

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY



ESCUELA DE GOBIERNO Y TRANSFORMACIÓN PÚBLICA

**RIESGOS PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL DE LA CADENA DE VALOR
DOWNSTREAM DEL SUBSECTOR HIDROCARBUROS AL 2040, FRENTE A LA
ADOPCIÓN DE VEHÍCULOS ALTERNATIVOS**

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO
ACADEMICO DE:**

MAESTRO EN PROSPECTIVA ESTRATÉGICA

POR:

JOSUÉ ALAN MORALES SANDOVAL

MONTERREY, N.L.

MAYO 2018

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY

ESCUELA DE GOBIERNO Y TRANSFORMACIÓN PÚBLICA

Los miembros del comité de tesina recomendamos que el presente proyecto de tesis presentado por el INGENIERO JOSUÉ ALAN MORALES SANDOVAL sea aceptado como requisito parcial para obtener el grado académico de:

MAESTRO EN PROSPECTIVA ESTRATEGICA

Comité de Tesina:

Dr. Edmundo Molina Pérez

Asesor

Dr. Luis Alberto Serra
Barragán

Sinodal

Dr. Zeus Hiram Zamora
Guevara

Sinodal

Agradecimientos

Para mi madre Irene, gracias por creer en mí y por respaldar mis decisiones,

Para Cynthia, gracias por el apoyo incondicional y la paciencia,

Para mi familia y amigos, gracias por la comprensión y apoyo,

Gracias por darme toda la inspiración y buenos deseos para concluir esta etapa.

Gracias al CONACYT por otorgarme esta oportunidad de continuar con mis estudios.

Gracias al Dr. Edmundo Molina Pérez por contribuir con mi formación académica y por introducirme en el fantástico mundo de la modelación.

Contenido

1. Introducción.....	10
1.1 Título.....	10
1.2 Línea de investigación	14
1.3 Sub línea de investigación	14
1.4 Caso de investigación	15
1.5 Pregunta de investigación	15
1.6 Relevancia de la investigación.....	15
1.7 Objetivo del trabajo	20
1.8 Revisión literaria.....	21
2. Conceptualización del sistema.....	23
2.1 Interacción de bloques	23
2.2 Cadena de valor	24
2.3 Cadena de valor subsector hidrocarburos	25
2.4 Principales actores del sistema	27
2.5 Conductores del cambio en el sistema / Fuerzas que impulsan	28
2.6 Mecanismos de interacción entre las 3 plataformas de vehículos	34
3. Análisis de prospectivo.....	35
3.1 Metodología de investigación.....	35
3.2 Definición de parámetros y creación de base de datos.	38
3.3 Incertidumbres	39
3.4 Limitantes	39
3.5 Simulación de experimentos	40
3.6 Métricas de desempeño.....	42
3.7 Revisión de resultados	42
3.8 Análisis XLRM.....	48
4. Reflexiones finales	49
4.1 Conclusiones.....	50

Anexo 1 55

Tabla de ilustraciones.

Ilustración 1. Evolución del porcentaje de la participación de mercado de las diferentes fuentes de energía. Fuente: BP Revisión Estadística de Energía Mundial 2017..... 10

Ilustración 2. Histórico de vehículos con motor a gasolina registrados en México. Fuente: INEGI 11

Ilustración 3. Marco heurístico para el análisis de la economía global. Fuente: Adaptación de Dicken 2004 en Global production network: realizing the potential..... 16

Ilustración 4. Consumo de energía procedente de combustibles fósiles (% del total) . Fuente: El Banco Mundial..... 17

Ilustración 5. Evolución de ingresos tributarios y petroleros como % del PIB..... 18

Ilustración 6. Distribución global de las emisiones de CO2 por consumo de combustible. Fuente: I.E.A. 19

Ilustración 7. Mapa conceptual de revisión literaria. Fuente: Elaboración propia. 21

Ilustración 8. Diagrama causal que describe el modelo. Fuente: Elaboración propia..... 23

Ilustración 9. Cadena de valor de Porter..... 25

Ilustración 10. Composición de cadena de valor del subsector hidrocarburos. Fuente: PEMEX..... 26

Ilustración 11. Comercialización, mercado interno de hidrocarburos, ventas de productos petrolíferos. Fuente: Informe anual PEMEX 2016..... 28

Ilustración 12. PIB neto comparativo entre países desarrollados pertenecientes al OECD y México. Fuente: El Banco Mundial..... 29

Ilustración 13. Porcentaje de crecimiento anualizado del PIB, comparativo de México contra promedio mundial y países desarrollados. Fuente: El Banco Mundial. 30

Ilustración 14. Escenarios basados en las preferencias del mercado comercial de vehículos nuevos. Fuente: Elaboración propia. 41

Ilustración 15. Simulaciones escenario base. Fuente: Elaboración propia. 43

Ilustración 16. Resumen de resultados. Fuente: elaboración propia. 43

Ilustración 17. Simulaciones subsidio 25% aplicado al escenario base. Fuente: Elaboración propia. 44

Ilustración 18. Resumen de resultados Política A vs escenario base. Fuente: Elaboración propia 44

Ilustración 19. Simulaciones subsidio 25% aplicado al escenario de baja adopción. Fuente:
Elaboración propia..... 45

Ilustración 20. Resumen de resultados Política A vs escenario de baja adopción. Fuente:
Elaboración propia..... 45

Ilustración 21. Simulaciones subsidio 25% aplicado al escenario de media adopción.
Fuente: Elaboración propia..... 46

Ilustración 22. Resumen de resultados Política A vs escenario de media adopción. Fuente:
Elaboración propia..... 46

Ilustración 23. Simulaciones subsidio 25% aplicado al escenario de alta adopción. Fuente:
Elaboración propia..... 47

Ilustración 24. Resumen de resultados Política A vs escenario de alta adopción. Fuente:
Elaboración propia..... 47

Ilustración 25. Cuadro XLRM del modelo. Fuente: elaboración propia. 48

Resumen

El presente estudio pretende modelar y estudiar el comportamiento de la demanda de gasolina en México hacia el 2040, los valores que toma la demanda de gasolina en las simulaciones están en función de las flotas de vehículos ligeros en México, el comportamiento de estas dependerá de la interacción entre una serie de parámetros y conjuntos de factores endógenos y exógenos.

La revisión de literatura arrojó que la gran mayoría de los estudios recientes sobre la demanda de gasolina en México analizan el comportamiento de esta, ante la elasticidad de su precio; el resto de los estudios tiene un enfoque ambientalista donde el análisis es cualitativo y en los casos en que se modela el comportamiento, este se basa en el uso de métodos econométricos.

El modelo utilizado para las simulaciones aporta al desarrollo de la cadena de valor downstream del subsector hidrocarburos un estudio cuantitativo donde se estudian los rangos plausibles del comportamiento de la demanda de gasolina en México, considerando la tecnología como motor de cambio.

El espectro de simulaciones modelará el comportamiento de la demanda de gasolina en México en función del comportamiento de la participación del mercado potencial de vehículos nuevos en México a través de la interacción entre las 3 plataformas de transporte de vehículos ligeros que existen actualmente: vehículos con motor a gasolina, vehículos híbridos y vehículos eléctricos.

Esta investigación se llevará a cabo desde un enfoque cuantitativo y contará con el uso de herramientas de análisis basadas en la prospectiva estratégica, entre las que destacan: EMA, FTA y la dinámica de sistemas.

Para explorar las múltiples combinaciones de parámetros, condiciones iniciales y políticas públicas, se hará uso de un modelo de simulaciones desarrollado en lenguaje R, el cual explore la dinámica de sistemas entre el comportamiento del mercado de gasolinas y de la distribución del mercado potencial de vehículos nuevos en México.

Para el desarrollo de dicho modelo se adaptó a este estudio el subsistema de “Adopción y Demografía de la Región Emergente” desarrollado por el Dr. Molina en 2011, los datos utilizados en los parámetros y condiciones iniciales fueron actualizados de acuerdo con la situación actual y/o al comportamiento histórico de dicha variable.

Los experimentos fueron desarrollados bajo la implementación de 1 política pública: política de subsidio tecnológico, esto en un entorno de incertidumbre aplicada a los parámetros con mayor influencia en el sistema: el crecimiento económico y el crecimiento poblacional.

Los efectos de la implementación de la política de subsidio tecnológico se analizan ante 4 escenarios: a) Estatus Quo, b) Baja adopción de plataformas alternativas, c) Media adopción de plataformas alternativas, d) Alta adopción de plataformas alternativas, los cuales cuentan con diferentes niveles de adopción de plataformas de vehículos alternativos (híbridos y eléctricos) en México.

El análisis de resultados pretende identificar las condiciones necesarias para que el comportamiento de la demanda de gasolina en México presente un cambio disruptivo comparado con el comportamiento del escenario base.

Y finalmente, se pretende identificar el umbral en el que la adopción de vehículos híbridos y eléctricos en México podría representar un riesgo para la demanda de gasolinas y en consecuencia para la cadena de valor downstream del subsector hidrocarburos.

Adicionalmente se ofrece como marco de referencia en las gráficas resultantes del comportamiento de la demanda de gasolina en México al 2040, el comportamiento actual del volumen anual de refinación, importación y comercialización de PEMEX¹, para simplificar el análisis, no se incluyeron en la comparativa las importaciones de los nuevos competidores de PEMEX debido a que actualmente usan la infraestructura de PEMEX para distribuir la gasolina, se espera que algunos competidores puedan edificar su propia infraestructura a partir del 2020.²

¹ Informe Anual PEMEX 2016.

² Portal web oficial de nuevos competidores.

1. Introducción

1.1 Título

Riesgos para el desarrollo industrial de la cadena de valor downstream del sub sector hidrocarburos al 2040, frente a la adopción de vehículos alternativos.

El petróleo es la fuente de energía más utilizada en el mundo, durante 2016 represento cerca de un tercio del total de energía consumida alrededor del globo, y cerca del 88% del suministro de energía primaria mundial provino de energías fósiles, el 12% restante se divide entre la energía proveniente de hidroelectricidad, energía nuclear y energías renovables, esto a pesar de la introducción al mercado energético de nuevas formas de energía alternativa a precios cada vez más accesibles, estudiar el mercado energético mexicano resulta crucial ante un escenario global de constante cambio.³

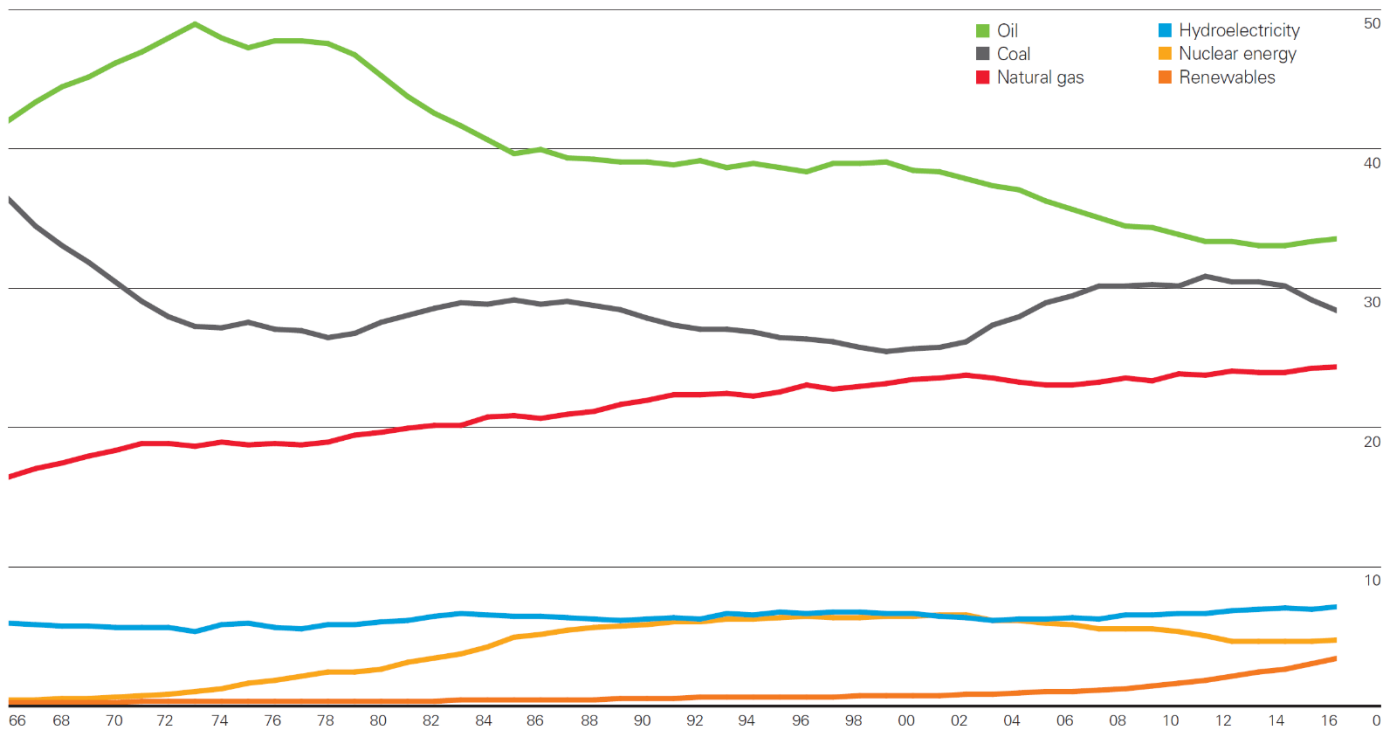


Ilustración 1. Evolución del porcentaje de la participación de mercado de las diferentes fuentes de energía. Fuente: BP Revisión Estadística de Energía Mundial 2017.

³ BP Revisión Estadística de Energía Mundial 2017

Contribuyendo a la estadística mundial mencionada anteriormente, en México, cerca del 90% de la energía primaria que se consume proviene del petróleo⁴. Llega a nosotros cada día en una gran variedad de formas. Es la principal fuente de insumos para generar energía eléctrica y permite la producción de combustibles para el sector industrial y de transporte, de acuerdo con los reportes de 2018 por parte del INEGI, en México durante 2016 hay registro de alrededor de 42 millones de vehículos con motor a gasolina, ver Ilustración 2.

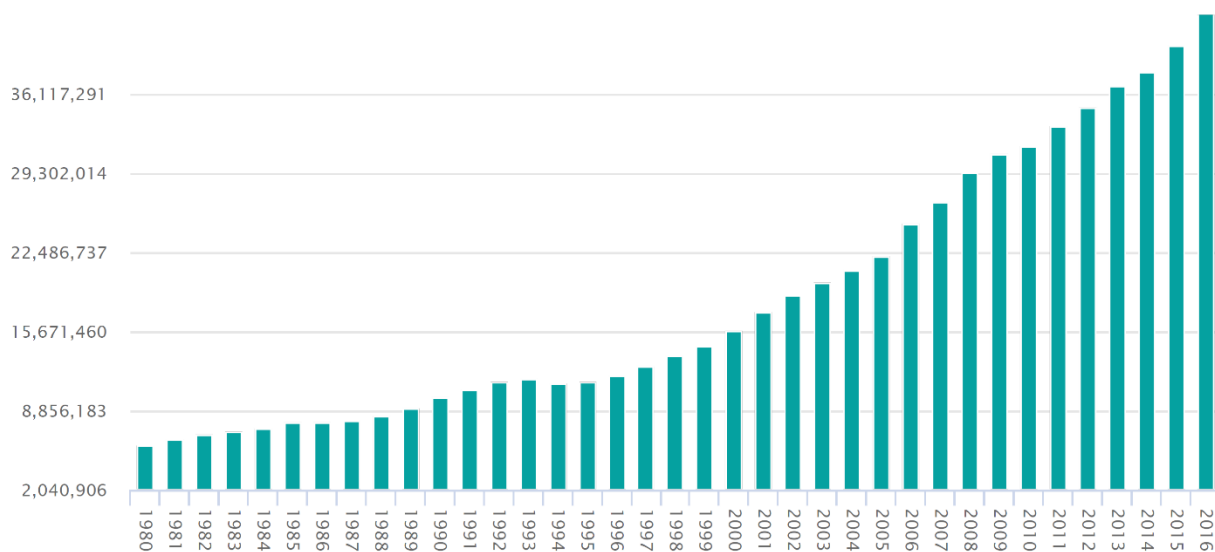


Ilustración 2. Histórico de vehículos con motor a gasolina registrados en México. Fuente: INEGI

A priori se puede observar que la flota de vehículos con motor a gasolina en México tiene un crecimiento exponencial, la flota paso de 8.8 a casi 16 millones de vehículos registrados en un periodo de 11 años que abarca desde 1989 hasta el año 2000, posteriormente el periodo de tiempo que trascurrió para casi duplicar la flota disminuyo a 8 años tomando en cuenta el crecimiento desde el 2000 hasta el 2008, la flota que paso de 15.5 a casi 30 millones de vehículos registrados.

En el último periodo que abarca de 2008 a 2016, el incremento es de cerca de 12 millones de vehículos representa un incremento cercano al 40%, a diferencia de los primeros periodos donde el crecimiento se acercaba al 100% en periodos de tiempo muy similares,

⁴ El Banco Mundial

esto puede indicar varios cambios, entre ellos una desaceleración en el ritmo de crecimiento o un incremento notable en el periodo de tiempo que le toma a la flota de vehículos con motor a gasolina duplicar los vehículos que tiene registrados y en circulación.

Las implicaciones del crecimiento exponencial son difíciles de captar intuitivamente, Sterman menciona los la investigación donde Wagenar y Savalia (1975) estudiaron las habilidades de las personas para extrapolar procesos de crecimiento exponencial, encontrando que las personas subestiman gravemente la razón de cambio, esto al extrapolar linealmente en lugar de exponencialmente (Sterman, 2000).

Lo anterior significa que tendemos a asumir que la cantidad de crecimiento será de la misma cantidad absoluta por periodo de tiempo, mientras que el crecimiento exponencial duplica la cantidad de unidades a medir en un periodo de tiempo fijo o determinado, la literatura consultada sobre el crecimiento exponencial menciona que ninguna cantidad real puede crecer para siempre (Sterman, 2000).

Debido a que el crecimiento exponencial se duplica en periodos de tiempo determinados, procesos de retroalimentación positivos se acercan a sus límites de manera rápida y en ocasiones de forma inesperada (Sterman, 2000), el último periodo de tiempo de 8 años de la figura 1 coincide con el año de lanzamiento comercial del primer vehículo híbrido en México, el Prius de Toyota, durante su primer año de comercialización en 2010 colocó 246 unidades, mientras que en el mismo año en un país que cuenta con una economía avanzada como Estados Unidos de América, este mismo modelo tuvo ventas en 2010 por más de 140 mil unidades.

Dicho vehículo se comercializa en Japón desde 1997 y en el resto del mundo desde el 2000, lo cual hace referencia a la importancia de contemplar en este estudio la diferencia en cuanto a preferencias y condiciones iniciales del mercado potencial de vehículos en dos diferentes regiones: emergente y avanzada, México por pertenecer al primer grupo, es susceptible a que la adopción y posicionamiento de nuevas plataformas de vehículos híbridos y eléctricos en la región avanzada afecte la distribución del mercado potencial de vehículos local y consecuentemente la demanda de gasolinas.

El presente estudio pretende estudiar el fenómeno de la demanda de gasolina en México al año 2040 desde un enfoque cuantitativo, el desarrollo de la investigación hará uso de herramientas de análisis prospectivo que aporte al desarrollo de la cadena de valor downstream del subsector hidrocarburos un estudio cuantitativo donde se evalúan los rangos plausibles del comportamiento de la demanda de gasolina en México, considerando la tecnología como motor de cambio.

Se pretende explorar mediante la dinámica de sistemas la conexión que hay entre el mercado de gasolinas y la distribución del mercado potencial de vehículos en México contemplando el cambio tecnológico, incluyendo en el estudio 3 plataformas de transporte: vehículos con motor a gasolina, vehículos híbridos y vehículos eléctricos.

Para esto se adaptó a esta investigación el subsistema de “Adopción y Demografía de la Región Emergente” desarrollado por el Dr. Molina en 2011, en base a este subsistema se desarrolló en lenguaje R un modelo de capaz de simular el comportamiento de diferentes variables, entre las más importantes se encuentran: flota de vehículos de las 3 plataformas de vehículos y la demanda de gasolina entre otras.

El análisis de experimentos o simulaciones del modelo adaptado se apoya en el uso de análisis de escenarios, los cuales contemplan distintos valores paramétricos, estructurales y de política pública, todo en un entorno a un sistema de alta complejidad e incertidumbre.

Evolución de las preferencias de los consumidores

La gran constante en estos tiempos modernos es el cambio. Cambio acelerados en tecnología, población, y actividad económica están transformando nuestro mundo (Sterman, 2000). Nuestro país no es ninguna excepción, la apertura económica que representa la Reforma Energética de 2013-2014, el crecimiento económico, el crecimiento poblacional y los diferentes niveles adopción que pueden tener en el país las nuevas plataformas de transporte (híbridos y eléctricos) representan para México este cambio acelerado, estudiar la cadena de valor del subsector hidrocarburos, sin dejar de lado el impulso tecnológico toma gran relevancia.

Las preferencias de los consumidores finales tanto de vehículos como de combustibles, es en sí un sub sistema con alta complejidad ante un escenario de apertura económica, y de

múltiples opciones de compra incluyendo una amplia variación en las características de vehículos para cada una de las 3 plataformas de incluidas en este estudio, donde destacan rango de precio, eficiencia de combustible, rango de manejo (infraestructura de estaciones de servicio) y finalmente su impacto en el medio ambiente: la huella de carbono.

El calentamiento global cuenta con fuentes literatura bastante amplias, por lo que los consumidores potenciales de cualquier tipo de vehículo cuentan con mucha más información a la hora de tomar una decisión, esto se considera puede haber despertado u generado un tipo de conciencia colectiva entorno al cuidado del medio ambiente en las nuevas y futuras generaciones.

