



Instituto Politécnico Nacional
"La Técnica al Servicio de la Patria"

Escuela Superior de Ingeniería
Mecánica y Eléctrica
Unidad Culhuacán

TESIS INDIVIDUAL

"2019, Año del Caudillo del Sur, Emiliano Zapata"
60 años de la Unidad Profesional Adolfo López Mateos
70 Aniversario del CECyT No. 3 "Estanislao Ramírez Puiz"
60 años de XEIPN Canal Once, orgullosamente politécnico
60 Aniversario del CECyT No. 4 "Lázaro Cárdenas"

Que como prueba escrita de su Examen Profesional para obtener el Título de Ingeniero Mecánico, deberá desarrollar el C.:

RENATO AUGUSTO ROMERO MERINO

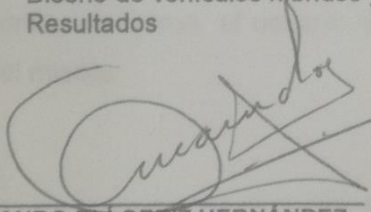
"ANÁLISIS DE EMISIONES DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA UTILIZANDO BIOCOMBUSTIBLES"

En el presente trabajo se evaluarán las emisiones generadas por el funcionamiento de dos vehículos automotores por medio del Advanced Vehicle Simulator (ADVISOR), un simulador avanzado para vehículos utilizando como base de ejecución a MATLAB, estos vehículos seguirán la ruta de la línea 1 del Metrobús Indios Verdes – Dr. Gálvez. Los vehículos son: el modelo Volvo® 7700 híbrido que es utilizado por Metrobús y el Toyota® Prius 2004, siendo elegidos estos por ser representativos híbridos de transporte masivo de pasajeros e individual en el parque vehicular de la Ciudad de México. Por la naturaleza de los motores se eligió como combustible el biodiesel en el caso del modelo Volvo y metanol en el caso del modelo de Toyota. El trabajo permitirá evaluar la generación de emisiones contaminantes utilizando estos biocombustibles para proponer una solución a los problemas de contaminación ambiental de la Ciudad de México.

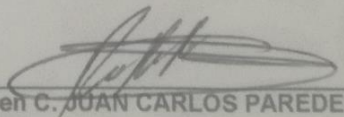
CAPITULADO

- capítulo I Estado del Arte
- capítulo II Marco teórico
- capítulo III Diseño de vehículos híbridos y simulación
- capítulo IV Resultados

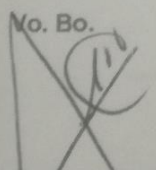
Ciudad de México, a 25 de junio de 2019.



en P. FERNANDO ELI ORTIZ HERNÁNDEZ

PRIMER ASESOR


M. en C. JUAN CARLOS PAREDES ROJAS

SEGUNDO ASESOR

Mo. Bo. 
ING. MIGUEL ÁNGEL LÓPEZ VEGA
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE I M E ISISA


DR. EUSEBIO RICARDEZ VAZQUEZ
SUBDIRECTOR ACADEMICO INTERINO



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y
ELÉCTRICA
UNIDAD CULHUACAN
SUBDIRECCIÓN ACADÉMICA
OFICINA DE TITULACIÓN PROFESIONAL



CARTA DE AUTORIZACIÓN DE USO DE OBRA

En la Ciudad de México, a 17 de octubre del año 2019, el que suscribe **Renato Augusto Romero Merino**, alumno de la carrera de **Ingeniería Mecánica**, con número de registro **R-030/19**, egresado de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Culhuacan, manifiesto que soy el autor intelectual del presente trabajo de **Tesis Individual**, bajo la asesoría del **M. en P. Fernando Elí Ortiz Hernández** y del **M. en C. Juan Carlos Paredes Rojas** y que autorizo el uso del trabajo titulado "**Análisis de emisiones de motores de combustión interna utilizando biocombustible**", al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deberán reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o asesor del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a las siguientes direcciones de correo: **renato_augusto_romero@hotmail.com**. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Atentamente

C. Renato Augusto Romero Merino



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
UNIDAD CULHUACÁN**

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

**ANÁLISIS DE EMISIONES DE MOTORES DE
COMBUSTIÓN INTERNA UTILIZANDO
BIOCOMBUSTIBLES**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO
MECÁNICO**

P R E S E N T A

RENATO AUGUSTO ROMERO MERINO

ASESORES

Dr. Juan Carlos Paredes Rojas

M. en C. Fernando Elí Ortiz Hernández



CIUDAD DE MÉXICO

Índice

Resumen	1
Abstract	2
Introducción.....	3
Objetivos específicos	5
Justificación.....	5
CAPÍTULO I. ESTADO DEL ARTE	6
1.1 Motores de combustión interna.....	7
1.2 Historia de la contaminación del aire en México	11
1.3 Historia del monitoreo de la calidad del aire en la Ciudad de México	16
1.4 Historia de las políticas ambientales en México.....	18
1.4.1 México prehispánico (30 000 a. C. hasta 1521).....	18
1.4.2 La Conquista y la Colonia (1519-1821).....	19
1.4.3 México independiente (1821-1877).....	19
1.4.4 El Porfiriato (1877-1911).....	20
1.4.5 La Revolución y el México posrevolucionario (1910-2000).....	20
1.5 Biocombustibles.....	28
1.5.1 Principales biocombustibles.....	28
1.5.1.1 Bioetanol.....	29
1.5.1.2 Biodiesel.....	30
1.5.1.3 Biogás.....	32
1.6 Proyectos relacionados.....	34
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	37
2.1 Energía	38
2.1.1 Formas de energía.....	38
2.2 Motores de combustión interna.....	41
2.2.1 Clasificación de los motores de combustión interna.....	41
2.2.2 Aspectos termodinámicos de los motores de combustión interna.....	43
2.2.2.1 Calor.....	43

2.2.2.2 Trabajo	43
2.2.2.3 Ciclos termodinámicos.....	44
2.2.3 Ciclos de funcionamiento de un motor de combustión interna	46
2.2.3.1 Ciclo Otto.....	46
2.2.3.2 Ciclo Diésel.....	49
2.2.4 Combustibles	49
2.2.4.1 Clasificación de los combustibles	50
2.2.4.2 Biocombustibles	52
2.2.4.3 Ventajas y desventajas de los biocombustibles.....	55
2.2.4.4 Supuestos de normas internacionales.....	59
CAPÍTULO III. DISEÑO DE VEHÍCULOS HÍBRIDOS Y SIMULACIÓN	68
3.1 Sistema de corredores de transporte público de pasajeros de la Ciudad de México (Metrobús)	69
3.1.1 Componentes del sistema	69
3.1.1.1 Infraestructura	70
3.1.1.2 Organización	70
3.1.1.3 Operación.....	70
3.1.1.4 Tecnología.....	70
3.1.2 Líneas del Metrobús	71
3.1.2.1 Línea 1 – Avenida de los insurgentes.....	71
3.1.2.2 Línea 2 – Eje 4 Sur.....	72
3.1.2.3 Línea 3 – Eje 1 Poniente	72
3.1.2.4 Línea 4 – Buenavista – San Lázaro – Aeropuerto Terminales 1 y 2.....	73
3.1.2.5 Línea 5 – Eje 3 Oriente – Avenida Ingeniero Eduardo Molina	74
3.1.2.6 Línea 6 – Eje 5 Norte – Avenida Montevideo.....	74
3.1.2.7 Línea 7 – Avenida Paseo de la Reforma.....	75
3.1.3 Cronología del Metrobús.....	76
3.2 Autos híbridos	81
3.2.1 Componentes de un auto híbrido.....	81
3.2.1.1 Motor a gasolina	81
3.2.1.2 Baterías.	82
3.2.1.3 Motor Eléctrico.....	82

3.2.1.4	Generador.....	82
3.2.1.5	Convertidor.....	82
3.2.1.6	Cargador.....	83
3.2.1.7	Variador.....	83
3.2.1.8	Transmisión.....	83
3.2.2	Ventajas.....	83
3.2.3	Desventajas.....	84
3.2.4	Autos híbridos en serie.....	84
3.2.5	Autos híbridos en paralelo.....	85
3.2.6	Autos híbridos en serie – paralelo.....	86
3.3	Simulación de vehículos híbridos.....	87
3.3.1	Características de un vehículo Toyota® modelo Prius 2004.....	87
3.3.2	Características de un vehículo Volvo® 7700 híbrido.....	90
3.4	Condiciones de simulación.....	93
3.4.1	Ciclo de conducción de la línea 1 del Metrobús.....	93
3.4.2	Características de los combustibles.....	95
3.4.3	Definición de los vehículos.....	98
3.4.4	Introducción del ciclo de conducción.....	100
CAPÍTULO 4. RESULTADOS	.....	103
4.1	Caso 1: Toyota Prius utilizando gasolina.....	104
4.2	Caso 2: Toyota Prius utilizando bioetanol.....	106
4.3	Caso 3: Volvo 7700 híbrido utilizando diésel.....	108
4.4	Caso 4: Volvo 7700 utilizando biodiésel.....	110
Conclusiones	.....	113
Bibliografía	.....	116
Glosario	.....	121
Anexos	.....	123

Índice de Figuras

Figura 1. Ciclo termodinámico	7
Figura 2. Mapa de áreas verdes urbanas de la Ciudad de México.....	15
Figura 3. Leyes y secretarías de gestión ambiental.	21
Figura 4. Recuento de la gestión ambiental desde sus inicios hasta la actualidad.....	26
Figura 5. Tipos de Energía	39
Figura 6. Mapa conceptual de la energía	40
Figura 7. Ciclo termodinámico convencional.	45
Figura 8. Ciclo Termodinámico inverso.	45
Figura 9. Tiempo de un Ciclo Otto: a) Admisión, b) Compresión, c) Expansión, d) Escape.	48
Figura 10. presión (P) – volumen (V) y temperatura (T) – entropía (S).	48
Figura 11. Cuadro sinóptico de la clasificación de los combustibles.	51
Figura 12. Biocombustibles	54
Figura 13. Mapa de las líneas del Metrobús de la Ciudad de México	80
Figura 14. Diagrama de un auto híbrido en serie	85
Figura 15. Diagrama de un auto híbrido en paralelo.	86
Figura 16. Comportamiento de auto híbrido serie-paralelo.	86
Figura 17. Toyota Prius 2004 de 2° Generación.....	90
Figura 18. Dimensiones de autobús Volvo® 7700 híbrido.....	93
Figura 19. Gráfica Velocidad-Tiempo del Ciclo de conducción de la línea 1	94
Figura 20. Perfil de elevación de la línea 1	95
Figura 21. Ingreso del Toyota Prius a la interfaz gráfica del simulador.	99
Figura 22. Ingreso de los datos a la interfaz gráfica del simulador.....	99
Figura 23. Ingreso del ciclo de conducción creado al simulador.	101
Figura 24. Cambios de parámetros en la interfaz gráfica del simulador.....	101
Figura 25. Cambios de parámetros en la interfaz gráfica del simulador.....	102
Figura 26. Gráfica de comportamiento del Toyota Prius utilizando gasolina (caso 1)....	104
Figura 27. Tasa de emisión de contaminantes del caso 1	105
Figura 28. Temperaturas de los componentes del caso 1	105
Figura 29. Tasa de consumo de combustible del caso 1	105
Figura 30. Gráfica de comportamiento del Toyota Prius utilizando bioetanol (caso 2) ..	106
Figura 31. Tasa de emisión de contaminantes del caso 2.....	106
Figura 32. Temperaturas de los componentes del caso 2.....	107
Figura 33. Tasa de consumo de combustible del caso 2.....	107
Figura 34. Gráfica de comportamiento del Volvo 7700 híbrido utilizando diésel (caso 3)	108
Figura 35. Tasa de emisión de contaminantes del caso 3.....	108
Figura 36. Temperaturas de los componentes del caso 3.....	109
Figura 37. Tasa de consumo de combustible del caso 3.....	109
Figura 38. Gráfica de comportamiento del Volvo 7700 híbrido utilizando biodiésel (caso 4)	110
Figura 39. Tasa de emisión de contaminantes del caso 4.....	110
Figura 40. Temperaturas de los componentes del caso 4.....	111
Figura 41. Tasa de consumo de combustible del caso 4.....	111

Índice de Tablas

Tabla 1. Áreas verdes en la Ciudad de México.	11
Tabla 2. Tipos de áreas verdes según la LADF.....	13
Tabla 3. Especificaciones de las áreas verdes de la Ciudad de México por delegación. 14	
Tabla 4. Producción y consumo de materias primas en países europeos.	30
Tabla 5. Tipos de clasificación de los motores de combustión interna	42
Tabla 6. La Primera Ley de la Termodinámica	44
Tabla 7. Tipos de Biocombustibles.....	52
Tabla 8. Ventajas y desventajas de los diferentes biocombustibles.	56
Tabla 9. Descripción y aplicaciones de los biocarburantes.	58
Tabla 10. Mandatos para el transporte renovable por países.....	60
Tabla 11. Características de la línea 1 de Metrobús.	94
Tabla 12. Características del biodiesel según la norma ASTM D6751	95
Tabla 13. Características de las Normas: ASTM D4814, ANP Resolución 36 y PrEN 15376	96

Resumen

El mercado de la bioenergía en México no ha impulsado implementaciones sólidas con el propósito de reducir las emisiones contaminantes a la atmósfera en busca del desarrollo sostenible. El objetivo del presente trabajo es determinar el rendimiento energético de un autobús híbrido de piso bajo modelo 7700 de Volvo® y de un automóvil modelo Prius de Toyota®, mediante simulaciones del programa Advisor (simulador avanzado de vehículos) en MATLAB. Estos vehículos fueron seleccionados porque pertenecen a la flota común de autobuses del sistema de transporte público de la Ciudad de México (STP), también conocido como Metrobús y el segundo es el automóvil híbrido más vendido en México. La ruta seleccionada es: la ruta Insurgentes - Indios verdes, línea 1 del sistema de autobús de tránsito rápido, porque comunica a la ciudad de México de norte a sur. Los parámetros considerados, son condiciones reales: número de estaciones, elevación de la ruta, flujo másico (pasajeros) y características automotrices. Los ciclos de conducción fueron diseñados a partir de la información provista por el STP y el combustible utilizado fue biodiésel, diésel fósil, gasolina y bioetanol. Este trabajo busca demostrar que el uso de biocombustibles en el transporte es una buena inversión para reducir el impacto ambiental sin comprometer el buen desempeño del mismo. Los resultados indican que, debido al valor calorífico del biodiésel, el rendimiento disminuyó en potencia y aumentó el consumo de combustible, pero también mostró características positivas en la reducción de emisiones contaminantes a la atmósfera, teniendo esto en comparación con el comportamiento del vehículo en funcionamiento sólo con diésel fósil. Para el caso del bioetanol, los resultados no mostraron mejoría al sustituir por gasolina.

Palabras clave: Autobús de pasajeros, motor híbrido, biodiésel, automóvil híbrido, bioetanol.

Abstract

The bioenergy market in Mexico has not promoted solid implementations with the purpose of reducing pollutant emissions into the atmosphere in search of sustainable development. The objective of this work is to determine the energy efficiency of a Volvo® 7700 low floor hybrid bus and a Toyota® Prius model car, using simulations of the Advisor program (advanced vehicle simulator) in MATLAB. These vehicles were selected because they belong to the common bus fleet of the Mexico City public transport system (STP), also known as Metrobús and the second is the best-selling hybrid car in Mexico. The selected route is: Insurgentes - Indios Verdes, line 1 of the rapid transit bus system, because it communicates to Mexico City from north to south. The parameters considered are real conditions: number of stations, route elevation, mass flow (passengers) and automotive characteristics. The driving cycles were designed based on the information provided by the STP and the fuel used was biodiesel, fossil diesel, gasoline and bioethanol. This work seeks to demonstrate that the use of biofuels in transport is a good investment to reduce its environmental impact. The results indicate that due to the calorific value of biodiesel, the performance decreased in power and fuel consumption increased, but also showed positive characteristics in reducing pollutant emissions to the atmosphere, having this compared to the behavior of the vehicle in operation only with fossil diesel. In the case of bioethanol, the results showed no improvement when replacing gasoline.

Keywords: Passenger bus, hybrid engine, biodiesel, bioethanol hybrid car.

Introducción

El crecimiento acelerado que ha tenido la sociedad en su búsqueda por el desarrollo, desde la revolución industrial, ha provocado la ruptura del equilibrio natural del planeta, modificando sus condiciones óptimas para la sostenibilidad de la vida.

Dentro de las actividades antropogénicas, el sector transporte es uno de los que mayor impacto ambiental tiene y su crecimiento se ha ido elevando en los últimos años.

A pesar de los esfuerzos que se han tenido tanto tecnológica como políticamente para la reducción de emisiones contaminantes, éstos han sido insuficientes para lograrlo, por el contrario, los niveles de toxicidad, así como las consecuencias de éstos, han aumentado, lo que se refleja en la creciente tasa de mortalidad. Esto se puede observar en la pérdida de biodiversidad, así como de la productividad por parte de la sociedad, lo que se traduce en grandes inversiones en el sector salud y de protección ambiental para poder atender esta situación que sigue agravándose.

Este fenómeno es imposible de ignorar, por lo que se deben implementar estrategias para una solución inmediata.

La fuente de energía más utilizada en el transporte son los combustibles fósiles. El uso de los mismos se debe a la oferta que se tiene, sus beneficios termodinámicos, además de su relativo bajo costo. No obstante, el impacto que provocan es alto, así como de ser recursos no renovables. Como alternativa, se han propuesto los biocombustibles, que encima de ser una fuente energética renovable, sus características son muy similares a las de los combustibles fósiles y su desarrollo ha permitido ampliar la matriz energética en búsqueda de fuentes más limpias.

La generación de nuevas tecnologías sumado con una buena gestión de las mismas pretende dar cambios positivos al desarrollo económico sin comprometer al medio ambiente. Ejemplo de esto, es la generación e implementación de tecnologías más limpias, así como programas de concientización a la sociedad con miras a un desarrollo sostenible.

Los intentos para responder al deterioro del planeta deben persistir para estructurar estrategias sólidas y permanentes, aprovechando los recursos científicos y tecnológicos disponibles, además de no detenerse en la búsqueda de ampliarlos a favor del medio ambiente y el desarrollo.

Objetivo general

Evaluar el comportamiento de los dos vehículos híbridos más utilizados para el transporte público y privado en la Ciudad de México, utilizando biocombustibles, por medio de un simulador avanzado de vehículos.

Objetivos específicos

1. Investigar información respectiva a los vehículos y a la ruta elegida.
2. Diseñar un ciclo de conducción.
3. Analizar la información al lenguaje de programación del software utilizado.
4. Evaluar y discutir los resultados obtenidos.

Justificación

El propósito del proyecto es demostrar que el uso de biocombustibles en vehículos automotores híbridos disminuye la emisión de contaminantes a la atmósfera sin comprometer el desempeño de los mismos.

Por otra parte, se dará seguimiento del proyecto para poder desarrollar modelos de emisiones para que se logren resultados más precisos con el mismo simulador aprovechando el principio de funcionamiento del mismo.

Capítulo I

Estado del arte

1.1 Motores de combustión interna

Uno de los retos más importantes para la humanidad ha sido la transformación de energía de la manera en la que la naturaleza la provee, de modo que esta sea aprovechable para satisfacer sus necesidades.

La energía que la naturaleza suministra necesita algunos tratamientos previos a la utilización de ésta para poder efectuar un trabajo. El hombre ha utilizado la reserva natural que está contenida en algunas sustancias, tales como, la energía química o nuclear para poder ser transformadas en energía térmica. El calor originado a partir de estas fuentes es transformado por medio de dispositivos, en trabajo. Dichos dispositivos son llamados máquinas térmicas y se pueden caracterizar por lo siguiente:

1. Reciben calor de una fuente a temperatura alta (energía solar, horno de petróleo, reactor nuclear, etcétera).
2. Convierten parte de este calor en trabajo (por lo general en la forma de una flecha rotatoria).
3. Rechazan el calor de desecho hacia un sumidero de calor de baja temperatura (la atmósfera, los ríos, etcétera).
4. Operan en un ciclo.



Figura 1. Ciclo termodinámico.

Fuente: Termodinámica (Çengel & Boles, 2012)

Las máquinas térmicas y otros dispositivos cíclicos por lo común requieren un fluido hacia y desde el cual se transfiere calor mientras experimenta un ciclo. Al fluido se le conoce como fluido de trabajo.

El término máquina térmica se usa con frecuencia en un sentido más amplio que incluye dispositivos que producen trabajo que no operan en un ciclo termodinámico. Las máquinas relacionadas con la combustión interna, como las turbinas de gas y los motores de automóviles, entran en esta categoría. Estos dispositivos operan en un ciclo mecánico, pero no en un ciclo termodinámico, porque el fluido de trabajo (los gases de combustión) no experimenta un ciclo completo. En lugar de ser enfriados a la temperatura inicial, los gases de escape se purgan y se reemplazan por una mezcla fresca de aire y combustible al final de ciclo.

Los motores de combustión interna siendo máquinas térmicas tienen como función generar trabajo a partir de energía térmica, la cual es obtenida a partir de una explosión obtenida de la energía interna del combustible con el que trabaja.

El motor de combustión interna fue creado para sustituir a la máquina de vapor, la cual era menos eficiente, su evolución se muestra a continuación:

- 1687 – Denis Papin a partir de un estudio previo con Christian Huyghens acerca del aprovechamiento de la energía producida por el vapor de agua a presión, crea una máquina de vapor capaz de moverse por sí sola, la cual permitió demostrar que la condensación del vapor puede producir efectos comparables a la depresión de los gases.
- 1698 – Thomas Savery a finales del siglo XVII, construye la primera máquina de vapor patentada. Esta máquina consistía de una bomba de succión provista de un cilindro, la que era usada para drenar agua de las minas de carbón.
- 1705 – Thomas Newcomen perfeccionó una máquina que no estuviera limitada por la presión del agua, tal como la de Savery, creando la llamada máquina de balancín, la cual también bombeaba agua de las minas de una

manera más eficiente, no teniendo rival durante más de medio siglo hasta cuando James Watt creó una máquina superior.

- 1769 – 1800 – James Watt a partir de los trabajos previos de Papin, Savery y Newcomen, crea una máquina que aprovechaba al doble la presión del vapor colocando a cada lado del cilindro una cámara de condensación junto con un comportamiento, en donde se provocaba el vacío provocado por la subida del pistón.
- 1794 y 1795 – En esos años Robert Street intentó crear un motor de explosión que funcionaba con hulla sin éxito y cinco años después Philippe Lebon volvió a hacer el intento de crear un motor de combustión interna funcionando a base de aire y gas alumbrado con el objetivo de mover un pistón, fracasando nuevamente.
- 1805 – En este año se hizo una de las primeras aplicaciones de la máquina de vapor para uso de transporte, cuando Richard Thravenick, Timothy Hackworth y William Hedley construyen una mejor versión para que en 1807 Robert Fulton construyera el buque de vapor.
- 1816 – Robert Stirling crea el motor que lleva su nombre, siendo un motor de aire caliente, el cual tiene muchas prestaciones como alto rendimiento, uso de calor externo y de ciclo cerrado.
- 1854 – Eugenio Barsanti y Felipe Matteuci presentaban como invento propio el primer motor de combustión interna que operaba de manera práctica, siendo el primero en la historia.
- 1859 – Joseph Étienne Lenoir fabrica el primer motor de combustión interna, el cual contaba con un pistón y era de un solo tiempo. Este motor no era muy eficiente, teniendo un 5% de eficiencia y ya contaba con una bujía para el encendido del combustible que era gas de carbón mezclado con aire.
- 1862 – Alphonse Beau de Rochas mejoró notablemente la máquina de Étienne Lenoir, comprimiendo la mezcla antes de la combustión, esto lo ayudó a idear un ciclo de cuatro tiempos.
- 1872 – En este año, el alemán Nikolaus August Otto ayudado por su auxiliar mecánico E. Langen, concluye su trabajo iniciado en 1867, el que buscaba

superar el motor que había sido diseñado por de Rochas. En dicho año había logrado su objetivo ligeramente, utilizando el principio de pistón libre, aunque seguía siendo un motor atmosférico al no comprimir previamente la mezcla. Ya en 1876 logró construir el primer motor de cuatro tiempos de la historia, utilizando los principios planteados por de Rochas. Este motor, logró superar la eficacia del motor de combustión externa a vapor de Watt, por lo que se empezaban a montar estos motores en la industria. A pesar del éxito económico inicial de sus motores, Otto perdió la patente en 1886, al descubrirse la anterioridad del invento del ciclo de cuatro tiempos por Alphonse Beau de Rochas (Martínez Villegas, 2007). Sin embargo, la historia le atribuye a Otto los créditos de la invención, justificando que fue el primero en construirla.

- 1873 – George Brayton crea en Gran Bretaña el motor que lleva su nombre, el cual utilizaba queroseno.
- 1876 – El ingeniero escocés Dugald Clark crea el primer motor de dos tiempos, siendo gas el combustible que utilizaba.
- 1883 – Entre los colaboradores de Nikolaus Otto estaba Gottlieb Daimler, quien sustituyó el gas por la gasolina como combustible para el motor de cuatro tiempos. En este año se empezó la construcción de estos motores, los cuales eran tan compactos que eran ideales para vehículos ligeros, y alcanzaron regímenes de hasta 900 revoluciones por minuto.
- 1892 – En este año se patentó la máquina térmica más eficiente de la historia: el motor diésel. El ingeniero francés Rudolf Diesel desarrolló el motor que lleva su nombre de 1893 a 1897 en MAN (perteneciente al grupo Krupp). Fue hasta 1897 cuando después de varios estudios y mejoras logra construir el primer motor diésel, el cual alcanzó los 25 caballos de vapor de potencia y un rendimiento del 10%, siendo el primer motor de combustión interna en utilizar aceite vegetal como combustible (aceite de palma), siendo galardonado también por sus investigaciones y desarrollos sobre los motores utilizando aceite de cacahuete. Al año siguiente mejoró el motor, alcanzando un rendimiento del 18% lo que superó el motor Otto, siendo suficiente para

que se implementara este motor en la industria, aunque el combustible fue sustituido por petróleo por ser más barato.

