la participación en ventas de los vehículos a gasolina.

El dominio de la conciencia ambiental sobre las decisiones de compra de los hogares no puede considerarse una recomendación de política en el sentido estricto, pues supone una valoración que no responde necesariamente a la intervención del estado, pero, que permite abordar un esquema de elección fundamentado en criterios de calidad ambiental.

Los resultados de la simulación del dominio de la conciencia ambiental, en un escenario con subsidio a los combustibles, muestran que su aplicación afecta positivamente la composición de la flota de vehículos nuevos, reduciendo un 8.42 % el consumo promedio de combustible, un 6.57 % el peso promedio de la carrocería, y un 7.91 % el cilindraje promedio del motor.

En este mismo escenario, con subsidio a los combustibles, el dominio de la conciencia ambiental reduce las emisiones promedio de todos los contaminantes: un 16.69 % para el monóxido de carbono, un 11.41 % para el dióxido de carbono, un 3.88 % para los óxidos de nitrógeno, y un 0.4 % para el metano.

Ahora, en un escenario sin subsidio a los combustibles, los resultados del dominio de la conciencia ambiental muestran que éste tiene efectos positivos en la composición de la flota vehicular nueva, provocando reducciones del 14.95 % en el consumo promedio de combustible, del 11.91 % en el peso promedio de la carrocería, y del 13.04 % en el cilindraje promedio del motor.

Cuando se ha eliminado el subsidio a los combustibles, el dominio de la conciencia ambiental produce una reducción en las emisiones promedio de monóxido de carbono (24.43 %), dióxido de carbono (17.62 %), y óxidos de nitrógeno (6.34 %), mientras que, el metano presenta un incremento de 3.51 %.

Comparando los resultados de la eliminación del subsidio a los combustibles con los de la aplicación del subsidio a vehículos menos contaminantes, es posible concluir que la

eliminación del subsidio a los combustibles es la medida más efectiva para reducir el nivel de emisiones contaminantes.

Esto también es cierto cuando se consideran las estimaciones financieras de ambas medidas, ya que la eliminación del subsidio a los combustibles tiene un costo de abatimiento estimado, por tonelada de CO₂, de \$ 1 072.37, el cual es menor al que presenta el nivel más alto de subsidio a vehículos menos contaminantes.

La eliminación del subsidio a combustibles genera también otro tipo de beneficios, como contar con una mayor disponibilidad de recursos para inversión pública, mejorar la rentabilidad relativa de alternativas energéticas, provocar una reducción en la dependencia vehicular, y mejorar las condiciones generales de movilidad (Carlino y Carlino 2015, Castillo 2007). No obstante, su adopción se encuentra condicionada a la voluntad de las autoridades, esto, porque su anuncio podría derivar en una pérdida de capital político.

Los resultados estimados para el dominio de la conciencia ambiental muestran que una valoración que nace del agente puede ser más efectiva que la intervención del estado, esto, sin embargo, es una apreciación a la luz de las estimaciones presentadas, que, como se expuso en el capítulo anterior, adolecen de falta de solidez, por admitir implícitamente, que todos los hogares tienen el mismo grado de conciencia ambiental. Es por esto último, que sus resultados se excluyen del análisis comparativo.

La admisión de conciencia ambiental representa, además, un nuevo reto para los hacedores de política, quienes podrían pensar en construir una estrategia de gestión de la calidad del aire empleando instrumentos de información, planificación y educación, enfocados en fortalecer el vínculo entre ser humano y ambiente, para lograr conductas deseables que sean sostenibles.

4. Recomendaciones de política

La experiencia e información que ha generado la forma en que el subsidio se aplica en áreas urbanas de otros países (California y Quebec), incluidas sus limitaciones, sumadas a la evaluación que se hizo en este trabajo de la aplicación de un subsidio a vehículos menos contaminantes en la ciudad de Quito, permiten hacer las recomendaciones de política que se presentan en la siguiente página.

1. Los resultados apuntan a descartar la adopción del subsidio a vehículos menos contaminantes en la gestión de calidad del aire de la ciudad, porque su efecto a nivel agregado, en la composición de la flota de vehículos nuevos y en el nivel de emisiones contaminantes, es mínimo, y tiene altos costos de abatimiento.
2. La eliminación del subsidio a los combustibles se perfila como una medida capaz de generar mejores resultados que la adopción de otro subsidio, por lo que, debería estudiarse la posibilidad de abrir caminos para su implementación.
3. El contexto en el que se desarrolla este trabajo de investigación contempla únicamente un cambio en los patrones de consumo de los hogares, sin tratar directamente el problema estructural que supone el incremento sostenido de vehículos en las vías de la ciudad, planteando la posibilidad de aplicar instrumentos dirigidos a limitar el tamaño del parque automotor.