Lo anterior aunado a escándalos internacionales como el de Volkswagen de 2015 donde se modificó intencionalmente el software que media el nivel de contaminantes emitidos por cada vehículo, para engañar las lecturas de agencias regulatorias y así permitir la emisión de contaminantes hasta 40 veces por encima del límite legal, este tipo de eventos tienen repercusiones en la confianza que los fabricantes de auto ofrecen a sus clientes potenciales.

La aprobación de diferentes políticas públicas en países con economía avanzada donde ya se tiene programada una fecha límite para el uso de vehículos con motor a gasolina, podría ser considerada como una tendencia que algunos países de la región emergente podrían adoptar.

Estas variables, entre otros factores económicos y de condiciones de mercado, son las responsables de los niveles de adopción que pueden tener en México la introducción de nuevas plataformas de vehículos alternativos (híbridos y eléctricos), y su posible impacto en la demanda de gasolina y en consecuencia en la cadena de valor downstream del subsector hidrocarburos.

1.2 Línea de investigación

Apoyo a la gestión

1.3 Sub línea de investigación

Cambio tecnológico y prospectiva estratégica del sector hidrocarburos

1.4 Caso de investigación

México como clúster en el sector hidrocarburos.

El estudio pretende estudiar el comportamiento de la demanda de gasolinas en México en respuesta a la implementación de una política pública de subsidio tecnológico, esto frente a escenarios con distintos niveles de adopción de las nuevas plataformas de vehículos híbridos y eléctricos en México rumbo al año 2040.

1.5 Pregunta de investigación

- a) ¿Cómo va a evolucionar el comportamiento del mercado de gasolina en México en los próximos 22 años?
- b) ¿Cuáles son las expectativas de crecimiento de la demanda de gasolina en México en los próximos 22 años?
- c) ¿Qué relación hay entre el posicionamiento de plataformas de vehículos híbridos y eléctricos en México, respecto a la demanda de gasolina en México?
- d) ¿Cuáles son las variables de incertidumbre profunda que representan una restricción para el desarrollo óptimo de la cadena de valor downstream del subsector hidrocarburos en México a mediano y largo plazo?
- e) ¿Cuáles son las condiciones de distribución del mercado potencial de vehículos nuevos en México, necesarias para desplazar la flota de vehículos con motor a gasolina?

1.6 Relevancia de la investigación

Cadenas de valor global

El auge y crecimiento de las cadenas de valor global alcanzaron el subsector de hidrocarburos mexicano, por lo que la apertura económica consecuencia de la Reforma Energética de 2013-2014 trae consigo muchas más preguntas que respuestas respecto al rumbo que tomara México en el sector energético entorno a un escenario global en constante evolución, conducido por un cambio tecnológico que se lleva a cabo cada vez más rápido.

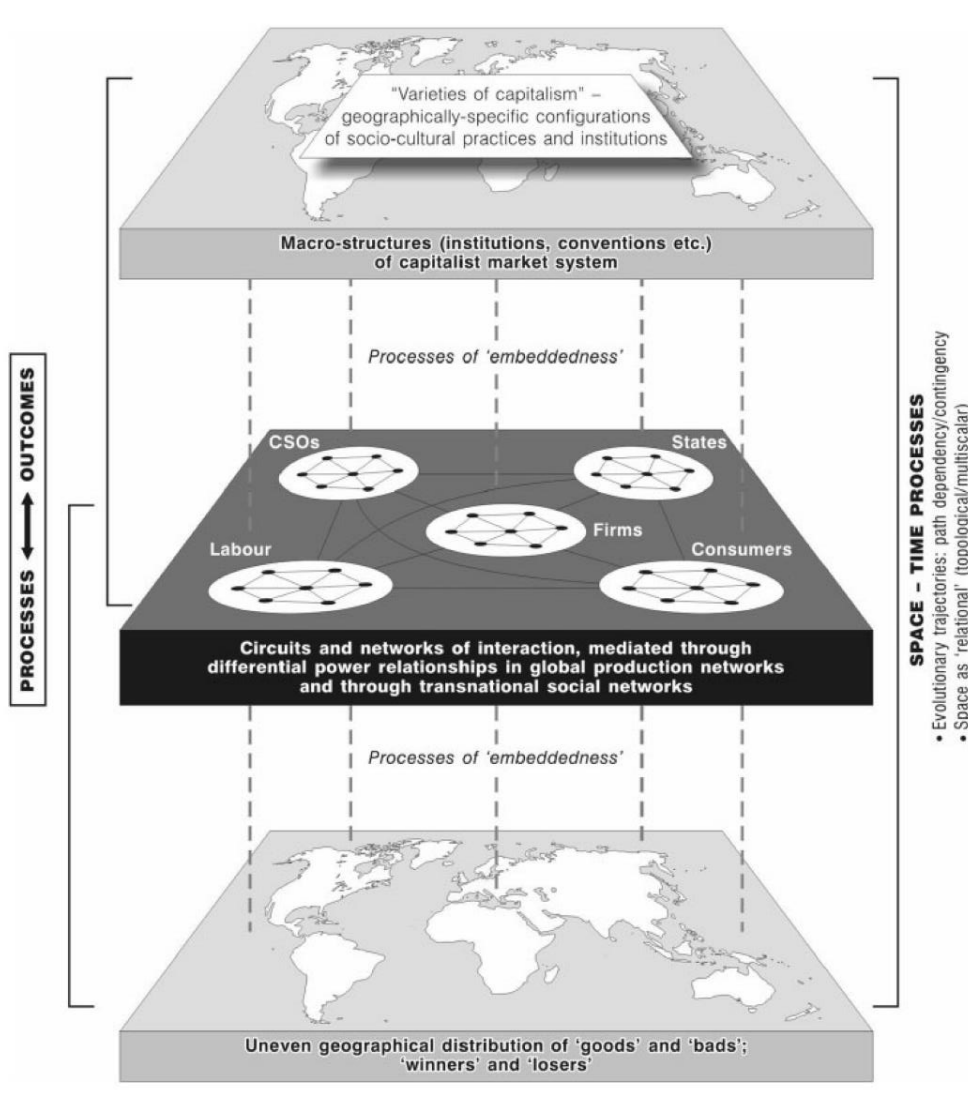
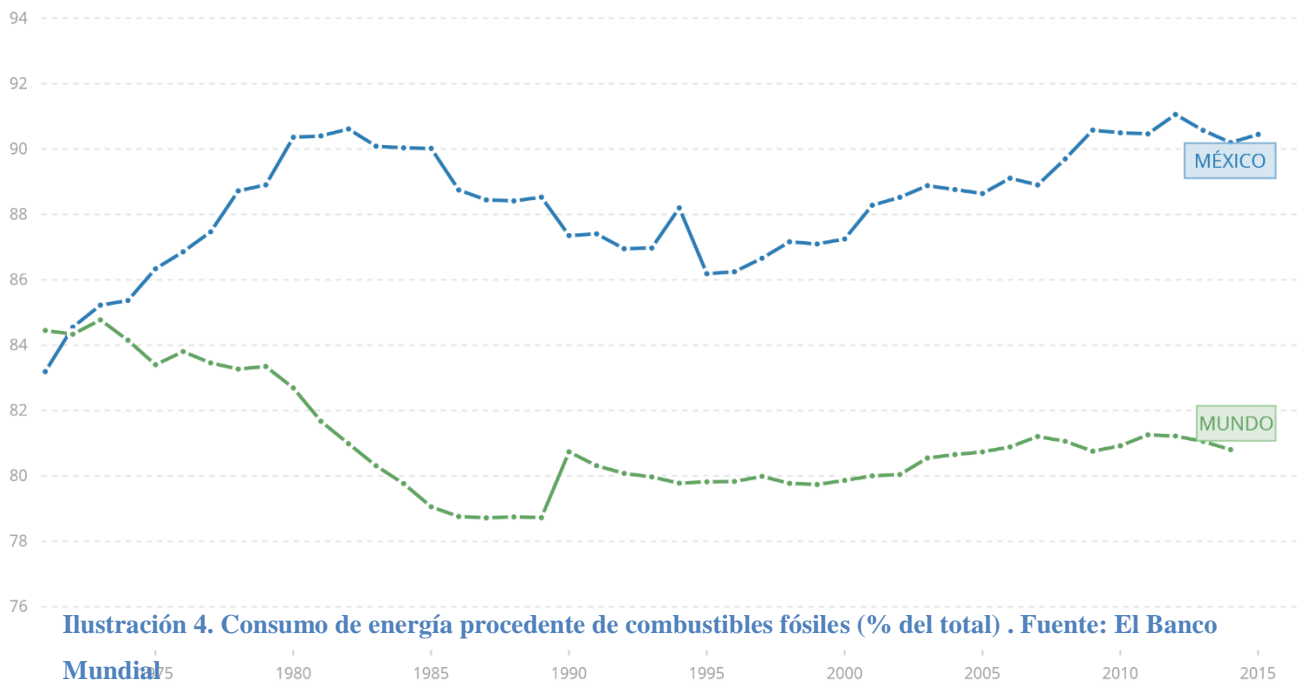


Ilustración 3. Marco heurístico para el análisis de la economía global. Fuente: Adaptación de Dicken 2004 en Global production network: realizing the potential.

La imagen anterior muestra como la distribución geográfica de bienes y limitaciones es desigual, sin embargo, mediante circuitos y redes de interacción, mediadas a través de relaciones de poder diferenciales en las cadenas de producción global y a través de redes sociales transnacionales, da como resultado macro-estructuras del sistema mercantil del capitalismo.

Consumo de energía

El promedio de consumo de energía proveniente de energías fósiles en México está por encima de la media mundial, por lo que la correcta y eficiente gestión del sector energético toma gran importancia y relevancia en un entorno de incertidumbre propiciado por los cambios estructurales consecuencia de la reforma energética y el cambio tecnológico.



Economía

Estudiar la cadena de valor del subsector hidrocarburos resulta un tema obligado para todo aquel país en el que las energías fósiles forman parte activa de su economía, en especial cuando se participa como productor y consumidor, México cuenta con aportaciones a su PIB por ingresos petroleros o sus derivados, los ingresos petroleros por parte de PEMEX han tenido altibajos históricamente, sin embargo, cada vez representan menor proporción en el total de los ingresos del sector público, lo que se refleja directamente en un incremento en la recaudación tributaria (ver ilustración 6).

En el año 2014 comenzó la caída de los precios internacionales del crudo, lo cual se identifica como uno de los principales causantes de la reducción de los ingresos petroleros nacionales, los precios de la Mezcla Mexicana de Exportación (MME), cayeron 65.9%,

mientras que la producción nacional lo hizo en 11%. Esto pone en evidencia la vulnerabilidad que los ingresos petroleros del sector público (ISPS) tienen ante factores exógenos y endógenos.

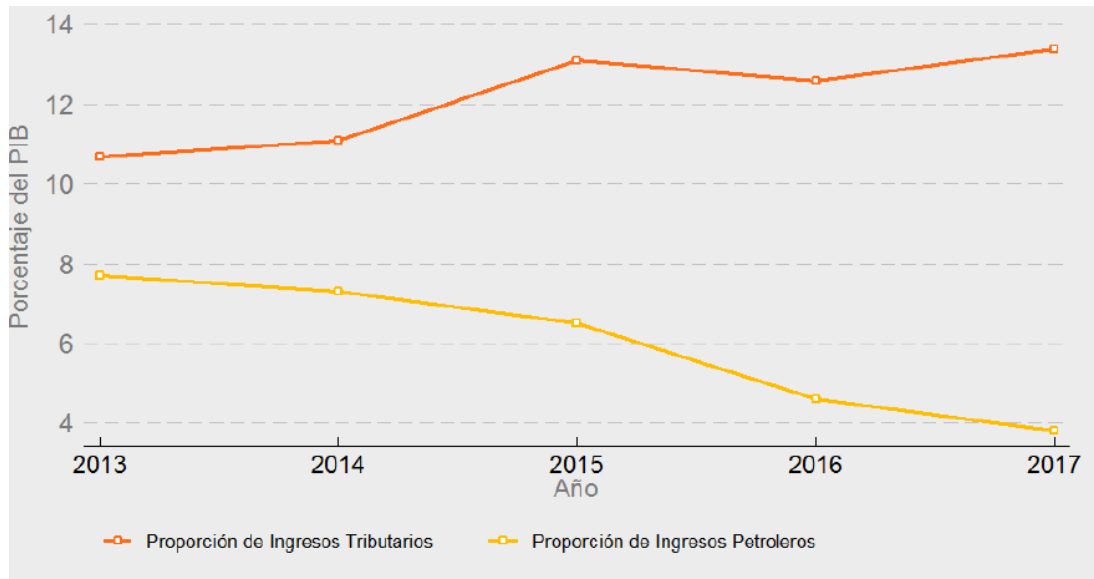


Ilustración 5. Evolución de ingresos tributarios y petroleros como % del PIB

El PIB por ingresos petroleros en México ha venido a la baja desde hace 7 años, durante 2011 la aportación al PIB fue de cerca del 5.35%, posteriormente durante 2017 se reportó una aportación del 1.9% por parte de PEMEX, lo que lo ubica en su punto más bajo de los últimos 20 años.

El análisis de riesgos que pretende esta investigación y su aporte en apoyo a la gestión de la cadena de valor del subsector hidrocarburos es vital para la economía nacional, así como para todos los consumidores finales de productos refinados (gasolina, diésel, etc.), esto debido a que la variación de impuestos tributarios afecta directamente en el PIB per Cápita, lo que a su vez tiene un impacto en la distribución del mercado potencial de vehículos y finalmente en la demanda de combustible, modificando el comportamiento de la demanda de gasolinas en México.

Impacto ambiental

La industria del transporte es de los sectores más contaminantes del país, durante 2012 genero alrededor del 39% de las de emisiones de CO2 asociadas a la producción y uso de

energía⁵, el consumo de gasolina y diésel son la principal fuente de estas emisiones. El presente estudio contempla múltiples simulaciones respecto al comportamiento histórico de los últimos 20 años del crecimiento económico, lo que sin una adecuada política de precios ante una apertura económica como la de la Reforma Energética de 2013-2014 generara un aumento en el consumo de gasolinas, esta situación puede ser más grave al considerar los efectos del cambio climático suponiendo una demanda relativamente constante.

A continuación, se presenta el histórico de la aportación global de las emisiones de CO2 por consumo de combustible.⁶

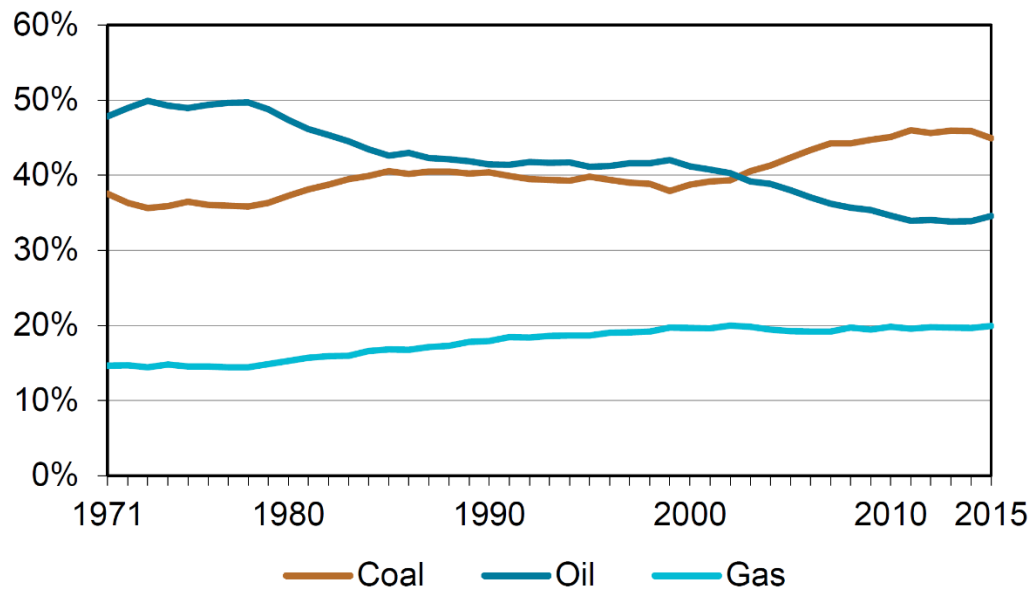


Ilustración 6. Distribución global de las emisiones de CO2 por consumo de combustible. Fuente: I.E.A.

⁵ Agencia Internacional de la energía (I.E.A.)

⁶ Emisiones de CO2 por combustión de combustible 2017. I.E.A.

1.7 Objetivo del trabajo

El objetivo de este estudio lo podemos dividir en dos partes principales y bien diferenciadas:

El objetivo de la primera parte del estudio consiste fundamentalmente en desarrollar un modelo escrito en lenguaje R, basado en la dinámica de sistemas, el modelo debe ser capaz de reproducir múltiples simulaciones de las cuales se analizarán sus resultados basados en diferentes esquemas de parámetros, condiciones iniciales y políticas públicas.

El modelo simulara la interacción que hay entre el comportamiento de la demanda de gasolina en México al año 2040, en función del comportamiento de la participación del mercado potencial de vehículos nuevos en México, a través de la interacción entre las 3 plataformas de transporte de vehículos ligeros que existen actualmente: vehículos con motor a gasolina, vehículos híbridos y vehículos eléctricos, entre otros factores endógenos y exógenos descritos más a detalle posteriormente en la sección de parámetros.

El objetivo de la segunda parte del estudio consiste en analizar los resultados de las simulaciones e identificar las condiciones de adopción de vehículos alternativos que representan un riesgo para la cadena de valor downstream del subsector hidrocarburos.

Para esto se analiza el comportamiento de la demanda frente a la implementación de una política pública: política de subsidio tecnológico, esto ante distintos escenarios que contemplan diferentes niveles de adopción de las nuevas plataformas de vehículos alternativos en México, todo visto desde un enfoque en el mercado de combustibles nacional, el análisis de resultados busca elaborar y clarificar la relación directa entre el comportamiento de la participación del mercado potencial de vehículos nuevos en México y la demanda de gasolinas rumbo al año 2040.

En términos de simplicidad, el modelo no contempla el comportamiento de las importaciones de gasolina en México, debido a que es necesario generar un modelo de interacción entre PEMEX y sus competidores, actualmente estos, utilizan la infraestructura de PEMEX para transportar el volumen de sus importaciones, por lo que sigue manteniendo una ventaja competitiva que dificulta la comparación.

1.8 Revisión literaria

Mapa conceptual

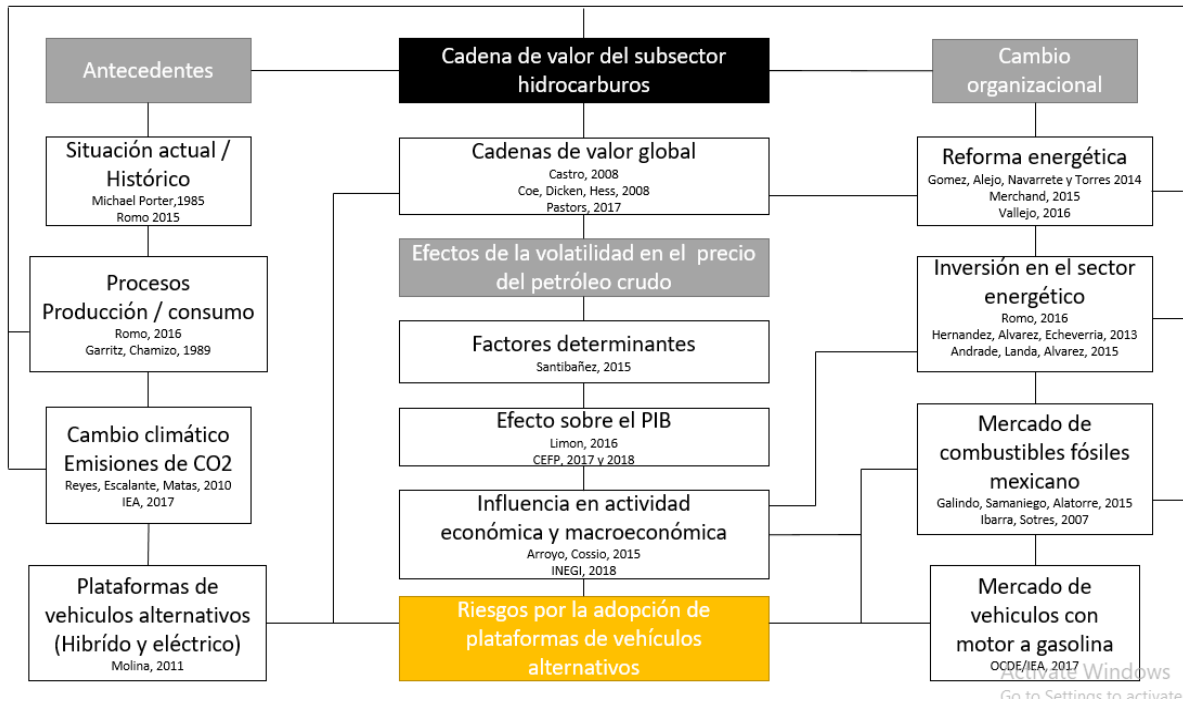


Ilustración 7. Mapa conceptual de revisión literaria. Fuente: Elaboración propia.

La revisión de literatura arrojó que la gran mayoría de los estudios recientes sobre la demanda de gasolina en México analizan el comportamiento de esta, ante la elasticidad de su precio; el resto de los estudios tiene un enfoque ambientalista donde el análisis es cuantitativo y en los casos en que se modela el comportamiento, este se basa en el uso de métodos econométricos.

Por lo anterior, se establece que el modelo de simulaciones adaptado para este estudio entre la demanda de gasolinas y la penetración en el mercado de vehículos alternativos no tiene precedentes, por lo que evaluar la interacción entre estas dos métricas resulta altamente interesante.