- 1957 - El más reciente desarrollo en motores de combustión interna es el motor Wankel, basado en los planos hechos por Félix Wankel, cuya patente data de 1936. En febrero de 1957 se logró la construcción de este motor, pero para mayo del mismo se fabricó un motor que funcionaba durante dos horas produciendo 21 caballos de vapor.

1.2 Historia de la contaminación del aire en México

La Ciudad de México es una región que naturalmente tiene una desventaja para contrarrestar el crecimiento urbano. Con velocidades del viento muy bajas, sin ríos cercanos (causado por el desagüe del lago de Texcoco y cercanos), un área de alto riesgo sísmico y un suelo con características fangosas debido a que está asentada en lo que milenariamente fue un lago. Esta ciudad sufre de problemas ambientales muy serios que con el crecimiento poblacional y la mancha urbana han sido acrecentados. Uno de los problemas que incrementan la contaminación del aire es la escasez de áreas verdes en la ciudad. A continuación, se muestra el porcentaje de áreas verdes en la Ciudad de México hasta el año 2009 (Tabla 1), cuando fue el último estudio que determinó la superficie que ocupan éstas en la ciudad:

Tabla 1. Áreas verdes en la Ciudad de México.

Tipo de zona verde	Superficie ocupada (en Km²)	Porcentaje de superficie de la CDMX
Arbolado	78.1	12.8%
Pastos y arbustos	34.8	5.7%
Total	112.9	18.5%

Fuente: Las áreas verdes en la Ciudad de México. Las diversas escalas de una geografía urbana (Checa Artasu, 2016)

Para una ciudad de 1495 Km², 112 Km² sólo representa el 18.5% hasta hace 9 años, y la cantidad va disminuyendo.

Se han hecho distintos estudios sobre las áreas verdes en la ciudad de México, iniciando estos hasta inicios del siglo XXI cuando el Gobierno del Distrito Federal (GDF), a través de su Secretaría del Medio Ambiente (SMA), implementó diversas estrategias para conocer, normar y desarrollar las áreas verdes urbanas. El día del Medio Ambiente (5 de junio de 2003) la Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal dio a conocer los resultados del Inventario General de las Áreas Verdes del DF (Secretaría del Medio Ambiente, 2003), dando cumplimiento al artículo 88Bis 2 de la Ley Ambiental del Distrito Federal, para servir, junto con la normatividad específica en esta materia, como instrumento de gestión para el diseño y ejecución de política pública de mejoramiento, mantenimiento e incremento de las áreas verdes. No puede decirse que hubiese sido un inventario “general” de las áreas verdes porque no se incluye las que se encuentran en el suelo de conservación. El estudio tampoco es, solamente, de las “áreas verdes” porque incluye a las “áreas de valor ambiental” y a las “áreas naturales protegidas” dentro del suelo de desarrollo urbano del Distrito Federal.

De acuerdo con datos generados a partir de dicho registro, la cobertura vegetal del Distrito Federal es de 20,4% del suelo urbano, cabe aclarar que este dato incluye tanto áreas verdes públicas como privadas, lo que equivale a 15,1 metros cuadrados por habitante. Aquí cabría aclarar que las áreas privadas, aunque contribuyen al mejoramiento ambiental, no son accesibles a la ciudadanía por su propio estatus. Considerando que la contribución de las áreas verdes al mejoramiento de las condiciones ambientales en la ciudad está directamente relacionada con las formas vegetales que las componen, de este porcentaje, tan sólo el 55,9 son zonas arboladas, el resto son zonas de pasto y/o arbustos; por tanto, si se consideran solamente las zonas arboladas –a las que se atañe mayores beneficios ambientales-, el número promedio por habitante baja drásticamente de 15,1 a 8,4 metros cuadrados de área verde por habitante (Meza Aguilar & Moncada Maya, 2010).

Existe un trabajo hecho por Daniel Rivas Torres llamado: “Estudio sobre los espacios verdes en el Distrito Federal” integrado en su tesis llamada: “Planeación, espacios verdes y sustentabilidad en el distrito federal” (Torres Rivas, 2005).

Este estudio específico se obtuvo a partir de los resultados del “Inventario General de Áreas Verdes del Distrito Federal”. Dicho estudio permitió elaborar el cuadro (Tabla 2) en donde se cuantifican los tipos de espacios verdes que surgen de la última reforma de la Ley Ambiental del Distrito Federal (LADF). Las definiciones que da la LADF sobre áreas verdes, áreas de valor ambiental y áreas naturales protegidas son las siguientes:

Área verde: Toda superficie cubierta de vegetación, natural o inducida que se localice en el Distrito Federal;

Áreas de valor ambiental: Las áreas verdes en donde los ambientes originales han sido modificados por las actividades antropogénicas y que requieren ser restauradas o preservadas, en función de que aún mantienen ciertas características biofísicas y escénicas, las cuales les permiten contribuir a mantener la calidad ambiental de la Ciudad;

Áreas naturales protegidas: Los espacios físicos naturales en donde los ambientes originales no han sido suficientemente alterados por actividades antropogénicas, o que quieren ser preservadas y restauradas, por su estructura y función para la recarga del acuífero y la preservación de la biodiversidad. Son áreas que por sus características ecogeográficas, contenido de especies, bienes y servicios ambientales y culturales que proporcionan a la población, hacen imprescindible su preservación (Asamblea legislativa del Distrito Federal, 2000).

Tabla 2. Tipos de áreas verdes según la LADF.

TIPO DE ESPACIO VERDE	Superficie (Ha)	POR CIENTO
Áreas verdes	7,554	58.9
Áreas de Valor Ambiental	805	6.3
Áreas Naturales Protegidas	4.469	34.8
TOTAL	12,828	100

Fuente: Planeación, espacios verdes y sustentabilidad en el Distrito Federal (Torres Rivas, 2005)

Por otra parte, en el inventario se propone un nuevo concepto que son las áreas verdes con programa de manejo, que en sus registros equivalen tan sólo a 5,3 metros cuadrados de área verde por habitante y que comprende únicamente las áreas verdes públicas que reciben mantenimiento; con ello, la distribución de área verde per cápita disminuye aún más (Meza Aguilar & Moncada Maya, 2010).

Gracias a esto se puede concluir que casi el 59 por ciento de los espacios verdes en la Ciudad de México son áreas verdes (jardineras, camellones, jardines públicos y privados, árboles en las banquetas, barrancas, colinas y zonas de recarga del acuífero), el 6% son áreas de valor ambiental (bosques urbanos de Chapultepec y Aragón) y casi el 35% son áreas naturales protegidas (Parque Ecológico de la Ciudad de México, Bosques de las Lomas, Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco, etc.)

Tabla 3. Especificaciones de las áreas verdes de la Ciudad de México por delegación.

Delegación	Área (Km ²) (*)	Total de áreas verdes por Km ²	% sup. De áreas verdes por delegación	% zonas arboladas	% zonas de pasto y arbustos	Áreas verdes por habitante en m ²	Zonas arboladas por habitante en m ²	% de Población (2000)
Álvaro Obregón	61.13	24.59	40.2	64.5	35.5	35.8	23.1	8.1
Azcapotzalco	33.51	4.28	12.8	54.7	45.3	9.7	5.3	5.2
Benito Juárez	26.5	1.19	4.5	99.0	1.0	3.3	3.3	4.2
Coyoacán	54.01	20.13	37.3	76.7	23.3	31.4	2.1	7.5
Cuajimalpa	15.08	5.55	36.8	46.4	53.6	36.7	17.0	1.8
Cuauhtémoc	32.67	1.81	5.5	74.0	26.0	3.5	2.6	6.1
G. A. Madero	87.29	14.26	16.3	47.3	52.7	11.5	5.4	14.5
Iztacalco	23.12	2.25	9.7	54.7	45.3	5.5	3.0	4.8
Iztapalapa	113.37	18.32	16.2	27.1	72.9	10.3	2.8	20.8
M. Contreras	14.08	1.82	16.2	27.1	72.9	10.3	2.8	20.8
Miguel Hidalgo	47.69	8.89	18.6	57.3	42.7	25.2	5.7	2.6
Tláhuac	19.17	2.27	11.8	4.4	95.6	7.5	0.3	3.6
V. Carranza	33.87	5.23	15.4	23.5	76.5	11.3	2.7	5.4
Xochimilco	22.90	5.89	25.7	60.8	39.2	15.9	9.7	4.3
Tlalpan	48.29	11.80	24.4	88.9	11.1	20.3	18.0	6.8
Total	632.66	128.28	20.4	55.9	44.1	15.1	8.4	100

*Estas cifras de área no incluyen las delegaciones con suelo de conservación, salvo los casos de G.A. Madero e Iztapalapa, cuyo porcentaje de SC es poco significativo

Fuente: Las áreas verdes de la Ciudad de México. Un reto actual (Meza Aguilar & Moncada Maya, 2010)

Así, el inventario muestra que superficialmente las delegaciones con mayor cantidad de áreas verdes, en orden de importancia son: Álvaro Obregón, Coyoacán, Iztapalapa, Gustavo A. Madero y Tlalpan que suman el 70% del total de espacios con vegetación, y representan en conjunto el 58% de la población total de la ciudad de México y casi todas presentan altos porcentajes de zonas arboladas a excepción de Iztapalapa, que además de ser una delegación con un alto índice de densidad urbana (comprende el 20% de la población del D. F. en el 18% del total del suelo urbano), sólo incorpora el 27% de zonas arboladas, lo que disminuye considerablemente su influencia en el mejoramiento de las condiciones atmosféricas en su territorio e incide de forma negativa en la calidad de vida de sus habitantes.

Estos datos se pueden ver gráficamente en el mapa de la Figura 2.

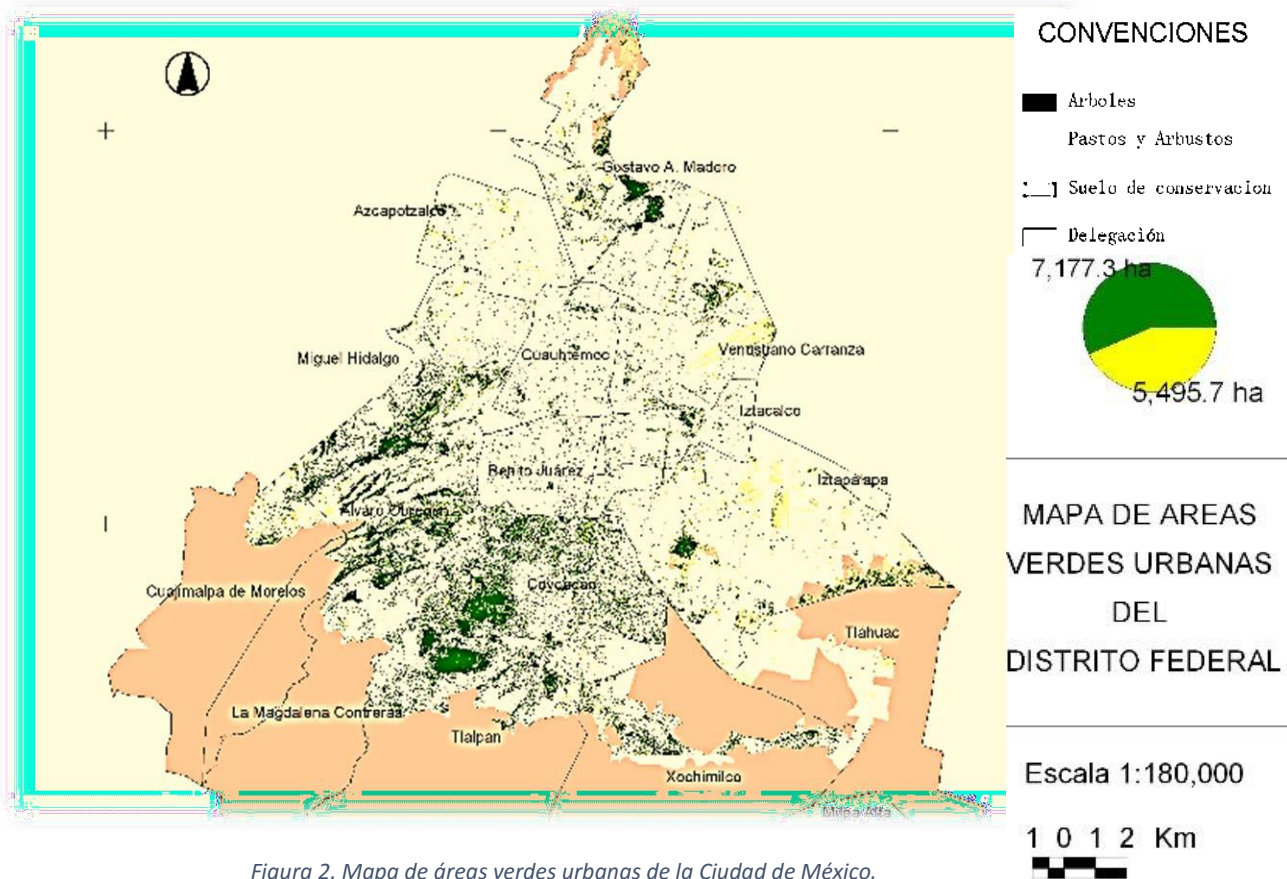


Figura 2. Mapa de áreas verdes urbanas de la Ciudad de México.

Fuente: Planeación, espacios verdes y sustentabilidad en el Distrito Federal (Torres Rivas, 2005)

La Organización de las Naciones Unidas (ONU) recomienda a los países que las ciudades deben tener por lo menos 16 metros cuadrados de áreas verdes por persona. La Organización Mundial de la Salud (OMS), recomendando al menos nueve (Fundación mi parque, 2012). Sin embargo, en la Ciudad de México, se tienen en promedio 5.3 metros cuadrados (Orozco Segovia, 2014), además de que la distribución espacial

de las áreas verdes arboladas se concentra en la zona suroccidental de la ciudad (donde se alberga tan sólo el 32.6% de la población), mientras las porciones centro, norte y oriental (donde se encuentra el 67.4% de la población). Se toman en cuenta este tipo de áreas, ya que el aporte de servicios ambientales que brindan son las de mayor valor (Captura de CO₂, refrigeración al aire, protección a la fauna, suelo, producción de oxígeno y recreación). Las zonas norte, centro y oriental están cubiertas en cambio en su mayoría por pasto y por poca vegetación arbolada, cuyo aporte en servicios ambientales es limitado.

1.3 Historia del monitoreo de la calidad del aire en la Ciudad de México

Actualmente la calidad del aire en la Ciudad de México es monitoreada diariamente debido a la variación en la calidad del aire, lo cual es de suma importancia para la vida diaria de la población del lugar. Estas acciones han ido evolucionando, desde su visibilidad hasta su cuantificación, como se muestra a continuación (Secretaría del Medio Ambiente, 2018):

- 1940 - La visibilidad fue el primer indicador de deterioro ambiental. El Observatorio Nacional de Tacubaya identificó que la visibilidad en la década de los años 40 era de 4 a 10 km, y en los años 50 se redujo de 2 a 4 km.
- 1950 – La Dirección de Higiene Industrial de la Secretaría de Salubridad y Asistencia realizó las primeras investigaciones en la Ciudad de México donde se confirmaba la existencia de contaminación ambiental.
- 1960 - Se publicó el “Estudio del depósito de polvo por gravedad en la Ciudad de México” en el cual se describe que existían áreas en las que se depositaron hasta 70 ton/km²/mes de polvo en la época de tolvaneras.

- La organización Panamericana de la Salud instaló la “Red Panamericana de Muestreo Normalizado de la Contaminación del Aire (REDPANAIRES)” con 10 estaciones además de las cuatro existentes.
- 1967 - Se instalan las primeras 4 estaciones para el monitoreo de dióxido de azufre, partículas suspendidas, polvo sedimentable y acidez.
- 1973 - El gobierno mexicano y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) adquirieron equipos para aumentar a 22 estaciones de monitoreo e integrar la “Red Computarizada Automática de Monitoreo Atmosférico del Valle de México” o “Red Philips”.
- 1976 - Se suspende el monitoreo de la Red Philips y solo quedan en operación los equipos manuales para el muestreo de partículas suspendidas.
- 1985 - La Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE) adquiere un nuevo sistema de monitoreo atmosférico con 25 estaciones, un centro de cómputo y procesamiento, dos radares sónicos y 10 torres meteorológicas.
- 1986 - Inicia formalmente la operación de la “Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA)” con 25 estaciones automáticas para la medición de O₃, CO, SO₂, NO_x, y equipos manuales para PST y su contenido de Pb. En 10 de estas estaciones se instalaron equipos para medir temperatura ambiente, humedad relativa, dirección y velocidad del viento.
- 1987 – Inició el Programa de Precipitaciones Ácidas de la ZMVM con cuatro sitios de muestreo equipados con colectores convencionales.
- 1993 - Se amplía la cobertura de la RAMA, aumentando a 32 estaciones automáticas de monitoreo.
- 1995 - Entran en operación 10 estaciones con equipo automático para el monitoreo de Partículas Menores a 10 micrómetros (PM₁₀).
- 1998 - Se instalan en 10 estaciones de la RAMA equipo para la medición radiación UV.
- 2000 - Se integra el Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México (SIMAT), unificando a la RAMA, REDMA, REDMET, REDDA. Además de una Unidad Móvil de Monitoreo Atmosférico, un Laboratorio de

transferencia de Estándares, Laboratorio de Gravimetría y un centro de cómputo.

- 2003 - Inicia el monitoreo de Partículas Menores a 2.5 micrómetros (PM2.5) con 8 equipos automáticos y 7 con equipos manuales.
- 2007 - Se amplía la cobertura del SIMAT con tres nuevas estaciones Iztacalco (IZT), Acolman (ACO) y Chalco (CHO) al SIMAT.
- 2009 - Se instala una red para el monitoreo de hidrocarburos tóxicos y reactivos en el aire ambiente de la Zona Metropolitana del Valle de México.
- 2011 - Rediseño del SIMAT. Se eliminan 10 estaciones de monitoreo que ya no cumplían con los objetivos de calidad del aire. Se refuerzan 13 estaciones con nuevos parámetros. Inicia el monitoreo de BTEX. El Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México cumple 25 años de operación continua.
- (CUT), Santa Fe (SFE), UAM Xochimilco (UAX), Ajusco (AJU) y Hospital General de México (HGM).

1.4 Historia de las políticas ambientales en México

La contaminación ambiental en México tuvo indicios evidentes durante la década de los setentas. Durante la década de los ochenta, la atención del gobierno a la crisis ambiental fue creciente y diversa desde el punto de vista de las medidas que se llevaron a cabo (Micheli, 2000).

La historia ambiental es un enfoque de investigación que comenzó en América Latina durante los años 70 (Crónica ambiental, 2015), la cual ha llevado a construir medidas preventivas y correctivas para la preservación ambiental. A continuación, se hace un breve desglose de este enfoque:

1.4.1 México prehispánico (30 000 a. C. hasta 1521)

Las alteraciones y posibles daños medioambientales de las civilizaciones prehispánicas apenas comienzan a estudiarse.

A pesar de ello, a los grupos del centro y el sureste de México se les reconoce una actividad urbanizadora intensa que se manifestó en la construcción de acueductos para manejar los lagos en el centro, y la tala y quema de extensiones importantes de bosque y selva para el desarrollo agrícola.

En ese sentido, se ha descubierto en fechas recientes que el ocaso de sus ciudades más importantes siempre coincidió con un agotamiento de los recursos forestales.

1.4.2 La Conquista y la Colonia (1519-1821)

La conquista se caracterizó por modificar seriamente la cuenca del Valle de México. La introducción de la ganadería, y otros animales domésticos, sólo fue el inicio de un proceso de desaparición de especies mesoamericanas de plantas y animales.

Durante el periodo colonial, las transformaciones del paisaje fueron más severas por el gran proyecto de desecación de los lagos de Texcoco, Xochimilco, Chalco, Zumpango y Xaltocan, que contribuyó a la desaparición de la agricultura chinampera y a provocar estrés hídrico en la zona central del país.

1.4.3 México independiente (1821-1877)

La época independiente vivió un proceso de repoblación migratoria, sobre todo del norte del país.

Hubo intentos por descentralizar el proceso de poblamiento, a través del establecimiento de políticas públicas, que, en su momento, fueron orquestadas por los gobiernos de Santa Anna, Benito Juárez y Sebastián Lerdo de Tejada.

Entre éstas destacan las leyes de terrenos baldíos y manos muertas, que favoreció el surgimiento de la propiedad privada de empresarios agrícolas y el desmonte.

La política ambiental se instala desde 1841 con la creación del Consejo Superior de Salubridad del Departamento de México, y con la creación de un código sanitario (Pérez Calderón, 2010). En 1917 se crea la Secretaría de Seguridad Pública (SSP),

y en 1943 la Secretaría de Seguridad y Asistencia (SSA), las cuales se encargarían de la gestión ambiental, vigilando el cumplimiento de este código sanitario.

1.4.4 El Porfiriato (1877-1911)

Durante la dictadura de Porfirio Díaz, la Revolución Industrial se instaló en México. Se incrementaron las vías férreas para conectar todo el país, se construyeron fábricas y las ciudades se modernizaron como parte del surgimiento de una clase media con un poder adquisitivo cada vez mayor.

Sin embargo, como parte de este movimiento, también se establecieron las bases para regular la construcción de infraestructura hidráulica y urbana que necesitaba el país.

La intención era que el avance de la mancha urbana no terminara con las áreas verdes, a las que la ciencia apenas comenzaba a conferirles cierta importancia, al relacionarlas con beneficios para la vida ciudadana, tales como mejor calidad de aire, protección contra condiciones climáticas extremas, etcétera.

1.4.5 La Revolución y el México posrevolucionario (1910-2000)

La Revolución significó una transformación radical del modo en el que se aprovechaban los recursos naturales en México. La principal prioridad de los gobiernos que resultaron de este levantamiento social fue acelerar el proceso de industrialización y restablecer el liderazgo del país como proveedor de materias primas agrícolas, ganaderas y minerales.

Esta situación, sumada a la Reforma agraria impulsada por Lázaro Cárdenas, alteró el uso de la tierra en muchas zonas del país; situación que fue compensada con la creación de parques nacionales, sobre todo en las montañas que rodean a la cuenca de México y el fomento de áreas verdes dentro del perímetro urbano.

En 1917 se crea la secretaria de seguridad pública (SSP) y en 1943 la Secretaría de Seguridad y Asistencia (SSA), las cuales se encargarían de la gestión ambiental, vigilando el cumplimiento de este código sanitario.

Aunque pasaron todavía muchos años para que la aparición de la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental (1971), que permitió, la fundación de la Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente (SMA), antecedente de la SEMARNAT (2000), se encargara de establecer las estrategias para evitar la contaminación del agua, del aire y el agotamiento de recursos naturales (Crónica ambiental, 2015).

El 23 de marzo de 1971 se promulga la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental que tiene como finalidades fundamentales, contribuir a la protección de la salud pública y evitar la degradación de los sistemas ecológicos en detrimento de la economía nacional (Echeverría Álvarez, 1976).

De esta ley se contemplan la preservación y la atención al uso de suelos, aguas y aire, usando secretarías especializadas en la materia (Figura 3).

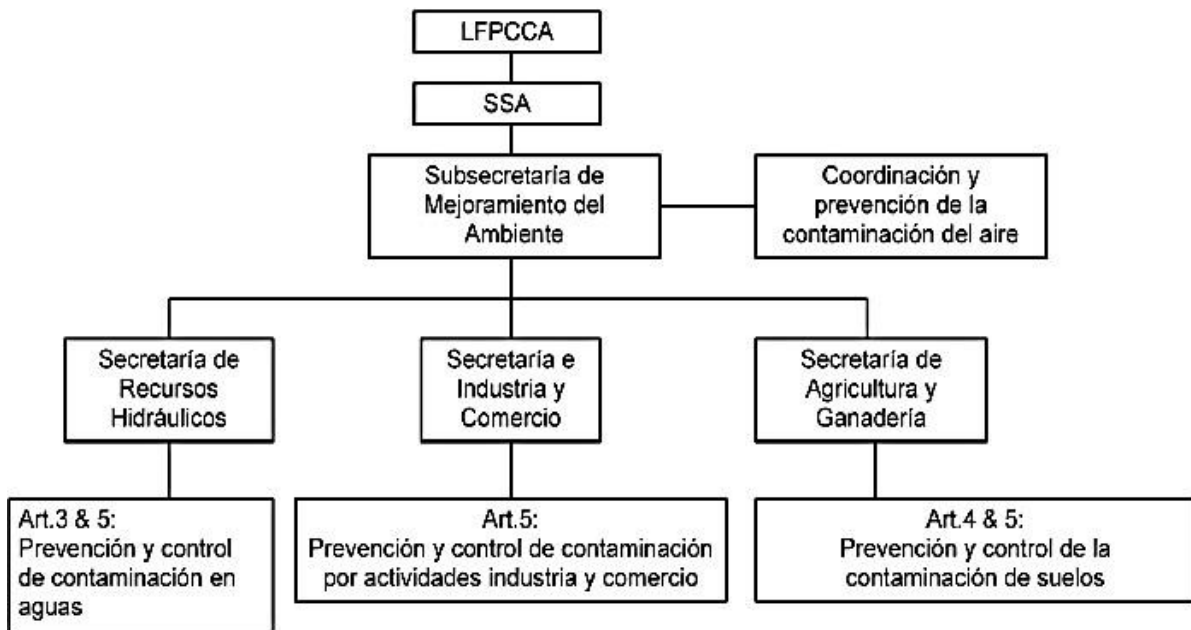


Figura 3. Leyes y secretarías de gestión ambiental.

Fuente: Estudio de la contaminación ambiental de la Ciudad de México mediante los modelos Redes Neuronales artificiales y Algoritmos Genéticos (Hurtado Torres, 2016)

En 1972, el gobierno federal creó la Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente, dependiente de la Secretaría de Salud, que fue la primera institución pública establecida para atender principalmente los problemas de contaminación urbana producida por las industrias y los vehículos.