Adicionalmente, es necesario recordar que las instituciones también son protagonistas en la gestión de la calidad del aire, por lo que se debe exigir mayor dinamismo en el diseño y formulación de instrumentos que tratan el problema de la contaminación atmosférica, considerando que existen factores cognitivos (racionalidad limitada) que condicionan el éxito de las políticas que se ponen en marcha.

5. Alcances de la investigación y planteamientos para futuras investigaciones

Existen varios aspectos que no fueron incluidos o tratados a profundidad en este trabajo de investigación, pero cuyo abordaje contribuirá significativamente al estudio de la pertinencia de la aplicación de instrumentos económicos en la gestión de calidad del aire. Es así, que algunos de los planteamientos para futuras investigaciones que surgen a partir de esta tesis están relacionados con la metodología aplicada y los resultados su aplicación.

La metodología aplicada se fundamenta, implícitamente, en la maximización de la utilidad individual, homogenizando el enfoque de la elección de todos los hogares en Quito, lo que no siempre es así, ya que podría darse el caso de que algunos de los hogares evalúen alternativas con el objetivo de minimizar el riesgo de hacer una mala elección, presentando así, la posibilidad de evaluar los efectos de un incentivo desde esta perspectiva.

Gaspar Chorus, Mark Joetse y Anco Hoen (2013), abordan este planteamiento de forma genérica, y logran hacer importantes hallazgos al comparar el desempeño de un modelo de

maximización de utilidad con el de minimización de arrepentimiento. Primero, ambos modelos son capaces de abordar escenarios en los que los agentes enfrentan decisiones. Segundo, el enfoque de minimización del arrepentimiento supera la capacidad predictiva del de maximización de utilidad por muy poco. Y, tercero, el modelo de minimización del arrepentimiento, asigna mayores probabilidades a las alternativas con características técnicas razonables, esto es, consumo de combustible, peso, y cilindraje del motor más cercanos al promedio.

Estos hallazgos muestran que las implicaciones de política podrían diferir al aplicar únicamente uno de los dos enfoques, por lo que se motiva a usarlos en conjunto, para robustecer el diseño de políticas dirigidas a motivar cambios en los patrones de compra.

Asimismo, los resultados de las simulaciones de política plantean temas de investigación complementarios referentes a la efectividad de los de subsidios como instrumentos de gestión de calidad del aire, la posibilidad de aplicar otras medidas que promuevan cambios significativos en el patrón de compra de los hogares, y formas de abordar estructuralmente el problema de la contaminación atmosférica producida por los vehículos.

La efectividad de un instrumento, un subsidio en este caso, pasa por muchos factores, entre los que destaca su vigencia dentro de la política de gestión de calidad del aire, porque puede ocurrir que su aplicación no tenga el efecto esperado en el tiempo previsto, y requiera de constantes renovaciones que comprometan la puesta en marcha de otras medidas y el desarrollo de su área de influencia; así, para proveer información sobre los posibles impactos de una extensión del incentivo económico, es necesario llevar a cabo un análisis que ilustre el desempeño de la medida en escenarios con diferentes niveles de adopción y cumplimiento.

Aunque en esta tesis se abordan sólo un par de medidas alternativas al subsidio (eliminación del subsidio a los combustibles y dominio de la conciencia ambiental) para motivar un cambio sostenido en el patrón de compra de los hogares, es necesario iniciar con la investigación de medidas dirigidas a reducir el número de vehículos en las vías, como la peatonización de zonas turísticas, la extensión en la duración del pico y placa, y límites al crecimiento del parque automotor; las cuales no sólo producirían beneficios ambientales, sino que también, promoverían el disfrute del espacio público de todos sus habitantes al generar espacios de integración, también, reducirían el tráfico en la ciudad, y harían a la ciudad más habitable.

El estudio de estas medidas de gestión de calidad del aire también brindaría puntos de partida para el diseño y formulación de estrategias de gestión de calidad del aire enfocadas en la mitigación progresiva de la contaminación y la adopción de conductas menos contaminantes de los habitantes de la ciudad.

Anexos

Anexo 1: Contaminación atmosférica producida por fuentes móviles en Ecuador

En Ecuador, los esfuerzos para determinar el aporte de las actividades económicas a la contaminación atmosférica son resultado de iniciativas locales, razón por la cual pocas ciudades son las que cuentan con redes de monitoreo atmosférico.

En este ámbito, destacan las acciones de los gobiernos locales de las ciudades de Quito, Guayaquil y Cuenca, que son las únicas que en algún momento han logrado conocer el monto y las fuentes de emisiones contaminantes a las que están expuesto sus habitantes.