La lectura de Romo “La situación de PEMEX ante el contexto de la apertura de la industria petrolera en México” tiene una aportación en este estudio al ayudar a entender la situación actual de la paraestatal, así como los retos y oportunidades que representa la apertura económica de la Reforma Energética de 2013-2014.

Garritz y Chamizo describen los procesos involucrados en la refinación de crudo, así como una breve introducción a la cadena de valor de la refinación, sin embargo, Porter es quien ayuda a catalogar las funciones de cada proceso y su relevancia, también tiene gran aporte al ayudar a identificar las ventajas competitivas en la industria.

Las lecturas referentes a la mega tendencia sobre las Cadenas de Valor Global, nos da una referencia histórica tanto de los principales países que forman parte de este proceso, así como de su impacto en la economía global en contraste con economías locales emergentes.

La lectura de Reyes, Escalante y Matas, así como los informes de la Agencia Internacional de Energía (I.E.A. por sus siglas en inglés), detalla en la actualidad la situación ambiental ante un incremento notable de emisiones de carbono, así como las posibles consecuencias del cambio climático, dicha información forma parte de las variables que modelan la adopción de nuevas plataformas de vehículos alternativos.

Romo, Hernández, Álvarez, Echeverría, Andrade, Landa entre otros, aportan a esta investigación sus estudios donde evalúan el posible impacto económico y viabilidad, producto de inversiones en sectores específicos de la cadena de valor del subsector hidrocarburos.

Galido, Samaniego, Ibarra, Alatorre y Sotres nos ofrecen un marco de comparación al presentar estudios previos sobre la demanda de combustibles en México, siendo estos de los pocos artículos literarios que abordan específicamente el comportamiento de la demanda de gasolina en México.

Por último, Molina aporta a este estudio un modelo sobre la interacción entre economías avanzadas y emergentes respecto al nivel de adopción de nuevas plataformas de vehículos (híbridos y eléctricos), en contraste con los vehículos tradicionales con motor a gasolina, una parte de su modelo fue adaptada a este estudio, el cual representa el eje central de la investigación, se pretende evaluar los resultados de las simulaciones mediante el análisis de escenarios.

2. Conceptualización del sistema

El modelo de Molina (2011) adaptado a esta investigación está basado en el marco de Opción-Actor desarrollado por Yücel (2010), el cual provee un conjunto de bloques que se utilizan para desarrollar modelos que analizan casos de transición. Este marco teórico provee de un conjunto de conceptos y mecanismos de interacción que pueden ser utilizados para estructurar un caso de transición.

El marco de Opción-Actor describe un conjunto de mecanismos a través del cual los actores del sistema interactúan, mediante el cual su comportamiento influye en las propiedades de las opciones disponibles (Molina, 2011)

2.1 Interacción de bloques

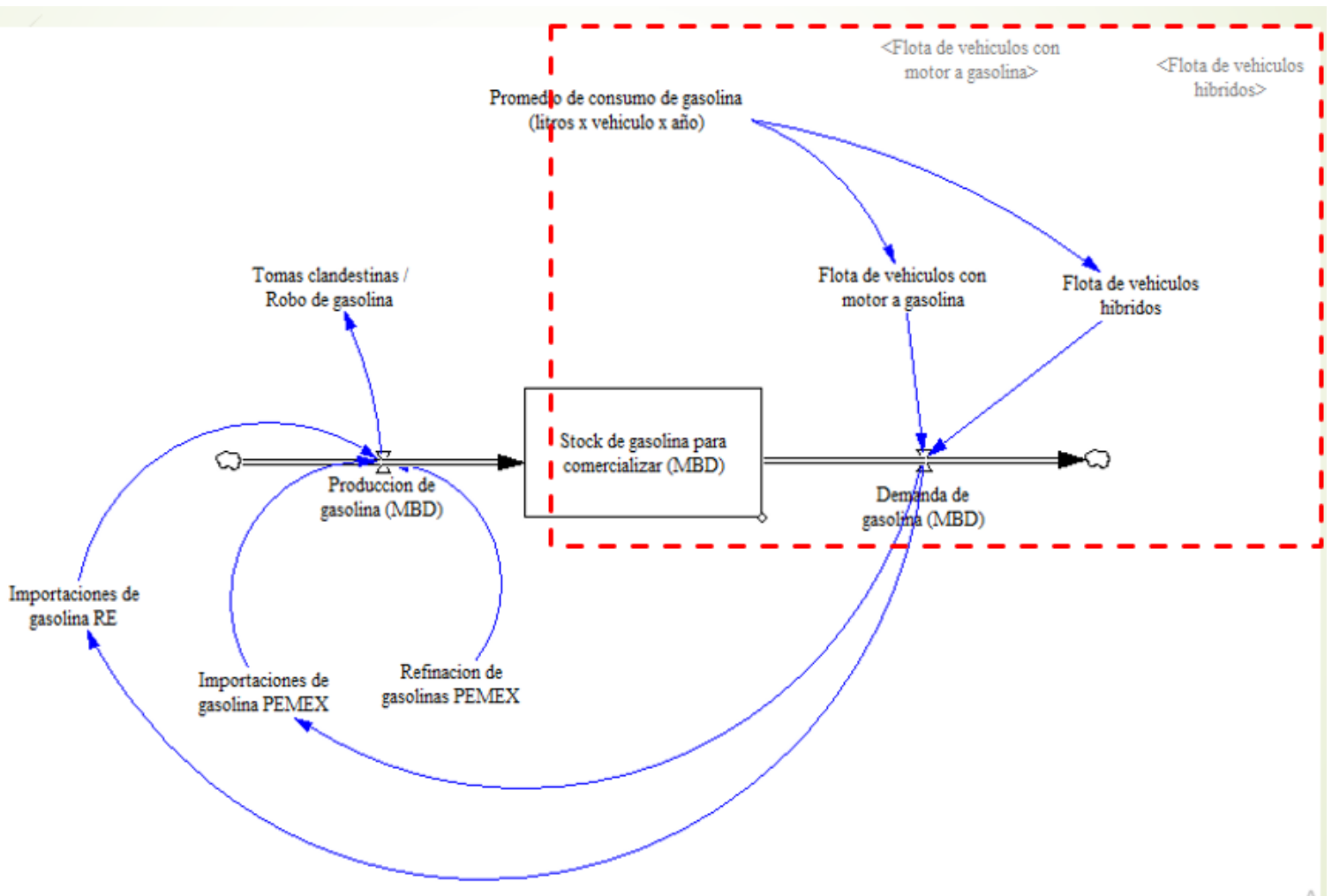


Ilustración 8. Diagrama causal que describe el modelo. Fuente: Elaboración propia.

2.2 Cadena de valor

Para entender las necesidades que potencialmente tienen los distintos bloques de actividades en la gestión de la cadena de valor del subsector hidrocarburos, es indispensable conocer los conceptos básicos de la cadena de valor como herramienta de análisis y de la cadena de valor industria petrolera en México.

La cadena de valor es esencialmente una forma de análisis de la actividad empresarial mediante la cual se separa una empresa de sus partes constitutivas, buscando identificar fuentes de ventaja competitiva en aquellas actividades generadoras de valor. En otras palabras, se define como la suma de beneficios percibidos que el cliente recibe menos los costos percibidos por él, al adquirir y usar un producto o servicio. Por consiguiente, la cadena de valor de una empresa está conformada por todas sus actividades generadoras de valor agregado y por los márgenes que éstas aportan. A continuación, una breve explicación de los elementos que la constituyen (Porter, 1986).

Las Actividades Primarias, que son aquellas que tienen que ver con el desarrollo del producto, su producción, las de logística y comercialización y los servicios de postventa.

Las Actividades de Soporte a las actividades primarias, como son la administración de los recursos humanos, las de compras de bienes y servicios, las de desarrollo tecnológico (telecomunicaciones, automatización, desarrollo de procesos e ingeniería, investigación), las de infraestructura empresarial (finanzas, contabilidad, gerencia de la calidad, relaciones públicas, asesoría legal, gerencia general).

El Margen, que es la diferencia entre el valor total y los costos totales incurridos por la empresa para desempeñar las actividades generadoras de valor.

La cadena de valor proporciona:

- Un esquema coherente para diagnosticar la posición de la empresa respecto de sus competidores.
- Un procedimiento para definir las acciones tendentes a desarrollar una ventaja competitiva sostenible.



Ilustración 9. Cadena de valor de Porter.

El presente estudio, pretende obtener información que, de soporte a la toma de decisiones a largo plazo, ante un escenario global de constante cambio impulsado por el avance tecnológico.

Porter indica en su libro “Estrategia competitiva” que el entorno ante la toma de decisiones de este grado produce dos clases de expectativas que son fundamentales: las de la demanda futura y las del comportamiento de la competencia (Porter, 2009), el modelo de simulaciones adaptado en este estudio pretende abordar la demanda futura de combustible fósil (gasolinas) al año 2030.

2.3 Cadena de valor subsector hidrocarburos

PEMEX

Desde la expropiación petrolera de 1938 y hasta diciembre del año 2013, por mandato constitucional, PEMEX fue la única empresa mexicana encargada de la explotación y gestión de los recursos naturales en materia de hidrocarburos en el territorio nacional, encargada de operar y administrar la extracción, refinación, importación, exportación, así

como distribución y comercialización de petróleo, gas y petrolíferos para abastecer la demanda nacional.

Sin embargo, a partir de 2013 - 2014, con la Reforma Energética emitida por el Congreso de la Unión y decretada por el Ejecutivo Federal, la exclusividad conferida a PEMEX dejó de tener efecto. Posterior a esa fecha, en el escenario de producción y abasto nacional de petróleo, gas y sus derivados, pueden intervenir empresas privadas nacionales y extranjeras que operarán en nuestro país de acuerdo con licencias y contratos acordados con el gobierno federal.

La cadena de valor hidrocarburos nacional (PEMEX) se puede definir como el conjunto de operaciones y procesos de transformación de hidrocarburos (petróleo y gas natural), desde su estado de materia prima en la naturaleza, hasta su estado de productos terminados (petrolíferos y energéticos) puestos a la venta al consumidor.

El modelo de negocio de los hidrocarburos en México ha sido objeto de varios cambios, y su evolución lo ha llevado a convertirse en un negocio mucho más organizado, sin embargo, también sus dificultades y complejidad han ido en aumento, principalmente a raíz de la Reforma Energética de 2013-2014, y en parte al cambio tecnológico que se vive alrededor del mundo. Este se compone de 3 sectores que a grandes rasgos generan la cadena de valor (PEMEX, 2016)

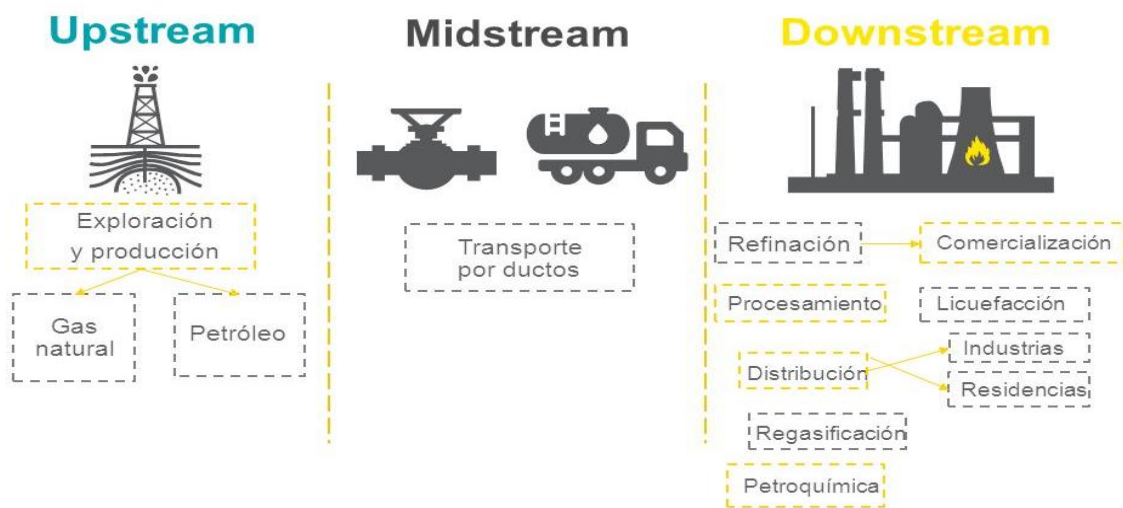


Ilustración 10. Composición de cadena de valor del subsector hidrocarburos. Fuente: PEMEX.

2.4 Principales actores del sistema

En esta investigación el análisis se ha restringido a los 2 actores con mayor relevancia en el sistema: los proveedores de gasolina y la demanda de gasolina en función de los consumidores (vehículos en circulación y mercado de nuevos vehículos potenciales).

Consumidores

Los consumidores son los dueños de un vehículo ligero y los potenciales compradores de vehículos nuevos de alguna de las 3 plataformas de vehículos: combustión interna, híbridos o eléctricos, la influencia de estos actores en el sistema tiene un impacto en diferentes formas, la más importante es que sus decisiones respecto a que vehículo comprar pueden incrementar o reducir la flota de vehículos de cada plataforma, lo cual influye en la demanda de combustible ya sea gasolina o demanda eléctrica.

Posteriormente los consumidores incrementaran el promedio anual de kilómetros recorridos indistintamente de la plataforma usada debido distintos factores entre los que destacan el incremento en la eficiencia del motor⁷, así como el incremento anual de los ingresos per cápita, lo que se reflejaría en un incremento o disminución de potenciales compradores.

El modelo de Molina contempla consumidores separados en dos grandes grupos: región emergente y avanzada, sin embargo para el presente estudio solo se contempló la región emergente debido a que México corresponde a dicha categoría y no hay necesidad de comparar comportamientos entre ambas regiones.

Los fabricantes de autos de las 3 plataformas generan y acumula recursos, los cuales se asignan a diferentes áreas de investigación y desarrollo con el fin de mejorar su rendimiento, hacerlos más amigables con el medio ambiente y hacerlos más comercializables.

Este cambio inducido en cada plataforma de vehículos puede incrementar o reducir su atractivo comercial teniendo una influencia directa en sus ventas, lo cual se refleja directamente en el nivel de participación que tienen en el mercado potencial de vehículos nuevos.

⁷ The energy journal

Proveedores de gasolina

Son los encargados de instalar y administrar las estaciones de combustible para cada una de las 3 plataformas de vehículos contempladas en esta investigación, la participación de PEMEX y estará en función de los datos obtenidos en los informes anuales de 2015 a 2016 de la paraestatal, donde se tomará como importación la diferencia entre la gasolina comercializada y la gasolina refinada por PEMEX.

(miles de barriles diarios)

Concepto	2014	2015	Var. (%)
Petrolíferos	1,427.6	1,426.7	-0.1
Gasolinas automotrices	776.3	792.8	2.1
Pemex Magna	639.1	638.0	-0.2
Pemex Premium UBA	137.1	154.8	12.9
Turbosina	66.5	70.8	6.5
Diesel	389.4	384.7	-1.2
Pemex Diesel	336.4	330.6	-1.7
Otros	53.0	54.2	2.3
Combustóleo	121.7	111.7	-8.2
Otros petrolíferos ^{1/}	73.8	66.7	-9.6
Petroquímicos ^{2/} (Mt)	708.7	622.9	-12.1

Ilustración 11. Comercialización, mercado interno de hidrocarburos, ventas de productos petrolíferos. Fuente: Informe anual PEMEX 2016.

La construcción o cierre de nuevas estaciones de combustible dependen de la rentabilidad del mercado de gasolinas, si en una región la rentabilidad de alguna plataforma disminuye, estos actores están más inclinados a salir del mercado, la dinámica de esta actividad influye en la infraestructura de cada plataforma en cuanto a distribución de combustibles, lo que puede hacer una plataforma más atractiva que otra incrementando sus ventas.

Los nuevos competidores no se contemplan en la demanda de gasolina proyectada en las simulaciones debido a que, si bien durante 2017 empezaron a operar gasolineras ajenas a PEMEX, estas siguen utilizando la infraestructura de PEMEX para la transportación de sus productos, se tiene contemplado que esta manera de trabajar siga vigente hasta que los nuevos competidores tengan una infraestructura funcional a lo largo de territorio nacional.

2.5 Conductores del cambio en el sistema / Fuerzas que impulsan

Crecimiento económico

El PIB per cápita en países desarrollados, así como el tamaño del mercado de vehículos es considerablemente mayor que en países emergentes incluido México, sin embargo, el crecimiento del PIB en países emergentes incluido México es mayor que en países desarrollados.

Los gráficos de la ilustración 12 nos muestra el PIB neto del año 2000 al 2016 de los países más desarrollados pertenecientes a la OECD, en dicha imagen Estados Unidos debería aparecer arriba con un PIB neto al año 2016 de 16.624 trillones de dólares, no se incluyó en la gráfica debido al amplio margen comparado con el resto de los países analizados, lo cual distorsiona la imagen para su correcta apreciación.

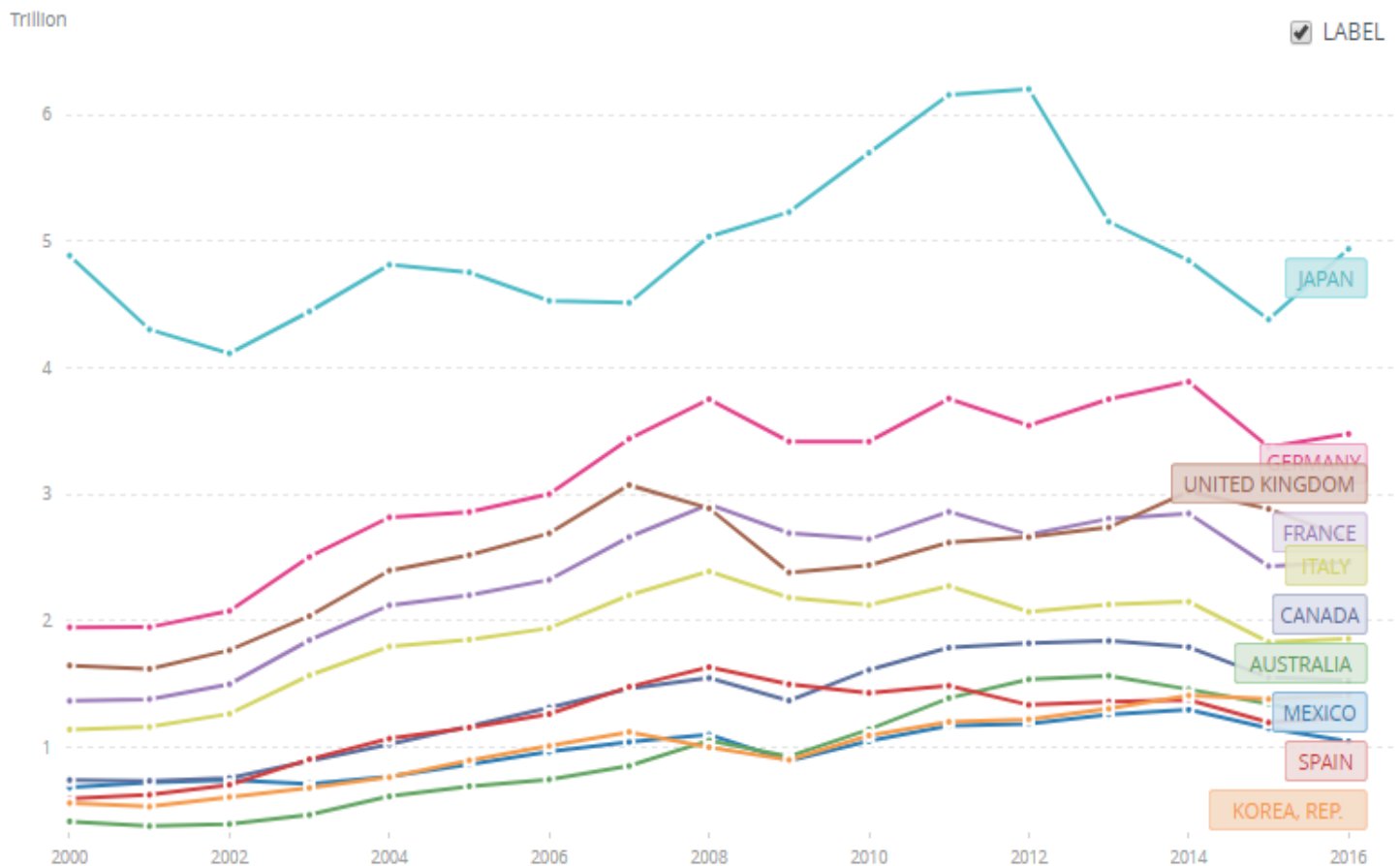


Ilustración 12. PIB neto comparativo entre países desarrollados pertenecientes al OECD y México. Fuente: El Banco Mundial.

A continuación, en la ilustración 13 se puede apreciar que el crecimiento anualizado del PIB es mayor en México que en países más desarrollados, incluso se posiciona encima del promedio mundial según datos del Banco Mundial.