En 1982, la política ambiental adquirió un enfoque integral, se reformó la Constitución, se crearon nuevas instituciones y se edificaron las bases jurídico-administrativas de una política de protección del medio ambiente. En ese año fue creada la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE) y los temas que eran atendidos por la Secretaría de Salud pasaron a esta nueva dependencia, a la que además le correspondió vigilar el funcionamiento de los ecosistemas naturales. En ese año también se promulgó la Ley Federal de Protección al Ambiente (Meixueiro Nájera, 2006). Esta ley, promulgada por José López Portillo tiene como objetivo la protección, mejoramiento, conservación y restauración del ambiente, así como la prevención y control de la contaminación que lo afecte (Presidencia de la República, 1982).

En 1983 se crea la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE), cuyas facultades eran preservar los recursos forestales, de la Flora y la fauna silvestre y contrarrestar los efectos nocivos de la excesiva concentración industrial. Su estructura se dio con una subsecretaría y seis direcciones generales, que pasaron a ser cuatro en 1985. El proceso de fortalecimiento de la gestión ambiental continuó con la creación de la Comisión Nacional de Ecología (CONADE), con la función de analizar y proponer prioridades en materia ecológica. Dentro de la CONADE se crea la Subsecretaría de Ecología junto con el Programa Nacional de Ecología. En 1988 se elabora la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LEEGERA), misma que hasta la fecha (con algunas modificaciones) ha sido la base de la política ambiental del país. En 1989 se creó la Comisión Nacional del Agua (CNA) como autoridad federal en materia de administración del agua, protección de

cuencas hidrológicas y vigilancia en el cumplimiento de las normas sobre descargas y tratamientos del agua (Pérez Calderón, 2010).

En 1992 se crearon dos organismos desconcentrados de la Sedesol: el Instituto Nacional de Ecología (INE) y la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (Profepa). La primera, encargada de generar normas y definir políticas; la segunda, responsable de vigilar y fiscalizar el cumplimiento de las normas y leyes (Micheli, 2000).

La entrada en vigor en enero de 1994 del Tratado de Libre Comercio de América del Norte fue un factor importante que detonó un proceso de cambio acelerado en las organizaciones mexicanas a todos los niveles, obligándolas a reformularse y con ello obligando también a que el papel que juegan sus empleados se convierta en un proceso dinámico (Pérez Campuzano & Valderrábano Almegua, 2011), Esto debido a que el comercio entre los países del TLCAN creció 128% desde que el acuerdo entró en vigor, lo que significó pasar de 297.000 millones de dólares en 1994 a 676.00 millones de dólares en 2000. Las tres naciones comercian trilateralmente 1.800 millones de dólares cada día (Domiwebs, 2018). El TLCAN incluye de manera paralela el Acuerdo de Cooperación Ambiental de América del Norte (ACAAN). Este acuerdo tiene como objetivos los siguientes (Organización de los Estados Americanos, 2018):

- a) alentar la protección y el mejoramiento del medio ambiente en territorio de las Partes, para el bienestar de las generaciones presentes y futuras;
- b) promover el desarrollo sustentable a partir de la cooperación y el apoyo mutuo en políticas ambientales y económicas;
- c) incrementar la cooperación entre las Partes encaminada a conservar, proteger y mejorar aún más el medio ambiente, incluidas la flora y la fauna silvestres;
- d) apoyar las metas y los objetivos ambientales del TLC;
- e) evitar la creación de distorsiones o de nuevas barreras en el comercio;

- f) fortalecer la cooperación para elaborar y mejorar las leyes, reglamentos, procedimientos, políticas, y prácticas ambientales;
- g) mejorar la observancia y la aplicación de las leyes y reglamentos ambientales;
- h) promover la transparencia y la participación de la sociedad en la elaboración de leyes, reglamentos y políticas ambientales;
 - 1. promover medidas ambientales efectivas y económicamente eficientes;
 - 2. promover políticas y prácticas para prevenir la contaminación.

En 1995 se elaboró un programa para mejorar la calidad del aire de la zona metropolitana de México (PROAIRE), orientado a disminuir los niveles de contaminación y a proteger la salud de los pobladores, que se añadió a otros como el “Hoy no circula” (restricción vehicular) y el de verificación de los automóviles. Se privilegió la circulación de los vehículos de baja emisión, se modernizó el transporte público y se fomentó el uso de bicicletas y bici taxis (Pemex , 2010).

La asamblea legislativa del Distrito Federal decreta el 13 de enero del 2000 la ley ambiental de protección a la Tierra en el Distrito Federal, la cual busca definir los principios mediante los cuales se habrá de formular, conducir y evaluar la política ambiental en el Distrito Federal, así como los instrumentos y procedimientos para su protección, vigilancia y aplicación, cuya última reforma fue publicada en la gaceta oficial del Distrito Federal el 18 de noviembre de 2015 (Asamblea legislativa del Distrito Federal, 2000).

En el 2000 se cambió la Ley de la Administración Pública Federal, dando origen a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), y al Programa Nacional del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Con la creación de estas secretarías para protección del medio ambiente y los recursos, se adoptó un nuevo diseño institucional y una nueva estructura en la que actualmente la política ambiental es una política de Estado. La SEMARNAT cuenta con tres subsecretarías:

la primera destinada a la Planeación y Política Ambiental, la segunda es de Gestión para la Protección Ambiental, y la tercera de Fomento y Normatividad Ambiental. Además, la secretaría cuenta con el apoyo de seis órganos desconcentrados: delegaciones federales, coordinaciones regionales, la Comisión Nacional del Agua (CNA), el Instituto Nacional de Ecología (INE), la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (Profepa) y la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), y dos órganos descentralizados: el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) y la Comisión Nacional Forestal (Conafor). En la actualidad, la SEMARNAT sigue siendo la encargada de la gestión ambiental y se ha creado el Programa Sectorial del Medio Ambiente (2007-2012). También existen varias leyes federales para protección del medio ambiente, como la Ley de Desarrollo Forestal Sustentable (2003), la Ley de Aguas Nacionales (2004), la Ley General de Vida Silvestre (2005) y la Ley de Bioseguridad (2005) (Pérez Calderón, 2010).

En la Figura 4 se hace un recuento de la gestión ambiental en México desde sus inicios hasta la actualidad.

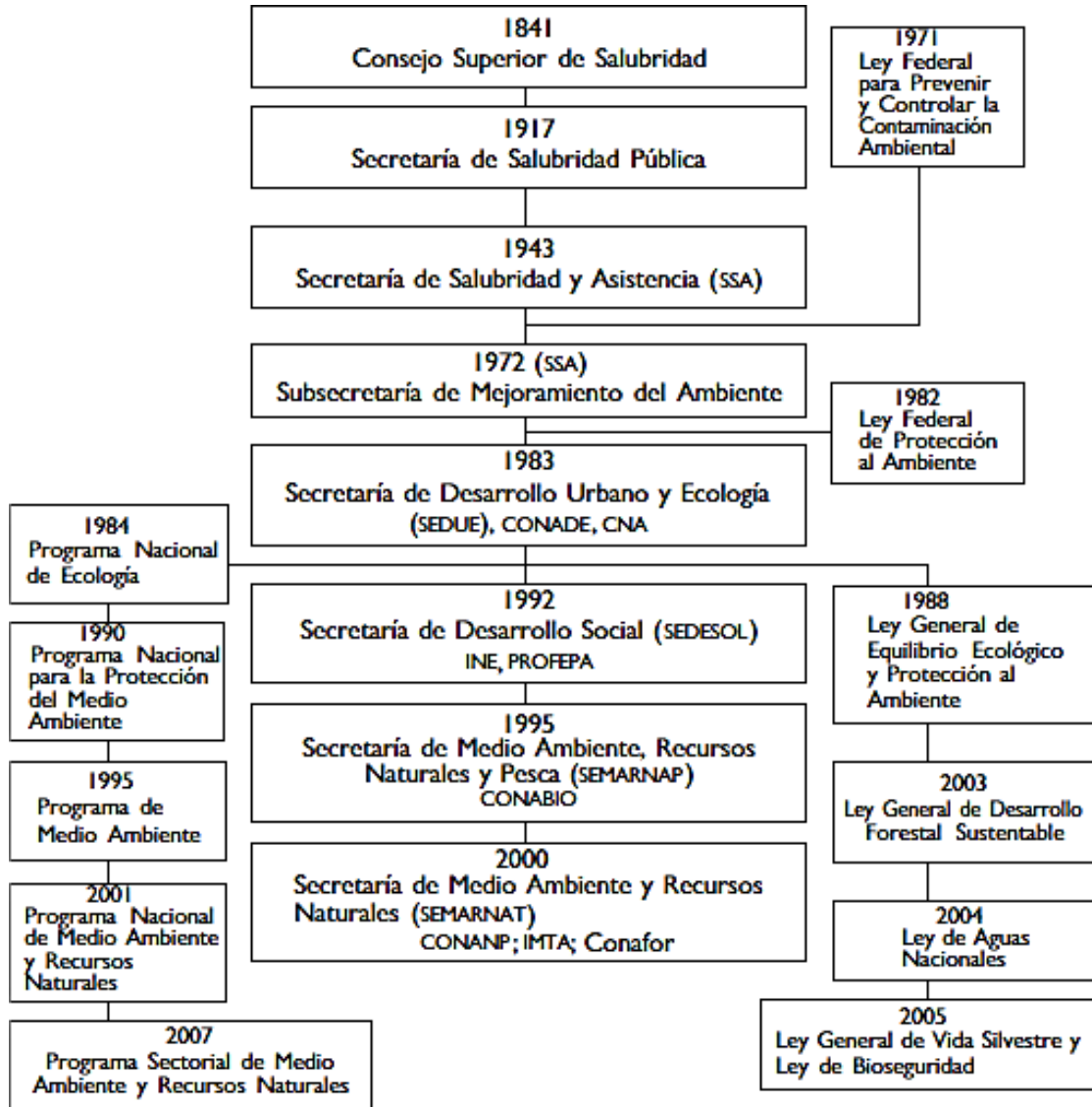


Figura 4. Recuento de la gestión ambiental desde sus inicios hasta la actualidad.

Fuente: La política ambiental en México: Gestión e instrumentos económicos (Pérez Calderón, 2010)

Dentro del contexto internacional, México también es integrante del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). El PNUMA actúa como catalizador, promotor, educador y facilitador para promover el uso racional y el desarrollo sostenible del medio ambiente mundial (Organización de las Naciones Unidas, 18).

La labor del PNUMA abarca evaluar las condiciones y las tendencias ambientales a nivel mundial, regional y nacional; elaborar instrumentos ambientales internacionales y nacionales; y fortalecer las instituciones para la gestión racional del medio ambiente. El PNUMA tiene una larga historia de contribuir al desarrollo y la aplicación del derecho del medio ambiente a través de su labor normativa o mediante la facilitación de plataformas intergubernamentales para la elaboración de acuerdos principios y directrices multilaterales sobre el medio ambiente, que tienen por objeto hacer frente a los problemas ambientales mundiales.

El Cuarto Programa de Montevideo de Desarrollo y Examen Periódico del Derecho Ambiental, aprobado por los Estados Miembros en 2009, forma una estrategia amplia para la comunidad jurídica internacional y el PNUMA en la formulación de actividades en la esfera del derecho ambiental para el decenio hasta 2020. Tras el Primer Congreso Mundial de Justicia, Gobernanza y Derecho para la Sostenibilidad Ambiental, celebrado en 2012, los Estados Miembros exhortaron al PNUMA a que dirigiese el sistema de las Naciones Unidas y prestase apoyo a los gobiernos nacionales en la elaboración y aplicación del estado de derecho del medio ambiente

En líneas generales, los reconocimientos que incorporan las diversas cláusulas de las constituciones de los países de la región de América Latina y el Caribe, (Brusco, 2004), incluyen:

- El reconocimiento del derecho de la ciudadanía a un medio ambiente de calidad, adecuado, sano, equilibrado;
- La vinculación entre medio ambiente y desarrollo, partiendo del concepto de desarrollo sostenible del Informe Brundtland;
- El deber consiguiente del Estado de proteger el derecho al medio ambiente;
- El deber de la ciudadanía de proteger el medio ambiente, con las consiguientes restricciones al ejercicio de derechos individuales y la tendencia a reconocer la función ambiental de la propiedad como una derivación de la función social general del derecho de propiedad;
- Garantías procesales para la efectividad de los derechos ambientales;

- La regulación específica de algunos componentes del medio ambiente como el patrimonio genético, la fauna y flora silvestres;
- La relación entre el patrimonio natural y el patrimonio cultural y los derechos de las comunidades originarias;
- La participación social en la gestión ambiental, a través del derecho a la información y la educación ambiental,
- La responsabilidad por daño ambiental, lo cual constituye una novedad en el derecho comparado, con excepción del precedente instituido en la constitución española de 1976.

1.5 Biocombustibles

La producción de biocombustibles se popularizó a partir de que fueron considerados como una estrategia energética más sustentables que la quema de combustibles fósiles, la cual genera emisiones de gases de efecto invernadero y contribuye al cambio climático (Valdés Rodríguez & Palacios-Wassenaar, 2016).

El uso de fibras y aceites vegetales con fines biocombustibles se remonta a más de 1.8 millones de años, cuando el *Homo erectus* usaba leña y fibras secas para encender hogueras (Adler, 2013). Sin embargo, se puede decir que los orígenes de la comercialización de los biocombustibles datan de tiempo después, ya que, se ha documentado la domesticación de higuera (*Ricinus communis L.*) y uso de su aceite como carburante en el antiguo Egipto unos 4000 años a.C.; así como, del olivo (*Olea europaea*) y ajonjolí (*Sesamum indicum*) cuyos aceites se usaban para los mismos fines en medio oriente y mediterráneo 2500 años a.C (DiLaura, 2008), aunque no sólo se utilizaban para generar luz, ya que, también eran utilizados estas plantas con fines medicinales debido a sus propiedades.

1.5.1 Principales biocombustibles

1.5.1.1 Bioetanol

Ya en el año 1908, Henry Ford, cuando diseñó su primer automóvil, promovía el empleo de etanol como combustible, fabricado a partir de fuentes renovables. De hecho, en la década de 1920 se incorporó en Estados Unidos un 25% de etanol a la gasolina, pero los altos precios del maíz, combinados con dificultades en el almacenamiento y transporte, hicieron fracasar el proyecto. En la década de 1930 Henry Ford y varios expertos unieron fuerzas y construyeron una planta de fermentación para fabricar etanol a partir de maíz para combustible de motores, al que llamaron "gasohol". Pero en la década de 1940, los bajos precios del petróleo llevaron al cierre de la planta, y el gasohol fue reemplazado por la gasolina otra vez (Lede).

El alcohol etílico o etanol puede obtenerse químicamente a partir del etileno, un producto de la refinación del petróleo y del etano, un constituyente del gas natural; o bioquímicamente a través de azúcares fermentables, derivados del azúcar, almidón, celulosa y polisacáridos; este último es etanol de origen biológico o bioetanol. Se utiliza el etanol hidratado en automóviles flex-fuel y el etanol anhidro en mezclas del 5% al 85% en volumen con gasolina, en motores convencionales. En mezclas E5 y E10 substituye a oxigenantes y antidetonantes como el MTBE y el TAME (Cerutti, 2011).

Países como Brasil y Estados Unidos son los principales productores de este biocombustible, el resto proviene de Asia, de países como China. Según la Asociación de combustibles renovables (Renewable Fuels Association , s.f.) en el año 2017 la producción de Bioetanol en Estados Unidos fue de 15.8 billones de galones, mientras que la de Brasil fue de 6.89 billones de galones (Portal Caña, 2018).

Actualmente, la Unión Europea es uno de los más grandes mercados de biocombustibles en el mundo, y en cuanto al biodiesel es el mayor mercado, pues en 2008 consumió 7 694 097 toneladas de petróleo equivalente (TPE) de biocombustibles, cifra conformada por 1 166 243 TPE (2 325 ML) de etanol, 5 774 207 TPE (7 326 ML) de biodiesel y 753 617 TPE de otros biocombustibles (Álvarez Maciel, 2009), como se muestra en la Tabla 4

Tabla 4. Producción y consumo de materias primas en países europeos.

País	Producción	Consumo	Materias Primas
Alemania	394	584	Trigo, centeno, cebada, remolacha y carbón (sintético)
Austria	0	44	Trigo, maíz y remolacha
Bulgaria	*	132	*
Dinamarca	*	12	*
Eslovaquia	30	26	*
Eslovenia	*	1.6	*
España	348	225	Vino, centeno, trigo y remolacha
Francia	539	544	Remolacha, trigo, vino, residuos de uva vinífera y melazas
Hungría	30	18	Granos
Irlanda	0	4.7	*
Italia	60	0	Vino, remolacha, maíz y frutas (manzana)
Letonia	18	3.5	*
Lituania	20	23	*
Luxemburgo	*	1.7	*
Países Bajos	14	17	*
Polonia	155	170	Papa, trigo, maíz, cebada, centeno y melazas
Reino Unido	20	156	Trigo, remolacha, colza
República Checa	33	0.36	*
Suecia	70	362	Vino
Suiza	2.5	6.9**	Pulpa de papel
Ucrania	100**	*	Colza, trigo y

Fuente: Biofuels Platform, Production of bioethanol in Switzerland Eurobserv'er; Le Baromètre des Biocarburants (Rothkopf, 2007)

1.5.1.2 Biodiésel

Rudolf Diesel hizo funcionar su primer prototipo de motor diesel, cien años atrás, con aceite de maní. Diesel vislumbraba que los motores diesel operarían a base de una variedad de aceites vegetales. Pero cuando el combustible diesel proveniente del petróleo irrumpió en el mercado, se convirtió en el combustible elegido, ya que era barato, razonablemente eficiente y fácilmente disponible. A mediados de la década de 1970, la escasez de combustible en los Estados Unidos estimuló el interés en diversificar sus fuentes y con ello el interés en desarrollar biodiésel como una alternativa al obtenido a partir de petróleo.

Actualmente, entre los principales problemas que enfrenta la humanidad, destacan el deterioro ambiental y la crisis energética. Una de las principales causas de la contaminación del aire es la quema de combustibles fósiles, ya que la combustión

de estos produce grandes cantidades de gases de efecto invernadero (dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno), óxidos de azufre, hidrocarburos no quemados y cenizas finas. Además, este recurso natural es una fuente energética no renovable y, a últimas fechas, se ha informado que las reservas mundiales tarde o temprano se agotarán. Se estima que el petróleo se acabará en 41 años, el gas natural en 63 años y el carbón en 218 (Medina Ramírez, Chávez Vela, & Jáuregui Rincón, 2012).

El biodiesel es un éster que puede producirse a partir de aceites vegetales, como el de soja, colza, girasol, y otros, y también a partir de grasas animales. Su elaboración se basa en la reacción de transesterificación de los glicéridos, utilizando catalizadores. Desde el punto de vista químico, los aceites vegetales son triglicéridos, es decir, tienen tres cadenas de ácidos grasos unidas a un alcohol, el glicerol. En la reacción de transesterificación, una molécula de triglicérido reacciona con tres moléculas de metanol o etanol para dar tres moléculas de monoésteres y una de glicerol. Estos ésteres metílicos o etílicos (biodiesel) se mezclan con el diesel convencional (o gasoil) o se utilizan como combustible puro en cualquier motor diesel. El glicerol desplazado se recupera como un subproducto de la reacción (Lede).

La producción de biodiesel se incrementó de 1,000 MI en el año 2000 a 11,000 MI en 2007. Alrededor de la mitad de la producción global de biodiesel proviene de Europa, mientras que el resto se divide entre Estados Unidos, Brasil, Argentina, Malasia e Indonesia, entre otros. Las materias primas más utilizadas son aceites de colza, soya, girasol y palma aceitera.

En México hay dos experiencias de producción de biodiesel a escala industrial:

- Biocombustibles Internacionales SA de CV, en Nuevo León, tuvo durante varios años una planta de 50,000 l/d a partir de sebo de res y aceites vegetales usados. El biodiesel era utilizado por PEMEX Refinación como aditivo para la lubricidad del diésel de ultra bajo azufre. Desafortunadamente la planta fue cerrada en meses recientes debido a que PEMEX Refinación decidió dejar de comprar biodiesel como

lubricante. Esto habla de la dificultad de armar proyectos a largo plazo en el país cuando no se tiene un marco institucional sólido o coherente entre las distintas instancias gubernamentales.

- Chiapas Bioenergético tiene dos plantas de biodiesel a partir de aceite de palma africana y de aceites vegetales usados (Tuxtla Gutiérrez con 2,000 l/d y Puerto Chiapas con 28,000 l/d), y propone establecer 20,000 ha de *Jatropha curcas* para el año 2012. Ese biodiesel se utiliza en mezclas B5 y B20 en 40 vehículos de transporte público de Tuxtla Gutiérrez y Tapachula (Cerutti, 2011).

1.5.1.3 Biogás

El biogás es una mezcla conformada principalmente por CH₄ (metano) y CO₂ (dióxido de Carbono), que se genera a partir de la descomposición de la materia orgánica, por un conjunto de microorganismos en ausencia de oxígeno (biodigestión).

La materia orgánica son desechos de agricultura, desechos de comida, estiércol, desechos municipales, etcétera. Se considera materia orgánica son materiales biodegradables que son fermentados por bacterias.

En el año 1776 el científico italiano Volta descubrió que el principal compuesto del gas natural era metano. Sólo 100 años después se descubrió el origen microbiológico de la formación de metano. En el año 1887 el científico Hoppe-Seyler pudo comprobar la formación de metano a partir de acetato. La misma observación hizo Omelianski en 1886 con guano de vacas. En 1888 Gayon obtuvo gas al mezclar guano y agua, a una temperatura de 35°C. Soehngen descubrió en 1906 la formación de metano a partir de hidrógeno y dióxido de carbono. A su vez, describió los primeros dos organismos que participaban en la formación de metano. En 1920 Imhoff puso en práctica el primer biodigestor en Alemania (Molina, 2008).

El metano, como bien sabemos, es uno de los componentes que contribuyen a la degradación de la capa de ozono, pero gracias a las tecnologías actuales para

obtener biocombustibles -en este caso biogás-, podemos transformar el metano proveniente de la materia orgánica en descomposición, en energía limpia, además con los residuos de éstas, se pueden fabricar abonos y fertilizantes naturales (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, 2017).

Actualmente el biogás es utilizado en todo el mundo, especialmente en aquellos lugares en donde no hay reservas considerables de combustibles fósiles.

Las mayores aplicaciones del biogás se han dado en China, India y Europa. China desarrolló un programa que inició en los años setenta con un resultado de más de 7 millones de digestores, aunque sufrió de varias fallas. Una iniciativa posterior con mejor tecnología e infraestructura logró la instalación y operación exitosa de 5 millones de biodigestores domésticos hasta mediados de los años noventa. En India se instalaron 2.8 millones de biodigestores y se identificó un potencial para instalar 12 millones más.

La SENER considera que existe un potencial de 3,000 MW para generación de energía eléctrica con biogás proveniente de la recuperación y aprovechamiento del metano a partir de residuos animales, residuos sólidos urbanos (RSU) y tratamiento de aguas negras. En 2010 existían en México, 721 biodigestores, de los cuales 367 en operación y 354 en construcción. De éstos, 563 biodigestores son financiados bajo el esquema del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), 154 con apoyo del Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO) y 4 biodigestores a través de la Iniciativa Metano a Mercados. El 8% de las granjas porcícolas cuentan con biodigestores, de los cuales el 20% dispone de motogeneradores con 70% en funcionamiento. La potencia total instalada es de 5.7 MWel. Para el aprovechamiento de biogás obtenido a partir de rellenos sanitarios, una de las experiencias más importantes en México es la de Bioenergía de Nuevo León, la primera a nivel nacional. El sistema está compuesto de 7 motogeneradores de 1 MW cada uno. La planta fue diseñada de manera modular para permitir futuras adiciones de capacidad (Red Mexicana de Bioenergía, 2018). El metro de la ciudad de Monterrey (Nuevo León), es el primer tren ligero que funciona con biogás

producido con la basura que genera el municipio (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, 2017).

1.6 Proyectos relacionados

Investigaciones relacionadas al desempeño de motores de combustión interna, muestran resultados relacionados. Se ha visto de forma positiva el uso del biodiésel como un biocombustible con diversas ventajas. Los niveles de toxicidad son menores en el biodiésel que los presentados por el diésel y su desempeño tiene una diferencia mínima (Paredes, Martínez, Vázquez, & Romero, 2018).

Comparado con el diésel fósil, el biodiésel no produce sulfuros, no produce dióxido de carbono neto, menos monóxido de carbono, menos partículas de materia, humo y emisiones de hidrocarburos (Atabani, y otros, 2012).

En el estudio “Study of combustion performance of biodiesel for potential application in motosport” (M. Wood, Kirwan, Maggs, Meredith, & R. Coles, 2015) se hace una comparación del desempeño de un motor de combustión interna a base de diésel, el cual es probado utilizando mezclas B50 de biodiésel a partir de grasa animal, B100 de biodiésel a partir de aceite de soya y de diésel puro EN 590, el cuál es un estándar en el Reino Unido. El torque del motor fue medido por un dinamómetro acoplado al motor.

Los resultados del estudio mostraron que el torque del motor aumentaba a altas velocidades utilizando biocombustibles, lo cual es bueno para evitar el efecto “Golpe de diésel”, además de generar un aumento en el torque. Los resultados entre los diferentes tipos de biodiésel variaron poco.

En el estudio “Combustion characteristics, performance and exhaust emissions of a diesel engine fueled with a waste cooking oil biodiesel mixture”, se hicieron pruebas con una mezcla de combustibles tipo biodiésel producidos de dos distintos tipos de aceite para cocinar de desecho, en un motor monocilíndrico diésel de aspirado natural, de inyección directa, 4 tiempos, bajo 4 diferentes cargas en el motor (BMEP

0.48-0.36-0.24-0.12 MPa) y 2000 rpm de velocidad en el motor. A pesar del inicio más temprano de la inyección, los resultados detallados de combustión y rendimiento del motor mostraron que el retardo de encendido con la adición de biodiésel disminuyó para todas las cargas del motor con los tiempos de combustión más tempranos debidos a la mayor cantidad de cetano de biodiésel (Can, Combustion characteristics, performance and exhaust emissions of a diesel engine fueled with a waste cooking oil biodiesel mixture, 2014).