A partir de esta situación, el gobierno nacional, a través del Ministerio del Ambiente, se planteó la necesidad de contabilizar las emisiones atmosféricas producidas por fuentes fijas, móviles y de área, en el territorio ecuatoriano, a través de la elaboración de una Cuenta Satélite del Aire enmarcada en el Sistema de Contabilidad Ambiental Nacional (SCAN) (Ministerio del Ambiente 2014). Esta cuenta satélite se compone de subcuentas repartidas en categorías referentes a los sectores económicos y su contribución a la contaminación del aire.

En el contexto en el que se elabora esta tesis, referido a los vehículos, es posible encontrar investigaciones y reportes que buscan dimensionar el problema de la contaminación atmosférica producida por los automotores empleando el SCAN.

En su trabajo, Franco Carvajal (2015) hace una valoración monetaria de la contaminación atmosférica producida por los vehículos con el objetivo de completar la información disponible sobre el monto de emisiones al asociarles un costo para generar recomendaciones de política enfocadas en lograr que quien contamine más, pague más.

Los hallazgos que Carvajal (2015) hace en su investigación, dan cuenta de la necesidad de considerar dos aspectos de la flota vehicular: su tamaño y su composición, esto, para contribuir efectivamente con la reducción de emisiones que producen los automotores con políticas dirigidas a promover cambios en los patrones de uso y compra de vehículos.

Anexo 2: Modelos de elección de vehículos que preceden al de Michel Mueller y Peter de Haan (2009)

Tabla A.1. Cronología de modelos de elección de vehículos de hogares en Europa

Autores	Año	Lugar	VARIABLES EMPLEADAS	Metodología aplicada	Tipo de agentes	Observaciones
Mikael Egede Birkeland y Joergen Jordal-Joergensen	2001	Dinamarca	Sociodemográficas de Dinamarca Características técnicas de los vehículos	Maximización de utilidad a través de un logit, empleando encuestas levantadas en 1997.	Hogares y compañías con racionalidad completa	Aborda la elección de vehículos que hacen los hogares (24 tipos) y las compañías. El número de elementos en todos los conjuntos de elección fue el mismo (49). Este modelo permite evaluar diferentes políticas dirigidas a modificar la elección de vehículos.
COWI	2002	15 países de la Unión Europea	Sociodemográficas de los 15 países miembros de la UE Características técnicas de los vehículos	Logit, empleando información proporcionada por cada país del 2000.	Hogares y compañías con racionalidad completa	Aborda la elección de vehículos que hacen los hogares (48 tipos) y las compañías. Todos los conjuntos de elección se componen de 63 elementos. Diseñado para evaluar políticas dirigidas a alcanzar los objetivos de emisiones de CO ₂ de los países de la UE.
Michel Mueller y Peter de Haan	2009	Europa	Sociodemográficas de Suiza Características técnicas de los vehículos	Ponderación multifactorial a través de un logit multinomial, empleando información del mercado suizo de 2005.	Hogares con racionalidad limitada	Enfocado en la elección de vehículos que hacen los hogares (40 tipos). Los conjuntos de elección tienen diferente tamaño y composición, por considerar un ambiente de racionalidad limitada. La ponderación multifactorial emplea los coeficientes calculados por COWI. Con este modelo se evalúan políticas de tasas e incentivos enfocados en reducir el nivel de emisiones.

Fuente: Auditoría de modelos de elección de vehículos de RAND Europa, 2002; Medidas fiscales para reducir las emisiones de CO₂ que producen los vehículos nuevos de COWI, 2002; ¿Cuánto afectan los incentivos la elección de vehículos nuevos? de Michel Mueller y Peter de Haan, 2009.

Anexo 3: Modelo Logit Multinomial

El logit multinomial es un modelo de elección discreto en el que la variable dependiente tiene más de dos categorías, y la respuesta es nominal y no tiene un orden específico. Este modelo es aplicable cuando la elección depende en gran medida de las características de la unidad de decisión o de las alternativas (Wooldridge 2010).

En este modelo “se asume que los recuentos de las categorías de [la variable dependiente] tienen una distribución multinomial” (Marín s.f.). Así, la especificación de este modelo se recoge en la siguiente expresión:

$$P(y = j|x) = \frac{e^{x\beta_j}}{\sum_{j=0}^J e^{x\beta_j}}$$

Donde β_j corresponde al vector de parámetros que contiene valoraciones específicas del individuo, y su valor es el mismo para todas las alternativas; y x es la matriz de descriptores de las diferentes características de las alternativas.