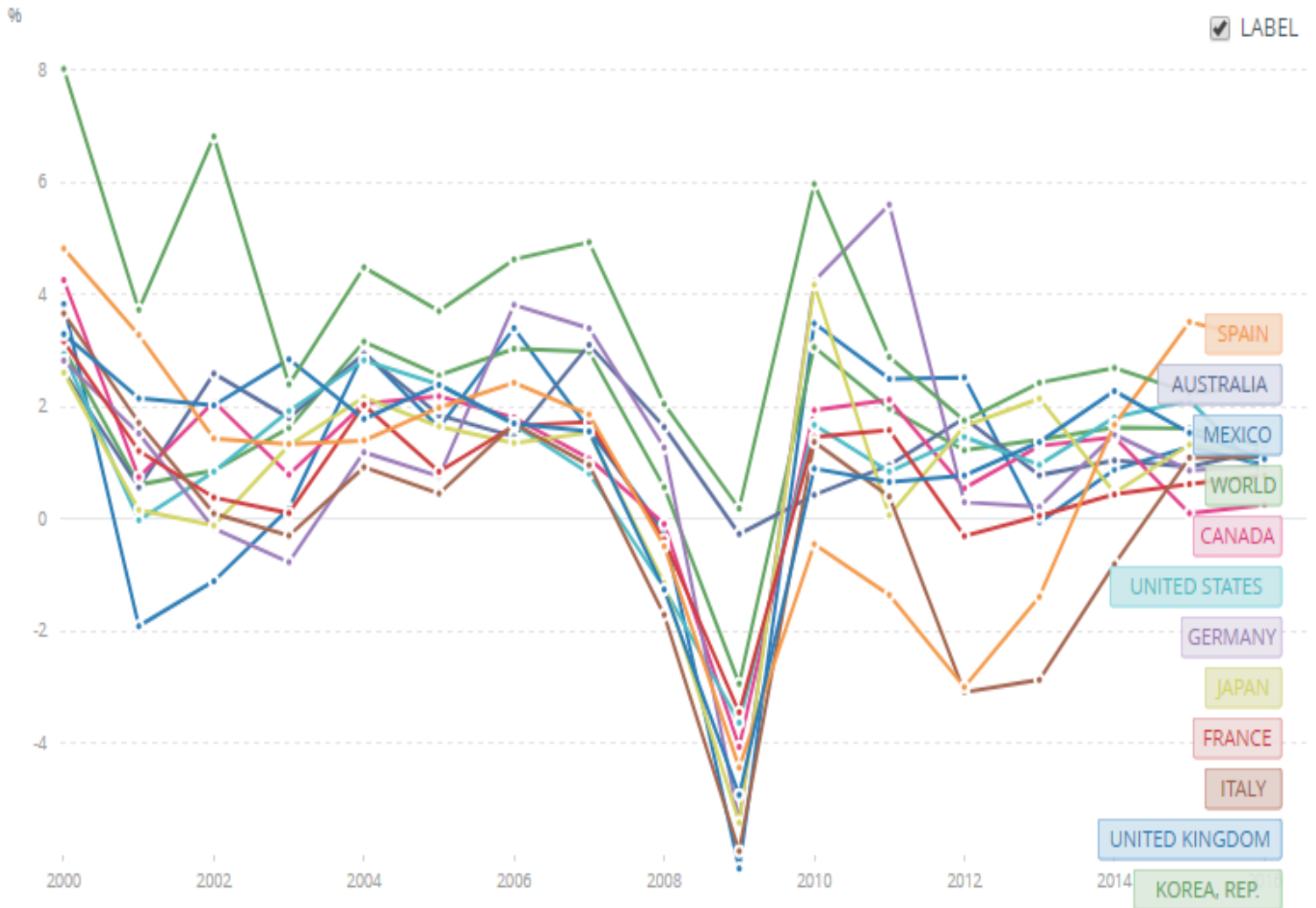


Ilustración 13. Porcentaje de crecimiento anualizado del PIB, comparativo de México contra promedio mundial y países desarrollados. Fuente: El Banco Mundial.

Crecimiento poblacional

El crecimiento poblacional en países emergentes incluido México es considerablemente mayor en comparación con países desarrollados, inclusive se mantiene arriba del promedio mundial, a continuación, la imagen 17 muestra lo mencionado anteriormente.

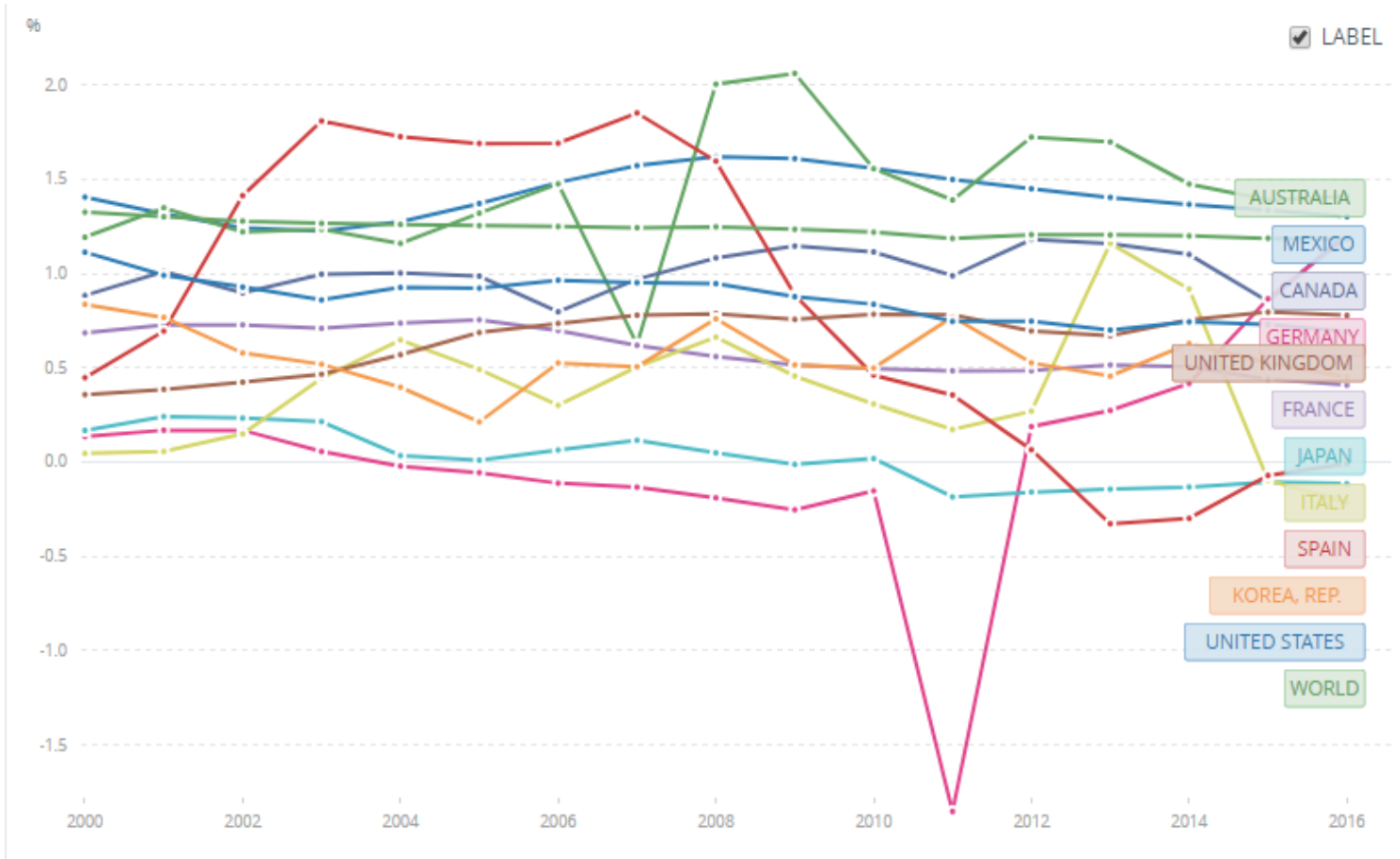


Ilustración 14. Porcentaje de crecimiento poblacional, comparativo de México contra países desarrollados. Fuente: El Banco Mundial.

Mercado comercial de vehículos

Estos dos factores están acelerando el crecimiento del mercado comercial de vehículos en países emergentes incluido México, los fabricantes globales de automóviles también requieren servir a mercados que tienen diferentes velocidades de crecimiento, hay estudios que sugieren que ante el desarrollo de nuevas plataformas de vehículos (híbridos y eléctricos) solamente los países desarrollados podrán implementar estas tecnologías satisfactoriamente (Silberglitt, Antón, Howell, & Wong, 2005).

Lo anterior puede tener serias implicaciones en el sector energético puesto que las económicas emergentes al no ser capaces de implementar el uso de estas nuevas tecnologías, tendrían dificultad en alcanzar sus objetivos en la búsqueda de reducción de emisiones de CO2 y de diversificación de energías.

Por lo tanto, entender que la posible difusión y adopción de nuevas plataformas de vehículos (híbridos y eléctricos) puede ser mejorada o amenazada por la heterogeneidad del mercado entre economías desarrolladas y emergentes (Molina, 2011).

Innovación Tecnológica

En su artículo *The Global Technology Revolution 2020* por la RAND Corporation, México se distingue por tener capacidad para adquirir aplicaciones tecnológicas del top 16 enlistado en dicho artículo, donde destaca contar con la capacidad necesaria de nivel medio para la probable implantación de aplicaciones tecnológicas entre las cuales destacan bioensayos rápidos, manufactura verde (energías renovables), etiquetado RFID ubicuo (identificación por radiofrecuencia) y finalmente los vehículos híbridos, a continuación las ilustraciones 18 y 19 muestran el mapeo de capacidad científica pronosticado por países.

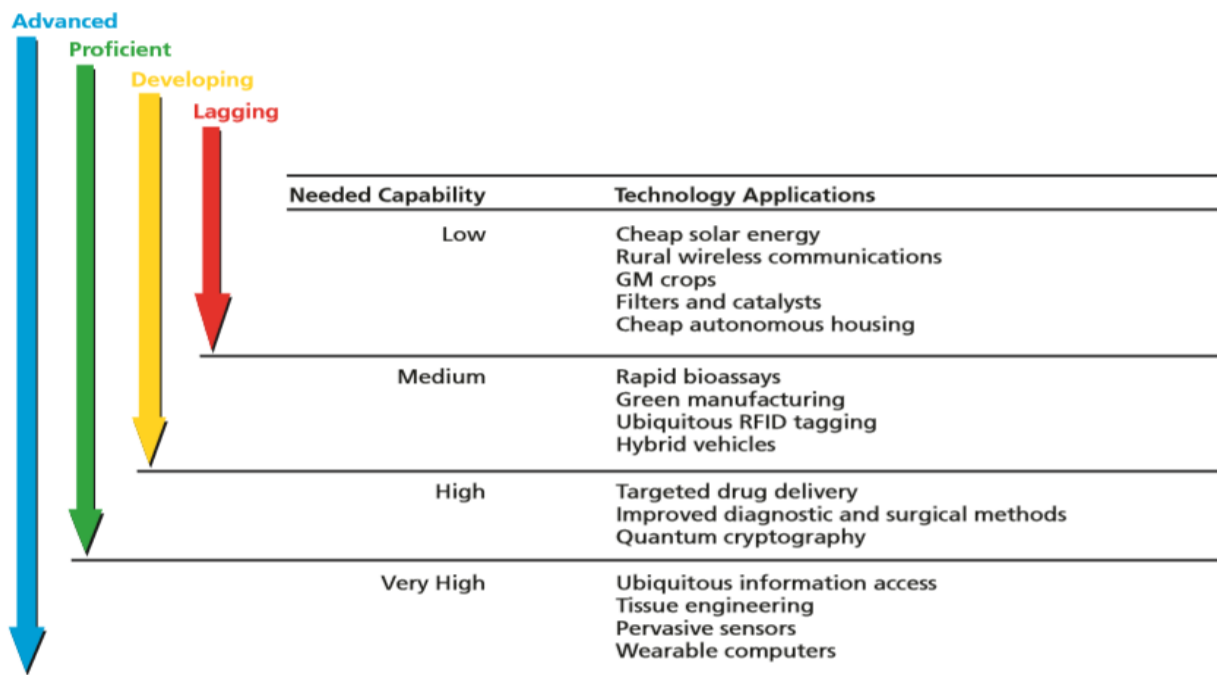


Ilustración 15. Mapeo del índice de capacidades científicas por país respecto al Top 16 de aplicaciones tecnológicas. Fuente: RAND Corporation.

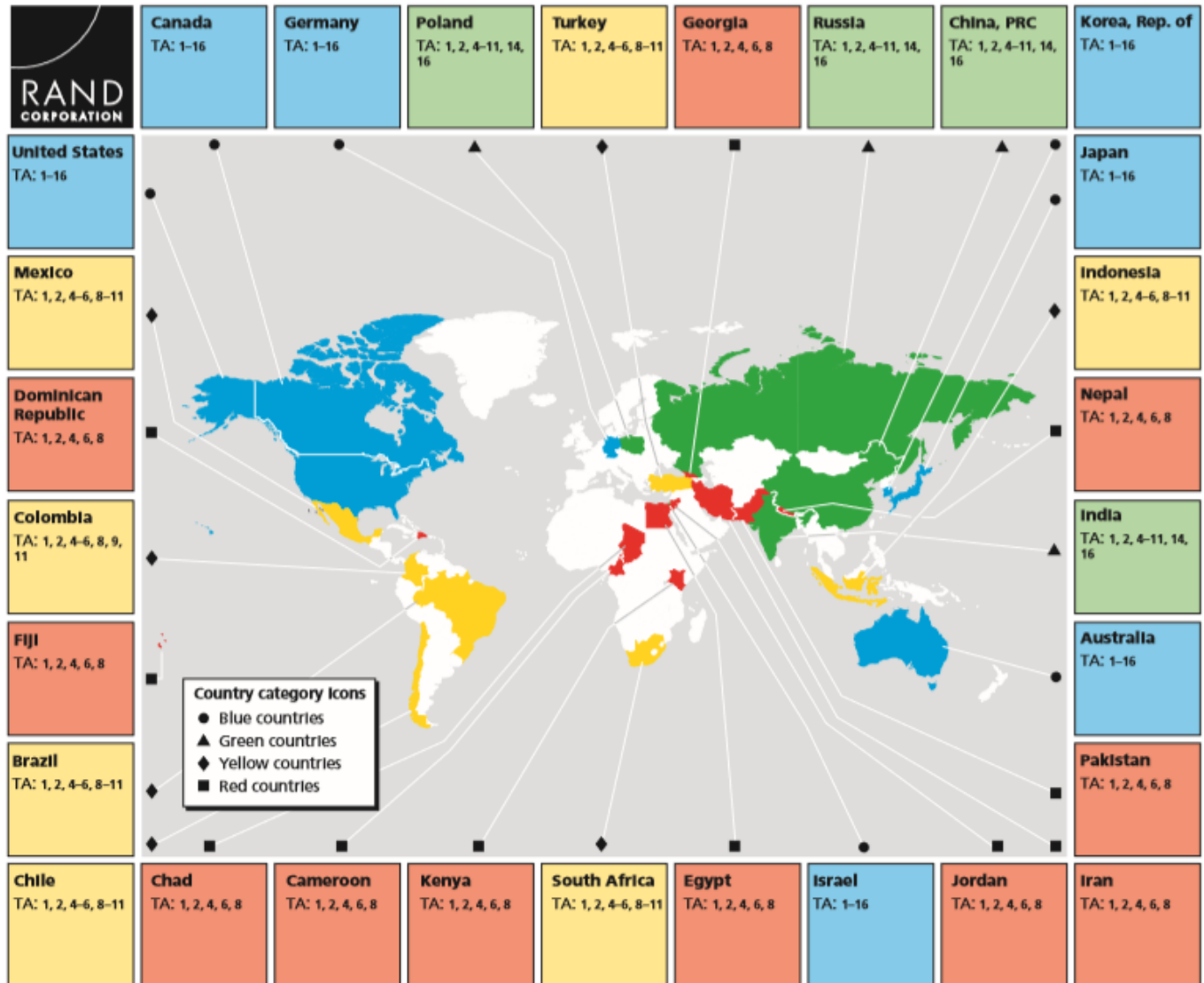


Ilustración 16. Capacidad de los países seleccionados para adquirir aplicaciones tecnológicas del top 16 desarrollado por la RAND Co. Fuente: RAND Corporation.

2.6 Mecanismos de interacción entre las 3 plataformas de vehículos

Aprendizaje social

En esta investigación solamente se contempla un mecanismo que afecta la percepción de los actores es considerada, cuando la flota de vehículos de alguna de las 3 plataformas de vehículos se incrementa en la región emergente, también se incrementa su exposición social. Esto mediante la recomendación de boca en boca de conductores potenciales ajenos a alguna plataforma a otros conductores o conductores potenciales (Struben & Sterman, 2006).

Sin el aprendizaje social, los consumidores no cuentan con una manera de averiguar el desempeño de cada plataforma, esto tiene el potencial para incrementar o disminuir las ventas de determinada plataforma dependiendo de la preferencia estructural de los consumidores (Struben & Sterman, 2006).

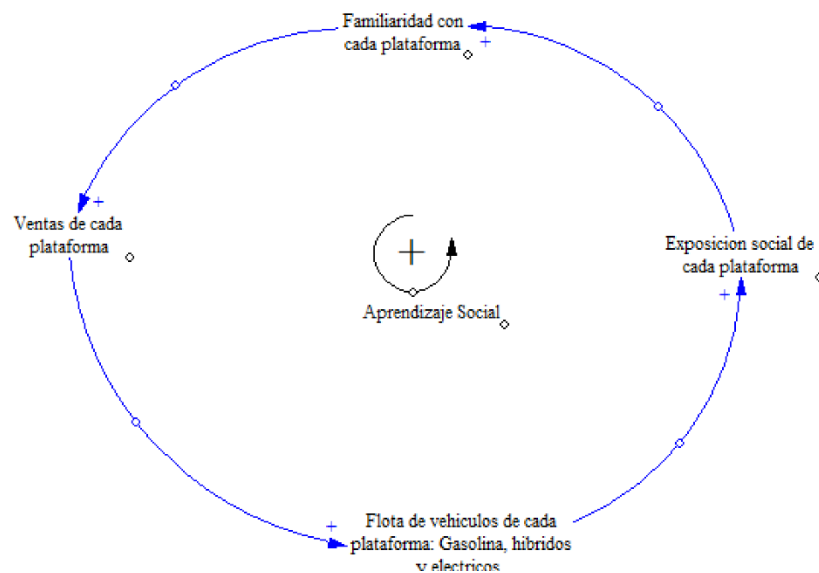


Ilustración 17. Diagrama de flujo del aprendizaje social. Fuente: Adaptación de Molina, 2011.

3. Análisis de prospectivo

La prospectiva es una reflexión para iluminar la acción presente con la luz de los futuros posibles. En las sociedades modernas, la anticipación se impone a causa de los efectos conjugados de dos factores principales:

- La aceleración del cambio tecnológico, económico y social requiere una visión a largo plazo, entre más rápido esté ocurriendo el cambio, mayor debe ser el horizonte de tiempo para su análisis.
- Los factores de inercia relacionados con las estructuras y comportamientos exigen sembrar hoy para cosechar mañana, entre más ambicioso sea el estado ideal de un sistema, más pronto hay que iniciar el cambio deseado.

Sin embargo, a pesar de que el mundo está en constante cambio, la dirección de este cambio no es de nuestro conocimiento. Las mutaciones son portadoras de múltiples incertidumbres (económicas, tecnológicas y sociales) que cualquier persona o institución interesada en darle forma al cambio, deben integrar en su estrategia (Godet, 1993).

La situación global actual confronta transiciones rápidas y potencialmente profundas, impulsadas por el cambio social, económico, ambiental y tecnológico. La tecnología ha creado increíbles oportunidades, pero también ha desatado un increíble poder destructivo. Cada vez es más claro que las decisiones de hoy pueden tomar un rol decisivo determinando si el siglo 21 ofrecerá paz y prosperidad o crisis y colapso. En muchas áreas de la actividad humana, uno sería negligente al tomar decisiones importantes sin realizar un análisis sistemático de las opciones disponibles (Lempert, Popper y Banks, 2003).

3.1 Metodología de investigación

Esta investigación se llevará a cabo desde un enfoque cuantitativo y contará con el uso de herramientas de análisis basadas en la prospectiva estratégica, entre las técnicas a aplicar se encuentran: EMA., FTA. Dinámica de sistemas, XLRM y modelación de escenarios.

El análisis de tecnologías orientada al futuro o *Future-oriented Technologies Analysis* (FTA) por sus siglas en inglés, representa una etiqueta asignada a varios enfoques usados para explorar desarrollos futuros, incluye pronósticos, inteligencia tecnológica, estudios del

futuro, previsión, evaluación tecnológica (1) A su manera cada uno de estos enfoques es usado para analizar desarrollos tecnológicos y sus consecuencias potenciales (Kwakkel & Pruyt, 2015).

Para la cadena de valor del subsector hidrocarburos es indispensable conocer y analizar los riesgos potenciales que para esta representan: la adopción en México de nuevas plataformas de vehículos (híbridos y eléctricos), y su potencial impacto en la demanda de combustible fósil (gasolina), lo cual se pretende analizar mediante un modelo exploratorio modelado en lenguaje R.

La modelación y análisis exploratorio o *Exploratory Modeling and Analysis* por sus siglas en inglés (EMA) es un enfoque que usa experimentos computacionales para analizar cuestionamientos de alta complejidad y situaciones inciertas o con incertidumbre (Kwakkel & Pruyt, 2015).

La Reforma Energética de 2013-2014 representa la apertura de un abanico de posibilidades (incremento de la complejidad del sistema) para la cadena de valor del subsector hidrocarburos nacional, lo anterior considerando las distintas posibilidades a corto, mediano y largo plazo respecto a inversión local, inversión extranjera, modernización y/o construcción de nuevas refinerías, implementación de nuevas políticas públicas, nuevos stakeholders, entre otros factores.

El incremento en la complejidad del sistema mencionado en el párrafo anterior, aunado a los distintos escenarios de posible penetración de nuevas plataformas de vehículos (híbridos y eléctricos) tiene como consecuencia un aumento en la incertidumbre respecto a la demanda de combustible fósil (gasolina) en el largo plazo.

EMA fue desarrollado por la corporación RAND y tiene como objetivo ofrecer apoyo a la toma de decisiones incluso ante incertidumbres irreducibles, esto explorando sistemáticamente las consecuencias de una plétora de incertidumbres, esto desde incertidumbres paramétricas (por ejemplo: rangos de parámetros), sobre incertidumbres estructurales (por ejemplo: diferentes estructuras y modelos), hasta incertidumbre en el método (por ejemplo: distintos métodos de modelación), lo anterior usando modelos computacionales como generadores de escenarios (Kwakkel & Pruyt, 2015).