El experimento realizado por El-Seesy llamado “Performance, combustion, and emission characteristics of a diesel engine fueled by biodiesel-diesel mixtures with multi-walled carbon nanotubes additives” se llevó a cabo con parámetros similares a los utilizados en este artículo, con la diferencia de la utilización de biodiésel derivado de jojoba y nanotubos de carbono de paredes múltiples. Para medir el desempeño del motor, de manera similar se hizo un precalentamiento del motor y una variación de la velocidad del motor para tener una mejor quema del combustible. Además de realizar la medición parámetros similares (El-Seesy, Abdel-Rahman, Bady, & S., 2017).

El estudio que se realizó reveló una disminución de monóxido de carbono y un incremento considerable de óxidos de nitrógeno. Por otra parte, el estudio “Combustion and exhaust emissions of canola biodiesel blends in a single cylinder DI diesel engine” realizado con biodiésel de canola con proporciones de: 5%, 10%, 15% y 20% (del volumen total de la mezcla) y diésel común, bajo diferentes cargas en un motor monocilíndrico, mostró entre varios resultados, que la ignición era retardada, aunque con un retraso muy pequeño, con el biodiésel de canola. También se mostró que las emisiones de NOx disminuyeron, así como el humo generado y el CO2 en todas las cargas (Can, Oztürk, & Serdar Yücesu, Combustion and exhaust emissions of canola biodiesel blends in a single cylinder DI diesel engine, 2017).

En el artículo “Ignition delay, combustion and emission characteristics of Diesel engine fueled with rapeseed biodiesel” por Aldhaidhawi se hace un análisis del biodiésel producido con aceite de colza, el cual está ganando aceptación en el

mercado de biocombustibles debido a los beneficios ambientales y económicos que brinda. Algunas publicaciones señalan que el biodiésel de colza tiene casi el mismo desempeño que el diésel fósil, reduce el retraso de ignición, además de que reduce considerablemente las emisiones contaminantes comparado con biodiésel de otras materias primas (Aldhaidhawi, Chiriac, & Badescu, 2017).

Capítulo II

Marco Teórico

2.1 Energía

La energía se entiende como todo aquello que puede originar o dar existencia a un trabajo. Es la capacidad que posee la materia para producir calor, trabajo en forma de movimiento, luz, crecimiento biológico, etc. Por materia se entiende cualquier cuerpo sólido, líquido y gaseoso existente (Secretaría de energía - República de Argentina , 2003), es decir, la energía es la capacidad que tienen los cuerpos para producir cambios en ellos mismos o en otros.

2.1.1 Formas de energía

La energía se puede manifestar en diferentes formas encontradas en dos categorías principales: la energía cinética y la energía potencial.

La física designa, con el nombre de energía cinética, la capacidad de realizar trabajo, asociada al movimiento de los cuerpos. Mientras que la manifestación de energía cinética suma de las aportaciones microscópicas de las partículas que forman una sustancia, se denomina energía térmica, que está muy relacionada con la temperatura de la sustancia. En determinadas circunstancias, los cuerpos tienen capacidad de realizar trabajo (recordamos que ésta era la definición de energía), aunque no se encuentren en movimiento, e independientemente de la cantidad de energía térmica que poseen, a causa de la agitación de sus moléculas. Se dice entonces que el cuerpo o la partícula en cuestión tiene energía potencial acumulada (Iniasta Burgos & García Fernández, 2002)

Paralelamente se puede decir que, si en un sistema físico aislado desaparece una determinada cantidad de trabajo, o una parte equivalente de este trabajo, formando parte de diversas formas de la energía, la misma cantidad de trabajo debe aparecer bajo otras formas energéticas según la definición de ley de conservación de la energía (Energía nuclear, 2016), la cual afirma que la cantidad total de energía en cualquier sistema aislado (sin interacción con ningún otro sistema) permanece

invariable con el tiempo, aunque dicha energía puede transformarse en otra forma de energía (EcuRed, 2016).

Partiendo de estas dos categorías se pueden encontrar las demás formas de energía, como se muestra en la Figura 5:

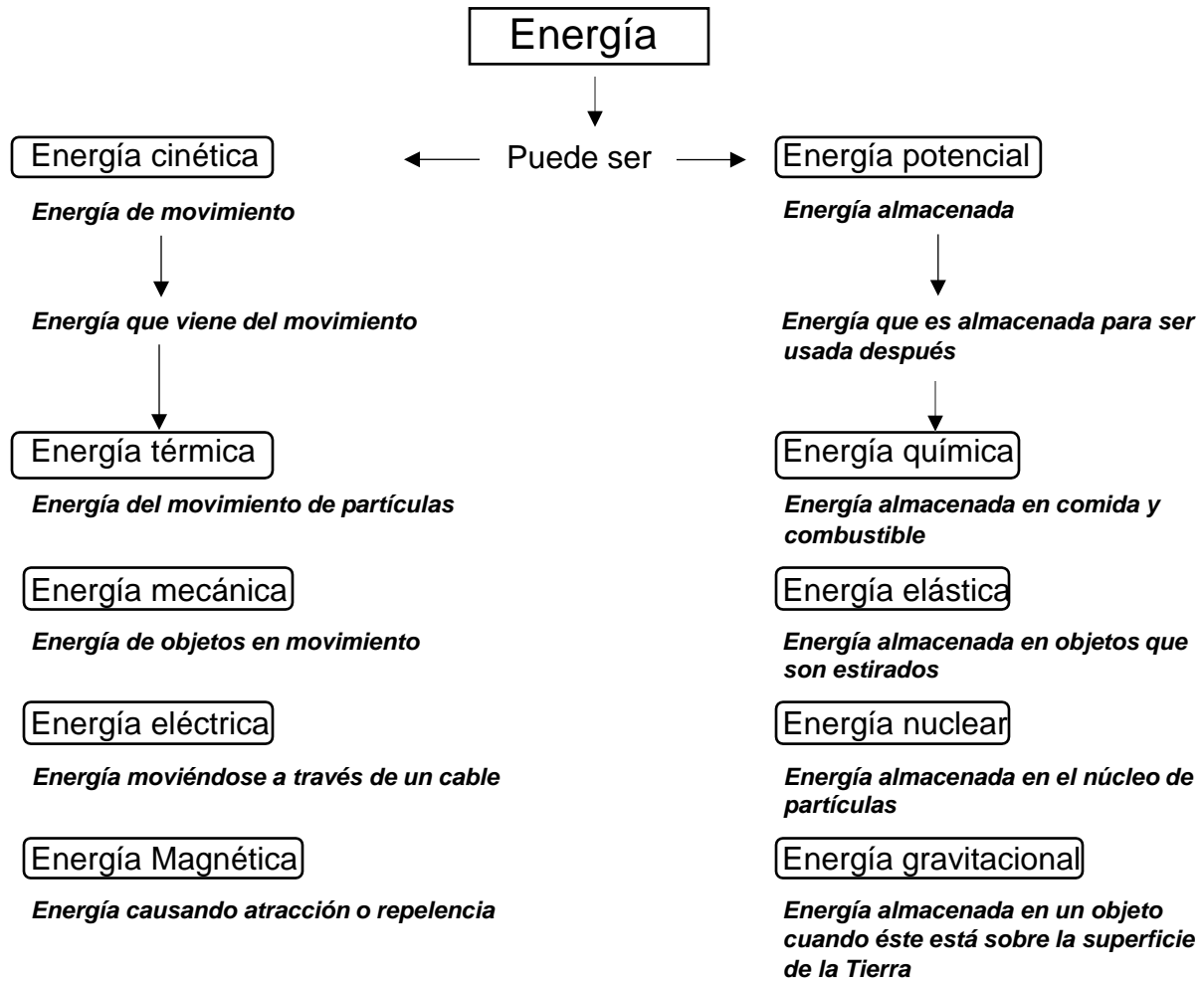


Figura 5. Tipos de Energía.

Fuente: elaboración propia

Partiendo de esto, se puede definir a la energía de la siguiente manera (Figura 6):

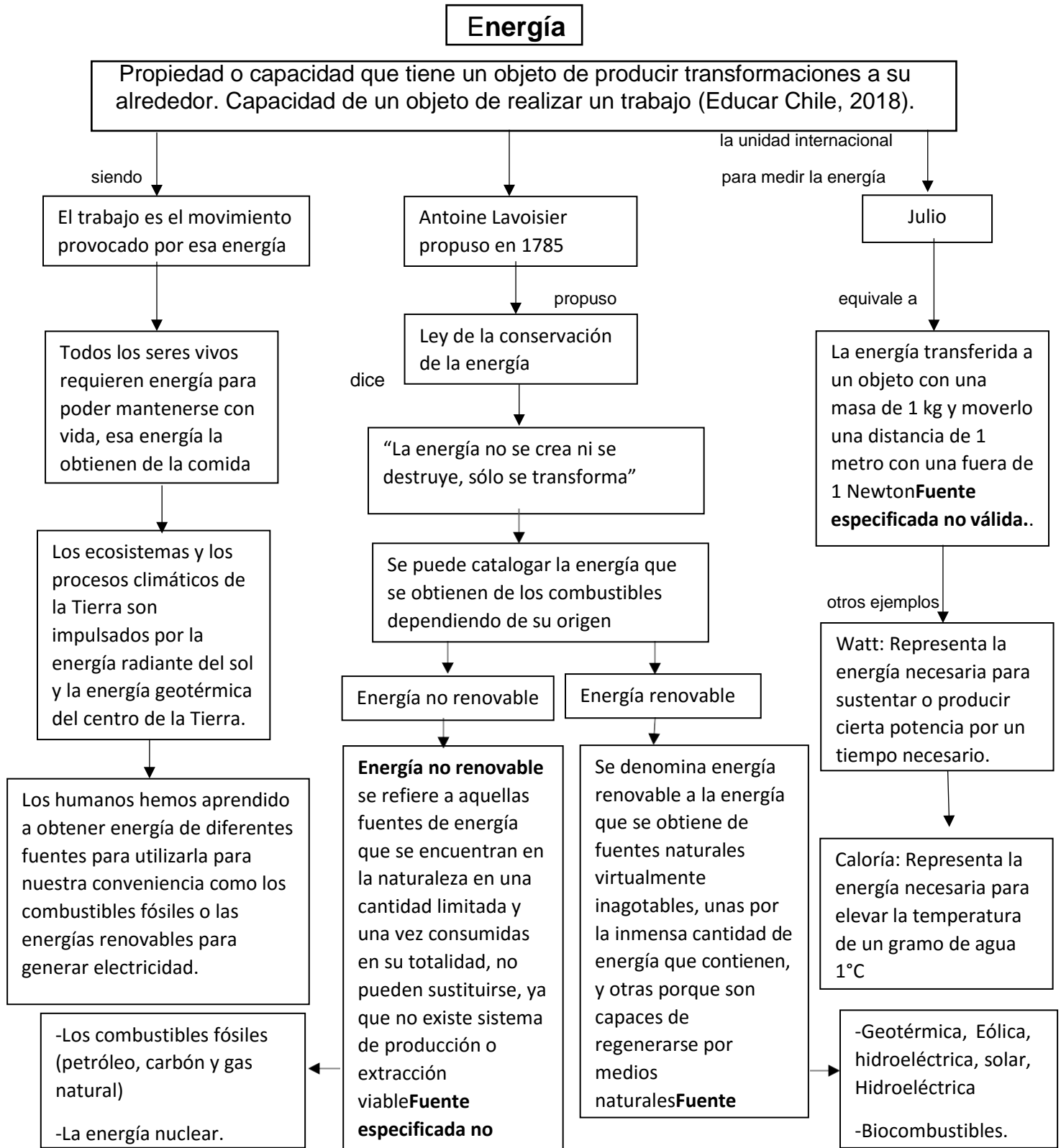


Figura 6. Mapa conceptual de la energía.

Fuente: elaboración propia

2.2 Motores de combustión interna

Dentro de la clasificación de energía, la energía mecánica es fundamental para que los cuerpos tengan movimiento, esto siendo originado en muchos casos por energía térmica.

El motor es una máquina destinada a producir movimiento a expensas de otra fuente de energía. El motor de combustión interna es una máquina térmica en la que la parte de energía liberada al quemar combustible en el interior del cilindro se transforma en trabajo (Real Academia Española, 2019).

La gran mayoría de la maquinaria de transporte es movida por motores de combustión interna. Actualmente, la construcción de esos motores para vehículos, lanchas, aeroplanos, trenes, máquinas pesadas, excavadoras y barcos, lo mismo que para pequeñas plantas de energía, constituye una de las más grandes industrias en el mundo (Pawlak, 1984). Una parte pequeña de la maquinaria es movida por otro tipo de motores, tales como, los motores de combustión externa o motores eléctricos.

La energía térmica con la que funcionan los motores de combustión interna proviene de la quema de combustibles, por ejemplo, los hidrocarburos. Los motores de combustión interna consumen el 80% de la energía derivada de los hidrocarburos a nivel mundial (Rafael & Andrés, 2014).

2.2.1 Clasificación de los motores de combustión interna

Por lo general se distinguen tres tipos principales de motores de combustión interna:

1. Motores de cuatro tiempos
2. Motores de dos tiempos
3. Turbinas de gas

A su vez en los motores de dos y cuatro tiempos se clasifica:

1. Motores encendidos por chispa generada por bujía (también conocidos como motores ECH).

2. Motores encendidos por compresión o por autoencendido del combustible (conocidos como motores EC).

Estas son las clasificaciones más significativas, sin embargo, los motores de combustión interna se clasifican de acuerdo con la Tabla 5.

Tabla 5. Tipos de clasificación de los motores de combustión interna.

Aplicación	En automóviles, camiones, locomotoras, avión ligero, marino, sistema de potencia portátil y generación de energía.
Diseño básico del motor	Motores reciprocantes (subdivididos por el arreglo de los cilindros: en línea, en V, etc.).
Ciclos de funcionamiento	Ciclo de cuatro tiempos: aspirado naturalmente (admitiendo el aire atmosférico), sobrealimentado (admite previamente comprimida la mezcla fresca) y turbo cargado (admitiendo la mezcla fresca comprimida en un compresor conducido por una turbina de extractor), ciclo de dos tiempos: sobrealimentado y turbo cargado.
Válvula o diseño del puerto y localización	Válvulas en la cabeza, válvulas debajo de la cabeza, válvulas rotatorias, etc.
Combustible	Gasolina, diésel, gas natural, gas líquido, alcoholes (metanol, etanol), hidrógeno, combustible dual.
Método de preparación de la mezcla	Carburación, inyección del combustible en los puertos, inyección del combustible en el cilindro del motor.
Método de encendido	Encendido por chispa, encendido por compresión.
Diseño de la cámara de combustión	Cámara abierta, cámara dividida
Método de control de carga	La estrangulación de la mezcla del flujo del combustible y de aire junto permanece sin cambio, control del flujo del combustible solamente, una combinación de éstos.
Método de enfriamiento	Enfriados por agua, enfriados por aire, sin enfriar (por convección y radiación naturales)

Fuente: Caracterización de un motor de combustión interna con dos tipos de combustible (Rafael & Andrés, 2014)

2.2.2 Aspectos termodinámicos de los motores de combustión interna

2.2.2.1 Calor

La concepción del calor surge de esa particular sensación de calor o frialdad que se experimenta de inmediato al tocar un cuerpo. Esta sensación directa, sin embargo, no proporciona ninguna medida científica cuantitativa del estado de un cuerpo con respecto al calor; sólo produce resultados cualitativos, que varían de acuerdo a las circunstancias externas. Para cuantitativo utilizamos el cambio de volumen que se produce en todos los cuerpos cuando se calienta bajo presión constante, para esto se admite la medida exacta. La calefacción produce en la mayoría de las sustancias un aumento de volumen, y por lo tanto podemos decir si un cuerpo se calienta o se vuelve más frío, no solo por el sentido del tacto, pero también por una observación puramente mecánica con mayor grado de precisión. También podemos decir con precisión cuando un cuerpo asume un antiguo estado de calor.

Si dos cuerpos, uno de los cuales se siente más cálido que el otro, se reúnen (por ejemplo, un pedazo de metal y agua fría), se encuentra invariablemente que el más caliente, el cuerpo se enfría y el frío se calienta hasta cierto punto y entonces todo cambio cesa. Los dos cuerpos entonces están en equilibrio térmico. La experiencia demuestra que tal estado de equilibrio finalmente se establece, no solo cuando dos, pero también cuando cualquier número de cuerpos calentados de manera diferente se ponen en contacto mutuo. De esto surge la siguiente proposición importante: si un cuerpo, A, está en equilibrio térmico con los otros dos cuerpos, B y C, entonces B y C están en equilibrio térmico entre sí. Si colocamos A, B, y C juntos para que cada uno toque a los otros dos, entonces, de acuerdo con nuestra suposición, habrá equilibrio en los puntos de contacto AB y AC, y, por lo tanto, también en el contactar a BC. Si no fuera así, el equilibrio térmico general no sería posible, lo cual es contrario a la experiencia (Planck, 1917).

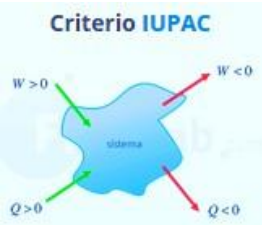

2.2.2.2 Trabajo

El trabajo es la transferencia de energía relacionada con una fuerza que actúa

a lo largo de una distancia. Entonces se puede entender que el trabajo es energía mecánica en transición, la cual no puede ser almacenada en un campo o un sistema. Cuando un campo se somete a un trabajo, el éste solo permanece el resultado del trabajo capaz de manifestarse en otra forma de energía

La **primera ley de la termodinámica** determina que la energía interna de un sistema aumenta cuando se le transfiere *calor* o se realiza un *trabajo* sobre él. Su expresión depende del criterio de signos para sistemas termodinámicos elegido (Fernández, 2019), Tabla 6.

Tabla 6. La Primera Ley de la Termodinámica.

 <p>Criterio IUPAC</p>	 <p>Criterio tradicional</p>
Se considera positivo aquello que aumenta la energía interna del sistema, o que es lo mismo, el trabajo recibido o el calor absorbido	Se considera positivo el calor absorbido y el trabajo que realiza el sistema sobre el entorno.
$\Delta U = Q + W$	$\Delta U = Q - W$

Fuente: Primera Ley de la Termodinámica (Fernández, 2019)

Donde:

- ΔU : Incremento de energía interna del sistema ($\Delta U = U_{\text{final}} - U_{\text{inicial}}$). Su unidad de medida en el Sistema Internacional es el julio (J).
- Q: Calor intercambiado por el sistema con el entorno. Su unidad de medida en el Sistema Internacional es el julio (J), aunque también se suele usar la caloría (cal). 1 cal = 4.184 J
- W: Trabajo intercambiado por el sistema con el entorno. Su unidad de medida en el Sistema Internacional es el julio (J).

2.2.2.3 Ciclos termodinámicos

Un ciclo termodinámico es un proceso o conjunto de procesos en el que un sistema evoluciona volviendo al estado inicial.

Para todo ciclo se cumple que:

$$\Delta U = 0; \quad Q=W$$

Siendo un sistema una porción del espacio o cantidad de materia seleccionada para que un proceso se lleve a cabo. Todo lo que sea ajeno al sistema se le conoce como alrededores y el límite real o hipotético entre el sistema con sus alrededores es llamado fronteras o límites del sistema (Figura 7).

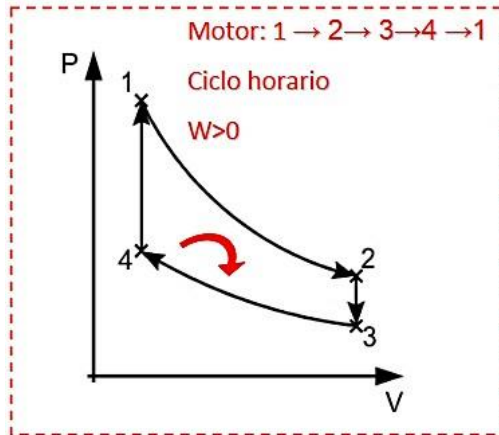


Figura 7. Ciclo termodinámico convencional.

Los ciclos termodinámicos permiten:

1. La conversión en trabajo por interacción con dos focos térmicos: máquinas o motores térmicos. Estos son descritos en sentido horario.
2. Pasar calor de un foco frío a otro con mayor temperatura: refrigeradores o bombas de calor. Estos se describen en sentido antihorario (Figura 8).

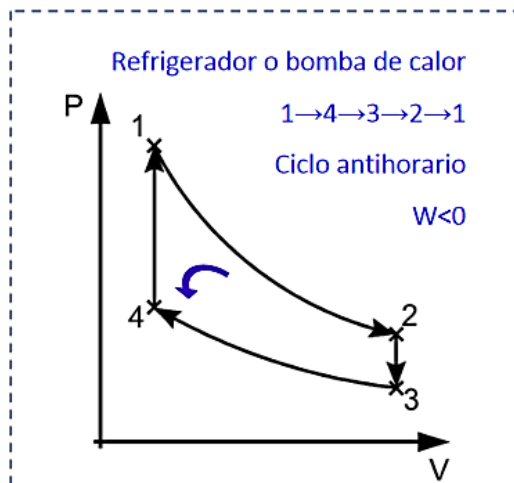


Figura 8. Ciclo Termodinámico inverso.

Los procesos termodinámicos se clasifican en:

- **Procesos adiabáticos** ($Q = 0$): Aquellos en los que el sistema no intercambia calor. Por ejemplo, al usar un ambientador o desodorante en aerosol se produce un proceso casi adiabático. En estos casos $\Delta U = W$ (o bien $\Delta U = -W$), según criterio de signos elegido), es decir, el trabajo es función de estado. Cuando comprimimos o expandimos un gas en un proceso en el que no se intercambia calor, variamos su energía interna y, por tanto, su temperatura.
- **Procesos isocóricos** ($V = \text{cte}$): Aquellos en los que el volumen permanece constante. Por ejemplo, una botella de champán metida en un recipiente con hielo. Al no haber variación de volumen, el trabajo del sistema es cero: $W_{\text{sistema}} = 0$. Siguiendo el primer principio, nos queda $\Delta U = Q$, es decir, el calor es una función de estado. Esto significa que la única forma de variar la energía interna en un proceso en el que no se varía el volumen es a través del intercambio de calor.
- **Procesos isobáricos** ($p = \text{cte}$): Aquellos en los que la presión permanece constante. Por ejemplo, las reacciones químicas. El valor del trabajo se calcula a partir de la expresión $W_{\text{sistema}} = -p \cdot \Delta V$, o bien: $W_{\text{sistema}} = p \cdot \Delta V$, según criterio IUPAC o tradicional respectivamente
- **Procesos isotérmicos** ($T = \text{cte}$): Aquellos en los que la temperatura permanece constante. Por ejemplo, un recipiente con gas y un pistón en la zona superior, sumergido en un depósito calorífico a temperatura constante. Al ser la temperatura constante, la variación de energía interna es cero $\Delta U = 0$.

2.2.3 Ciclos de funcionamiento de un motor de combustión interna

Los ciclos utilizados en el funcionamiento de los motores de combustión interna son el ciclo Otto y el ciclo Diésel.

2.2.3.1 Ciclo Otto

El ciclo Otto describe el fluido de trabajo en motores de combustión interna de 4 tiempos, llamado así por su inventor Nikolaus August Otto en el siglo XIX.

El ciclo mecánico de un motor Otto de cuatro tiempos se compone por cuatro carreras del pistón y dos vueltas del cigüeñal, así como una del árbol de levas.

En el ciclo de Otto, el fluido de trabajo es una mezcla de aire y gasolina que experimenta una serie de transformaciones (seis etapas, aunque el trabajo realizado en dos de ellas se cancela) en el interior de un cilindro provisto de un pistón.

- 0-1 - **Admisión**: la válvula de admisión se abre, permitiendo la entrada en el cilindro de la mezcla de aire y gasolina. Al finalizar esta primera etapa, la válvula de admisión se cierra. El pistón se desplaza hasta el denominado punto muerto inferior (PMI).
- 1-2 - **Compresión adiabática**: la mezcla de aire y gasolina se comprime sin intercambiar calor con el exterior. La transformación es por tanto isentrópica. La posición que alcanza el pistón se denomina punto muerto superior (PMS). El trabajo realizado por la mezcla en esta etapa es negativo, ya que ésta se comprime.
- 2-3 - **Explosión**: la bujía se activa, salta una chispa y la mezcla se enciende. Durante esta transformación la presión aumenta a volumen constante.
- 3-4 - **Expansión adiabática**: la mezcla se expande adiabáticamente. Durante este proceso, la energía química liberada durante la combustión se transforma en energía mecánica, ya que el trabajo durante esta transformación es positivo.
- 4-1 - **Enfriamiento isocórico**: durante esta etapa la presión disminuye y la mezcla se enfría liberándose calor al exterior.
- 1-0 - **Escape**: la válvula de escape se abre, expulsando al exterior los productos de la combustión. Al finalizar esta etapa el proceso vuelve a comenzar (Martín Blas & Gómez, 2019)

El trabajo total realizado durante el ciclo es positivo (ya que éste se recorre en sentido horario). El trabajo realizado por el sistema durante las etapas 01 y 10 es igual en valor absoluto, pero de signo contrario, por lo que no contribuyen al trabajo total.