En este modelo aparece una indeterminación cuando se trata de estimar el parámetro de la alternativa cero, por lo que se acude a un artificio al asociarla con el valor cero $\beta_0 = 0$; resultando en la siguiente expresión:

$$P(y = j|x) = \frac{e^{x\beta_j}}{1 + \sum_{j=1}^J e^{x\beta_j}}$$

La aplicación de esta fórmula debe cumplir que:

$$\sum_{j=0}^J P_j = 1$$

Este modelo tiene varias características que lo hacen útil en contextos con deficiencia de información y heterogeneidad de las unidades de decisión:

- Permite comparar las utilidades asociadas a cada una de las alternativas que evalúa cada unidad de decisión.
- Hipótesis de maximización de utilidad subyacente a su aplicación.
- Independencia de alternativas irrelevantes, esto es, que la probabilidad de elegir una alternativa j sobre otra es la misma sin importar el resto de alternativas disponibles y sus características.

Lista de referencias

- AEADE. 2014. «Anuario 2013.» Informe anual, Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador, Quito.
- AEADE. 2016. Ventas de vehículos según tipo de propulsión 2013. Quito.
- AEC. 2016. Asociación Española de Calidad. Disponible en:
<https://www.aec.es/web/guest/centro-conocimiento/gestion-de-la-calidad-del-aire>
- Agencia Ambiental Europea. 2013. «Factores de emisión EMEP/CORINAIR.».
- Altman, Morris. 2008. «Behavioral economics, economic theory and public policy» *SSRN*.
<https://ssrn.com/abstract=1152105>.
- Ariely, Dan. 2008. *Predictably irrational*. New York: Harper Collins Publishers.
- Arrow, Kenneth J. 1950. «A difficulty in the concept of social welfare» *Journal of Political Economy* 58, nº 4: 328-346.
- Banco Central del Ecuador. 2013. «Boletín de Estadísticas del Sector Monetario y Financiero». Tasas de Interés a diciembre de 2013.
- Bator, Francis M. 1958. «The anatomy of market failure» *Quarterly Journal of Economics* 72, nº 3: 351-379.
- Baumol, William J., y Wallace E. Oates. 1988. *The theory of environmental policy*. New York: Cambridge University Press.
- Beatty, Sharon E., y Scott M. Smith. 1987. «External search effort: An investigation across several product categories» *Journal of Consumer Research*, nº 14: 83-95.
- Beck, Matthew J., John M. Rose, y David A. Hensher. 2013. «Environmental attitudes and emissions charging: An example of policy implications for vehicle choice» *Transportation Research Part A* 50: 171-182.
- Bettini, Virginio. 1998. *Elementos de ecología urbana*. Traducido por Manuel Peinado Lorca y Luis Gonzaga García Montero. Madrid: Editorial Trotta.
- Bettman, James R., y C. Whan Park. 1980. «Effects of Prior Knowledge and Experience and Phase of the Choice Process on Consumer Decision Processes: A Protocol Analysis» *Journal of Consumer Research* 7, nº 3: 234-248.
- Bratt, Christopher, Paul C. Stern, Ellen Matthies, y Vibeke Nenseth. 2015. «Home, car use, and vacation: The structure of environmentally significant individual behavior.» *Environment and Behavior* 47, nº 4: 436-473.

- Breithaupt, Manfred. 2006. *Instrumentos económicos para transporte sostenible*. Traducido por Carlos F. Pardo. Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.
- Brekke, Kjell Arne, Gorm Kipperberg, y Karine Nyborg. 2007. «Reluctant Recyclers: Social Interaction in Responsibility Ascription» *Memorandum* (University of Oslo), n° 16: 1-36.
- CAF. 2013. *Observatorio de movilidad urbana*. Disponible en: <https://www.caf.com/es/actualidad/noticias/2013/08/que-es-movilidad-urbana/>.
- Camerer, Colin. 1999. «Behavioral economics: Reunifying psychology and economics» *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 96, n° 19 (1999): 10575-10577.
- Carburando. 2013. Revista del 28 de diciembre de 2013, Grupo El Comercio.
- Cárdenas, Julio César. 2014. «Estudio de la reducción de emisiones de carbono en el Ecuador.» Tesis de maestría, Facultad de Ingeniería Mecánica, Escuela Politécnica Nacional, Quito.
- Carlino, Hernan, y Micaela Carlino. 2015. «Subsidios a los combustibles fósiles en América Latina: enfrentando el reto de una estructura de incentivos perversos.» Working Paper, n° 15: 1-20.
- Carrillo, Paúl E., Arun S. Malik, y Yiseon Yoo. 2014. «Driving restrictions that work? Quito's pico y placa program» *SSRN*. <https://ssrn.com/abstract=2240327>.
- Carvajal, Franco. 2015. *Contabilidad Ambiental. Elaboración de la Cuenta Económica de las Emisiones al Aire generadas por fuentes móviles en el Ecuador. Período 2007 - 2012*. Tesis, Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Castillo, José Gabriel. 2007. «Una nota acerca de los subsidios, la política y la economía» *Cuestiones Económicas* 23, n° 3: 171-181.
- Chandra, Ambarish, Sumeet Gulati, y Milind Kandlikar. 2010. «Green drivers or free riders? An analysis of tax rebates for hybrid vehicles» *Journal of Environmental Economics and Management*, n° 60: 78-93.
- Chen, Liang. 2012. «Agent-based modeling in urban and architectural research: A brief literature review» *Frontiers of Architectural Research* 1: 166-177.
- Chorus, Caspar G., Mark J. Koetse, y Anco Hoen. 2013. «Consumer preferences for alternative fuel vehicles: Comparing a utility maximization and a regret minimization model.» *Energy Policy* 61: 901-908.