La modelación del sistema cobra importancia ya que en el análisis se contemplan distintos parámetros, políticas públicas y escenarios. lo que representa el mencionado incremento de complejidad e incertidumbre.

Los sistemas dinámicos complejos presentan múltiples barreras para el aprendizaje. La dinámica del sistema es un método poderoso para obtener información útil sobre situaciones de complejidad dinámica y resistencia política ⁸ (Sterman, 2000), el mercado de combustibles fósiles (gasolina) nacional, es parte de un sistema complejo como lo es la cadena de valor del subsector hidrocarburos, debido a su apertura económica definida en la Reforma Energética de 2013-2014, la adopción de nuevas plataformas de vehículos (híbridos y eléctricos) incrementa sustancialmente la complejidad del sistema afectando como un agente de cambio tecnológico exógeno.

El campo de estudio de la dinámica de sistemas es en sí dinámico. Los avances recientes en la modelación interactiva, herramientas que representan la retroalimentación estructural y el software de simulaciones hacen posible que todo el mundo pueda entender el proceso de modelación, sin embargo, aún hay un largo camino por recorrer para probar la utilidad de estas herramientas y protocolos, evaluando el impacto de aprendizaje ya sea en un individuo o en una organización (Sterman, 2000).

Lenguaje R

R es un software gratuito utilizado para el computo estadístico y para graficar, el sistema está dividido en dos partes, el sistema base que contiene la mayoría de las funciones fundamentales y de una serie de paquetes modulares con funciones muy específicas. R es muy útil para el trabajo interactivo, pero también es poderoso lenguaje de programación, para el desarrollo de nuevas herramientas.

⁸ La resistencia política constituye un fenómeno central en la caracterización de la historia de la civilización. Sus diversas implicaciones están presentes de forma casi ininterrumpida en sus decursos históricos hasta nuestros días.

Al ser software libre lo hace un lenguaje atractivo, debido a que no hay que preocuparse por licencias y cuenta con la libertad que garantiza GNU⁹. Es decir, con R se tiene la libertad de: correrlo para cualquier propósito, estudiar cómo trabaja el programa y adaptarlo a sus necesidades, pues se tiene acceso al código fuente, redistribuir copias, y mejorar el programa y liberar sus mejoras al público en general (Santana y Farfán, 2014).

3.2 Definición de parámetros y creación de base de datos.

Las bases de datos que contienen los parámetros y condiciones iniciales utilizados en el modelo de simulaciones fue actualizada de acuerdo a información obtenida de una investigación documental, usando como fuente a instituciones como PEMEX, el INEGI, La Agencia Internacional de Energía (I.E.A. por sus siglas en ingles) , el Banco Mundial, y distribuidores autorizados de las plataformas de vehículos con motor a gasolina, híbridos y eléctricos, respecto al precio promedio de cada plataforma, los valores asignados son antes de la aplicación de impuestos (I.V.A e I.S.A.N.) .

Donde a través de la investigación y consulta, se recabaron datos e información existente sobre diversos temas en donde sobresale información relevante respecto a tendencias tecnológicas de las nuevas plataformas de vehículos híbridos y eléctricos.

La investigación también arrojo información relevante para establecer el comportamiento de variables como: comportamiento del precio de gasolina, comportamiento del precio de vehículos con motor a gasolina, eficiencia de plataformas, entre otros.

En las condiciones iniciales, los valores de las flotas iniciales de vehículos cada plataforma se definió de acuerdo con el informe de vehículos registrados más reciente¹⁰, así como a diversos reportes de ventas de distribuidores oficiales.

⁹ GNU es un sistema operativo de tipo Unix desarrollado por y para el Proyecto GNU, y auspiciado por la Free Software Foundation. Está formado en su totalidad por software libre, mayoritariamente bajo términos de copyleft. GNU es el acrónimo recursivo de "GNU's Not Unix" (en español: GNU no es Unix), nombre elegido debido a que GNU sigue un diseño tipo Unix y se mantiene compatible con éste, pero se distingue de Unix por ser software libre y por no contener código de Unix

¹⁰ Fuente: INEGI

Para simplificar el modelo, a algunos parámetros se les asignaran valores constantes de acuerdo con el comportamiento histórico de dicha variable, el comportamiento de las variables más significativas contempladas en este estudio se explica a continuación:

Precio del litro de gasolina: los múltiples experimentos incluyen el aumento gradual del precio promedio por litro de gasolina, considerando el crecimiento de 94.54% de su valor durante el intervalo de enero 2011 a marzo 2018.¹¹

Eficiencia de combustible: se considera que la eficiencia de combustible para las 3 plataformas de vehículos ira en aumento de forma gradual de acuerdo con el comportamiento histórico de esta variable.

Promedio de kilómetros recorridos al año por vehículo: se considera que este parámetro ira en aumento gradual conforme se mejora la eficiencia del combustible (Small & Van Dender, 2007).

3.3 Incertidumbres

Esta sección pretende describir la incertidumbre profunda a la que se someterán algunos parámetros del modelo adaptado para esta investigación:

Los índices de crecimiento poblacional y de crecimiento económico contarán con una distribución normal basada en el promedio y desviación estándar de esta variable durante los últimos 20 años.¹²

3.4 Limitantes

Para todas las simulaciones que se llevara a cabo durante esta investigación, se definió un conjunto de parámetros base cuyo comportamiento será: constante o variable en el tiempo, en la ilustración 21, se describen las condiciones establecidas para el escenario base.

Para simplificar el modelo, el resto de los parámetros incluidos en el modelo se considera con un valor constante basado en su comportamiento histórico.

¹¹ Fuente: INEGI

¹² Fuente: INEGI

Parámetros escenario base		
Parametro	Valor	Comportamiento
Costo promedio vehículos eléctricos	\$33912 usd	Constante
Costo promedio vehículos híbridos	\$31316 usd	Constante
Costo promedio vehículos a gasolina	\$25574 usd	Incremento distribuido del 100% durante el periodo.
Precio de la gasolina	\$1 usd	Incremento distribuido del 100% durante el periodo.
Eficiencia vehiculos electricos	33.83 km/l	Incremento distribuido del 100% durante el periodo.
Eficiencia vehiculos hibridos	26.71 km/l	Incremento distribuido del 50% durante el periodo.
Eficiencia vehiculos a gasolina	14.46 km/l	Incremento distribuido del 20% durante el periodo.
Tasa de crecimiento económico	2.17 % media	Distribucion normal, media y varianza de los ultimos 20 años.
Tasa de crecimiento poblacional	4.02 % media	Distribucion normal, media y varianza de los ultimos 20 años.
Promedio de vida útil de vehículos en las 3 plataformas	14 años	Constante
Promedio anual de km recorridos por vehiculo hibrido y a gasolina	12000 km	Incremento distribuido del 20% durante el periodo.

Ilustración 18. Tabla de parámetros. Fuente: Elaboración propia.

Es sumamente importante tener presente que esta investigación contempla únicamente el comportamiento del mercado de vehículos ligeros, el cual, de acuerdo con el último reporte de vehículos registrados en México, representa cerca del 70% del total del parque vehicular.¹³

3.5 Simulación de experimentos

Este estudio y sus respectivas simulaciones son un intento para elaborar y clarificar la relación directa entre el mercado potencial de nuevos vehículos y la demanda de gasolinas en los próximos 22 años México, bajo las condiciones de ser un país emergente.

La generación de escenarios es utilizada con frecuencia ya que mediante esta herramienta se pueden visualizar diferentes patrones de comportamiento sin tener que analizar todos los comportamientos plausibles (Pruyt, 2013).

Los escenarios pueden ser generados al configurar manualmente diferentes variables de entrada, de tal forma que son generados diferentes comportamientos o mediante el uso de

¹³ Fuente: INEGI

otro enfoque: del análisis de Incertidumbre lo que refiere a la exploración de la influencia del rango completo de incertidumbre considerado plausible. (Pruyt, 2013).

El presente estudio se apegará al enfoque intuitivo, al solamente simular diferentes conjuntos de variables de entrada consistentes.

3.6 Sensibilidad a políticas publicas

En esta sección se va a definir la política pública a la que se someterán los múltiples experimentos realizados mediante el modelo de simulación adaptado para este estudio.

Posteriormente se pretende analizar el comportamiento de la demanda de gasolinas y de sus futuros plausibles, ante a la implementación de una política pública de subsidio tecnológico en torno a 4 escenarios con diferentes niveles de adopción de las plataformas de vehículos híbridos y eléctricos.

Política de subsidio tecnológico.

a. Estatus Quo: Escenario base¹⁴

b. Política A: Subsidio 25% aplicada al costo de vehículos híbridos y eléctricos.

Mas adelante, se pretende evaluar el impacto de la política de subsidio tecnológico ante 4 escenarios con distintos niveles de adopción de las plataformas de vehículos híbridos y eléctricos, basados en las preferencias del mercado comercial de vehículos nuevos.

Preferencias del mercado comercial de vehiculos nuevos			
Escenario	Gasolina	Híbrido	Eléctrico
Base	99%	0.08%	0.02%
Baja adopción	95%	4%	1%
Media adopción	80%	13%	7%
Alta adopción	60%	25%	15%

Ilustración 14. Escenarios basados en las preferencias del mercado comercial de vehículos nuevos. Fuente: Elaboración propia.

¹⁴ Fuente: Asociación Mexicana de la Industria Automotriz.

3.6 Métricas de desempeño

La métrica con mayor relevancia para este estudio es el comportamiento de la demanda de gasolina en México al año 2040, la unidad de medida para dicha métrica será en M.B.D., millones de barriles diarios, estudiar el comportamiento de esta, resulta de gran importancia para el desarrollo de la cadena de valor downstream del subsector hidrocarburos en México.

La segunda métrica es el comportamiento de la cuota de mercado de las plataformas de vehículos híbridos y eléctricos, la unidad de medida será porcentual respecto al total de vehículos ligeros en circulación.

Evaluar ambas métricas simultáneamente, pretenden identificar bajo qué conjunto de condiciones, la adopción de plataformas de vehículos alternativas representa un riesgo para la demanda de gasolina en México.

3.7 Revisión de resultados

A continuación, se presentan las gráficas resultantes de las múltiples simulaciones realizadas por el modelo en código R desarrollado para esta investigación, primero se presenta el espectro de los futuros plausibles para la demanda de gasolina al 2040 con los parámetros establecidos para el escenario base, dicho en otras palabras, se modela el estatus quo de la demanda de gasolina.

Posteriormente se modifican algunos parámetros debido a la implementación de la política tecnológica, en la cual se subsidia el 25% del valor de precio de venta final de vehículos híbridos y eléctricos, los gráficos resultantes de esta implementación de política pública se presentan ante 4 diferentes escenarios de la posible influencia que podría llegar a tener la disminución del precio de vehículos nuevos híbridos y eléctricos, en uno de los principales actores del sistema: los consumidores.

Adicionalmente, se presenta el resumen de resultados de las métricas en cada escenario respecto a un par de objetivos que se definen únicamente con la intención de comparar los resultados en cada escenario, el resumen incluye el promedio, así como los valores mínimos y máximos a lo largo del periodo simulado.

A.) Estatus Quo: Escenario base

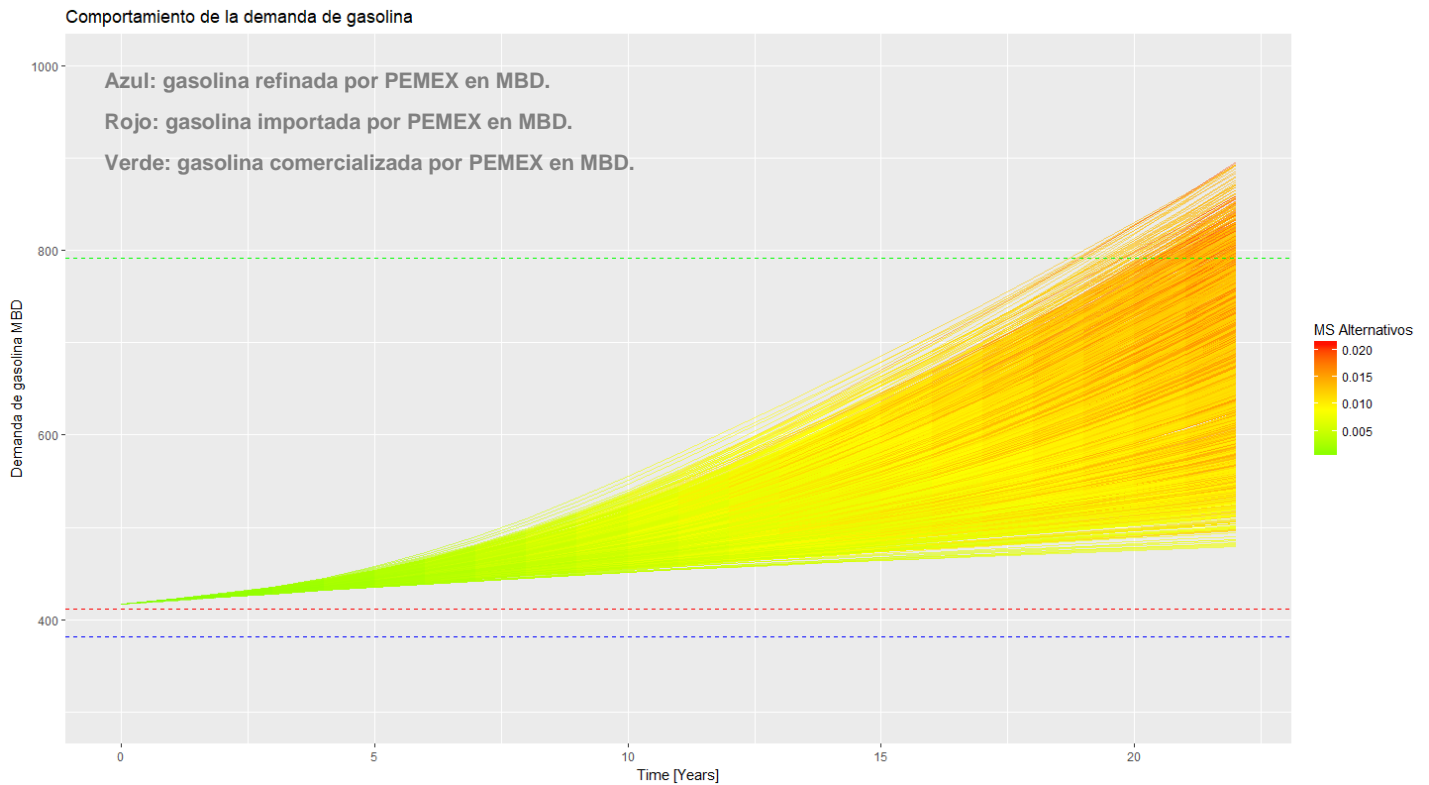


Ilustración 15. Simulaciones escenario base. Fuente: Elaboración propia.

El espectro de futuros posibles es bastante amplio, no se presenta ningún cambio disruptivo, esto debido a que la penetración de vehículos alternativos no se contrapone con la protección de la cadena de valor del subsector hidrocarburos, ya que a que al 2040, no se registró ninguna simulación que dé como resultado un decremento en la demanda de gasolina en comparación con su valor inicial.

Crecimiento de la demanda mayor al 50%

Fuel_Demand_MBD	Alternativos_ms
Min. :600.0	Min. :0.01047
1st Qu.:657.0	1st Qu.:0.01170
Median :714.7	Median :0.01268
Mean :716.0	Mean :0.01364
3rd Qu.:771.2	3rd Qu.:0.01573
Max. :895.6	Max. :0.02113

Crecimiento de la demanda menor al 25%

Fuel_Demand_MBD	Alternativos_ms
Min. :478.9	Min. :0.007665
1st Qu.:483.5	1st Qu.:0.007836
Median :492.2	Median :0.008308
Mean :490.8	Mean :0.008868
3rd Qu.:497.7	3rd Qu.:0.008513
Max. :499.3	Max. :0.012693

Ilustración 16. Resumen de resultados. Fuente: elaboración propia.

B.) Política A - Subsidio 25% aplicado al escenario base.

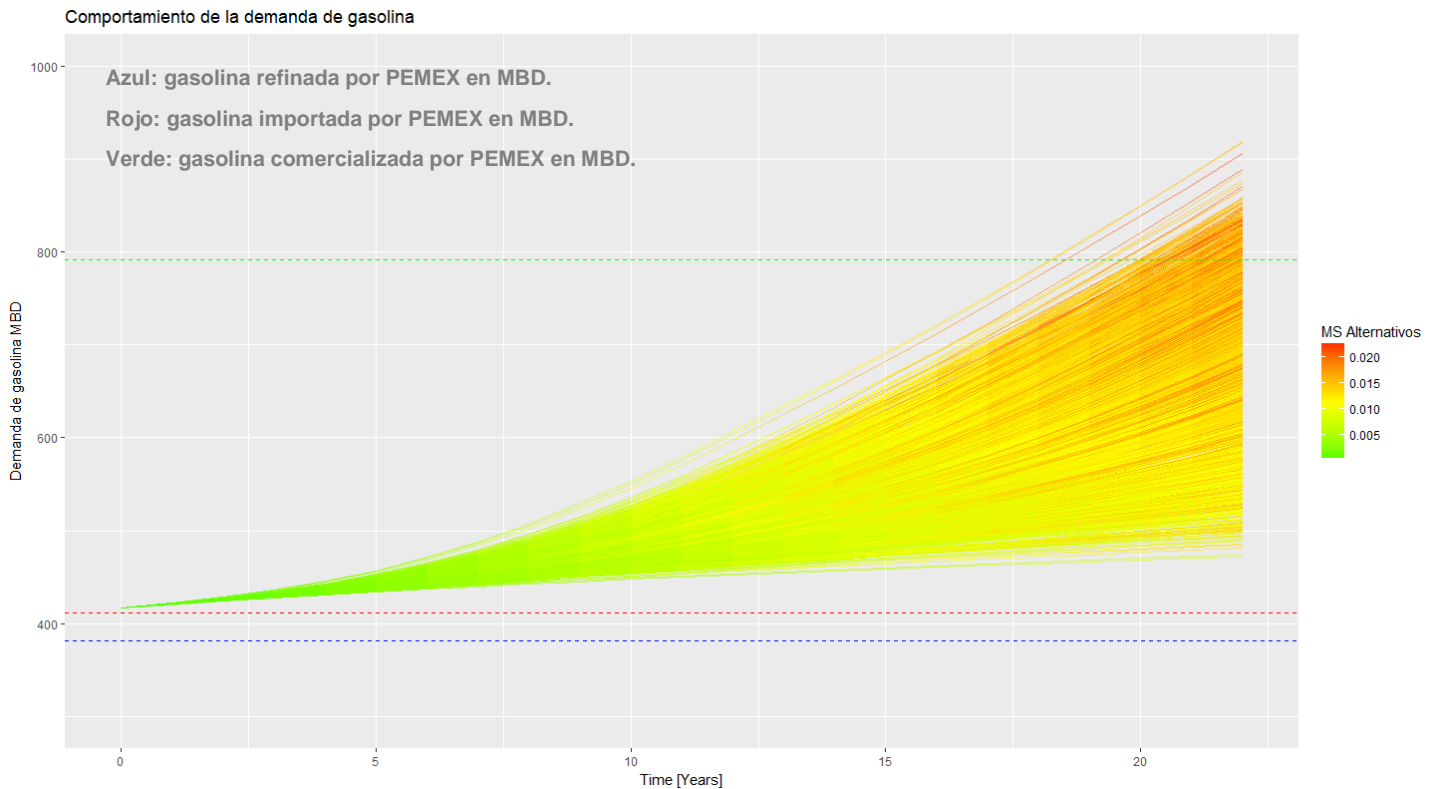


Ilustración 17. Simulaciones subsidio 25% aplicado al escenario base. Fuente: Elaboración propia.

Pese a la implementación de la política de subsidio tecnológico, el espectro de futuros posibles es bastante amplio, no se presenta ningún cambio disruptivo, esto debido a que la penetración de vehículos alternativos no se contrapone con la protección de la cadena de valor del subsector hidrocarburos, ya que a que al 2040, no se registró ninguna simulación que dé como resultado un decremento en la demanda de gasolina en comparación con su valor inicial.

Objetivo 1			Objetivo 2		
Crecimiento de la demanda mayor al 50%			Crecimiento de la demanda menor al 25%		
Fuel_Demand_MBD	Alternativos_ms	Objective1	Fuel_Demand_MBD	Alternativos_ms	Objective2
Min. :600.3	Min. :0.01163	Min. :0.0000	Min. :471.8	Min. :0.007962	Min. :0.000000
1st Qu. :660.3	1st Qu. :0.01335	1st Qu. :1.0000	1st Qu. :487.6	1st Qu. :0.008817	1st Qu. :0.000000
Median :715.9	Median :0.01428	Median :1.0000	Median :494.4	Median :0.009522	Median :0.000000
Mean :716.4	Mean :0.01540	Mean :0.7748	Mean :491.5	Mean :0.010878	Mean :0.008696
3rd Qu. :768.8	3rd Qu. :0.01801	3rd Qu. :1.0000	3rd Qu. :497.7	3rd Qu. :0.013675	3rd Qu. :0.000000
Max. :919.1	Max. :0.02292	Max. :1.0000	Max. :499.8	Max. :0.014305	Max. :1.000000

Ilustración 18. Resumen de resultados Política A vs escenario base. Fuente: Elaboración propia

C.) Política A - Subsidio 25% aplicado al escenario de baja adopción.