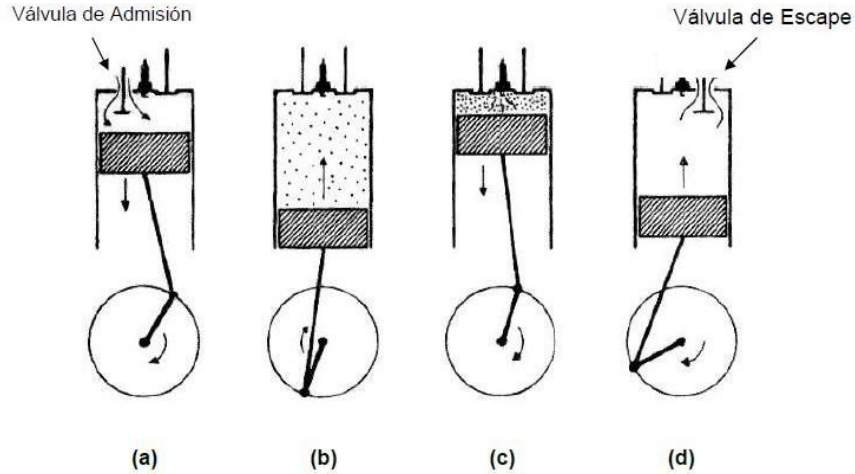


Figura 9. Tiempo de un Ciclo Otto: a) Admisión, b) Compresión, c) Expansión, d) Escape.

El movimiento del pistón se transmite a la biela y de ésta al cigüeñal. Posteriormente este movimiento se transmite a las ruedas (Martín Blas & Gómez, 2019).

En la práctica, el ciclo Otto no tiene transformaciones adiabáticas ni las transformaciones isocóricas se dan a volumen constante.

A continuación, se muestran los diagramas presión – volumen y temperatura – entropía (Figura 10).

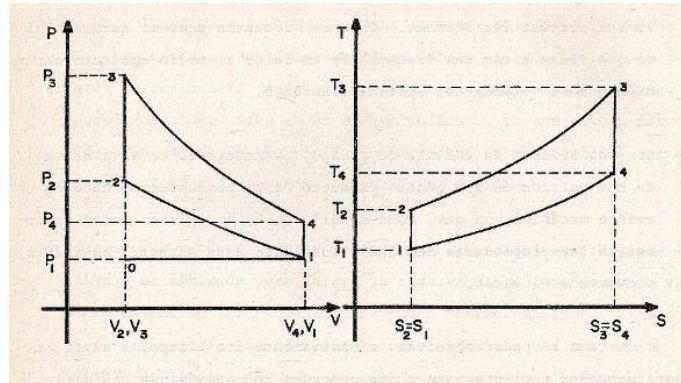


Figura 10. presión (P) – volumen (V) y temperatura (T) – entropía (S).

Fuente: Ciclo Otto (de cuatro tiempos) (Bárceñas, 2019)

2.2.3.2 Ciclo Diésel

El motor diésel tiene como base de funcionamiento el ciclo Otto, la diferencia está en que el combustible en motores de esta clase se inyecta cuando se ha realizado la compresión del aire.

El proceso es, a comparación del motor de encendido por chispa (también llamado motor Otto) en el cual se inyecta una mezcla de combustible y aire, en el motor diésel sólo se inyecta aire, lo que produce que en el segundo tiempo éste se comprima y se caliente, cuando el pistón llega al punto muerto superior (PMS), entonces el diésel es inyectado. En el tercer tiempo, el diésel se enciende es encendido debido a la presión elevada que del aire. El cuarto tiempo es igual al del motor Otto. El combustible inyectado es encendido debido a la alta relación de compresión de la carga de aire.

Este tipo de motor puede ser utilizado con diferentes tipos de combustibles, siendo históricamente el aceite de palma el primero en serlo. Estos combustibles se caracterizan por su alta eficiencia térmica y las ventajas económicas para las aplicaciones que tienen.

Para obtener una combustión limpia, así como para no emplear una gran cantidad de aire, todo el proceso se realiza en milisegundos. Según el proyecto de Rudolph Diesel, el motor diesel presenta un sistema de inyección de combustible en el que la razón de inyección se retarda y se controla para obtener una presión constante durante el proceso de combustión (Rafael & Andrés, 2014).

2.2.4 Combustibles

Se le denomina así a cualquier sustancia usada para producir energía calorífica a través de una reacción química o nuclear. La energía se produce por la conversión de la masa combustible a calor (PEMEX, 2018).

Los combustibles pueden ser sólidos, líquidos y gases, ya sea en su estado natural o en forma preparada. Dentro de los combustibles sólidos se encuentran los carbones, lignitos, coques, madera y residuos combustibles, subproducto de algún proceso de fabricación. Los combustibles líquidos contienen al petróleo y sus

destilados y a los no derivados del petróleo. Dentro de los gases tenemos a los naturales, que salen de la tierra y a los fabricados, que son productos obtenidos del carbón, principalmente. Los elementos básicos de un combustible son carbono e hidrógeno. El azufre es también un elemento constitutivo, pero no se considera como combustible, sino como cuerpo indeseable (Buelna Quijada, 1995).

2.2.4.1 Clasificación de los combustibles

De acuerdo con la condición de ingreso en el motor, en lo que se relaciona con la volatilidad, es posible clasificar los combustibles para motores en *combustibles* propiamente dichos y *carburantes*. Se designa con el primer término a los que alimentan los motores de compresión-inyección, y carburantes a los combustibles líquidos que se vaporizan con aire antes de entrar en el cilindro, caso típico de las naftas, los alcoholes y el benzol (Martínez de Vedia, 1989).

Dependiendo del estado físico de los combustibles, estos pueden ser líquidos, sólidos o gaseosos, además de que, si se considera la fuente procedencia, los combustibles también se pueden clasificar en hidrocarburos de petróleo, benzol, alcoholes y gases varios.

La clasificación de los combustibles se puede observar en la figura 11:

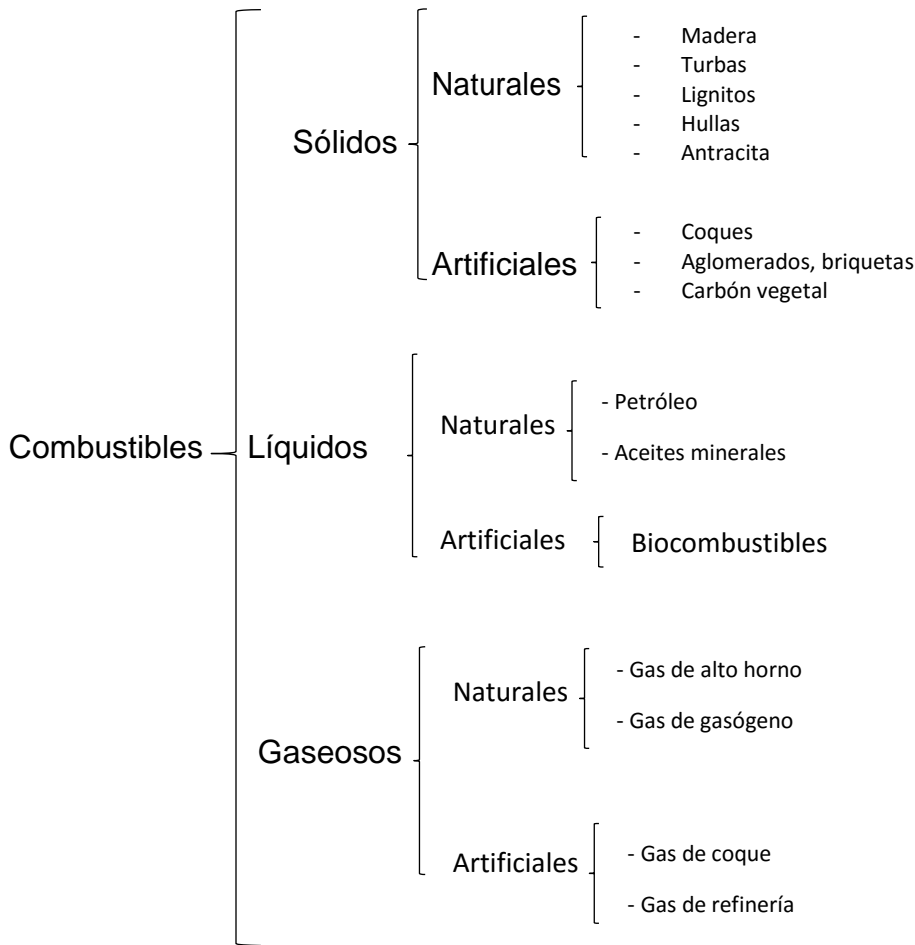


Figura 11. Cuadro sinóptico de la clasificación de los combustibles.

Las características que deben tener los combustibles utilizados en los motores de combustión interna de cuatro tiempos varían dependiendo del ciclo que tenga dicho motor. En los motores de ciclo Otto, la combustión se inicia mediante el salto de una chispa eléctrica proveniente de una bujía. Los combustibles de estos motores deben tener capacidad antidetonante, o sea, que no se enciendan antes de recibir la chispa fenómeno conocido como autoencendido. Los combustibles más usados son las naftas y gases (GNC).

Los combustibles que se utilizan deben tener una velocidad de autoignición adecuada al régimen de operación de cada motor. De acuerdo a su tipo, se los clasifica en veloces, medios y lentos, que corresponden al gas oil, Diesel oil, bunker y fuel oil, en ese orden. Las primeras aplicaciones de los motores Diesel fueron en motores marinos y ferroviarios. Estos motores son de bajas revoluciones, e

inicialmente no requirieron gran desarrollo cualitativo de combustibles, ya que usaban subproductos de la destilación directa del petróleo crudo. Pero al avanzar el diseño de los motores Diesel, con mayor compresión y revoluciones elevadas, y al extenderse su utilización en el agro, en el transporte (camiones y ómnibus) y en el parque automotor liviano (automóviles), se originó la necesidad de contar con nuevos combustibles más refinados (Instituto Argentino de Energía, 2019).

2.2.4.2 Biocombustibles

Se entiende como biocombustible a aquellos combustibles que son generados a partir de biomasa. El término biomasa, en el sentido amplio, se refiere a cualquier tipo de materia orgánica que haya tenido su origen inmediato en el proceso biológico de organismos recientemente vivos, como plantas, o sus desechos metabólicos (el estiércol); el concepto de biomasa comprende productos tanto de origen vegetal como de origen animal (Salinas Callejas & Gasca Quesada, 2009).

En la siguiente tabla se muestran los diferentes tipos de biocombustibles:

Tabla 7. Tipos de Biocombustibles.

Líquidos	Sólidos	Gaseosos
<ul style="list-style-type: none">• Paja• Leña• Astillas• Briquetas• Carbón vegetal	<ul style="list-style-type: none">• Alcoholes• Biohidrocarburos• Aceites vegetales y ésteres derivados• Aceites de pirólisis	<ul style="list-style-type: none">• Gas de gasógeno• Biogás• Hidrógeno

Fuente: Los biocombustibles (Lede)

Existen distintos tipos de clasificaciones, aunque la que más se ha difundido no es por su composición química, sino por el tipo de materia orgánica de la que provienen. Entonces, se pueden clasificar como biocombustibles de primera y segunda generación. Los primeros se producen a partir de aceites o azúcares comestibles que provienen de plantas tales como el girasol, la jatrofa, maíz, caña

de azúcar o la soya. La obtención de éstos depende de su origen: si la planta de la que se origina es rica en azúcares, se opta por un proceso de fermentación para generar alcoholes. Ejemplo de esto es la generación de etanol a partir de la caña de azúcar. Por su parte, para aquellas plantas que son ricas en aceites o grasas, se recurre a una reacción química llamada transesterificación, la cual, a partir de la combinación de dichos aceites o grasas con un alcohol, genera ésteres grasos, como el biodiésel.

Los combustibles de segunda generación se obtienen a partir de materias primas que no se pueden aprovechar para el consumo humano, por ejemplo, los desechos forestales, agrícolas e incluso desechos de actividades humanas (como el aceite reciclado de cocina). Estos desechos para ser aprovechables deben tener un alto contenido en celulosa y lignina, los cuales son los principales componentes de las paredes celulares de las plantas.

Los combustibles de tercera generación son provenientes de organismos que son capaces de producir su propio alimento, por ejemplo, las algas marinas que se cultivan en reactores fotoquímicos o en piletones al aire libre. Después, se secan estos organismos para poder extraer el aceite de sus células y después por algún método antes mencionado producir biocombustible. En el siguiente mapa se explican las primeras tres generaciones de biocombustibles (Figura 12).

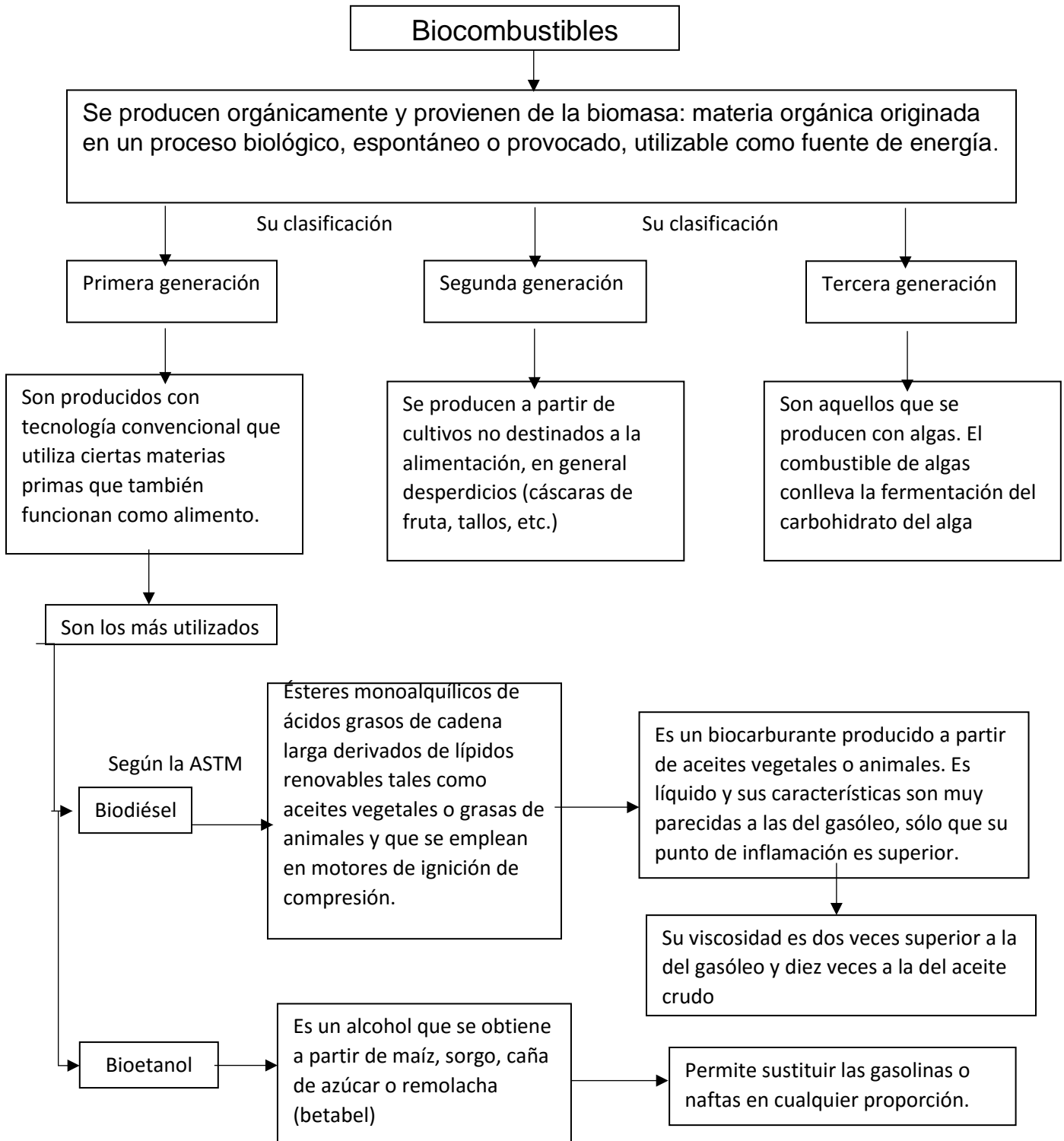


figura 12. Biocombustibles

Fuente: Elaboración propia

Los combustibles de cuarta generación se producen a partir de organismos que son modificados genéticamente, lo que permiten que capten más dióxido de carbono del ambiente, por lo que disminuyen los gases de efecto invernadero de una manera bastante efectiva. Así se ha alterado por procedimientos de ingeniería genética árboles como el eucalipto para que almacenen hasta tres veces más CO₂ que los normales, y provean celulosa en mayores proporciones, lo cual se traduce en un incremento de biocombustible generado (Ramos, Díaz, & Villar, 2016).

2.2.4.3 Ventajas y desventajas de los biocombustibles

Ningún combustible es completamente positivo ni negativo, todos ofrecen ventajas y desventajas que se deben tomar en cuenta para poder hacer un uso óptimo de éstos. Se mencionan a continuación éstas:

Ventajas:

- **Costo:** La tecnología ha ido evolucionando, cuando ya se encuentre lista de manera general, el precio de los biocombustibles será menos que el de los combustibles fósiles.
- **Material disponible:** Debido a que los combustibles fósiles provienen de una fuente no renovable, se tienen recursos limitados, mientras que los biocombustibles se pueden generar de distintas fuentes.
- **Seguridad:** Esto, relacionado al material disponible, ayudaría a los países a no depender de combustibles extranjeros, lo cual, brinda una estabilidad económica, y de la misma manera evitar conflictos políticos y sociales.
- **Estimulación económica:** Debido a la amplia gama de materias primas y al tipo de procesos que se utilizan para la obtención de los biocombustibles, se generarían más empleos en distintos sectores sociales.
- **Menor emisión de contaminantes:** Cuando son utilizados, se producen menos emisiones de contaminantes como el dióxido de carbono y el dióxido de azufre.

Desventajas:

- Cantidad de energía: En general los biocombustibles tienen menor cantidad de energía que los combustibles comunes, por lo que se necesita mayor volumen de éstos para producir la misma energía que los hidrocarburos convencionales.
- Contaminación en la producción: Estudios han demostrado que la combustión de los biocombustibles emite menor cantidad de contaminantes a la atmósfera, pero su producción si tiende a contaminar.
- Precio de los alimentos: Al utilizar bio-cultivos, la demanda de alimentos incrementaría, lo que aumentaría el precio de éstos.
- Uso de agua: El proceso para obtener los biocombustibles necesita altas cantidades de agua, por lo que representa una gran desventaja.

Dentro de los biocombustibles líquidos se encuentran el alcohol carburante, también conocido como bioetanol y el biodiésel, son los más utilizados en el sector automotriz, los cuales pueden ser utilizados solos o mezclados con gasolina o diésel convencional respectivamente en motores de combustión interna. Las ventajas y desventajas que tienen estos son:

Tabla 8. Ventajas y desventajas de los diferentes biocombustibles.

Biocombustible	Ventajas	Desventajas
Bioetanol	<ul style="list-style-type: none"> - Alto Octanaje. - Mayor calor de combustión. - Menor calor de vaporización. - Fomento al comercio agrícola. - Aprovechamiento de materias primas y recursos renovables. 	<ul style="list-style-type: none"> - Producción más costosa que la de la gasolina. - La mezcla de éste con la gasolina contribuye a la formación de smog y ozono. - Tendencia a que se formen dos fases líquidas en presencia de agua. - Es altamente corrosivo.

Biodiésel	<ul style="list-style-type: none">- Como no contiene azufre, no se producen óxidos durante su combustión.- La emisión de material particulado se reduce a comparación del diésel convencional.- Tiene mayor viscosidad que el diésel, por lo que alarga la vida útil del motor.- Reduce la tendencia a formación de depósitos, lo que aumenta su estabilidad.	<ul style="list-style-type: none">- Incremento de las emisiones de óxidos de nitrógeno.- Problemas de flujo a bajas temperaturas.- Incompatibilidad con algunos plásticos.- Su poder calorífico es inferior al del diésel.
-----------	--	---

Las especulaciones más conocidas de los biocombustibles son:

- Los biocombustibles son excelentes para el medio ambiente.
- Los biocombustibles afectan la seguridad alimentaria.
- Los biocombustibles son el mejor negocio.
- Las vinazas son fertilizantes adecuados para los mismos cultivos bioenergéticos.
- Las instalaciones de cualquier capacidad serán rentables.
- Los biocombustibles tienen sólo implicaciones sociales positivas (Cardona & Ariel, 2009).

A continuación, se muestra la descripción y aplicaciones de los biocarburantes:

Tabla 9. Descripción y aplicaciones de los biocarburantes.

Biocarburantes	Descripción	Uso y aplicaciones
Bioetanol	Etanol producido a partir de biomasa o de la fracción biodegradable de los residuos, para su uso como biocarburante.	<ul style="list-style-type: none"> - Uso en motores de gasolina convencionales mezclado hasta el 15% con gasolina. - Uso en motores Flex-fuel como E85 - E-diesel: etanol mezclado en bajas proporciones (máximo al 10%) con gasoil para uso en motores diesel. En desarrollo.
Biodiésel	Éster metílico producido a partir de aceite vegetal o animal de calidad similar al gasóleo, para su uso como biocarburante.	Uso en motores diésel convencionales en mezcla con gasóleo convencional al 100%.
Biogás	Combustible gaseoso producido a partir de biomasa y/o a partir de la fracción biodegradable de los residuos y que puede ser purificado hasta alcanzar una calidad similar a la del gas natural, para su uso como biocarburante, o gas de madera.	Uso en motores de gas como sustituto o en mezcla con gas natural.
Biometanol	Metanol producido a partir de la biomasa, para uso como biocarburante.	Dadas las propiedades del biocombustible, muy parecidas a las del bioetanol, el Biometanol se puede utilizar en los motores de ciclo Otto y Diésel.
Biodimetiléter	Dimetiléter producido a partir de la biomasa, para su uso como Biocarburante.	Indicado para la sustitución del gasoil en los motores de ciclo diésel.
Bio-ETBE (etil ter-butil éter)	ETBE producido a partir del bioetanol. La fracción volumétrica de bio-ETBE que se computa como biocarburante es del 47%.	Puede ser utilizado en mezcla al 15% en volumen con la gasolina.
Biocarburantes sintéticos	Hidrocarburos sintéticos o sus mezclas, producidos a partir de la bioma	En función de las características del hidrocarburo sintético podrá emplearse en un motor diesel o de ciclo Otto.

Bio-hidrógeno	Hidrógeno producido a partir de la biomasa y/o a partir de la fracción biodegradable de los residuos para su uso como biocarburante	Uso en motores adaptados.
Hidro-biodiésel	Combustible producido por hidrogenación/isomerización de aceite vegetal o animal	Uso en motores diésel.
Otros biocombustibles producidos a partir de biomasa	Bioalcoholes, bio-ésteres y bio-éteres distintos de los enumerados; los productos producidos por tratamiento en refinería de biomasa, la biogasolina y el bioLPG; y los carburantes de biorrefinería	Uso en motores diésel u Otto en función de las características del combustible.
Bioqueroseno	Fracción ligera procedente de la destilación de biodiésel obtenido por transesterificación de aceites vegetales	Uso en mezclas con queroseno hasta el 20% para uso en motores de aviación.

Fuente: Agencia Andaluza de la energía (Consejería de Economía, Innovación y Ciencia, 2019)

2.2.4.4 Supuestos de normas internacionales

Existen mandatos a nivel nacional, estatal y provincial para el transporte renovable, los cuales se muestran en la Tabla 10.

Nota: El texto en **negrita** indica nuevo / revisado en 2018, los corchetes "[]" indican los mandatos anteriores donde se promulgaron nuevos mandatos, y el texto en *cursiva* indica los mandatos adoptados a nivel estatal / provincial.

Tabla 10. Mandatos para el transporte renovable por países.

País	Mandatos para mezclas de biocombustible				Otros mandatos para transporte renovable
	Mandato de mezcla de biodiésel existente (% biodiésel)	Mandato de mezcla de etanol existente (% de etanol)	Mandato de mezcla general / no especificado	Mandato de biocombustibles por año futuro	
Alemania				0.05% de biocombustibles avanzados para 2020; 0.5% para 2025	6.5% como límite de biocombustibles convencionales
Angola		10%			
Argentina	10%	12%			
Australia					
<i>Nueva Gales del Sur</i>	2%	7%			
<i>Queensland</i>	1%	3%			
Austria	6.3%	3.4%	5.75%	8.75% para 2020	
Bélgica	6% [4%]	8.5% [4%]			
Brasil	10%	27%			
Bulgaria	6%	8%			
Canadá	2%	5%			
<i>Alberta</i>	2%	5%			
<i>Columbia británica</i>	4%	5%			
<i>Manitoba</i>	2%	9%			

Análisis de emisiones de motores de combustión interna utilizando biocombustibles

Ontario	4%	5%			
Saskatchewan	2%	8%			
China ¹		10%			
Taipéi Chino	1%				
Colombia	10%	10% [8%]			
Costa Rica	20%	7%			
Croacia	5.75%	0.97%	6.92%		0.1% biocombustibles de 2a generación
República Checa	6%	4.1%			
Dinamarca			5.75%	0.9% de biocombustibles avanzados de materiales residuales para 2020	
Ecuador	5%	10%			
Eslovaquia			5.8%		
Eslovenia			7.5%		El 100% de los camiones pesados funcionarán con biodiésel para 2030
España			6%		
Estados Unidos de América					Norma de combustible renovable

Análisis de emisiones de motores de combustión interna utilizando biocombustibles

					(RFS) de 2018: 73 mil millones de litros de combustibles renovables totales, incluidos 1,1 mil millones de litros de biocombustible celulósico, 7,9 mil millones de litros de diesel a base de biomasa, 16,2 mil millones de litros de biocombustible avanzado ³
<i>Hawái, Missouri y Montana</i>		10%			
<i>Luisiana</i>	2%	2%			
<i>Massachusetts</i>	5%				
<i>Minnesota</i>	10%	20% [10%]			
<i>Nuevo México</i>	5%				
<i>Oregón</i>	5%	10%			
<i>Pensilvania</i>					E10 un año después de 1.3

					billones de litros producidos; B5 un año después de producir 379 millones de litros, B10 un año después de producir 757 millones de litros y B20 un año después de producir 1.500 millones de litros
<i>Washington</i>	2%	2%			B5 180 días después de la capacidad de trituración de semillas y oleaginosas en el estado puede cumplir con el requisito del 3%
Etiopía		10%			
Finlandia			15%		
France	7.7%	7.5%			
Grecia			7%		
Guatemala		5%			
Holanda			8.5%	1% de biocombustibles	5% como límite para

Análisis de emisiones de motores de combustión interna utilizando biocombustibles

				avanzados para 2020	biocombustibles convencionales para 2020
Hungría	4.9%	4.9%			
India	20%	10%			
Indonesia	20%	3%			Se amplió el mandato de combinación B20 del sector del transporte por carretera para cubrir el uso de combustible de los ferrocarriles
Irlanda			8.7%	B10 iniciando en 2019	
Italia			7%	0.9% de biocombustibles avanzados para 2020; 1.85% para 2022 [0.6% de combustibles avanzados para 2018; 1% para 2020]	6.7% como límite para biocombustibles convencionales para 2022
Jamaica		10%			
Malawi		10%			
Malasia	10%	10%			

Análisis de emisiones de motores de combustión interna utilizando biocombustibles

México ²		10% [5.8%]			
Mozambique		15%			
Nueva Zelanda	7%				Máxima mezcla de metanol de 3%
Noruega	4%			E20 para 2020	0.5 de combustibles renovables en aviación para 2020
Panamá		10%			El 30% de las compras de vehículos nuevos para flotas públicas serán de combustible flexible (sin fecha)
Paraguay	1%	25%			
Perú	2%	8%			
Filipinas	2%	10%			
Polonia			7.5%	8.5% para 2020	
Portugal			9%		
Reino Unido			9.6%	0.2% de biocombustibles avanzados para 2020; 2.8% para 2032	El de tope en combustibles basados en cultivos disminuyó a 2%

Análisis de emisiones de motores de combustión interna utilizando biocombustibles

					en 2032; 12,4% de combustibles renovables en el transporte de maquinaria móvil por carretera y no por carretera para 2032 [6%]
República de Corea	3%				
Rumania	6.5%	8%		10% para 2020	
Sudáfrica	5%	2%			
Suecia					Flota de vehículos independientes de combustibles fósiles para 2030
Tailandia	7%	5%			4.1 billones de litros de etanol y 5.1 billones de litros de biodiesel para 2036
Turquía		2%			
Ucrania		7%			
Unión Europea				1% de biocombustibles avanzados y	

				biogás para 2025; 3.5% para 2030	
Uruguay	5%	5%			
Zimbabue		20% [15%]			

¹ el mandato E10 extendido para cubrir 15 regiones.