- Claxton, John D., Joseph N. Fry, y Bernard Portis. 1974. «A Taxonomy of Prepurchase Information Gathering Patterns» *Journal of Consumer Research* 1, n° 3: 35-42.
- Clerc, Jacques, Manuel Díaz, y Bruno Campos. 2013. *Desarrollo de una metodología para la construcción de curvas de abatimiento de emisiones de GEI incorporando la incertidumbre asociada a las principales variables de mitigación*. Washington D.C.: Banco Interamericano de Desarrollo.
- Coase, Ronald H. 1960. «The problem of social cost» *Journal of Law and Economics* 3: 1-44.
- Colander, David. 2015. «Framing the economic policy debate» *History of Political Economy* 47, n° 1: 253-266.
- COWI. 2002. «Fiscal measures to reduce CO2 emissions from new passenger cars» Informe final.
- Cox, Peter. 2010. *Moving People - Sustainable Transport Development*. Nueva York: Zed Books Ltd.
- Creamer, Bernardo. 2013. «Cuantificación de los subsidios derivados del petróleo a los hidrocarburos en el Ecuador» *Petróleo al día: Boletín estadístico del Sector Hidrocarburos* (Universidad de las Américas): 9 -26.
- Crocker, Thomas. 1966. «The structuring of atmospheric pollution control systems» Editado por Harold Wolozin. *The Economics of Air Pollution*: 61-68.
- Dales, John H. 1968. *Pollution, property and prices*. Toronto: University of Toronto Press.
- de Haan, Peter, Michel G. Mueller, y Anja Peters. 2005. «Does the hybrid Toyota Prius lead to rebound effects? Analysis of size and number of cars previously owned by Swiss Prius buyers» *Ecological Economics* 58: 592-605.
- de Haan, Peter, Michel G. Mueller, y Roland W. Scholz. 2009. «How much do incentives affect car purchase? Agent-based microsimulation of consumer choice of new cars - Part II: Forecasting effects of feebates based on energy-efficiency» *Energy Policy*, n° 37: 1083-1094.
- de Jong, Gerard, James Fox, Marits Pieters, Liese Vonk, y Andrew Daly. 2002. *Audit of Car Ownership Models*. Informe de investigación, Santa Monica, California: RAND Europe, 59-60.
- D'Haultfoeuille, Xavier, Pauline Givord, y Xavier Boutin. 2014. «The environmental effect of green taxation: The case of the French "Bonus/Malus"» *The Economic Journal*.
- Diamond, Peter A., y Jerry A. Hausman. 1994. «Contingent valuation: Is some number better than no number?» *The Journal of Economic Perspectives* 8, n° 4: 45-64.

- Ek, Kristina, y Patrik Söderholm. 2008. «Norms and economic motivation in the Swedish green electricity market» *Ecological Economics* 68: 169-182.
- Epstein, Richard A., y Oren Bar-Gill. 2007. «Consumer contracts: behavioral economics vs. neoclassical economics» New York University Law and Economics Working Papers.
- European Environment Agency. 2016. *European Environment Agency*.
<https://www.eea.europa.eu/es>.
- Fazio, Horacio. 2013. *Economía: ética y ambiente, en un mundo finito*. Buenos Aires: Editorial Universitaria de Buenos Aires.
- Feng, Ye, Don Fullerton, y Li Gan. 2013. «Vehicle choices, miles driven, and pollution policies» *Journal of Regulatory Economics* 44, n° 1: 4-29.
- Forman, Richard T. T. 2014. *Urban Ecology. Science of Cities*. Massachusetts: Cambridge University Press.
- Gallagher, Kelly Sims, y Erich Muehlegger. 2011. «Giving green to get green? Incentives and consumer adoption of hybrid vehicle technology» *Journal of Environmental Economics and Management* 61: 1-15.
- GCE. 2009. «Manual del sector de la energía: Quema de combustible» Inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, Grupo Consultivo de Expertos - Cambio Climático, Organización de Naciones Unidas.
- Gerencia de Planificación de la Movilidad. 2009. *Plan Maestro de Movilidad para el Distrito Metropolitano de Quito 2009 - 2025*. Empresa Municipal de Movilidad y Obras Públicas, Quito: Municipio del Distrito Metropolitano de Quito.
- Gifford, Jonathan, y Cristina Checherita. 2008. «Boundedly and non-rational travel behavior and transportation policy» Working paper, Arlington.
- Green, Joanne, y Sergio Sánchez. 2013. «La calidad del aire en América Latina: una visión panorámica» *Clean Air Institute*, Washington D.C.
- Gsottbauer, Elisabeth. 2013. Behavioral economics and environmental policy. Tesis doctoral, Barcelona: Universidad Autónoma de Barcelona.
- Gsottbauer, Elisabeth, y Jeroen van den Bergh. 2011. «Environmental Policy Theory Given Bounded Rationality and Other-regarding Preferences» *Environmental & Resource Economics* 49, n° 2: 263-304.
- Gwilliam, Ken, Kojima Masami, y Todd Johnson. 2004. *Reducing Air Pollution from Urban Transport*. Washington D.C.: The World Bank.
- Hanemann, W. Michael. 1994. «Valuing the environment through contingent valuation» *Journal of Economic Perspectives* 8, n° 4: 19-43.