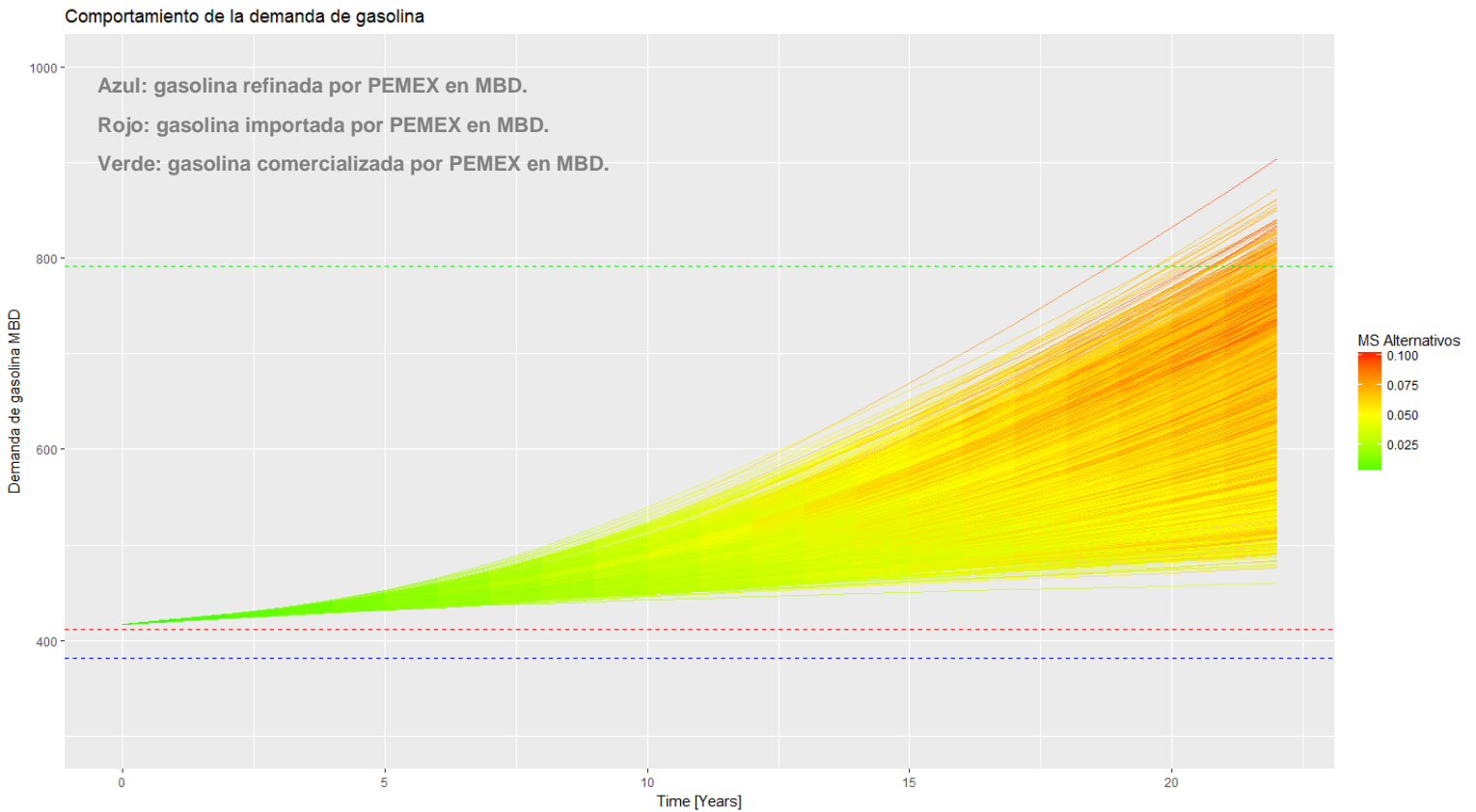


Ilustración 19. Simulaciones subsidio 25% aplicado al escenario de baja adopción. Fuente: Elaboración propia.

Pese a la implementación de la política de subsidio tecnológico, el espectro de futuros posibles es bastante amplio, no se presenta ningún cambio disruptivo, esto debido a que la penetración de vehículos alternativos no se contrapone con la protección de la cadena de valor del subsector hidrocarburos, ya que a que al 2040, no se registró ninguna simulación que dé como resultado un decremento en la demanda de gasolina en comparación con su valor inicial.

Objetivo 1 Crecimiento de la demanda mayor al 50%			Objetivo 2 Crecimiento de la demanda menor al 25%		
Fuel_Demand_MBD	Alternativos_ms	Objective1	Fuel_Demand_MBD	Alternativos_ms	Objective2
Min. :600.0	Min. :0.05701	Min. :0.0	Min. :459.4	Min. :0.03966	Min. :0.00000
1st Qu.:645.1	1st Qu.:0.06318	1st Qu.:0.0	1st Qu.:488.9	1st Qu.:0.04398	1st Qu.:0.00000
Median :691.7	Median :0.06743	Median :1.0	Median :492.7	Median :0.04675	Median :0.00000
Mean :695.8	Mean :0.07220	Mean :0.7	Mean :490.6	Mean :0.05286	Mean :0.01565
3rd Qu.:742.4	3rd Qu.:0.08375	3rd Qu.:1.0	3rd Qu.:496.0	3rd Qu.:0.06726	3rd Qu.:0.00000
Max. :904.2	Max. :0.10248	Max. :1.0	Max. :499.9	Max. :0.07264	Max. :1.00000

Ilustración 20. Resumen de resultados Política A vs escenario de baja adopción. Fuente: Elaboración propia.

D.) Política A - Subsidio 25% aplicado al escenario de media adopción.

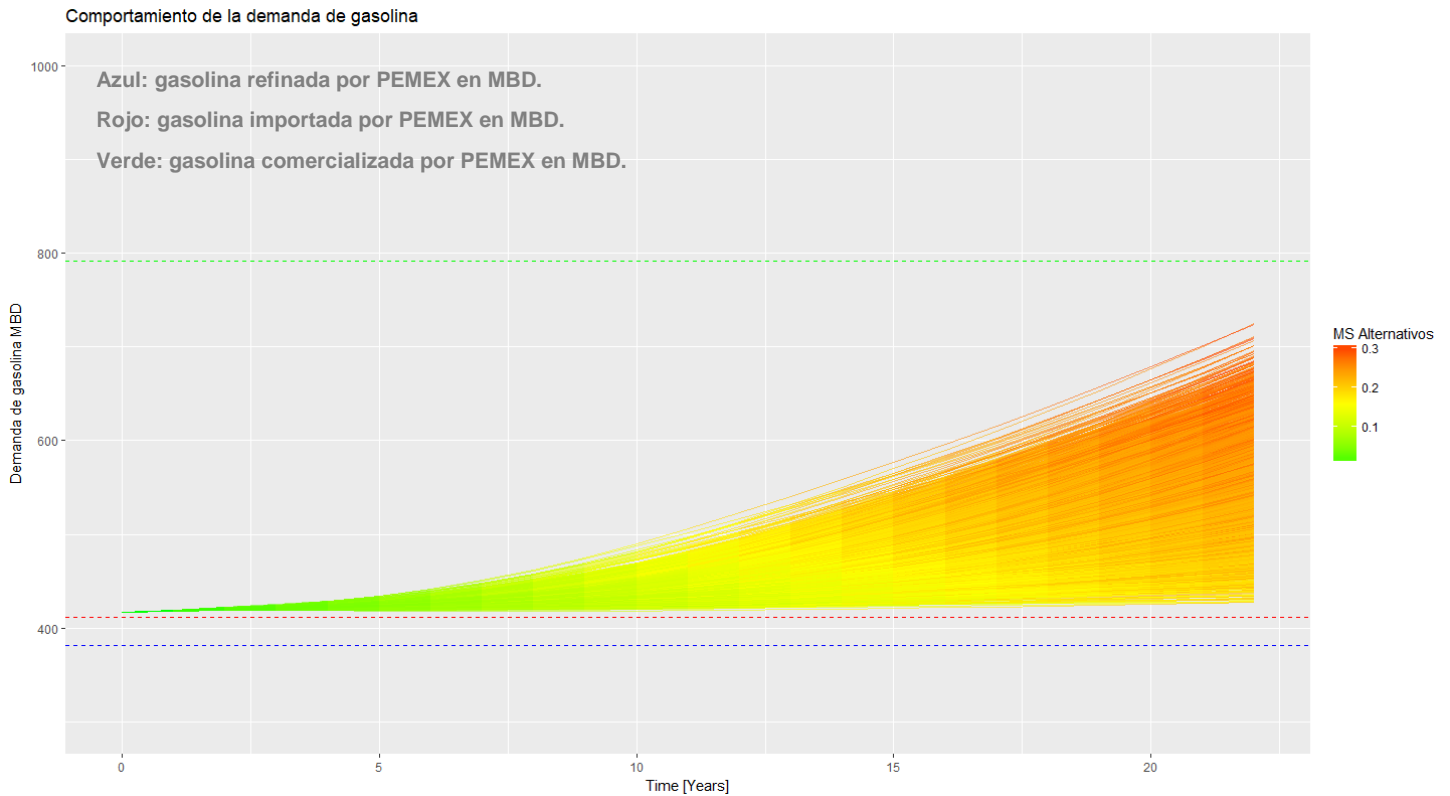


Ilustración 21. Simulaciones subsidio 25% aplicado al escenario de media adopción. Fuente: Elaboración propia.

La implementación de la política de subsidio tecnológico reduce significativamente el espectro de futuros posibles, no se presenta ningún cambio disruptivo, esto debido a que la penetración de vehículos alternativos no se contrapone con la protección de la cadena de valor del subsector hidrocarburos, ya que a que al 2040, no se registró ninguna simulación que dé como resultado un decremento en la demanda de gasolina en comparación con su valor inicial.

Objetivo 1			Objetivo 2		
Crecimiento de la demanda mayor al 50%			Crecimiento de la demanda menor al 25%		
Fuel_Demand_MBD	Alternativos_ms	Objective1	Fuel_Demand_MBD	Alternativos_ms	Objective2
Min. :600.0	Min. :0.2460	Min. :0.0000	Min. :427.5	Min. :0.1594	Min. :0.0000
1st Qu.:616.4	1st Qu.:0.2569	1st Qu.:0.0000	1st Qu.:455.9	1st Qu.:0.2014	1st Qu.:0.0000
Median :632.4	Median :0.2669	Median :0.0000	Median :472.4	Median :0.2082	Median :0.0000
Mean :635.4	Mean :0.2708	Mean :0.2861	Mean :470.9	Mean :0.2135	Mean :0.2257
3rd Qu.:650.9	3rd Qu.:0.2845	3rd Qu.:1.0000	3rd Qu.:486.9	3rd Qu.:0.2320	3rd Qu.:0.0000
Max. :725.6	Max. :0.3134	Max. :1.0000	Max. :499.9	Max. :0.2538	Max. :1.0000

Ilustración 22. Resumen de resultados Política A vs escenario de media adopción. Fuente: Elaboración propia.

D.) Política A - Subsidio 25% aplicado al escenario de alta adopción.

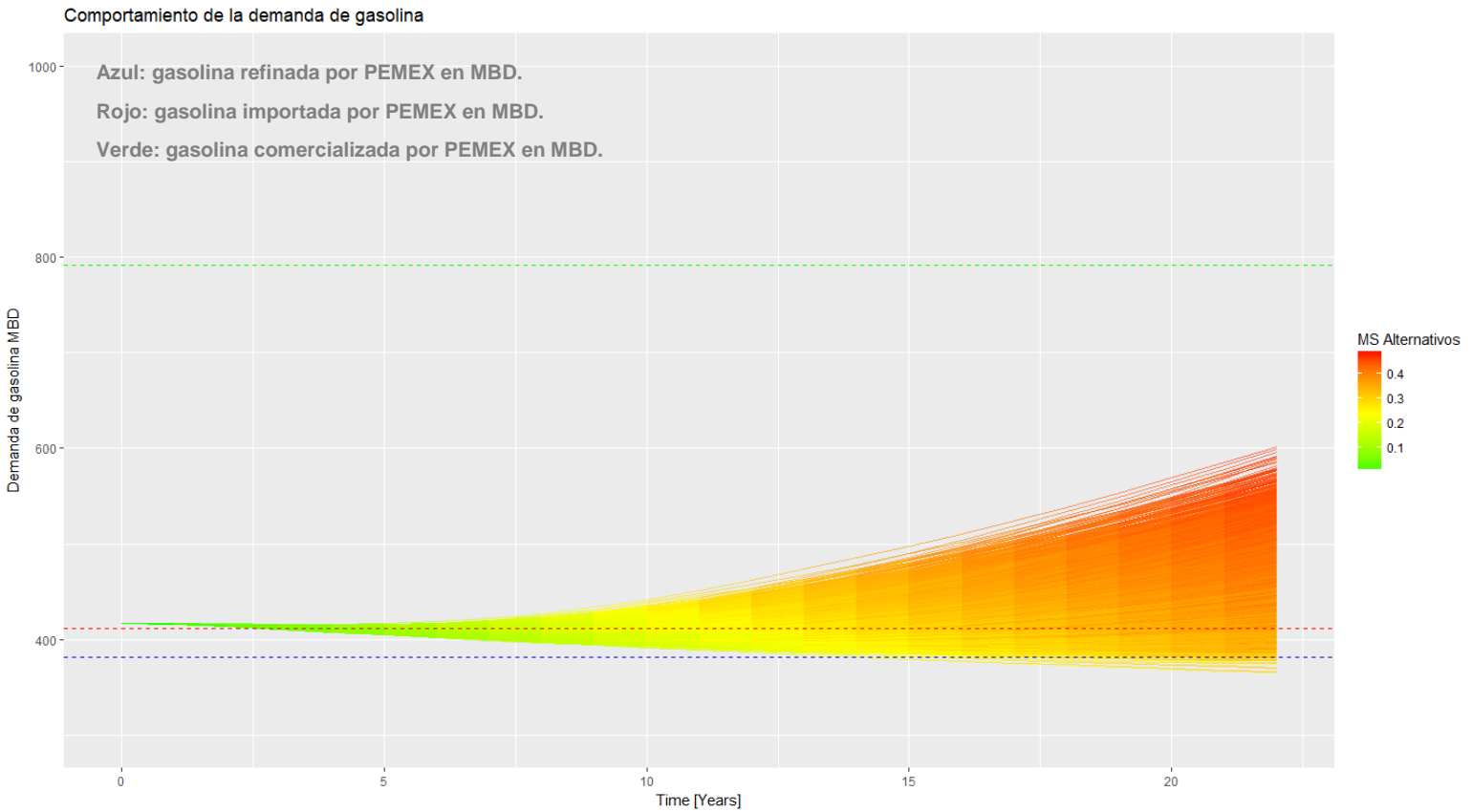


Ilustración 23. Simulaciones subsidio 25% aplicado al escenario de alta adopción. Fuente: Elaboración propia.

La implementación de la política de subsidio tecnológico reduce dramáticamente el espectro de futuros posibles, se presenta un cambio disruptivo, la penetración de vehículos alternativos se contrapone con la protección de la cadena de valor del subsector hidrocarburos, ya que a que al 2040, se registran simulaciones que dan como resultado un decremento en la demanda de gasolina en comparación con su valor inicial.

Objetivo 1 Crecimiento de la demanda mayor al 25%			Objetivo 2 Decremento en la demanda		
Fuel_Demand_MBD	Alternativos_m	objective1	Fuel_Demand_MBD	Alternativo	Objective2
Min. :500.0	Min. :0.4196	Min. :0.0000	Min. :364.8	Min. :0.2	Min. :0.0000
1st Qu. :511.6	1st Qu. :0.4356	1st Qu. :0.0000	1st Qu. :388.8	1st Qu. :0.3	1st Qu. :0.0000
Median :524.4	Median :0.4463	Median :0.0000	Median :395.1	Median :0.3	Median :0.0000
Mean :527.9	Mean :0.4467	Mean :0.3157	Mean :395.2	Mean :0.3	Mean :0.1213
3rd Qu. :540.6	3rd Qu. :0.4563	3rd Qu. :1.0000	3rd Qu. :402.6	3rd Qu. :0.3	3rd Qu. :0.0000
Max. :602.0	Max. :0.4853	Max. :1.0000	Max. :410.0	Max. :0.3	Max. :1.0000

Ilustración 24. Resumen de resultados Política A vs escenario de alta adopción. Fuente: Elaboración propia.

3.8 Análisis XLRM

Esta sección pretende hacer uso de la estructura XLRM desarrollada por la RAND Corporation, el uso de esta herramienta permite obtener y organizar información relevante para los desafíos de la toma de decisiones bajo condiciones de incertidumbre profunda (Lempert, Popper y Banks, 2003).

Incertidumbres	Alternativas de política
<ul style="list-style-type: none"> • Crecimiento económico • Crecimiento demográfico 	<ul style="list-style-type: none"> • Política actual • Política de subsidio tecnológico 25%
Modelo del sistema	Métricas de desempeño
<ul style="list-style-type: none"> • Modelo de adopción de vehículos ligeros en México 	<ul style="list-style-type: none"> • Demanda de gasolina en México • Flotas de vehículos híbridos y eléctricos.

Ilustración 25. Cuadro XLRM del modelo. Fuente: elaboración propia.

Es importante destacar que en las múltiples simulaciones realizadas, las incertidumbres del crecimiento económico y demográfico son las que tienen mayor influencia en el desarrollo y comportamiento de las métricas contempladas para este análisis.

El modelo adaptado para este estudio contempla una serie de parámetros y condiciones iniciales que definitivamente tienen influencia en los actores del sistema, sin embargo para simplificar el modelo y apegarlo lo más posible a la situación actual; el comportamiento esperado de estos está definido en función de su comportamiento histórico, los valores utilizados están definidos en la sección previa limitantes.

4. Reflexiones finales

Para un país emergente como México, que permanece constante en su búsqueda por lograr el ansiado crecimiento económico que lo impulsaría como potencia mundial, es indispensable no volver a cometer errores como el de la refinería fantasma proclamada “Bicentenario”, lo cual no solamente dejó al estado de Hidalgo con un incremento del 29% en su deuda pública, sino que también dejó al descubierto varias de las deficiencias de nuestro sistema de gobierno.

Primero la falta de coordinación entre Secretaría de Gobernación y PEMEX, así como la falta de un organismo regulatorio con la facultad de administrar la agenda en un proyecto tan demandante, en segundo lugar, se evidenció la falta de planeación estratégica a largo plazo, así como la ausencia de estudios prospectivos, ya que le tomó a PEMEX aproximadamente 6 años para pasar del anuncio oficial de la construcción de dicha refinería, hasta el anuncio oficial de su cancelación, esto por considerar el proyecto como poco viable.

Finalmente, los cambios en el mercado hidrocarburos entre otros factores exógenos terminaron por destapar la incongruencia de lo que comenzó en el marco del 70 aniversario de la expropiación petrolera, como una estrategia de anticipación mediante la expansión de la capacidad de refinado de PEMEX, para 5 años más tarde caer en una contradicción al implementar la Reforma Energética de 2013-2014.

El caso de la refinería bicentenario plasma la urgencia de sentar las bases en México para que toda planificación gubernamental y su respectiva creación e implementación de políticas públicas cuente con el respaldo de un estudio prospectivo con el fin de facilitar la toma de decisiones a largo y mediano plazo, asegurando que todas las decisiones tomadas sean bien informadas.

4.1 Conclusiones

La relación directa entre la demanda de gasolinas en México y la penetración de vehículos híbridos y eléctricos se identifica a priori, sin embargo, el análisis de las simulaciones realizadas en esta investigación nos dice que la adopción de vehículos alternativos no se contrapone con la protección de la cadena de valor downstream del subsector hidrocarburos, excepto cuando la flota combinada de vehículos alternativos en el mercado de vehículos ligeros supera el 40%.

Las simulaciones realizadas nos muestran diferentes espectros de las expectativas de crecimiento de la demanda de gasolina en México al año 2040, en donde se observa que conforme la penetración de vehículos híbridos y eléctricos se incrementa, la amplitud del espectro de simulaciones disminuye, esto sin llegar a representar mayores complicaciones, sino hasta que la flota de vehículos alternativos supera el umbral del 40% de adopción.

El crecimiento económico y el crecimiento poblacional son las variables con mayor incertidumbre y al mismo tiempo con mayor nivel de influencia en el comportamiento de la demanda de gasolina al 2040, esto debido a que, en las simulaciones realizadas, sus fluctuaciones tienen como respuesta un amplio espectro de posibles desenlaces.

Cuando la flota de vehículos híbridos y eléctricos supera el umbral identificado en esta investigación, el comportamiento de la demanda de gasolinas comienza a tener expectativas a largo plazo no solamente al alza, hay simulaciones en las que rumbo al año 2040 la demanda de gasolinas tiende a disminuir.

En caso de que esta disminución en la demanda de gasolina en México suceda, las consecuencias pueden ser determinantes para la cadena de valor downstream del subsector hidrocarburos, así como para la economía nacional, en primera instancia, la disminución de la demanda traería consigo un incremento sustancial en el precio de la gasolina, aun mayor al incremento esperado basado en el comportamiento de esta variable durante los últimos 20 años.

El mencionado incremento en el precio de la gasolina tiene un alcance amplio, una gran cantidad de bienes y servicios tendrán un incremento en sus costos debido al incremento en el pago por combustible, por lo que es muy probable que este incremento en el costo se

traslade al precio final de estos productos y servicios, lo que posteriormente tendrá un impacto negativo en el gasto de los consumidores, reduciendo su ingreso disponible al aumentar su gasto cotidiano.

En el caso en que el umbral identificado en este estudio se alcance, los potenciales impactos para la cadena de valor downstream del subsector hidrocarburos tienen un alcance extenso, afectando en primer lugar el bloque de la refinación, provocando inclusive el cierre de refinerías y/o una considerable disminución en sus operaciones.

Las estrategias de anticipación y la planeación mediante prospectiva estratégica toman gran importancia en el sector de la refinería, ya que, si no se ajustan a tiempo los niveles de producción, se podría provocar una sobre oferta, lo cual tendría como consecuencia distintas complicaciones en el almacenaje.