² la mezcla máxima E10 de México se detuvo posteriormente en respuesta a varios casos judiciales que desafiaron el aumento.

³ objetivo (s) original (es) establecido en galones y convertido a litros para mayor consistencia.

Nota: "E" se refiere al etanol y "B" se refiere al biodiesel. Las celdas en blanco indican que los datos no están disponibles

Fuente: Renewable 2019 Global status report (REN 21, 2019)

Capítulo III

Diseño de vehículos híbridos y simulación

1.1 Sistema de corredores de transporte público de pasajeros de la Ciudad de México (Metrobús)

Para que exista desarrollo en una ciudad, el transporte público es una parte fundamental de este. La población tiene que acceder a educación, servicios públicos y empleo, y en su mayoría, el medio para hacerlo es el transporte público, por lo que es de suma importancia tener un transporte eficiente, económico y accesible.

El sistema de corredores de transporte público de la Ciudad de México, mejor conocido como Metrobús es un sistema de transporte basado en autobuses de tránsito rápido, el cual presta servicio en toda la Ciudad de México por medio de 7 líneas, las cuales tienen asignado un número y color distintivo.

El portal de Metrobús define lo siguiente:

- “La Misión de METROBÚS es planear, administrar y controlar el Sistema de Corredores de Transporte Público de Pasajeros de la Ciudad de México, promoviendo un servicio de calidad mundial. Además, se busca contribuir a la mejora de la calidad del aire de la Zona Metropolitana del Valle de México con acciones que también mitiguen los efectos de los gases de efecto invernadero en el cambio climático global”.
- “La visión de METROBÚS buscamos ser una unidad de la administración pública del Gobierno de la Ciudad de México de excelencia en la administración, control y vigilancia del servicio público de transporte de pasajeros”.
- “Metrobús tendrá por objeto: La planeación, administración y control del Sistema de Corredores de Transporte Público de Pasajeros de la Ciudad de México”. (Metrobús, 2019)

3.1.1 Componentes del sistema

Los componentes del sistema son los siguientes:

3.1.1.1 Infraestructura

- **Carril Confinado:** El carril permite el libre tránsito a los autobuses articulados y biarticulados, realizando un traslado rápido y más seguro.
- **Estaciones:** De plataforma elevada, las estaciones permiten ingreso a nivel a los autobuses.

3.1.1.2 Organización

- **Concesionarios de operación:** Empresas privadas con la concesión de brindar el servicio de operación de flota.
- **Concesionarios de recaudación:** Empresas privadas con la concesión de brindar el servicio de la recaudación de la tarifa.
- **Organismo Público:** Organismo público descentralizado responsable de la administración, planeación y control de sistema.

3.1.1.3 Operación

- **Servicio:** El servicio es programado y controlado para que sea rápido y frecuente entre origen y destino.
- **Capacidad:** Capacidad para atender altas demandas de pasajeros.
- **Seguridad:** Ascenso y descenso rápido, seguro y a nivel.
- **Peaje:** Sistema de peaje totalmente automatizado por medio de tarjeta inteligente.

3.1.1.4 Tecnología

- **Flota:** Autobuses de gran capacidad con alta tecnología y muy bajas emisiones contaminantes.
- **Peaje:** Sistema de pago totalmente automatizado por medio de tarjeta inteligente.

Información obtenida del portal de Metrobús “¿Qué es Metrobús?”
<https://www.metrobus.cdmx.gob.mx/dependencia/acerca-de>

3.1.2 Líneas del Metrobús

Las líneas que conforman a Metrobús son:

3.1.2.1 Línea 1 – Avenida de los Insurgentes

- Longitud: 30 Kilómetros en ambos sentidos.
- Demanda de usuarios: 480,000 pasajeros por día
- Terminales: Indios Verdes, Caminero, Buenavista II.
- Estaciones intermedias:

- | | |
|---------------------------|-----------------------------------|
| 1) Deportivo 18 de Marzo | |
| 2) Euzkaro | 24) Col. del Valle |
| 3) Potrero | 25) Cd. de los Deportes |
| 4) La Raza | 26) Parque Hundido |
| 5) Circuito | 27) Félix Cuevas |
| 6) San Simón | 28) Churubusco |
| 7) Manuel González | 29) Teatro Insurgentes |
| 8) Buenavista | 30) José María Velasco |
| 9) El Chopo | 31) Francia |
| 10) Revolución | 32) Olivo |
| 11) Plaza de la República | 33) Altavista |
| 12) Reforma | 34) La Bombilla |
| 13) Hamburgo | 35) Doctor Gálvez |
| 14) Insurgentes | 36) Ciudad Universitaria |
| 15) Durango | 37) Centro Cultural Universitario |
| 16) Álvaro Obregón | 38) Perisur |
| 17) Sonora | 39) Villa Olímpica |
| 18) Campeche | 40) Corregidora |
| 19) Chilpancingo | 41) Ayuntamiento |
| 20) Nuevo León 1 | 42) Fuentes Brotantes |
| 21) Río Piedad | 43) Santa Úrsula |
| 22) Polifórum | 44) La Joya |
| 23) Nápoles | |

3.1.2.2 Línea 2 – Eje 4 Sur

- Longitud: 20 Kilómetros en ambos sentidos.
- Demanda de usuarios: 180,000 pasajeros por día.
- Terminales: Tepalcates, Tacubaya.
- Estaciones intermedias:
 - 1) General Antonio de León
 - 2) Nicolás Bravo
 - 3) Canal de San Juan
 - 4) Constitución de Apatzingán
 - 5) CCH Oriente
 - 6) Leyes de Reforma
 - 7) Del Moral
 - 8) Río Frío
 - 9) Rojo Gómez
 - 10) Río Mayo
 - 11) Río Tecolutla
 - 12) El Rodeo
 - 13) UPIICSA
 - 14) Iztacalco
 - 15) Goma
 - 16) Tlacotal
 - 17) Canela
 - 18) Coyuya
 - 19) La Viga
 - 20) Andrés Molina Enríquez
 - 21) Las Américas
 - 22) Xola
 - 23) Álamos
 - 24) Centro SCOP
 - 25) Doctor Vértiz
 - 26) Etiopía I
 - 27) Amores
 - 28) Viaducto
 - 29) Nuevo León 2
 - 30) Escandón
 - 31) Patriotismo
 - 32) Parque Lira
 - 33) De la Salle
 - 34) Antonio Maceo

3.1.2.3 Línea 3 – Eje 1 Poniente

- Longitud: 17 Kilómetros en ambos sentidos.
- Demanda de usuarios: 155,000 pasajeros por día.
- Terminales: Tenayuca, Etiopía II, Buenavista III, La Raza II.
- Estaciones intermedias:

- | | |
|------------------------------|--------------------------|
| 1) San José de la Escalera | |
| 2) Progreso Nacional | |
| 3) Tres Anegas | |
| 4) Júpiter | |
| 5) La Patera | |
| 6) Poniente 146 | |
| 7) Montevideo | |
| 8) Poniente 134 | |
| 9) Poniente 128 | |
| 10) Magdalena de las Salinas | |
| 11) Coltongo | |
| 12) Cuitláhuac | |
| 13) Héroe de Nacozari | |
| 14) Hospital La Raza | |
| 15) Circuito 2 | |
| 16) Tolnahuac | |
| | 17) Tlatelolco |
| | 18) Ricardo Flores Magón |
| | 19) Guerrero |
| | 20) Mina |
| | 21) Hidalgo |
| | 22) Juárez |
| | 23) Balderas |
| | 24) Cuauhtémoc |
| | 25) Jardín Pushkin |
| | 26) Hospital General |
| | 27) Doctor Márquez |
| | 28) Centro Médico |
| | 29) Obrero Mundial |

3.1.2.4 Línea 4 – Buenavista – San Lázaro – Aeropuerto Terminales 1 y 2

- Longitud: 28 Kilómetros de recorrido.
- Demanda de usuarios: 65,000 pasajeros por día.
- Terminales: Buenavista IV, San Lázaro, Aeropuerto Terminales 1 y 2.
- Estaciones intermedias:

Estaciones intermedias Ruta Sur:

- 1) Delegación Cuauhtémoc
- 2) Puente de Alvarado
- 3) Plaza de la República
- 4) Glorieta de Colón
- 5) Expo Reforma
- 6) Vocacional 5
- 7) Juárez
- 8) Plaza San Juan
- 9) Eje Central
- 10) El Salvador
- 11) Isabel La Católica
- 12) Museo de la Ciudad
- 13) Pino Suárez
- 14) Las Cruces
- 15) Circunvalación
- 16) La Merced

Estaciones intermedias Ruta Norte:

- 22) Archivo General de la Nación
- 23) Morelos
- 24) Ferrocarril de Cintura
- 25) Mixcalco
- 26) Teatro del Pueblo
- 27) Rep. de Argentina
- 28) Rep. de Chile
- 29) Teatro Blanquita
- 30) Bellas Artes
- 31) Hidalgo
- 32) Museo San Carlos

- 17) Mercado Sonora
- 18) Cecilio Robelo
- 19) Eduardo Molina
- 20) Hospital Balbuena
- 21) Moctezuma

3.1.2.5 Línea 5 – Eje 3 Oriente – Avenida Ingeniero Eduardo Molina

- Longitud: 10 Kilómetros de recorrido.
- Demanda de usuarios: 70,000 pasajeros por día.
- Terminales: San Lázaro, Río de los Remedios.
- Estaciones intermedias:

- 1) 314 - Memorial New's Divine
- 2) 5 de mayo
- 3) vasco de Quiroga
- 4) El Coyol
- 5) Preparatoria 3
- 6) San Juan de Aragón
- 7) Río de Guadalupe
- 8) Talismán
- 9) Victoria
- 10) Oriente 101
- 11) Río Santa Coleta
- 12) Río Consulado
- 13) Canal del Norte
- 14) Deportivo Eduardo Molina
- 15) Mercado Morelos
- 16) Archivo General de la Nación

3.1.2.6 Línea 6 – Eje 5 Norte – Avenida Montevideo

- Longitud: 20 Kilómetros de Recorrido.
- Demanda de usuarios: 150 mil pasajeros por día.
- Terminales: El Rosario, Villa de Aragón.
- Estaciones intermedias:

- 1) El Rosario
- 19) Deleg. Gustavo A. Madero
- 20) Martín Carrera

- | | |
|------------------------------------|-------------------------------|
| 2) Colegio de Bachilleres 1 | 21) Hospital General La Villa |
| 3) De las Culturas | 22) San Juan de Aragón |
| 4) Ferrocarriles Nacionales | 23) Gran Canal |
| 5) UAM Azcapotzalco | 24) Casas Alemán |
| 6) Tecnoparque | 25) Pueblo San |
| 7) Norte 59 | Juan de Aragón |
| 8) Norte 45 | 26) Loreto Fabela |
| 9) Montevideo | 27) 482 |
| 10) Lindavista - Vallejo | 28) 414 |
| 11) Instituto del Petróleo | 29) 416 Oriente |
| 12) San Bartolo | 30) 416 Poniente |
| 13) Instituto Politécnico Nacional | 31) Deportivo los Galeana |
| 14) Riobamba | 32) Ampliación Providencia |
| 15) Deportivo 18 de marzo | 33) Volcán de Fuego |
| 16) La Villa | 34) La Pradera |
| 17) De los Misterios | 35) Colegio de Bachilleres 9 |
| 18) Hospital Infantil La Villa | 36) Francisco Morazán |

3.1.2.7 Línea 7 – Avenida Paseo de la Reforma

- Longitud: 15 Kilómetros de recorrido.
- Terminales: Indios Verdes, Campo Marte.
- Estaciones intermedias:

- | | |
|---------------------------------|-----------------------|
| 1) De los Misterios | 16) Glorieta Violeta |
| 2) Hospital Infantil La Villa | 17) Hidalgo |
| 3) Delegación Gustavo A. Madero | 18) El Caballito |
| 4) Garrido | 19) Glorieta de Colón |
| 5) Av. Talismán | 20) París |
| 6) Necaxa | 21) Reforma |
| 7) Excelsior | 22) Hamburgo |
| 8) Robles Domínguez | 23) La Palma |
| 9) Clave | 24) El Ángel |
| 10) Misterios | 25) La Diana |
| 11) Mercado Beethoven | 26) Chapultepec |
| 12) Peralvillo | 27) Gandhi |
| 13) Tres Culturas | 28) Antropología |
| 14) Glorieta Cuitláhuac | 29) Auditorio |
| 15) Garibaldi | |

3.1.3 Cronología del Metrobús

- 2002

Donación de recursos del fondo mundial para el medio ambiente para estudios (GEF – Banco Mundial) para el programa de introducción de medidas ambientalmente amigables en el transporte (octubre).

- 2003

- Inicia programa de introducción de medios ambientalmente en el transporte.
- Inicio del proyecto ejecutivo (septiembre).

- 2004

- Publicación de la declaración de necesidad del corredor Metrobús Insurgentes (12 de noviembre).
- Inicia evaluación de combustibles y tecnologías para autobuses (10 de noviembre).
- Inicia construcción de la Línea 1 corredor Metrobús Insurgentes Indios Verdes a Dr. Gálvez (4 de diciembre).

- 2005

- Se crea el organismo público descentralizado Metrobús (9 de marzo).
- Inauguración de Metrobús Insurgentes (19 de junio).
- Inicio del sistema de pago de peaje mediante tarjeta electrónica (3 de octubre).
- Firma del Convenio de Venta de Reducción de Emisiones Contaminantes de Carbono al Fondo Español de Carbono (2 de noviembre).

- 2006

- Metrobús transporta 50 millones de pasajeros (14 de marzo).
- Metrobús recibe premio “Proyecto del año” otorgado por el Latin American Leadership Forum en Nueva Orleans (junio).
- Metrobús transporta 100 millones de pasajeros (9 de noviembre).

- 2007
 - Metrobús primer transporte en el mundo en recibir pago por reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) verificadas. Fondo Español de Carbono – Banco Mundial (27 de mayo).
 - Inicia construcción tramo Dr. Gálvez a El Caminero Línea 1 (31 de mayo).
 - Inicia construcción de la Línea 2 Tacubaya a Tepalcates (4 de septiembre).
 - Metrobús recibe premio “Liderazgo Mundial” otorgado por el World Leadership Forum en Londres, Inglaterra.

- 2008
 - Inauguración del tramo Dr. Gálvez a El Caminero de la Línea 1 (13 de marzo).
 - Banderazo de salida a 12 autobuses biarticulados nuevos (6 de octubre).
 - Inauguración de la Línea 2 Tacubaya a Tepalcates (16 de diciembre).
- 2009
 - Metrobús recibe el reconocimiento “Roy Family Award for Environmental Partnership” otorgado por la escuela John F. Kennedy de la Universidad de Harvard (12 de noviembre).
 - Aprobación por ONU – MDL de metodología de reducción de emisiones NM0258 Metrobús Insurgentes, Ciudad de México (16 de octubre).

- 2010
 - Inicia construcción de la Línea 3 Tenayuca a Etiopía (5 de marzo).
 - Metrobús transporta 500 millones de pasajeros (18 de noviembre).

- 2011
 - Inauguración de la Línea 3 Tenayuca a Etiopía (8 de febrero).
 - Inicia construcción de la Línea 4 Buenavista a San Lázaro y

- Inicia construcción de la Línea 4 Buenavista a San Lázaro y Aeropuerto (4 de julio).
- Registro ante la ONU como proyecto de desarrollo limpio (MDL) (11 de agosto).

- 2012
 - Inicio de la tarjeta electrónica TDF (28 de febrero).
 - Inauguración de la Línea 4 Buenavista a San Lázaro y Aeropuerto (1 de abril).

- 2013
 - Banderazo de salida a 14 autobuses biarticulados nuevos (6 de febrero).
 - Metrobús recibe premio de Transporte Sustentable otorgado por Sustainable Transport Award. Washington D.C. (28 de febrero).
 - Inicia construcción de la Línea 5 Río de los Remedios a San Lázaro (26 de marzo).
 - Metrobús transporta 1,000 millones de pasajeros (16 de octubre).
 - Inauguración del Centro Informativo de Transporte Inteligente (CITI) (20 de junio).
 - Inauguración de la Línea 5 Río de los Remedios a San Lázaro (5 de noviembre).

- 2014
 - Inicia construcción de la Línea 6 Villa Aragón a El Rosario (1 de agosto).
 - Banderazo de salida a 31 autobuses articulados nuevos (12 de agosto).
 - Inician pruebas con autobuses de doble piso (septiembre).
 - Metrobús transporta 1,100 millones de pasajeros (31 de diciembre).

- 2015
 - 10° aniversario de Metrobús (19 de junio).
 - Metrobús transporta 1,650 millones de pasajeros (15 de octubre).

- 2016
 - Inauguración de la Línea 6 Villa Aragón a El Rosario (21 de enero).
 - Banderazo de salida a 38 autobuses nuevos de alta tecnología y bajas emisiones (21 de junio).
 - Metrobús transporta 2,000 millones de pasajeros (27 de octubre).
 - Inicia construcción de la Línea 7 Reforma (17 de noviembre).

- 2017
 - Inauguración de la Línea 7 Reforma de Indios Verdes a Periférico.

Análisis de emisiones de motores de combustión interna utilizando biocombustibles



Figura 13. Mapa de las líneas del Metrobús de la Ciudad de México.

Fuente: Mapa del sistema, Metrobús (Metrobús, 2019)

3.2 Autos híbridos

El transporte es una actividad fundamental para la humanidad, por lo que el desarrollo tecnológico para hacerlo más eficiente ha sido constante. En el caso del transporte terrestre, se han tenido innovaciones en tecnologías más limpias como es el caso de los vehículos híbridos.

Un vehículo eléctrico híbrido es aquel que contiene un motor eléctrico en el cual, la energía que está contenida en baterías alimenta a este. Alternativamente al motor eléctrico, el vehículo híbrido contiene un motor de combustión interna, que, dependiendo de su configuración, puede mover un generador, así como también darle movimiento directamente a las ruedas. En un vehículo híbrido, el motor de combustión interna es la segunda opción, dando prioridad al motor eléctrico, haciendo la determinación de sus usos por medio de un control electrónico.

A diferencia de los vehículos eléctricos que utilizan solo una sola fuente de movimiento (motor eléctrico) lo que representa una autonomía limitada debido a la capacidad de carga que ofrecen sus baterías, las cuales a su vez representan una carga en peso extra, los vehículos híbridos fueron creados con el objetivo principal de extender el rango de manejo agregando un sistema de motor alternativo para cargar las baterías a bordo.

3.2.1 Componentes de un auto híbrido

Los componentes que integran a un sistema híbrido son:

321.1 Motor a gasolina. En los motores híbridos, los motores de combustión interna son los generadores principales de energía.

3212 Baterías. Estas son utilizadas para alimentar al motor eléctrico. En comparación con la fuente de energía del motor de combustión interna que es el tanque de combustible, la energía puede retornar a la fuente, en este caso las baterías, ya sea por medio de frenos regenerativos o de la tracción misma.

3213 Motor Eléctrico. Existen varias configuraciones de motores en trenes motrices híbridos: de un solo motor, dos (uno en cada rueda de un eje), o cuatro (uno en cada rueda) (Martínez, 2016). Se pueden utilizar dos tipos de motores: de corriente alterna o de corriente continua.

Los motores de corriente continua son más fáciles de controlar debido a que solo se debe controlar la amplitud. Sus tipos son: motores de imanes permanentes, motores en serie y los motores de excitación independiente.

Los motores de este tipo ofrecen grandes pares de arranque, así como que la alimentación y la regulación de su velocidad es sencilla (Martínez, 2016).

Los motores de corriente alterna son más difíciles de controlar que los motores de corriente continua porque se debe de controlar la frecuencia de la tensión de alimentación, así como la amplitud de la tensión. Los tipos de motores de corriente alterna son: motores asíncronos, asíncronos de anillos rozantes, jaula de ardilla y los motores síncronos.

3214 Generador. Es el encargado de producir energía eléctrica. Es utilizado por lo general en vehículos híbridos con configuración en serie. Los hay de dos tipos: generador de corriente continua y generador de corriente alterna.

3215 Convertidor. Este dispositivo es una pequeña batería que alimenta a los accesorios (limpiaparabrisas, luces, claxon, etc.) con un convertidor de transistores electrónico.

321.6 Cargador. Transforma la corriente alterna de 220 voltios de las tomas de corriente continua a la tensión determinada. Hacen falta dos conversores, uno para convertir la electricidad alterna proveniente del alternador en corriente continua que pueda cargar la batería y otro que adapte la salida de las baterías al motor eléctrico (Martínez, 2016).

321.7 Variador. Este componente es el encargado de suministrar energía eléctrica al motor eléctrico dependiendo de la posición del acelerador.

321.8 Transmisión. Básicamente cumplen la misma función que en un auto convencional, la cual es transmitir la energía mecánica del motor a las ruedas para generar movimiento.

El freno regenerativo reduce la energía cinética del automóvil para convertirla en eléctrica, la cual será almacenada en las baterías para su uso posterior.

3.2.2 Ventajas

- El consumo de combustible disminuye alrededor del 50% (Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, 2017), a diferencia de un vehículo con un motor de combustión interna, todo dependiendo del perfil de ruta, así como el estilo de manejo del usuario.
- Debido al ahorro en combustible, también las emisiones contaminantes disminuyen.
- En comparación con un vehículo completamente eléctrico, el híbrido no necesita conectarse a la red eléctrica, gracias a los mecanismos de carga que ya tiene incluido como el motor de combustión interna y el freno regenerativo.
- El ruido generado por este tipo de vehículos es mínimo, por lo que no daña al medio ambiente de esta manera.
- El par y elasticidad es mayor que en un motor convencional.

- Tiene una respuesta casi inmediata.
- En recorridos que no son largos, el vehículo puede funcionar sin el motor térmico, evitando que éste trabaje en frío y se desgaste.

3.2.3 Desventajas

- Toxicidad en la disposición final de las baterías.
- Su peso es mayor que el de un vehículo convencional.
- Como es un sistema más complejo, sus revisiones y operaciones resultan más complicadas.
- El precio de estos vehículos es mayor que los convencionales parecidos, sin embargo, esto se compensa con los ahorros que se tienen a futuro.

Existen tres tipos de trenes de propulsión o híbridos: en serie, en paralelo y en serie-paralelo o combinado.

3.2.4 Autos híbridos en serie

En los trenes motrices híbridos en serie, el motor eléctrico es el único que está conectado a la transmisión, por lo tanto, es el encargado de dar la tracción, mientras que el motor térmico es aquel que genera electricidad para alimentar las baterías del sistema.

Los autos híbridos en serie fueron creados para ser propulsados por un motor de tracción, este motor es alimentado por un paquete de baterías y/o una unidad de motor/generador. La energía de ambas fuentes de poder es combinada por medio de un dispositivo de acoplamiento eléctrico controlable basado en la electrónica de potencia. Los modos de operación son variados y estos entran en servicio de acuerdo con las demandas de potencia del conductor y del estado operativo del sistema de transmisión (Ehsani, Gao, & Longo, 2018).