- Hensher, David A., John M. Rose, y William H. Greene. 2005. *Applied Choice Analysis. A primer*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hertel, Ole, y Michael Evan Goodsite. 2009. «Urban air pollution climates throughout the world» En *Air Quality in Urban Environments*, editado por Ronald E. Hester y Roy M. Harrison, 1-22. Cambridge: Royal Society of Chemistry.
- Hester, Ronald E., y Roy M. Harrison. 2009. «Preface» En *Air Quality in Urban Environments*, editado por Ronald E. Hester y Roy M. Harrison, v-vi. Cambridge: Royal Society of Chemistry.
- Hicks, John R. 1956. *A revision of demand theory*. Oxford: The Clarendon Press.
- Hitchcock, Guy, Beth Conlan, Duncan Kay, Charlotte Brannigan, y Dan Newman. 2014. «Air quality and road transport: impact and solutions» Royal Automobile Club Foundation for Motoring Ltd, Londres.
- Holton, Christopher J. 2012. «What are the effects of fossil-fuel subsidies on growth, the environment and inequality?» Tesis de maestría, University of Nottingham, Nottingham.
- INEC. 2010. *El transporte terrestre de pasajeros en Ecuador y Quito: Perspectiva histórica y situación actual*. Análisis de la Información Estadística, Quito: Instituto Nacional de Estadística y Censos.
- INEC. 2013. Encuesta Nacional de Empleo y Desempleo Urbano (diciembre).
- IPIECA. 2004. «Clearing the air: Strategies and options for urban air quality management» Reporte del grupo de trabajo de combustibles y vehículos, International Petroleum Industry Environmental Conservation Association, Londres.
- Jaramillo, Fernanda P. 2013. Análisis económico de la contaminación del aire en el Ecuador - Estudio de caso del Distrito Metropolitano de Quito: Políticas aplicadas y propuestas. Tesis de Maestría, Quito: Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales Sede Ecuador.
- Jevons, William. 1865. *La cuestión del carbón*. Londres: Macmillan and Co.
- Johansson-Stenman, Olof, y Peter Martinsson. 2006. «Honestly, why are you driving a BMW?» *Journal of Economic Behavior & Organization* 60: 129-146.
- Kahneman, Daniel. 2003. «A perspective on judgement and choice» *American Psychologist* 58: 697-720.
- Kahneman, Daniel, y Amos Tversky. 1979. «Prospect theory: an analysis of decision under risk» *Econometrica*, nº 47: 263-291.