La sección de distribución y transporte de hidrocarburos del sector downstream verían seriamente afectados sus ingresos debido a que no solamente se verá disminuida la carga de trabajo, sino que el incremento en el precio de la gasolina incrementara sus costos, disminuyendo su margen de utilidad.

La parte de la comercialización del sector downstream del subsector hidrocarburos se enfrentará rumbo al 2040 con un conjunto de competidores que probablemente van a contar con su propia infraestructura establecida a lo largo del territorio nacional.

La respuesta de los distintos sectores de la cadena de valor downstream del subsector hidrocarburos respecto al resultado de las simulaciones, nos indica que son necesarios estudios posteriores donde se pretenda identificar la ventaja competitiva en que el sector downstream de PEMEX deba enfocarse rumbo al 2040, esto con el fin de generar estrategias robustas que permitan el desarrollo óptimo de la misma frente a los diferentes niveles de adopción de vehículos alternativos y frente a la incorporación de nuevos competidores con mayor experiencia y disposición de recursos.

Finalmente se destaca la importancia de definir objetivos a mediano y largo plazo en el sector downstream de la cadena de valor del subsector hidrocarburos, respecto a la evolución de la demanda de gasolina, de lo contrario no habrá retroalimentación del desempeño de PEMEX.

BIBLIOGRAFIA

Pruyt, E. (2013). *Small System Dynamics Models for Big Issues: Triple Jump towards Real-World Complexity*. Delft: TU Delft Library, The Netherlands.

Lempert, R. J., Popper, S.W. & Bankes S. C. (2003) *Shaping the next one hundred years: new methods for quantitative, long-term policy analysis*. RAND, Santa Monica, CA.

Coates, J. F. P., & Godet, M. (1994). *From anticipation to action: a handbook of strategic prospective*. Unesco publishing.

Sterman, J. (2000). *Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world*. The McGraw-Hill Company.

Ghoddusi, H. & Wirl. F. (2018), *Crude or Refined? Rationality of Downstream Investment for OPEC Members* Stevens Institute of Technology School of Business Research Paper.

Creswell, J. W. (2014), *Research design: qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*. SAGE publications, Thousand oaks, California.

Kwakkel, J.H. & Pruyt. E. (2015). *Using System Dynamics for Grand Challenges: The ESDMA Approach*. Systems Research and Behavioral Science, ResearchGate.

Porter M., Goold M. & Luchs. K. (1996). *From competitive advantage to corporate strategy. Managing the multibusiness company: Strategic issues for diversified groups*, 285, 285-314.

Granados E., Bravo A., Sosa, R., Lopez, X., Garcia, C., Sanchez, P. (2015). *Consumo de energía y emisiones de bióxido de carbono del sector refinación de petróleo en México de 2015 a 2030*. Ingeniería, Investigación y Tecnología, 16(4), 503–513.

Aguilera Gómez, M., Javier Alejo, F., Eduardo Navarrete, J., & Carlos Torres, R. (2014). *Consideraciones sobre la Reforma de la Industria Petrolera en México*. Economía UNAM, 11(33), 110–137.

OECD/IEA. (2017). *International Comparison of Light-duty Vehicle Fuel Economy 2005-2015 Ten years of fuel economy benchmarking*. International Energy Agency.

Rico, D. R. (2016). La situación de Pemex ante el contexto de la apertura de la industria petrolera en México. *Análisis Económico*, XXXI(76), 75–94.

Garriz, A., & Guerrero, J. A. C. (2000). *Del tequesquite al ADN: facetas de la química en México*. Fondo de Cultura Económica.

Romo, D. (2016). Refinación del petróleo en México y perspectiva de la reforma energética. *Problemas Del Desarrollo*, 47(187), 139–164.

Reyes, O., Escalante, R. & Matas, A. (2010). La demanda de gasolinas en México: Efectos y alternativas ante el cambio climático. *Economía: Teoría y Práctica*, (32), 83–111.

International Energy Agency. (2017). *CO2 Emissions from Fuel Combustion: Overview*. IEA Statistics, 14.

Molina Perez, E. (2011). *Analyzing the Transition Towards Alternative Vehicles in Advanced and Emerging Economies*, (August).

Coe, N. M., Dicken, P., & Hess, M. (2008). Global production networks: Realizing the potential. In *Journal of Economic Geography* (Vol. 8, pp. 271–295).

Castro Valencia, A. (2008). América Latina y las Cadenas Globales de Valor: debilidades y potencialidades. *Red Internacional de Investigadores en Competitividad Memoria del III Congreso*. *Red Internacional de Investigadores En Competitividad*, 4(1), 2100–2119.

De Pastors Pérez, D. (2007). Algunos casos de Estrategias de Internacionalización: la influencia del Entorno genérico del Sector y las claves de la Cadena de Valor. *Ice: La Internacionalización De La Empresa Española*, 839(Noviembre-Diciembre), 75–88.

Arroyo, A., & Cossío, F. (2015). Impacto fiscal de la volatilidad del precio del petróleo en América Latina y el Caribe, 88.

Santibañez, V. (2015). La caída del precio del petróleo: Factores desencadenantes e implicaciones sobre el PIB Ruso, ICADE Business School, Madrid, 2015.

Aguilera Gómez, M., Alejo, F., Navarrete, E. J., & Torres, C. R. (2014). Consideraciones sobre la Reforma de la Industria Petrolera en México. *Economía UNAM*, 11(33), 110–137.

Merchand, M. A. (2015). Estado y reforma energética en México. *Problemas Del Desarrollo*, 46(183), 117–139.

Vallejo Landa, P.(2016) La Reforma Energética de México y su impacto sobre la cadena de valor del petróleo, Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, 2016.

Granados-Hernández E., López-Andrade X., Bravo-Álvarez H. y Sosa-Echeverría R., (2013). Refinación de petróleo y su impacto económico-tecnológico para la producción de gasolinas en México al 2030, *Ingeniería Investigación y Tecnología*, volumen XIV (número 4), octubre-diciembre 2013: 475-487 .

Galindo, L. M., Samaniego, J., Alatorre, J. E., Carbonell, J. F., & Reyes, O. (2015). Meta-análisis de las elasticidades ingreso y precio de la demanda de gasolina: Implicaciones de política pública para América Latina. *Cepal Review*, 2015(117), 7–25.

Santana Sepúlveda J. & Mateos Farfán E. (2014). El arte de programa en R: un lenguaje para la estadística / Julio Sergio Santana Sepúlveda y Efraín Mateos Farfán. México : Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. UNESCO. Comité Nacional Mexicano del Programa Hidrológico Internacional.

Sánchez, A., Islas, S., & Sheinbaum, C. (2015). Demanda de gasolina y la heterogeneidad en los ingresos de los hogares en México. *Investigación Económica*, 74(291), 117–143.

K. S. Small & K.V. Dender,(2007). *The energy Journal*, Vol. 28, No.1, pp. 25-51, Published by: International Association for Energy Economics.

U.S. Energy Information Administration (2016). *Administración*

CIEP. (2017). *Los ingresos petroleros del sector público en 2016 y 2017.*

Anexo 1

```

1. library("deSolve")
2.
3. Adoption_and_Demographics_Region_B<- function(t, state, parameters) {
4.   with(as.list(c(state,parameters)), {
5.
6.
7.     #Variables auxiliares
8.     #falta agregar la instruccion de tabla relacionada con gdp y el porcentaje
9.     Effect_of_GDP_per_Capita_on_Car_Ownership_B<-
    approx(c(0.0, 5000, 10000, 15000, 20000, 25000, 30000, 35000, 55000, 75000, 150000
    , 1500000, 999999999999999999),
10.                                               c(0.0, .05, .15, .3, .42,
    .49, .51, .51, .51, .51, .51, .51, .51), xout = GDP_per_Capita_B)$y
11.
12.     #variable de flujo
13.     Population_Growth_B<-Population_Growth_Rate_B*Population_B
14.     Growth_of_Potential_Vehicle_Market_B<-
    Effect_of_GDP_per_Capita_on_Car_Ownership_B*Population_Growth_B
15.     Discards_of_Vehicles_pk_B<-
    Fleet_of_Vehicles_pk_B/Average_Lifetime_of_Vehicles_of_Platform_k_B
16.     Discards_of_Vehicles_pj_B<-
    Fleet_of_Vehicles_pj_B/Average_Lifetime_of_Vehicles_of_Platform_j_B
17.     Discards_of_Vehicles_pi_B<-
    Fleet_of_Vehicles_pi_B/Average_Lifetime_of_Vehicles_of_Platform_i_B
18.
19.     #-----
    -----
20.
21.     #variables auxiliares de Fleet_of_Vehicles_pK_B
22.     Fuel_Attractiveness_of_pk_B<-
    (Price_of_Fuel_for_F2_B/Fuel_Efficiency_of_pk)*Percentage_Kms_Driven_on_Battery_Po
    wer+(Price_of_Fuel_for_F1_B/Fuel_Efficiency_of_pj)*(1-
    Percentage_Kms_Driven_on_Battery_Power)
23.     #variables auxiliares de Fleet_of_Vehicles_pj_B
24.     Fuel_Attractiveness_of_pj_B<-Price_of_Fuel_for_F1_B/Fuel_Efficiency_of_pj
25.     #variables auxiliares de Fleet_of_Vehicles_pi_B
26.     Fuel_Attractiveness_of_pi_B<-Price_of_Fuel_for_F1_B/Fuel_Efficiency_of_pi
27.
28.     #variables auxiliares de Fleet_of_Vehicles_pK_B
    
```

```

29.    Compared_Fuel_Attractiveness_of_pk_B<-
max(Fuel_Attractiveness_of_pk_B/min(Fuel_Attractiveness_of_pi_B,Fuel_Attractiveness_of_pj_B),1)
30.    Compared_Driving_Range_B<-
min(Operational_Range_Vehicles_pk_B/max(Operational_Range_Vehicles_pj_B,Operational_Range_Vehicles_pi_B),1)
31.    Compared_Price_of_pk_B<-Technology_Cost_pk/GDP_per_Capita_B
32.
33.    #variables auxiliares de Fleet_of_Vehicles_pj_B
34.    Compared_Fuel_Attractiveness_of_pj_B<-
max(Fuel_Attractiveness_of_pj_B/min(Fuel_Attractiveness_of_pi_B,Fuel_Attractiveness_of_pk_B),1)
35.    Compared_Driving_Range_of_pj_B<-
min(Operational_Range_Vehicles_pj_B/max(Operational_Range_Vehicles_pi_B,Operational_Range_Vehicles_pk_B),1)
36.    Compared_Price_of_pj_B<-Technology_Cost_pj/GDP_per_Capita_B
37.
38.    #variables auxiliares de Fleet_of_Vehicles_pi_B
39.    Compared_Fuel_Attractiveness_of_pi_B<-
max(Fuel_Attractiveness_of_pi_B/min(Fuel_Attractiveness_of_pj_B,Fuel_Attractiveness_of_pk_B),1)
40.    Compared_Driving_Range_of_pi_B<-
min(Operational_Range_Vehicles_pi_B/max(Operational_Range_Vehicles_pj_B,Operational_Range_Vehicles_pk_B),1)
41.    Compared_Price_of_pi_B<-Technology_Cost_pi/GDP_per_Capita_B
42.
43.
44.    #variables auxiliares de Fleet_of_Vehicles_pK_B
45.    Value_of_Fuel_Attractiveness_of_pk_B<-
approx(c(0.0, 1.40673, 2.62997, 3.73089, 4.89297, 5.99388, 7.03364, 7.82875, 9.11315, 9.90826, 10.5199,
46.    11.0092, 11.682, 12.2936, 12.9052, 13.578, 14.5566, 15.2905, 16.6972, 18.2875, 20, 999999999999999999),
47.    c(1, 0.982456, 0.969298, 0.938596, 0.912281, 0.885965, 0.850877, 0.811404, 0.75, 0.666667, 0.583333, 0.495614, 0.394737,
48.    0.307018, 0.258772, 0.210526, 0.157895, 0.127193, 0.0745614, 0.0307018, 0, 0), xout = Compared_Fuel_Attractiveness_of_pk_B-1)$y
49.
50.    Value_of_Driving_Range_of_pk_B<-
approx(c(0.0, 0.672783, 1.22324, 1.89602, 2.44648, 2.9052, 3.24159, 3.57798, 4.0367, 4.31193, 4.77064, 5,
51.    5.35168, 5.68807, 6.02446, 6.48318, 6.81957, 7.15596, 7.5841, 8.04281, 8.34862, 8.92966, 10, 999999999999999999),

```


Escuela de Gobierno y Administración Pública

```

52.          c(0.0, 0.0131579, 0.0307018, 0.0526316,
      0.0964912, 0.144737, 0.184211, 0.22807, 0.280702, 0.346491, 0.429825, 0.5, 0.5745
      61,
53.          0.644737, 0.710526, 0.780702, 0.85087
      7, 0.912281, 0.934211, 0.969298, 0.97807, 0.991228, 1, 1), xout = Compared_Driving
      _Range_B)$y
54.
55.      Value_of_Price_of_pk_B<-Value_of_Price_of_pk_B<-
      approx(c(0.0, 0.140673, 0.262076, 0.385321, 0.385321, 0.48318, 0.59633, 0.669725,
      0.730887, 0.785933, 0.834862, 0.911315,
56.          1.02752, 1.16514, 1.3
      211, 1.52294, 1.69725, 1.9633, 2.15596, 2.3578, 3, 3.13367, 3.21137, 2.41239, 3.53
      456, 4.11230, 4.57083, 4.72072, 4.91710, 5, 999999999999999999),
57.          c(1, 0.982456, 0.972456
      , 0.969298, 0.957368, 0.94614, 0.92614, 0.885263, 0.856263, 0.814283, 0.75392, 0.7
      19298, 0.65823, 0.61252, 0.58291, 0.54386,
58.          0.43782, .40172, 0.36
      4035, 0.31627, 0.29761, .25647, .20920, .197368, 0.118421, 0.0570175, 0.0219298, 0
      .0175439, 0.0131579, 0,0), xout = Compared_Price_of_pk_B)$y
59.
60.
61.      #variables auxiliares de Fleet_of_Vehicles_pj_B
62.      Value_of_Fuel_Attractivess_of_pj_B<-
      approx(c(0.0, 1.40673, 2.62997, 3.73089, 4.89297, 5.99388, 7.03364, 7.82875, 9.113
      15, 9.90826, 10.5199,
63.          11.0092, 11.682, 12.2936, 12.9052
      , 13.578, 14.5566, 15.2905, 16.6972, 18.2875, 20, 999999999999999999),
64.          c(1, 0.982456, 0.969298, 0.938596,
      0.912281, 0.885965, 0.850877, 0.811404, 0.75, 0.666667, 0.583333, 0.495614, 0.3947
      37,
65.          0.307018, 0.258772, 0.210526, 0.1
      57895, 0.127193, 0.0745614, 0.0307018, 0,0), xout = Compared_Fuel_Attractivenes_of
      _pj_B-1)$y
66.
67.
68.      Value_of_Driving_Range_of_pj_B<-
      approx(c(0.0, 0.672783, 1.22324, 1.89602, 2.44648, 2.9052, 3.24159, 3.57798, 4.036
      7, 4.31193, 4.77064, 5,
69.          5.35168, 5.68807, 6.02446, 6.48318, 6
      .81957, 7.15596, 7.5841, 8.04281, 8.34862, 8.92966, 10,999999999999999999),
70.          c(0.0, 0.0131579, 0.0307018, 0.0526316,
      0.0964912, 0.144737, 0.184211, 0.22807, 0.280702, 0.346491, 0.429825, 0.5, 0.5745
      61,
71.          0.644737, 0.710526, 0.780702, 0.85087
      7, 0.912281, 0.934211, 0.969298, 0.97807, 0.991228, 1,1), xout = Compared_Driving_
      Range_of_pj_B)$y
72.

```

Escuela de Gobierno y Administración Pública

```

73. Value_of_Price_of_pj_B<-
  approx(c(0.0, 0.140673, 0.262076, 0.385321, 0.385321, 0.48318, 0.59633, 0.669725,
  0.730887, 0.785933, 0.834862, 0.911315,
74. 1.02752, 1.16514, 1.3211, 1.52294, 1.69725, 1
  .9633, 2.15596, 2.3578, 3, 3.13367, 3.21137, 2.41239, 3.53456, 4.11230, 4.57083, 4
  .72072, 4.91710, 5, 9999999999999999)),
75. c(1, 0.982456, 0.972456, 0.969298, 0.957368, 0.
  94614, 0.92614, 0.885263, 0.856263, 0.814283, 0.75392, 0.719298, 0.65823, 0.61252,
  0.58291, 0.54386,
76. 0.43782, .40172, 0.364035, 0.31627, 0.29761,
  .25647, .20920, .197368, 0.118421, 0.0570175, 0.0219298, 0.0175439, 0.0131579, 0,
  0), xout = Compared_Price_of_pj_B)$y
77.
78.
79. #variables auxiliares de Fleet_of_Vehicles_pi_B
80. Value_of_Price_of_pi_B<-
  approx(c(0.0, 0.140673, 0.262076, 0.385321, 0.385321, 0.48318, 0.59633, 0.669725,
  0.730887, 0.785933, 0.834862, 0.911315,
81. 1.02752, 1.16514, 1.3211, 1.52294, 1.69725, 1
  .9633, 2.15596, 2.3578, 3, 3.13367, 3.21137, 2.41239, 3.53456, 4.11230, 4.57083, 4
  .72072, 4.91710, 5, 9999999999999999)),
82. c(1, 0.982456, 0.972456, 0.969298, 0.957368, 0.
  94614, 0.92614, 0.885263, 0.856263, 0.814283, 0.75392, 0.719298, 0.65823, 0.61252,
  0.58291, 0.54386,
83. 0.43782, .40172, 0.364035, 0.31627, 0.29761,
  .25647, .20920, .197368, 0.118421, 0.0570175, 0.0219298, 0.0175439, 0.0131579, 0,
  0), xout = Compared_Price_of_pi_B)$y
84.
85. Value_of_Fuel_Attractivess_of_pi_B<-
  approx(c(0.0, 1.40673, 2.62997, 3.73089, 4.89297, 5.99388, 7.03364, 7.82875, 9.113
  15, 9.90826, 10.5199,
86. 11.0092, 11.682, 12.2936, 12.9052
  , 13.578, 14.5566, 15.2905, 16.6972, 18.2875, 20, 9999999999999999)),
87. c(1, 0.982456, 0.969298, 0.938596,
  0.912281, 0.885965, 0.850877, 0.811404, 0.75, 0.666667, 0.583333, 0.495614, 0.3947
  37,
88. 0.307018, 0.258772, 0.210526, 0.1
  57895, 0.127193, 0.0745614, 0.0307018, 0, 0), xout = Compared_Fuel_Attractivenes_o
  f_pi_B-1)$y
89.
90.
91. Value_of_Driving_Range_of_pi_B<-
  approx(c(0.0, 0.672783, 1.22324, 1.89602, 2.44648, 2.9052, 3.24159, 3.57798, 4.036
  7, 4.31193, 4.77064, 5,
92. 5.35168, 5.68807, 6.02446, 6.48318, 6
  .81957, 7.15596, 7.5841, 8.04281, 8.34862, 8.92966, 10, 9999999999999999)),

```

Escuela de Gobierno y Administración Pública

- 93. $c(0.0, 0.0131579, 0.0307018, 0.0526316, 0.0964912, 0.144737, 0.184211, 0.22807, 0.280702, 0.346491, 0.429825, 0.5, 0.574561,$
- 94. $0.644737, 0.710526, 0.780702, 0.850877, 0.912281, 0.934211, 0.969298, 0.97807, 0.991228, 1, 1),$ xout = Compared_Driving_Range_of_pi_B)\$y
- 95.
- 96.
- 97.
- 98. #variables auxiliares de Fleet_of_Vehicles_pk_B
- 99. Utility_Derived_from_Fuel_Attractiveness_of_pk_B<-
Imp_of_Fuel_Attractiveness_of_pi_pj_pk_for_Consumers_B*Value_of_Fuel_Attractiveness_of_pk_B
- 100. Utility_Derived_from_Driving_Range_of_pk_B<-
Imp_of_Driving_Range_of_pi_pj_pk_for_Consumers_B*Value_of_Driving_Range_of_pk_B
- 101. Utility_Derived_from_Price_of_pk_B<-
Imp_of_Price_of_pi_pj_pk_for_Consumers_B*Value_of_Price_of_pk_B
- 102. Utility_Derived_from_Carbon_Footpring_of_pk_B<-
Imp_of_Carbon_Footpring_of_pi_pj_pk_for_Consumers_B*Value_of_Carbon_Footprint_of_pk
- 103. #variables auxiliares de Fleet_of_Vehicles_pj_B
- 104. Utility_Derived_from_Fuel_Attractiveness_of_pj_B<-
Imp_of_Fuel_Attractiveness_of_pi_pj_pk_for_Consumers_B*Value_of_Fuel_Attractiveness_of_pj_B
- 105. Utility_Derived_from_Driving_Range_of_pj_B<-
Imp_of_Driving_Range_of_pi_pj_pk_for_Consumers_B*Value_of_Driving_Range_of_pj_B
- 106. Utility_Derived_from_Price_of_pj_B<-
Imp_of_Price_of_pi_pj_pk_for_Consumers_B*Value_of_Price_of_pj_B
- 107. Utility_Derived_from_Carbon_Footpring_of_pj_B<-
Imp_of_Carbon_Footpring_of_pi_pj_pk_for_Consumers_B*Value_of_Carbon_Footprint_of_pj
- 108. #variables auxiliares de Fleet_of_Vehicles_pi_B
- 109. Utility_Derived_from_Fuel_Attractiveness_of_pi_B<-
Imp_of_Fuel_Attractiveness_of_pi_pj_pk_for_Consumers_B*Value_of_Fuel_Attractiveness_of_pi_B
- 110. Utility_Derived_from_Driving_Range_of_pi_B<-
Imp_of_Driving_Range_of_pi_pj_pk_for_Consumers_B*Value_of_Driving_Range_of_pi_B
- 111. Utility_Derived_from_Price_of_pi_B<-
Imp_of_Price_of_pi_pj_pk_for_Consumers_B*Value_of_Price_of_pi_B
- 112. Utility_Derived_from_Carbon_Footpring_of_pi_B<-
Imp_of_Carbon_Footpring_of_pi_pj_pk_for_Consumers_B*Value_of_Carbon_Footprint_of_pi
- 113.
- 114. #variables auxiliares de Fleet_of_Vehicles_pK_B
- 115. Utility_of_non_Drivers_of_pk_About_pk_B<-
exp(Utility_Derived_from_Carbon_Footpring_of_pk_B+Utility_Derived_from_Driving_Ran