El desempeño del motor (en términos de aceleración, gradabilidad y velocidad máxima) está completamente determinada por el tamaño y las características del motor de tracción (Ehsani, Gao, & Longo, 2018). A continuación, se muestra un diagrama en el que se puede observar la configuración típica de un tren motriz híbrido en serie:

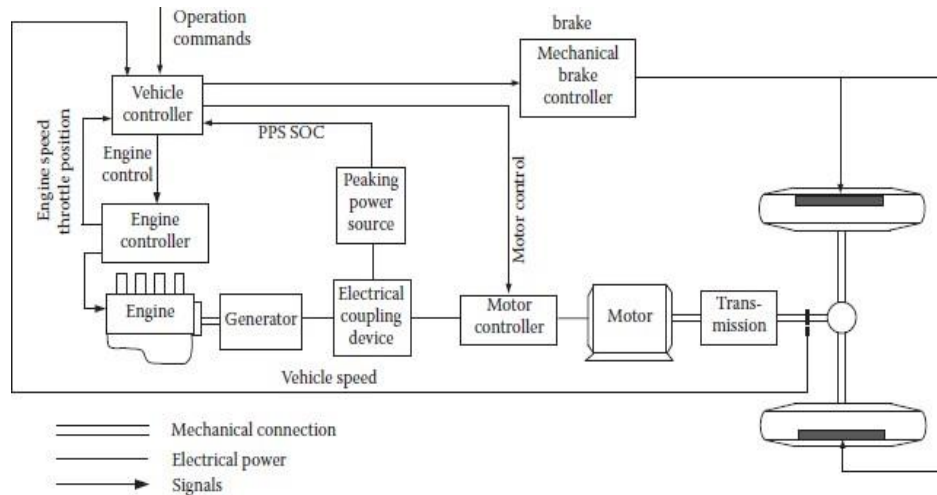


Figura 14. Diagrama de un auto híbrido en serie.

Fuente: Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles (Ehsani, Gao, & Longo, 2018)

3.2.5 Autos híbridos en paralelo

En esta configuración, a diferencia del tren motriz en serie, el motor térmico y el eléctrico pueden impulsar al vehículo ya que están conectados ambos a la transmisión, lo que permite transmitir su energía mecánica individualmente o en conjunto. Existen dos tipos de acoplamiento mecánico: el acoplamiento de torque y el de velocidad. Las ventajas que se tienen en la configuración en paralelo son las siguientes:

- No se necesita un generador.
- Un motor de tracción más pequeño.
- Sólo una parte de la potencia del motor pasa por conversión multi-poder

Gracias a esto se puede decir que la eficiencia en los trenes motrices híbridos en paralelo es mayor que en los configurados en serie.

Una configuración típica de un tren motriz híbrido en paralelo se muestra en la Figura 15.

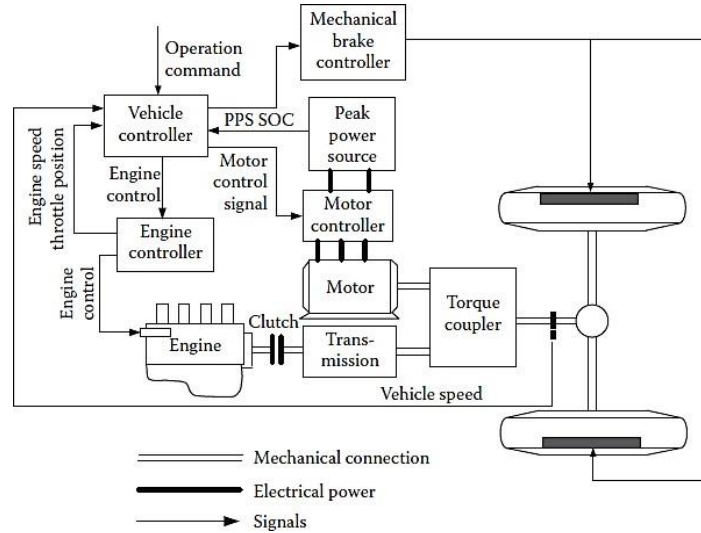


Figura 15. Diagrama de un auto híbrido en paralelo.

Fuente: Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles (Ehsani, Gao, & Longo, 2018)

3.2.6 Autos híbridos en serie – paralelo

Esta configuración complementa a las anteriores porque el motor eléctrico funciona en solitario a bajas velocidades, mientras que el térmico funciona en conjunto con el eléctrico a altas velocidades. La única diferencia de esta configuración con las anteriores es que dispone de otro generador independiente, el cual genera electricidad para alimentar y así alimentar al motor eléctrico.

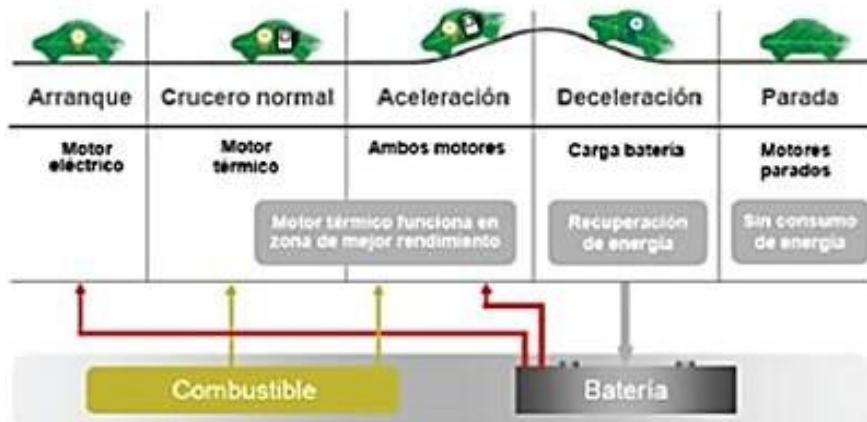


Figura 16. Comportamiento de auto híbrido serie-paralelo.

Fuente: Vehículo Híbrido (Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, 2017)

- Distancia entre ejes 2,700 mm
- Vía delantera 1,510 mm
- Vía trasera 1,480 mm
- Coeficiente Cx 0.26
- Superficie frontal 2.23 m²
- Factor de resistencia 0.58
- Peso 1,375 Kg
- Tipo de depósito:
 - Gasolina 45 litros
- Volumen del maletero 408 litros
- Número de plazas 5
- Distribución de asientos 2 + 3

- *Resumen del sistema de propulsión:*

- Potencia máxima 111 CV / 82 kW
- Par máximo 478 N * m

- *Motor de combustión:*

- Propósito Impulsar el vehículo / generar corriente
- Combustible Gasolina
- Potencia máxima 77 CV / 57 kW
- Revoluciones a potencia máxima 5000 RPM
- Par máximo 115 N * m
- Revoluciones par máximo 4200 RPM
- Ubicación Delantero transversal
- Número de cilindros 4
- Disposición de los cilindros En línea

- Material del bloque Aluminio
- Material de la culata Aluminio
- Diámetro 75 mm
- Carrera 84.7 mm
- Cilindrada 1.497 cm^3
- Relación de compresión 13 a 1
- Distribución:
 - Válvulas por cilindro 4
 - Tipo de distribución Dos árboles de levas en la culata
- Alimentación Inyección directa
- Automatismo de parada y arranque del motor ("stop / start") Si

- Motor eléctrico
 - Propósito Impulsar el vehículo
 - Tipo de corriente Corriente alterna
 - Potencia máxima 68 CV / 50 kW
 - Par máximo 400 N * m
 - Ubicación Delantero transversal
 - Tensión nominal 500 V

- Batería
 - Tipo Acumulador de níquel – hidruro metálico
 - Ubicación Trasera
 - Capacidad 1,31 kWh

- Transmisión

- | | |
|-------------------------|---------------|
| • Tracción | Delantera |
| • Caja de cambios | Automático |
| • Número de velocidades | Múltiples |
| • Tipo de mando | Selección |
| • Tipo de embrague | Sin embrague |
| • Tipo de mecanismo | Epicicloidial |

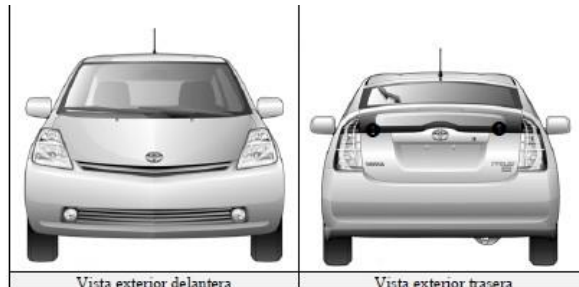
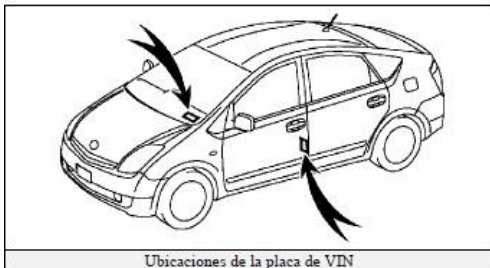


Figura 17. Toyota Prius 2004 de 2° Generación.

Fuente: Toyota Prius, modelo de 2004 2ª generación (Toyota motors corporation, 2004)

3.3.2 Características de un vehículo Volvo® 7700 híbrido

- *Estructura y capacidad de carga:*

- Chasis en acero de alta resistencia con protección anticorrosiva
- Capacidad eje delantero 7,100 Kg
- Capacidad eje trasero 12,000 Kg
- Capacidad total 18,900 Kg

- *Motor diésel:*

- Potencia 215 HP, 5 litros, 4 cilindros

- Turbo alimentación, refrigeración, inyección de combustible de tren común.

- *Motor eléctrico:*

- Potencia 160 HP / 800 N * m
- Tecnología híbrida en paralelo con SCR (Reducción Catalítica Selectiva).
- Nivel de emisiones Euro 5

- *Sistema eléctrico y de información:*

- El sistema Multiplex Generación 2 (Smart bus), utiliza arneses simplificados y menos pesados, brinda monitoreo en tiempo real y diagnóstico de fallas de los elementos de chasis tales como: motor, transmisión, suspensión, frenos y luces exteriores. Opción: ITS4M.

- *Llantas y frenos:*

- Llantas 275 / 70 * 22.5; rines de acero
- Frenos de disco
- EBS5 (Sistema electrónico de frenos) = [ASR (Sistema antiderrame) + ABS (Sistema Antibloqueo) + EPS (Electronic Stability Program)].

- *Transmisión:*

- Automated Manual Transmission AT2412D (I-shift) semiautomática; controlado por módulo electrónico.
- Tres botones en tablero 12 velocidades al frente y 4 atrás.
- Torque 2400 N * m

- *Suspensión:*

- Sistema neumático monitoreado electrónicamente con bolsas de aire y barras estabilizadoras.

 - *Dirección:*
 - Dirección hidráulica, volante de 450 mm de diámetro, regulable en ángulo y altura.
 - Radio de giro 53°

 - *Carrocería:*
 - Capacidad de pasajeros 95 pasajeros en total
 - 1 espacio para silla de ruedas con su acompañante.

 - *Dimensiones y capacidad:*
 - Altura 3.2 metros
 - Ancho 2.5 metros
 - Longitud 12 metros

 - *Estructura y Laminación:*
 - Acero inoxidable laterales y poliéster laminado en toldo.

 - *Puertas:*
 - Puertas de servicio neumáticas.
 - Puerta intermedia con rampa manual para silla de ruedas.

 - *Interiores:*
-

- 2 o 3 salidas de emergencia en toldo.
 - Espacio para 1 silla de ruedas con cinturón de seguridad de 2 puntos.
 - Opción audio y video
- Aire acondicionado:
- Sistema de aire acondicionado generación 4 Suttrak 353.

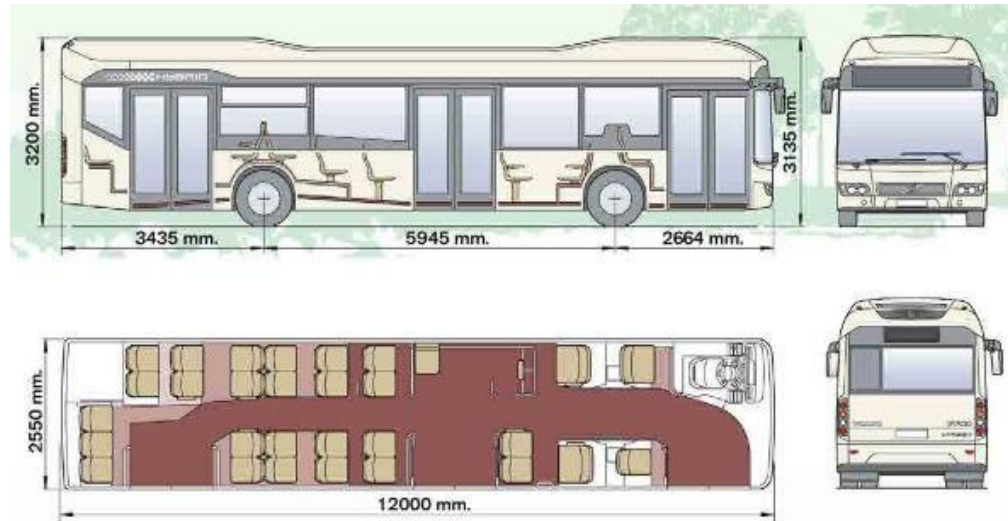


Figura 18. Dimensiones de autobús Volvo® 7700 híbrido

Fuente: Autobuses híbridos, movilidad y ambiente ahora en paralelo (Volvo buses, 2015)

3.4 Condiciones de simulación

3.4.1 Ciclo de conducción de la línea 1 del Metrobús

Un ciclo de conducción es una serie de puntos dados de datos, los cuales representan la velocidad que obtiene un vehículo durante un tiempo establecido.

Se solicitaron datos al sistema Metrobús de la línea 1 “Avenida de los insurgentes” la cual tiene distintas rutas programados: Indios verdes – Insurgentes, Indios verdes - El caminero, Indios verdes – Doctor Gálvez, Buenavista II – El caminero, Colonia del Valle – Tepalcates. La ruta seleccionada fue Indios verdes – El caminero,

obteniendo las siguientes características:

Longitud de la línea	23.55 kilómetros
Tiempo total de recorrido	1:12:06 horas
Estaciones recorridas	36
Velocidad promedio	20.12 km/h

Tabla 11. Características de la línea 1 de Metrobús.

El ciclo de conducción obtenido, así como el perfil de elevación de la línea se muestra en la Figura 19 y 20.

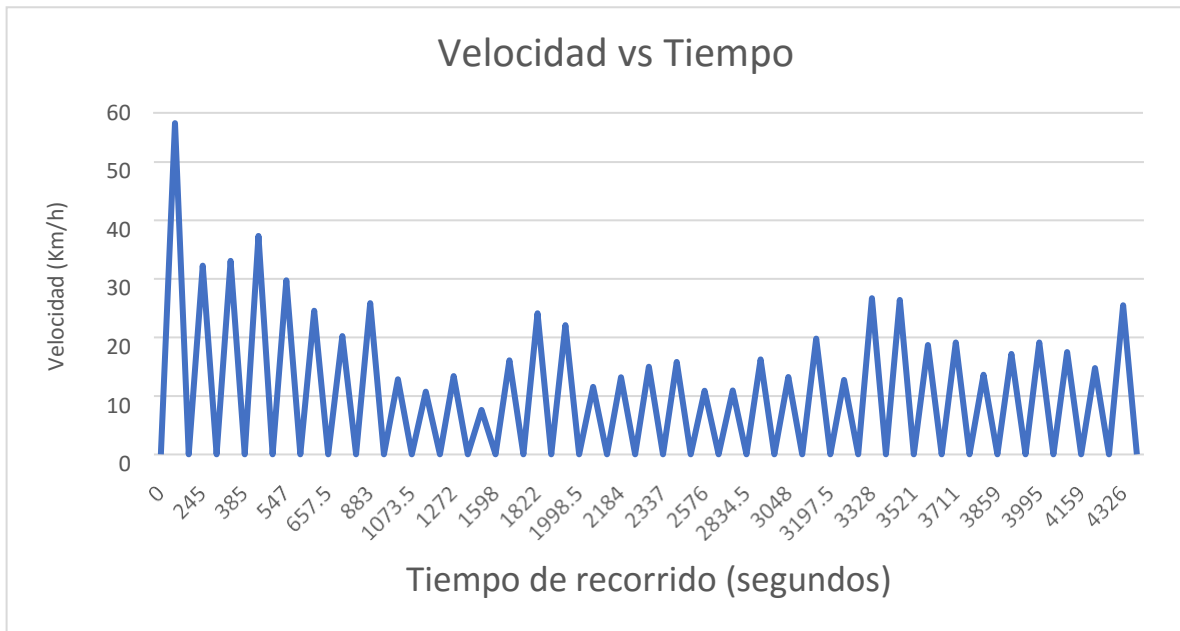


Figura 19. Gráfica Velocidad-Tiempo del Ciclo de conducción de la línea 1.

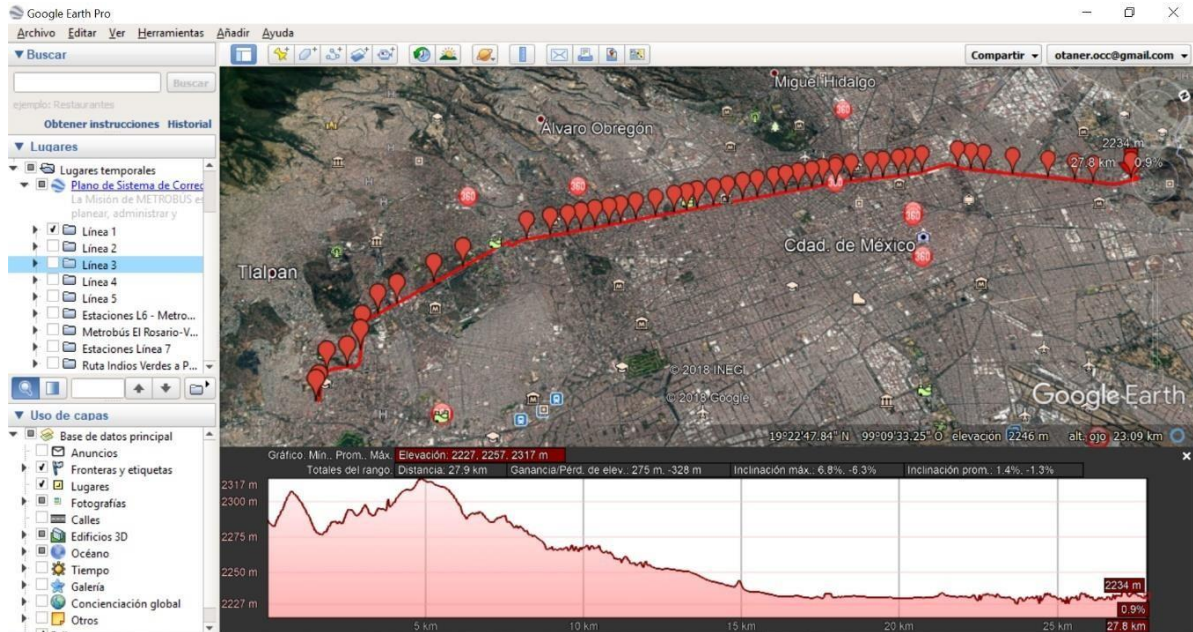


Figura 20. Perfil de elevación de la línea 1.

3.4.2 Características de los combustibles

Las características utilizadas para poder llevar a cabo la simulación se tomaron de estándares internacionales para el aseguramiento de su calidad.

Para el caso del biodiésel se tomó como referencia el biodiésel obtenido por Vallarta Cardona (Cardona Vallarta, 2018), el cual contiene las características de la norma ASTM D6751, donde se toman dos muestras de procesos de transesterificación de aceite comestible residual (ACR) y su transformación a esteres metílicos (EM). (Tabla 12).

Tabla 12. Características del biodiesel según la norma ASTM D6751.

Propiedad	Muestra	Valor	Intervalos
Agua y sedimento	EM	no presenta	0.050 % máx.
Viscosidad cinemática a 40°C	ACR	32 cP	-
	EM	3.6cP	1.9 – 6.0 cP
	ACR	0.9094 g/cm ³	-

Densidad	EM	0.8735 g/cm³	0.86 - 0.90 g/cm³
Número de cetano	EM	62	48-65
Punto de nube	EM	2 h, 5 °C	reportar
Carbono residual	EM	0.015	0.050 % máx.
Número de acidez	ACR	0.55	reportar
	EM	0.022	0.050 g KOH/g
Glicerol libre	% peso	No presenta	0.020 % máx.
Glicerol total	% peso	No presenta	0.024 % máx.

Fuente: Optimización a escala piloto de un proceso de transesterificación de aceite comestible residual para la obtención sustentable de biodiésel (Cardona Vallarta, 2018).

Para el caso del bioetanol se tomaron como referencia las especificaciones que se dan en Estados Unidos, Brasil y la Unión Europea según las normas ASTM D4814, ANP Resolución 36 y la prEN 15376 respectivamente, estas características se muestran en la Tabla 13.

Tabla 13. Características de las Normas: ASTM D4814, ANP Resolución 36 y PrEN 15376.

Característica	Estados Unidos		Brasil		Unión Europea
	<i>ASTM D4814</i>		<i>ANP Resolución 36</i>		<i>PrEN 15376</i>
	Anhidro	Anhidro desnaturalizado	Anhidro	Hidratado	
<i>Apariencia</i>	Límpido y claro	Límpido y claro	Límpido y ausente de impurezas	Límpido y ausente de impurezas	Límpido y claro
<i>Color</i>	Pigmento permitido	Pigmento permitido	Pigmento obligatorio	Pigmento prohibido	Pigmento permitido
<i>Contenido de etanol, volumen (%), mínimo.</i>	92.1	93.9	99.6 ⁽³⁾	-	[96.8] ⁽²⁾

Análisis de emisiones de motores de combustión interna utilizando biocombustibles

<i>Etanol + alcoholes C3- C5, volumen (%), mínimo.</i>	-	[98.4] ⁽²⁾			98.8
<i>Total, alcoholes, volumen (%), mínimo.</i>	-	[98.95]	99.6	95.1	[99.76]
<i>Alcoholes C3 – C5, volumen (%), máximo.</i>	-(1)	[4.5]			2.0
<i>Contenido de agua, volumen (%), máximo.</i>	1.0	1.05	[0.4]	[4.9]	0.24
<i>Densidad a 20°C, kg/m3, máximo.</i>	-	-	791.5	807.6	
<i>Metanol, volumen (%), máximo.</i>	0.5	0.53			1.0
<i>Desnaturalizante , volumen (%), mínimo/máximo.</i>	1.96/5.0	Sin desnaturalizante	Sin desnaturalizante	Sin desnaturalizante	Difiere por país 0/1.3
<i>Hidrocarburos, volumen (%), máximo.</i>	-	-	3 ⁽⁴⁾	3 ⁽⁴⁾ -	-
<i>Goma lavada (mg/100 ml), Max</i>	5.0	5.3	-	-	-
<i>Goma o residuo de evaporación (mg/100 ml), max.</i>	5 (goma lavada)	5.3 (goma lavada)	-	5 (no lavada) ⁽⁵⁾	10 (no lavada) ⁽⁵⁾
<i>Sulfato (mg/kg), max.</i>	4	4.2	-	4	A definir
<i>Cloruro inorgánico</i>	40	42.1	-	1	25

(mg/kg), máximo.					
Cobre (mg/kg), máximo.	0.1	0.105	0.07	-	0.1
Sodio (mg/kg).	-	-	-	2	-
Hierro (mg/kg), máximo.	-	-	-	5	-
Acidez, masa % (mg/l), máxima.	0.007 (56)	0.0074 (58.9)	0.0038 (30)	0.0038 (30)	0.007
pHe/pH, máximo.	6.5–9.0	6.5-9.0		6.0-8.0	salió
Fósforo (mg/l), máximo.	-	-	-	-	0.5
Azufre (mg/kg), máximo.	30	5	-	-	10

(1) No especificado, pero puede ser calculado para los Estados Unidos (Alcoholes superiores = 1--'contenido de etanol-contenido de metanol-contenido de agua).

(2) Valores [] son calculados o estimados, pero no tienen límites especificados.

(3) Límite aplicado para el etanol no producido por fermentación a partir da caña de azúcar o aplicado al etanol contaminado con otros alcoholes.

(4) Aplicado para etanol importado.

(5) Los procedimientos son diferentes.

Fuente: recomendaciones de especificaciones técnicas para el etanol y sus mezclas (E6), y la infraestructura para su manejo en México (Pasa Duarte, 2010).

3.4.3 Definición de los vehículos

Para poder llevar a cabo la definición de los vehículos en el simulador se deben tomar en cuenta las dimensiones de los componentes de estos y teniendo los datos generales del vehículo, tales como: tipo de motor, potencia, dimensiones de las llantas, etc. Se ingresan a la interfaz gráfica del programa (Figura 21).

Análisis de emisiones de motores de combustión interna utilizando biocombustibles

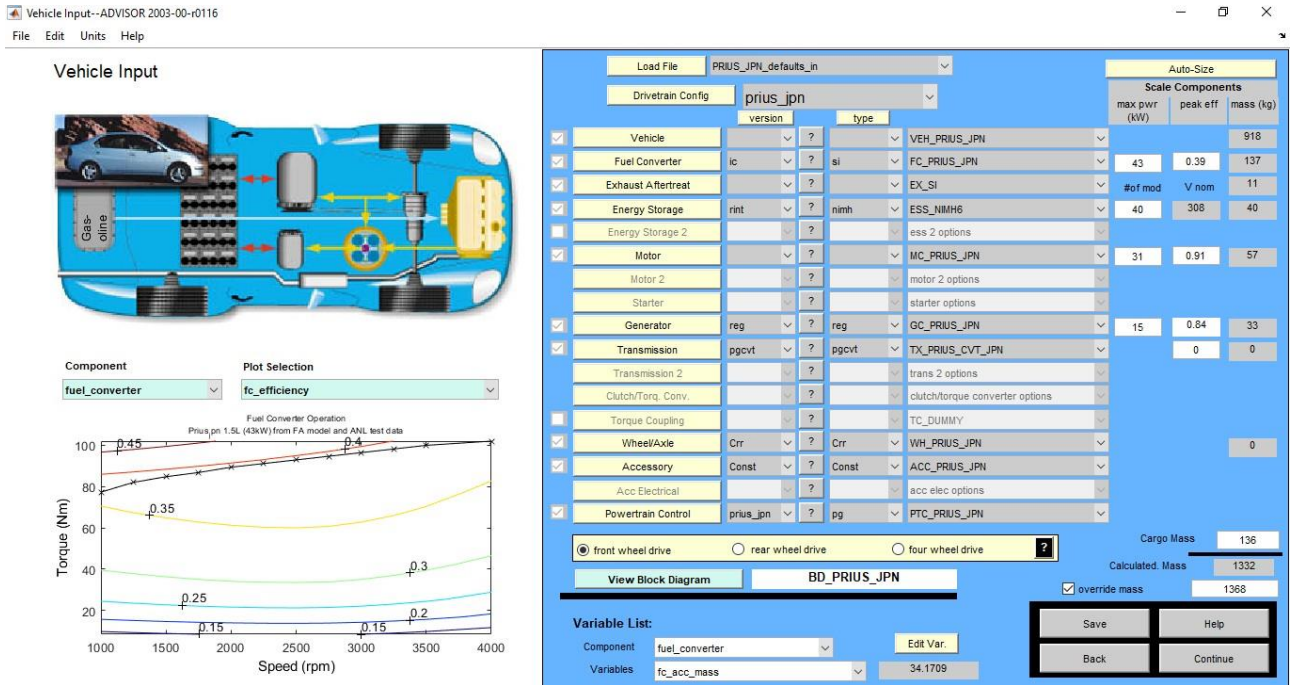


Figura 21. Ingreso del Toyota Prius a la interfaz gráfica del simulador.