- Knetsch, Jack. 2003. «Environmental, ecological, and behavioural Economics» En *New dimensions in ecological economics: Integrated approaches to people and nature*, editado por Stephen Dovers, David I. Stern y Michael D. Young, 77-87. Edward Elgar.
- Leff, Enrique. 2002. *Saber ambiental: sustentabilidad, racionalidad, complejidad, poder*. México D.F.: Siglo XXI Editores S.A. de C.V.
- Litman, Todd. 2006. *Gestión de la movilidad*. Traducido por Carlos F. Pardo. Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GTZ) GmbH.
- Little, Ian M. D. 1949. «A reformulation of the theory of consumer's behavior» *Oxford Economic Papers* 1, n° 1: 90-99.
- Lizárraga, Carmen. 2006. «Movilidad urbana sostenible: un reto para las ciudades del siglo XXI» *Economía, Sociedad y Territorio* 6, n° 22: 283-321.
- López Bonillo, Diego. 2002. *El medio ambiente*. Madrid: Ediciones Cátedra.
- Mahmassani, Hani, y Gang-Len Chang. 1987. «On boundedly rational user equilibrium in transportation systems» *Transportation Science*, n° 21: 89-99.
- Marín, Juan Miguel. s.f. «Regresión Logística Multinomial.» Madrid: Universidad Carlos III de Madrid.
- Martínez Alier, Joan. 2004. *El ecologismo de los pobres. Conflictos ambientales y lenguajes de valoración*. Barcelona: Icaria.
- Martínez-Alier, Joan, y Jordi Roca Jusmet. 2001. *Economía ecológica y política ambiental*. México D.F.: Fondo de Cultura Económica.
- Maynard, Robert L. 2009. «Health effects of urban pollution» En *Air Quality in Urban Environments*, editado por Ronald E. Hester y Roy M. Harrison, 108-128. Cambridge: Royal Society of Chemistry.
- McNeill, John R. 2003. *Algo nuevo bajo el sol. Historia medioambiental del mundo en el siglo XX*. Traducido por José Luis Gil Aristu. Madrid: Alianza Editorial S.A.
- Medema, Steven. 2014. «The curious treatment of the Coase theorem in the environmental economics literature, 1960–1979» *Review of Environmental Economics and Policy* 8, n° 1: 39-57.
- Mill, John Stuart. 1836. «On the definition of Political Economy; and on the method of investigation proper to it» London and Westminster Review.
- Ministerio del Ambiente. 2014. *Sistema de Contabilidad Ambiental Nacional, exploración inicial 2008 - 2012*. Cuenta de Emisiones al Aire. Vol. 6. Quito.

- Miralles-Guasch, Carme, y Ángel Cebollada. 2008. «Movilidad cotidiana y sostenibilidad, una interpretación desde la geografía humana» *Boletín de la Asociación de Geografía Económica*, n° 50: 193-216.
- Mishan, Edward J., y Euston Quah. 2007. *Cost benefit analysis*. New York: Routledge.
- Mobley, Catherine, y Wade M. Vagias. 2010. «Exploring additional determinants of environmentally responsible behavior: The influence of environmental literature and environmental attitudes» *Environment and Behavior* 42, n° 4: 420-447.
- Montalvo Gallo, Karla. 2009. Efectos de la política seccional sobre la congestión vehicular del Distrito Metropolitano de Quito durante el período 1985 - 2008. Un análisis de la inversión municipal y el costo de la congestión. Tesis, Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Morris, William. 2016. «Complete guide to the plug-in electric car grant» *Carbuyer*, 2 de Marzo de 2016.
- Mueller, Michel G., y Peter de Haan. 2009. «How much do incentives affect car purchase? Agent-based microsimulation of consumer choice of new cars - Part I: Model structure, simulation of bounded rationality, and model validation» *Energy policy*, n° 37: 1072-1082.
- Murray, Frank. 1997. «Urban air pollution and health effects» En *The Global Environment: Science, Technology and Management*, editado por Dag Brune, Deborah V. Chapman, Michael D. Gwynne y Jozef M. Pacyna, 585-598. Weinheim: Scandinavian Science Publications.
- Newman, Joseph W., y Richard Staelin. 1972. «Prepurchase information seeking for new cars and major household appliances» *Journal of Marketing Research* 9, n° 3: 249-257.
- OECD. 1993. Externalidades.
- Oleas, Julio. 1994. «Externalidades y desarrollo económico.» *Cuestiones Económicas*, n° 23: 93-123.
- Olshavsky, Richard W. 1974. «Task Complexity and Contingent Processing in Decision Making: A Replication and Extension» *Organizational Behavior and Human Performance* 24 (1974): 300-316.
- OMS. 2016. *Organización Mundial de la Salud*. http://www.who.int/topics/air_pollution/es/.
- ONU. 2014. *World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, Highlights*. Reseña, Departamento de asuntos sociales y económicos, Organización de las Naciones Unidas, New York: Naciones Unidas.