Escuela de Gobierno y Administración Pública

```

ge_of_pk_B+Utility_Derived_from_Fuel_Attractiveness_of_pk_B+Utility_Derived_from_P
rice_of_pk_B)
116. #variables auxiliares de Fleet_of_Vehicles_pj_B
117. Utility_of_non_Drivers_of_pj_About_pj_B<-
exp(Utility_Derived_from_Carbon_Footpring_of_pj_B+Utility_Derived_from_Driving_Ran
ge_of_pj_B+Utility_Derived_from_Fuel_Attractiveness_of_pj_B+Utility_Derived_from_P
rice_of_pj_B)
118. #variables auxiliares de Fleet_of_Vehicles_pi_B
119. Utility_of_non_Drivers_of_pi_About_pi_B<-
exp(Utility_Derived_from_Carbon_Footpring_of_pi_B+Utility_Derived_from_Driving_Ran
ge_of_pi_B+Utility_Derived_from_Fuel_Attractiveness_of_pi_B+Utility_Derived_from_P
rice_of_pi_B)
120.
121. #variables auxiliares de Fleet_of_Vehicles_pK_B
122. Perceived_Utility_of_non_Drivers_of_pk_About_pk_B<-
Utility_of_non_Drivers_of_pk_About_pk_B*WtC_pk_by_non_Drivers_of_pk_B
123. #variables auxiliares de Fleet_of_Vehicles_pj_B
124. Perceived_Utility_of_non_Drivers_of_pj_About_pj_B<-
Utility_of_non_Drivers_of_pj_About_pj_B*WtC_pj_by_non_Drivers_of_pj_B
125. #variables auxiliares de Fleet_of_Vehicles_pi_B
126. Perceived_Utility_of_non_Drivers_of_pi_About_pi_B<-
Utility_of_non_Drivers_of_pi_About_pi_B*WtC_pi_by_non_Drivers_of_pi_B
127.
128. #------
-----
129.
130. Share_of_Drivers_of_pj_Swichting_to_pk_B<-
Perceived_Utility_of_non_Drivers_of_pk_About_pk_B/
131. (Perceived_Utility_of_non_Drivers_of_pi_About_pi_B+Perceived_Utility_of_non_
Drivers_of_pk_About_pk_B+exp(1))
132.
133. Share_of_Drivers_of_pi_Swichting_to_pk_B<-
Perceived_Utility_of_non_Drivers_of_pk_About_pk_B/
134. (Perceived_Utility_of_non_Drivers_of_pj_About_pj_B+exp(1)+Perceived_Utility_
of_non_Drivers_of_pk_About_pk_B)
135.
136. #------
-----
137.
138. Share_of_Drivers_of_pk_Swichting_to_pj_B<-
Perceived_Utility_of_non_Drivers_of_pj_About_pj_B/
139. (Perceived_Utility_of_non_Drivers_of_pi_About_pi_B+Perceived_Utility_of_non_
Drivers_of_pj_About_pj_B+exp(1))
140.
141. Share_of_Drivers_of_pi_Swichting_to_pj_B<-
Perceived_Utility_of_non_Drivers_of_pj_About_pj_B/

```

Escuela de Gobierno y Administración Pública

```

142.      (exp(1)+Perceived_Utility_of_non_Drivers_of_pj_About_pj_B+Perceived_Utility_
of_non_Drivers_of_pk_About_pk_B)
143.
144.      #-----
145.      Share_of_Drivers_of_pj_Swichting_to_pi_B<-
Perceived_Utility_of_non_Drivers_of_pi_About_pi_B/
146.      (Perceived_Utility_of_non_Drivers_of_pi_About_pi_B+exp(1)+Perceived_Utility_
of_non_Drivers_of_pk_About_pk_B)
147.
148.      Share_of_Drivers_of_pk_Swichting_to_pi_B<-
Perceived_Utility_of_non_Drivers_of_pi_About_pi_B/
149.      (Perceived_Utility_of_non_Drivers_of_pi_About_pi_B+Perceived_Utility_of_non_
Drivers_of_pj_About_pj_B+exp(1))
150.
151.      #-----
152.
153.      #variables auxiliares
154.      Switchting_from_pi_to_pk_B<-
Share_of_Drivers_of_pi_Swichting_to_pk_B*Discards_of_Vehicles_pi_B
155.      Switching_from_pj_to_pk_B<-
Share_of_Drivers_of_pj_Swichting_to_pk_B*Discards_of_Vehicles_pj_B
156.
157.      #variables auxiliares
158.      Switchting_from_pi_to_pj_B<-
Discards_of_Vehicles_pi_B*Share_of_Drivers_of_pi_Swichting_to_pj_B
159.      Switching_from_pk_to_pj_B<-
Share_of_Drivers_of_pk_Swichting_to_pj_B*Discards_of_Vehicles_pk_B
160.
161.      #Variables auxiliares
162.      Switching_from_pk_to_pi_B<-
Share_of_Drivers_of_pk_Swichting_to_pi_B*Discards_of_Vehicles_pk_B
163.      Switchting_from_pj_to_pi_B<-
Discards_of_Vehicles_pj_B*Share_of_Drivers_of_pj_Swichting_to_pi_B
164.      #-----
165.      Discards_Continuing_with_pk_B<-Discards_of_Vehicles_pk_B-
Switching_from_pk_to_pj_B-Switching_from_pk_to_pi_B
166.      Discards_Continuing_with_pi_B<-Discards_of_Vehicles_pi_B-
Switchting_from_pi_to_pj_B-Switchting_from_pi_to_pk_B
167.      Discards_Continuing_with_pj_B<-Discards_of_Vehicles_pj_B-
Switching_from_pj_to_pk_B-Switchting_from_pj_to_pi_B
168.
169.      #-----
170.      Share_of_new_Vehicle_Sales_to_pk_B<-
Perceived_Utility_of_non_Drivers_of_pk_About_pk_B/

```

171. $(\text{Perceived_Utility_of_non_Drivers_of_pi_About_pi_B} + \text{Perceived_Utility_of_non_Drivers_of_pj_About_pj_B} + \text{Perceived_Utility_of_non_Drivers_of_pk_About_pk_B})$
172. $\text{New_to_Industry_Vehicle_Sales_of_pk_B} < - \text{Share_of_new_Vehicle_Sales_to_pk_B} * \text{Growth_of_Potential_Vehicle_Market_B}$
- 173.
174. $\text{Share_of_new_Vehicle_Sales_to_pj_B} < - \text{Perceived_Utility_of_non_Drivers_of_pj_About_pj_B} /$
175. $(\text{Perceived_Utility_of_non_Drivers_of_pi_About_pi_B} + \text{Perceived_Utility_of_non_Drivers_of_pj_About_pj_B} + \text{Perceived_Utility_of_non_Drivers_of_pk_About_pk_B})$
176. $\text{New_to_Industry_Vehicle_Sales_of_pj_B} < - \text{Share_of_new_Vehicle_Sales_to_pj_B} * \text{Growth_of_Potential_Vehicle_Market_B}$
- 177.
178. $\text{Share_of_new_Vehicle_Sales_to_pi_B} < - \text{Perceived_Utility_of_non_Drivers_of_pi_About_pi_B} /$
179. $(\text{Perceived_Utility_of_non_Drivers_of_pi_About_pi_B} + \text{Perceived_Utility_of_non_Drivers_of_pj_About_pj_B} + \text{Perceived_Utility_of_non_Drivers_of_pk_About_pk_B})$
180. $\text{New_to_Industry_Vehicle_Sales_of_pi_B} < - \text{Share_of_new_Vehicle_Sales_to_pi_B} * \text{Growth_of_Potential_Vehicle_Market_B}$
- 181.
182. #variable de flujo
- 183.
184. $\text{R_Carbon_Footprint_B} < - (\text{Expected_Imp_Carbon_Footprint_B} - \text{Imp_of_Carbon_Footprint_of_pi_pj_pk_for_Consumers_B}) / \text{Speed_of_Change_in_Reference_Structure_B}$
185. $\text{R_Price_B} < - (\text{Expected_Imp_Price_B} - \text{Imp_of_Price_of_pi_pj_pk_for_Consumers_B}) / \text{Speed_of_Change_in_Reference_Structure_B}$
186. $\text{R_Driving_Range_B} < - (\text{Expected_Imp_Driving_Range_B} - \text{Imp_of_Driving_Range_of_pi_pj_pk_for_Consumers_B}) / \text{Speed_of_Change_in_Reference_Structure_B}$
187. $\text{R_Fuel_B} < - (\text{Expected_Imp_Fuel_Attractive_B} - \text{Imp_of_Fuel_Attractiveness_of_pi_pj_pk_for_Consumers_B}) / \text{Speed_of_Change_in_Reference_Structure_B}$
- 188.
189. $\text{Fuel_stolen} < - \text{PEMEX_Fuel_by_Refinery} * \text{Anual_Stolen_Fuel_Percentage}$
190. $\text{Fuel_Production_rate} < - (\text{New_Partners_Fuel_Imports} + \text{PEMEX_Fuel_by_Refinery}) - \text{Fuel_stolen}$
191. $\text{Fuel_Refinery_rate} < - \text{PEMEX_Fuel_by_Refinery} - \text{Fuel_stolen}$
192. $\text{Fuel_Demand_rate} < - ((\text{Fleet_of_Vehicles_pi_B} * (\text{Average_Kms_Driven_by_Vehicle_per_year} / \text{Fuel_Efficiency_of_pi})) + (\text{Fleet_of_Vehicles_pj_B} * (\text{Average_Kms_Driven_by_Vehicle_per_year} / \text{Fuel_Efficiency_of_pj})))$
- 193.
194. $\text{Growth_of_GDP_per_Capita_B} < - \text{Rate_of_Growth_of_GDP_per_Capita_B} * \text{GDP_per_Capita_B}$

```

195.   Sales_of_Vehicles_pj_B<-
      Switching_from_pk_to_pj_B+Switchting_from_pi_to_pj_B+New_to_Industry_Vehicle_Sales
      _of_pj_B+Discards_Continuing_with_pj_B
196.   Sales_of_Vehicles_pi_B<-
      Switching_from_pk_to_pi_B+Switchting_from_pj_to_pi_B+New_to_Industry_Vehicle_Sales
      _of_pi_B+Discards_Continuing_with_pi_B
197.   Sales_of_Vehicles_pk_B<-
      Switching_from_pj_to_pk_B+Switchcting_from_pi_to_pk_B+New_to_Industry_Vehicle_Sales
      _of_pk_B+Discards_Continuing_with_pk_B
198.
199.   #variables de estado
200.   dPopulation_B<-Population_Growth_B
201.   dGDP_per_Capita_B<-Growth_of_GDP_per_Capita_B
202.   dPotential_Vehicle_Market_B<-Growth_of_Potential_Vehicle_Market_B
203.
204.   dImp_of_Carbon_Footpring_of_pi_pj_pk_for_Consumers_B<-R_Carbon_Footprint_B
205.   dImp_of_Price_of_pi_pj_pk_for_Consumers_B<-R_Price_B
206.   dImp_of_Driving_Range_of_pi_pj_pk_for_Consumers_B<-R_Driving_Range_B
207.   dImp_of_Fuel_Attractiveness_of_pi_pj_pk_for_Consumers_B<-R_Fuel_B
208.
209.   dFleet_of_Vehicles_pi_B<-Sales_of_Vehicles_pi_B-Discards_of_Vehicles_pi_B
210.   dFleet_of_Vehicles_pj_B<-Sales_of_Vehicles_pj_B-Discards_of_Vehicles_pj_B
211.   dFleet_of_Vehicles_pk_B<-Sales_of_Vehicles_pk_B-Discards_of_Vehicles_pk_B
212.
213.   dFuel_Production<-Fuel_Production_rate
214.   dFuel_Demand<-Fuel_Demand_rate
215.
216.   list(c(dPopulation_B,
217.         dGDP_per_Capita_B,
218.         dPotential_Vehicle_Market_B,
219.         dImp_of_Carbon_Footpring_of_pi_pj_pk_for_Consumers_B,
220.         dImp_of_Price_of_pi_pj_pk_for_Consumers_B,
221.         dImp_of_Driving_Range_of_pi_pj_pk_for_Consumers_B,
222.         dImp_of_Fuel_Attractiveness_of_pi_pj_pk_for_Consumers_B,
223.         dFleet_of_Vehicles_pi_B,
224.         dFleet_of_Vehicles_pj_B,
225.         dFleet_of_Vehicles_pk_B,
226.         dFuel_Production,
227.         dFuel_Demand),
228.     pk_ms = Fleet_of_Vehicles_pk_B/(Fleet_of_Vehicles_pi_B+Fleet_of_Vehicles_
      pj_B+Fleet_of_Vehicles_pk_B),

```

Escuela de Gobierno y Administración Pública

```

229.     pj_ms = Fleet_of_Vehicles_pj_B/(Fleet_of_Vehicles_pi_B+Fleet_of_Vehicles_
      pj_B+Fleet_of_Vehicles_pk_B),
230.     pi_ms = Fleet_of_Vehicles_pi_B/(Fleet_of_Vehicles_pi_B+Fleet_of_Vehicles_
      pj_B+Fleet_of_Vehicles_pk_B),
231.     Fuel_Demand_MBD=((Fuel_Demand_rate/159)/365)/1000,
232.     Avg_Fuel_Price=Price_of_Fuel_for_F1_B,
233.     PEMEX_Fuel_Production_MBD=Fuel_Production_rate,
234.     PEMEX_Fuel_Imports_MBD=((Fuel_Demand_rate/159)/365)/1000)-
      Fuel_Production_rate
235. )
236. })
237.}
238.
239.#Condiciones iniciales
240.InitialConditions <-
241. c(
242.   Population_B=120000000,
243.   GDP_per_Capita_B=8231,
244.   Potential_Vehicle_Market_B=as.numeric(120000000*approx(c(0.0, 5000, 10000, 150
      00, 20000, 25000, 30000, 35000),
245.                                     c(0.0, .05, .15, .3, .4
      2, .49, .51, .51), xout = 8231)$y), #Initial_Population_B*Initial_Number_of_Cars_p
      er_Person_B
246.   Imp_of_Carbon_Footpring_of_pi_pj_pk_for_Consumers_B=0.1,
247.   Imp_of_Price_of_pi_pj_pk_for_Consumers_B=0.5,
248.   Imp_of_Driving_Range_of_pi_pj_pk_for_Consumers_B=0.2,
249.   Imp_of_Fuel_Attractiveness_of_pi_pj_pk_for_Consumers_B=0.2,
250.   Fleet_of_Vehicles_pi_B=29164157, #Initial_Population_B*Initial_Number_of_Cars_
      per_Person_B
251.   Fleet_of_Vehicles_pj_B=10000, #Initial_Population_B*Initial_Number_of_Cars_per
      _Person_B
252.   Fleet_of_Vehicles_pk_B=2800, #Initial_Population_B*Initial_Number_of_Cars_per_
      Person_B)
253.   Fuel_Production=0,
254.   Fuel_Demand=0
255. )
256.
257.times <- seq(0, #initial time
258.             22, #end of simulation
259.             1)#time step
260.

```



```
298.          #PEMEX_Fuel_Imports=422,
299.          PEMEX_Fuel_by_Refinery=370,
300.          Anual_Stolen_Fuel_Percentage=.03,
301.          Average_Kms_Driven_by_Vehicle_per_year=12000*seq(1.0,1.25
,by=0.25)
302.)
303.#Add Run ID
304.Exp.table$Run.ID<-1:nrow(Exp.table)
305.
306.#run the experiment
307.out.exp<-apply(Exp.table, 1 , function(x)
308.{
309.  #Parametros
310.  parameters<-c(
311.    Population_Growth_Rate_B=as.numeric(x[ 'Population_Growth_Rate_B' ]),
312.    Rate_of_Growth_of_GDP_per_Capita_B=as.numeric(x[ 'Rate_of_Growth_of_GDP_per_Cap
ita_B' ]),
313.    Speed_of_Change_in_Reference_Structure_B=as.numeric(x[ 'Speed_of_Change_in_Refe
rence_Structure_B' ]),
314.    Expected_Imp_Carbon_Footprint_B=as.numeric(x[ 'Expected_Imp_Carbon_Footprint_B'
]),
315.    Expected_Imp_Driving_Range_B=as.numeric(x[ 'Expected_Imp_Driving_Range_B' ]),
316.    Expected_Imp_Fuel_Attractive_B=as.numeric(x[ 'Expected_Imp_Fuel_Attractive_B' ])
,
317.    Expected_Imp_Price_B=as.numeric(x[ 'Expected_Imp_Price_B' ]),
318.    Average_Lifetime_of_Vehicles_of_Platform_i_B=as.numeric(x[ 'Average_Lifetime_of
_Vehicles_of_Platform_i_B' ]),
319.    Average_Lifetime_of_Vehicles_of_Platform_j_B=as.numeric(x[ 'Average_Lifetime_of
_Vehicles_of_Platform_j_B' ]),
320.    Average_Lifetime_of_Vehicles_of_Platform_k_B=as.numeric(x[ 'Average_Lifetime_of
_Vehicles_of_Platform_k_B' ]),
321.    Technology_Cost_pk=as.numeric(x[ 'Technology_Cost_pk' ]),
322.    Technology_Cost_pj=as.numeric(x[ 'Technology_Cost_pj' ]),
323.    Technology_Cost_pi=as.numeric(x[ 'Technology_Cost_pi' ]),
324.    Price_of_Fuel_for_F2_B=as.numeric(x[ 'Price_of_Fuel_for_F2_B' ]),
325.    Price_of_Fuel_for_F1_B=as.numeric(x[ 'Price_of_Fuel_for_F1_B' ]),
326.    Fuel_Efficiency_of_pk=as.numeric(x[ 'Fuel_Efficiency_of_pk' ]),
327.    Fuel_Efficiency_of_pj=as.numeric(x[ 'Fuel_Efficiency_of_pj' ]),
328.    Fuel_Efficiency_of_pi=as.numeric(x[ 'Fuel_Efficiency_of_pi' ]),
329.    Percentage_Kms_Driven_on_Battery_Power=as.numeric(x[ 'Percentage_Kms_Driven_on_
Battery_Power' ]),
```

```
330.   Operational_Range_Vehicles_pi_B=as.numeric(x[ 'Operational_Range_Vehicles_pi_B'
    ]),
331.   Operational_Range_Vehicles_pj_B=as.numeric(x[ 'Operational_Range_Vehicles_pj_B'
    ]),
332.   Operational_Range_Vehicles_pk_B=as.numeric(x[ 'Operational_Range_Vehicles_pk_B'
    ]),
333.   WtC_pk_by_non_Drivers_of_pk_B=as.numeric(x[ 'WtC_pk_by_non_Drivers_of_pk_B' ]),
334.   WtC_pj_by_non_Drivers_of_pj_B=as.numeric(x[ 'WtC_pj_by_non_Drivers_of_pj_B' ]),
335.   WtC_pi_by_non_Drivers_of_pi_B=as.numeric(x[ 'WtC_pi_by_non_Drivers_of_pi_B' ]),
336.   Value_of_Carbon_Footprint_of_pi=as.numeric(x[ 'Value_of_Carbon_Footprint_of_pi'
    ]),
337.   Value_of_Carbon_Footprint_of_pj=as.numeric(x[ 'Value_of_Carbon_Footprint_of_pj'
    ]),
338.   Value_of_Carbon_Footprint_of_pk=as.numeric(x[ 'Value_of_Carbon_Footprint_of_pk'
    ]),
339.   New_Partners_Fuel_Imports=as.numeric(x[ 'New_Partners_Fuel_Imports' ]),
340.   PEMEX_Fuel_Imports=as.numeric(x[ 'PEMEX_Fuel_Imports' ]),
341.   PEMEX_Fuel_by_Refinery=as.numeric(x[ 'PEMEX_Fuel_by_Refinery' ]),
342.   Anual_Stolen_Fuel_Percentage=as.numeric(x[ 'Anual_Stolen_Fuel_Percentage' ]),
343.   Average_Kms_Driven_by_Vehicle_per_year=as.numeric(x[ 'Average_Kms_Driven_by_Veh
    icle_per_year' ])
344. );
345. #run the model
346. out <- data.frame(
347.   ode(y = InitialConditions,
348.     times = times,
349.     func = Adoption_and_Demographics_Region_B,
350.     parms = parameters,
351.     method =intg.method)
352. )
353. #assign Run.ID
354. out$Run.ID<-x[ 'Run.ID' ]
355. #
356. return(out)
357. }
358. )
359.
360.out.exp<-do.call("rbind",out.exp)
361.
```

```
362.#
363.library(ggplot2)
364.
365.
366.p3<-ggplot(out.exp, aes(time,Fuel_Demand_MBD ,group=Run.ID))+geom_line(size=1)
367.p3+geom_hline(yintercept = 381,linetype = 2,color="blue")+
368. geom_hline(yintercept = 411,linetype = 2,color="red")+
369. geom_hline(yintercept = 792,linetype = 2,color="green")+
370. ggtitle("Comportamiento de la demanda de gasolina")+
371. scale_x_continuous(name="Time [Years]" ) +
372. scale_y_continuous(name="MBD",limits=c(200, 1000))
```