- Oviedo, Jorge. 2015. «Actualización del plan de manejo de calidad del aire 2005 - 2010.» Consultoría, Secretaría de Ambiente, Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, Quito.
- Pasche, Markus. 2013. «What can be learned from behavioural economics for environmental policy?» *Jena Economic Research Papers*. <http://hdl.handle.net/10419/85031>.
- Persky, Joseph. 1995. «Retrospectives: The Ethology of Homo Economicus» *Journal of Economic Perspectives* 9, n° 2: 221-231.
- Phyper, John-David, y Paul MacLean. 2009. *Good to green: managing business risks and opportunities in the age of environmental awareness*. Mississauga, Ontario: John Wiley & Sons Canada, Ltd.
- Pigou, Arthur Cecil. 1924. *The economics of welfare*. Londres: Macmillan & Co. Ltd.
- Presidencia de la República del Ecuador. 2016. «Decreto Ejecutivo No. 1213» Quito.
- Presidencia de la República del Ecuador. 2016. «Decreto Ejecutivo No. 975.» Quito.
- Presidencia de la República del Ecuador. 2010. «Decreto Ejecutivo No. 375.» Quito.
- Presidencia de la República del Ecuador. 2010. «Decreto Ejecutivo No. 497.» Quito.
- Presidencia de la República del Ecuador. 2009. «Decreto Ejecutivo No. 1543.» Quito.
- Presidencia de la República del Ecuador. 2007. «Decreto Ejecutivo No. 592.» Quito.
- Punj, Girish, y Richard Brookes. 2002. «The influence of pre-decisional constraints on information search and consideration set formation in new automobile purchases» *International Journal of Research in Marketing*, n° 19: 383-400.
- Robert, Verónica. 2012. «Interacciones, feedbacks y externalidades: la micro complejidad de los sistemas productivos y de innovación locales.» Tesis doctoral, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires.
- Rodríguez-Becerra, Manuel, y Guillermo Espinoza. 2002. *Gestión ambiental en América Latina y El Caribe. Evolución, tendencia y principales prácticas*. Editado por David Wilk. Washington D.C.: Banco Interamericano de Desarrollo.
- Russell, Clifford S., y Philip T. Powell. 1997. *La selección de instrumentos de política ambiental. Problemas teóricos y consideraciones prácticas*. Washington D.C.: Banco Interamericano de Desarrollo.
- Ryan, Órla. 2017. «Electric cars: Is Ireland, and the world, ready for them?» *The Journal.ie*, 29 de Julio de 2017.
- Samson, Alain, ed. 2014. «The behavioral economics guide 2014 (with a foreword by George Loewenstein and Rory Sutherland)». <http://www.behavioraleconomics.com>.

- Sandmo, Agnar. 2015. «The early history of environmental economics» *Review of Environmental Economics and Policy* 9, n° 1: 43-63.
- Schuldt, Jürgen. 2013. *Civilización del desperdicio - Psicoeconomía del consumidor*. Lima: Universidad del Pacífico.
- Schumacher, Ernst F. 1978. *Lo pequeño es hermoso*. Traducido por Óscar Margenet. Barcelona: Blume.
- Schwela, Dietrich. 2011. *Gestión de Calidad del Aire*. Traducido por Laura Varano. Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.
- Scitovsky, Tibor. 1954. «Two concepts of external economies.» *Journal of Political Economy* 62, n° 2: 143-151.
- Secretaría de Ambiente. 2014. «Inventario de emisiones de contaminantes criterio, DMQ 2011.» Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, Quito.
- Simon, Herbert A. 1982. *Models of bounded rationality*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- Simon, Herbert A. 1956. «Rational choice and the structure of the environment» *Psychological Review* 63, n° 2: 129-138.
- Smith, Adam. 1759. *Teoría de los sentimientos morales*. Glasgow: University of Glasgow.
- . 1776. *Una investigación sobre la naturaleza y causas de la riqueza de las naciones*. Londres: W. Strahan & T. Cadell.
- Tapia, Pablo. 2013. «Efectividad económica y ambiental de la exoneración de impuestos y aranceles para los vehículos híbridos.» Tesis, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito.
- Thaler, Richard. 2000. «From homo economicus to homo sapiens» *Journal of Economic Perspectives* 14, n° 1: 133-141.
- Thaler, Richard. 1980. «Toward a positive theory of consumer choice» *Journal of Economic Behavior and Organization* 1, n° 1: 39-60.
- Train, Kenneth E. 2009. *Discrete choice methods with simulation*. Cambridge: Cambridge University Press.
- UNEP. 2012. *United Nations Environment Programme*.
http://staging.unep.org/urban_environment/Issues/urban_air.asp.
- Vatn, Arild. 2005. «Rationality, institutions and environmental policy» *Ecological Economics* 55: 203-217.
- Venkatachalam, L. 2008. «Behavioral economics for environmental policy» *Ecological Economics* 67, n° 4: 640-645.

- Winterbotham, Andrew. 2012. «The solution to externalities: from Pigou to Coase» *The Student Economic Review* 26: 172-180.
- Wolf, Charles. 1987. «Market and non-market failures: comparison and assessment» *Journal of Public Policy* 7, n° 1: 43-70.
- Wooldridge, Jeffrey M. 2010. *Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data*. Cambridge: The MIT Press.
- Yang, Zifei, Peter Slowik, Nic Lutsey, y Stephanie Searle. 2016. «Principles for effective electric vehicle incentive design» Working Paper, Washington, D.C.: The International Council on Clean Transportation.