Fuente: Advanced Vehicle Simulator (Departamento de energía de los Estados Unidos de América, 2013)

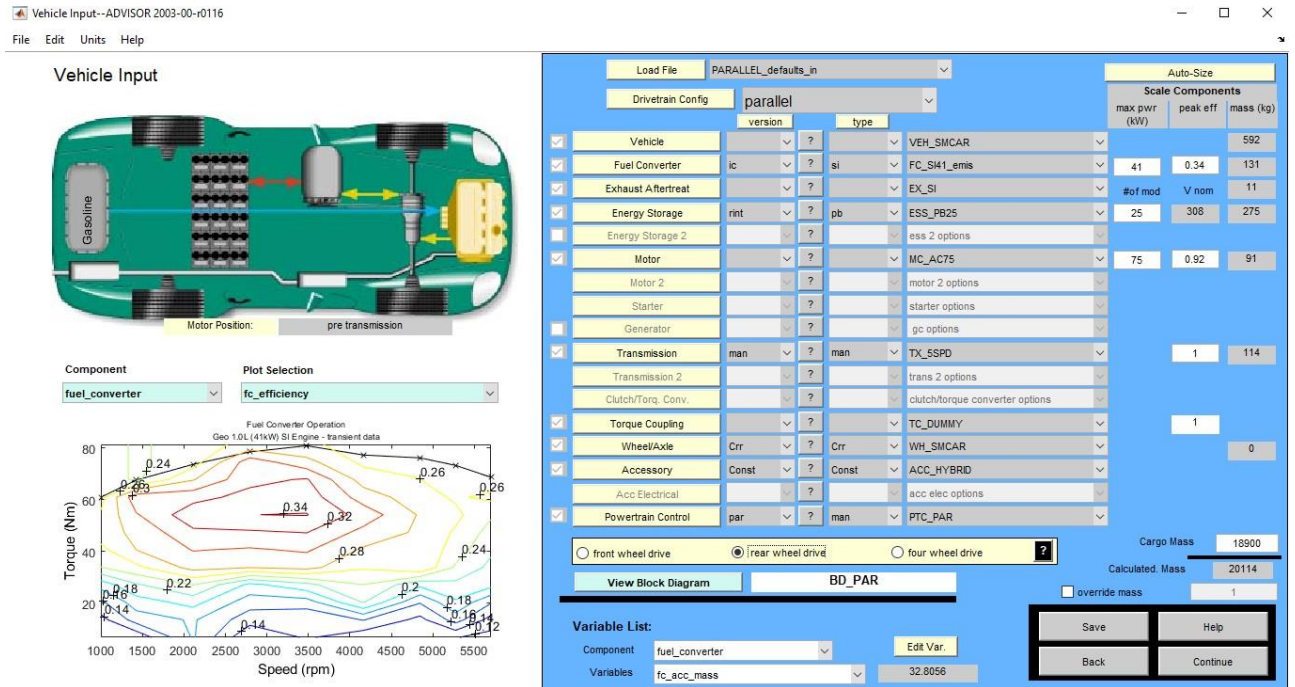


Figura 22. Ingreso de los datos a la interfaz gráfica del simulador.

Para poder definirlo se deben ingresar los datos del vehículo. Por ejemplo, si el vehículo en cuestión contiene un motor de combustión interna se debe especificar si éste es encendido por chispa (si) o si es encendido por compresión (ci). Por otro lado, si la transmisión es automática (auto) o bien, manual (man).

3.4.4 Introducción del ciclo de conducción

Ya definido el ciclo de conducción con los datos obtenidos, se procedió a hacer los cambios en los parámetros establecidos previamente. En este proceso se hicieron las modificaciones del ciclo de conducción incluido en la librería de Advisor®. Para esto se utilizó como base el ciclo predeterminado CYC_1015 y se ingresaron los datos del ciclo de conducción de la línea 1 del Metrobús nombrando dicho archivo como "CYC_Linea1MetroCDMX", al tener el archivo, se crea el archivo de tipo .m, el cual será elegido posteriormente en la interfaz de Advisor® (Figura 23).

Al tener los archivos creados, se colocan en la carpeta de Advisor® donde se encuentran los ciclos de conducción predeterminados para poder ser seleccionados desde la interfaz (Figura 24).

Análisis de emisiones de motores de combustión interna utilizando biocombustibles

Nombre	Fecha de modifica...	Tipo	Tamaño
CYC_HWFET	24/04/2013 02:50 ...	Microsoft Access ...	13 KB
CYC_HWFET_MTN.m	24/04/2013 02:50 ...	Archivo M	3 KB
CYC_IDLING.m	24/04/2013 02:50 ...	Archivo M	3 KB
CYC_IM240.m	24/04/2013 02:50 ...	Archivo M	3 KB
CYC_IM240	24/04/2013 02:50 ...	Microsoft Access ...	4 KB
cyc_india_hwy_sample.m	24/04/2013 02:50 ...	Archivo M	3 KB
CYC_INDIA_HWY_SAMPLE	24/04/2013 02:50 ...	Microsoft Access ...	14 KB
cyc_india_urban_sample.m	24/04/2013 02:50 ...	Archivo M	3 KB
CYC_INDIA_URBAN_SAMPLE	24/04/2013 02:50 ...	Microsoft Access ...	43 KB
CYC_INRETS.m	24/04/2013 02:50 ...	Archivo M	5 KB
CYC_INRETS	24/04/2013 02:50 ...	Microsoft Access ...	31 KB
CYC_INTERACTIVE.m	24/04/2013 02:50 ...	Archivo M	4 KB
CYC_L60MPH.m	24/04/2013 02:50 ...	Archivo M	3 KB
CYC_LA92.m	24/04/2013 02:50 ...	Archivo M	3 KB
CYC_LA92	24/04/2013 02:50 ...	Microsoft Access ...	23 KB
CYC_Linea1MetroCDMX.m	20/06/2019 12:55 ...	Archivo M	3 KB
CYC_Linea1MetroCDMX	20/06/2019 12:48 ...	Microsoft Access ...	41 KB
CYC_MANHATTAN.m	24/04/2013 02:50 ...	Archivo M	6 KB
CYC_MANHATTAN	24/04/2013 02:50 ...	Microsoft Access ...	18 KB
CYC_MEASURED_MASS1	24/04/2013 02:50 ...	Microsoft Access ...	1 KB
CYC_MXINBUS	10/12/2015 12:36 ...	Microsoft Access ...	4 KB
CYC_MXINBUS_MASS_VAR1.m	27/10/2015 09:25 a...	Archivo M	5 KB
CYC_MXINBUS_MASS1	28/10/2015 09:27 a...	Microsoft Access ...	4 KB
CYC_MXTHBUS	03/11/2015 11:09 a...	Microsoft Access ...	4 KB
CYC_MXTHBUS_MASS_VAR1.m	03/11/2015 11:37 a...	Archivo M	6 KB
CYC_MXTHBUS_MASS1	04/11/2015 08:04 a...	Microsoft Access ...	2 KB
CYC_MXTPBUS	28/10/2015 10:02 a...	Microsoft Access ...	4 KB
CYC_MXTPBUS_MASS_VAR1.m	28/10/2015 08:07 a...	Archivo M	5 KB

Figura 23. Ingreso del ciclo de conducción creado al simulador.

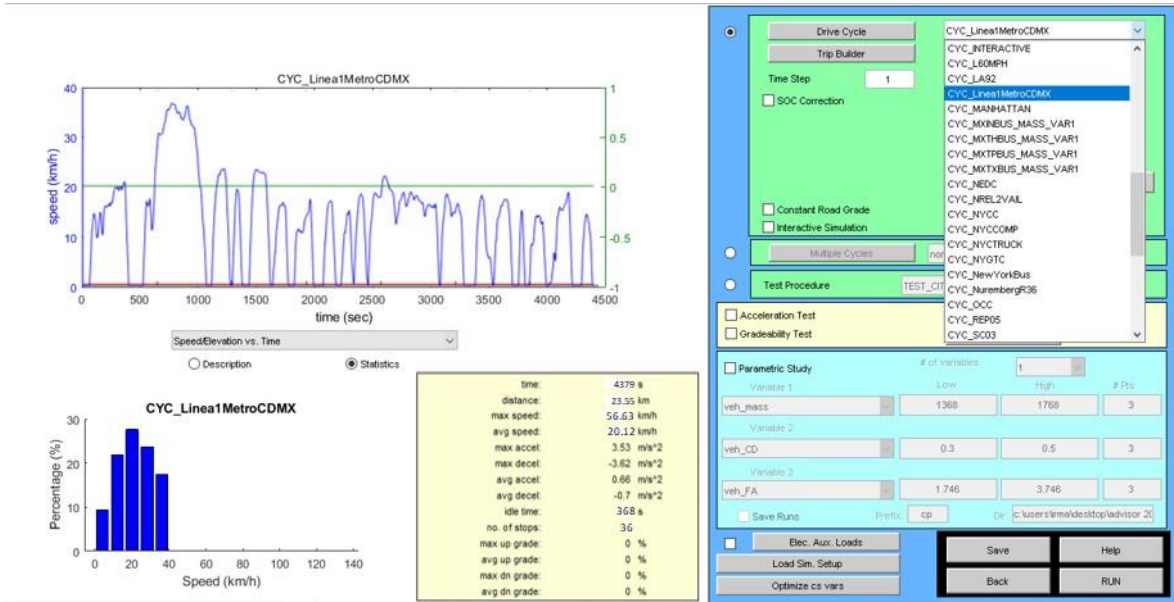


Figura 24. Cambios de parámetros en la interfaz gráfica del simulador.

Al tener seleccionado el ciclo de conducción y los vehículos caracterizados, se modificaron las características del combustible, por medio de Notepad++ (Figura 25). Los parámetros modificables para los distintos tipos de combustible fueron la densidad y el poder calorífico inferior.

```

459 fc_base_mass=588; % (kg), mass of the engine block and head (base engine) from cat specs
460 fc_acc_mass=0.8*fc_max_pwr; % kg engine accy's, electric, cntrl's - assumes mass penalty of 0.8 kg/kW (from OTA report)
461 fc_fuel_mass=0.6*fc_max_pwr; % kg mass of fuel and fuel tank
462 fc_mass=fc_base_mass+fc_acc_mass+fc_fuel_mass; % Kg total engine/fuel system mass
463 fc_ext_sarea=0.5*(fc_max_pwr/100)^0.67; % m^2 exterior surface area of engine
464
465
466 %*****
467 % OTHER DATA
468 %*****
469 fc_fuel_den=894; % (g/l), density of the fuel
470 fc_fuel_lhv=4748; % (J/g), lower heating value of the fuel
471
472 fc_tstat=96; % C engine coolant thermostat set temperature (typically 95 +/- 5 C)
473 fc_cp=500; % J/kgK ave cp of engine (iron=500, Al or Mg = 1000)
474 fc_h_cp=500; % J/kgK ave cp of hood & engine compartment (iron=500, Al or Mg = 1000)
475 fc_hood_sarea=1.5; % m^2 surface area of hood/eng compt.
476 fc_emissv=.3; % emissivity of engine ext surface/hood int surface
477 fc_hood_emissv=.9; % emissivity hood ext
478 fc_h_ai_flow=0; % kg/s heater air flow rate (140 cfm=0.07)
479 fc_clh_eff=.7; % -- ave cabin heater HX eff (based on air side)
480 fc_c2l_th_cond=500; % W/K conductance btwn engine cyl & int
481 fc_l2x_th_cond=500; % W/K conductance btwn engine int & ext
482 fc_h2x_th_cond=10; % W/K conductance btwn engine & engine compartment
483
484 % calculate "predicted" exh gas flow rate and engine-out (EO) temp
485 fc_ex_pwr_frac=[0.40 0.30]; % -- frac of waste heat that goes to exhaust as func of engine speed
486 fc_exflow_map=fc_fuel_map*(1+14.5); % g/s ex gas flow map: for SI engines, exflow=(fuel use)*(1 + (stoic A/F ratio))
487 fc_waste_pwr_map=fc_fuel_map*fc_fuel_lhv - T.*w; % W tot FC waste heat = (fuel pwr) - (mech out pwr)
488 spd=fc_map_spd;
489 fc_ex_pwr_map=zeros(size(fc_waste_pwr_map)); % W initialize size of ex pwr map
490
491 for i=1:length(spd)
492     fc_ex_pwr_map(i,:)=fc_waste_pwr_map(i,:)*interp1([min(spd) max(spd)],fc_ex_pwr_frac,spd(i)); % W trq-spd map of waste heat to exh
493 end
494 fc_extmp_map=fc_ex_pwr_map./(fc_exflow_map*1089/1000) + 20; % W EO ex gas temp = Q/(MF*cp) + Tamb (assumes engine tested -20 C)
495
496 %the following variable is not used directly in modellng and should always be equal to one
    
```

Figura 25. Cambios de parámetros en la interfaz gráfica del simulador.

Capítulo 4

Resultados

Al haber ingresado todas las variables que se necesitaban para llevar a cabo el proceso de simulación, se procedió a ejecutar el mismo, para los cuatro casos en los que se localizó el escenario de comparación los cuales fueron: el vehículo Volvo 7700 híbrido utilizando biodiésel y diésel fósil en la ruta 1 del Metrobús, y el Toyota

Prius utilizando bioetanol y etanol para la misma ruta. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

4.1 Caso 1: Toyota Prius utilizando gasolina

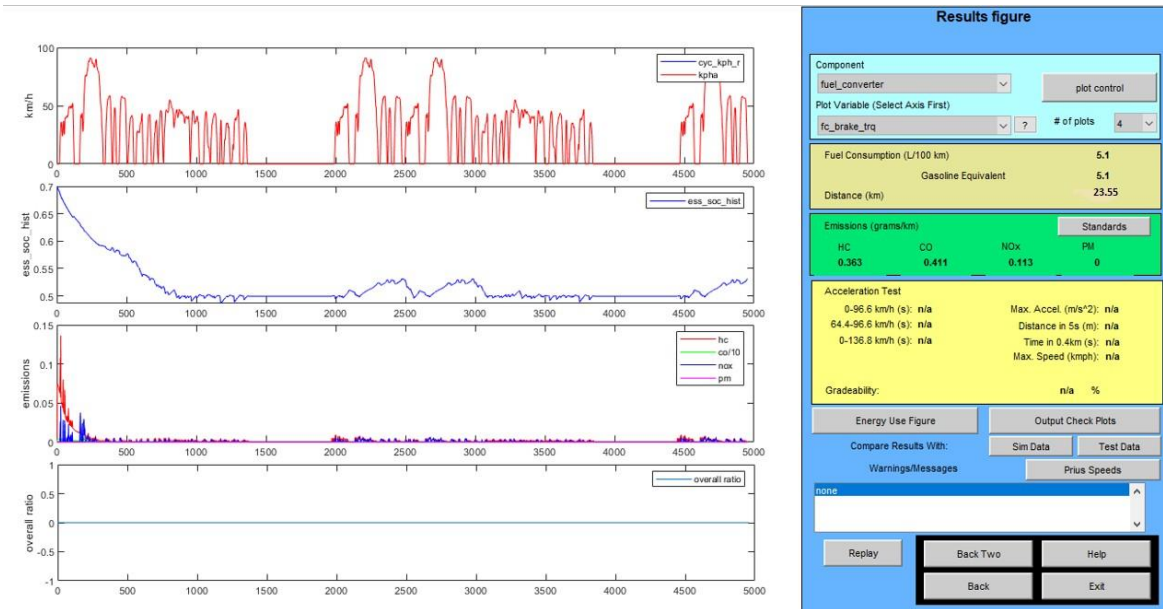


Figura 26. Gráfica de comportamiento del Toyota Prius utilizando gasolina (caso 1).

Análisis de emisiones de motores de combustión interna utilizando biocombustibles

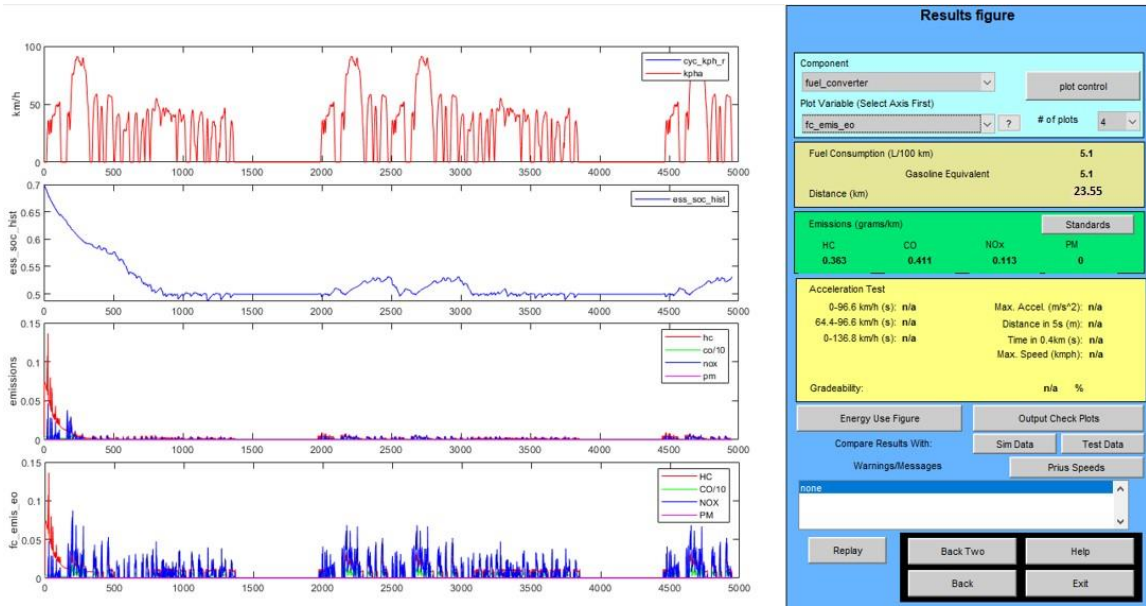


Figura 27. Tasa de emisión de contaminantes del caso 1.

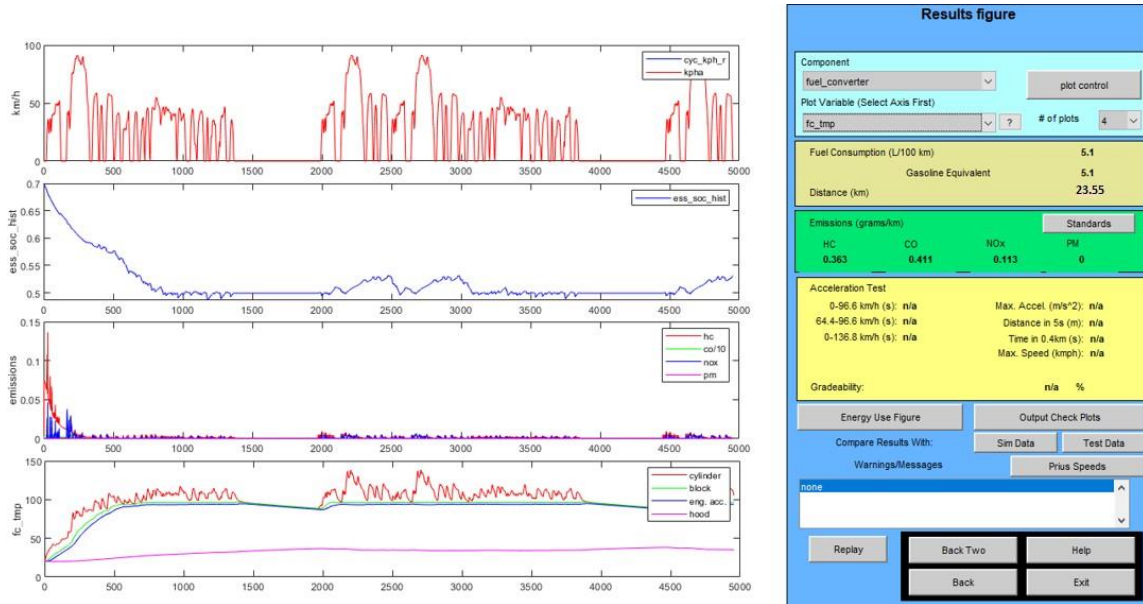


figura 28. Temperaturas de los componentes del caso 1.

Análisis de emisiones de motores de combustión interna utilizando biocombustibles

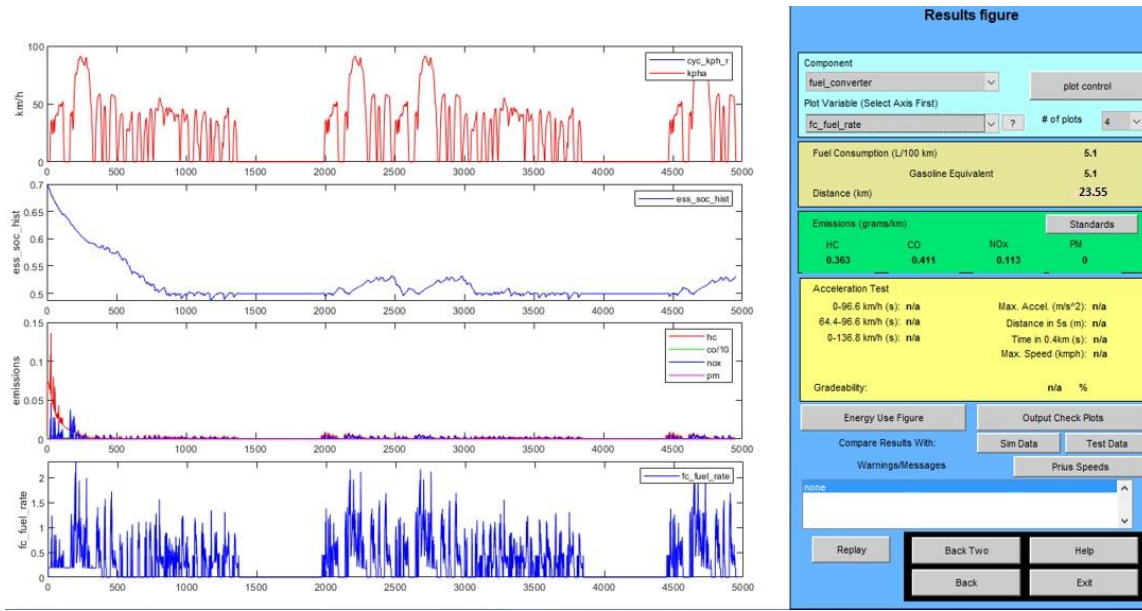


figura 29. Tasa de consumo de combustible del caso 1.

4.2 Caso 2: Toyota Prius utilizando bioetanol

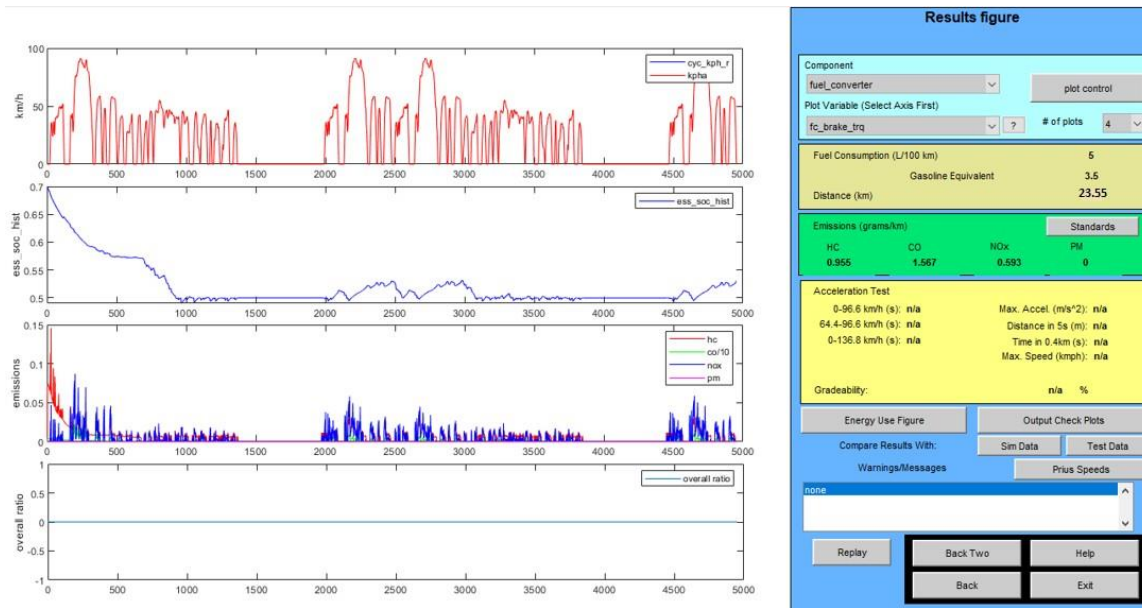


figura 30. Gráfica de comportamiento del Toyota Prius utilizando bioetanol (caso 2).

Análisis de emisiones de motores de combustión interna utilizando biocombustibles

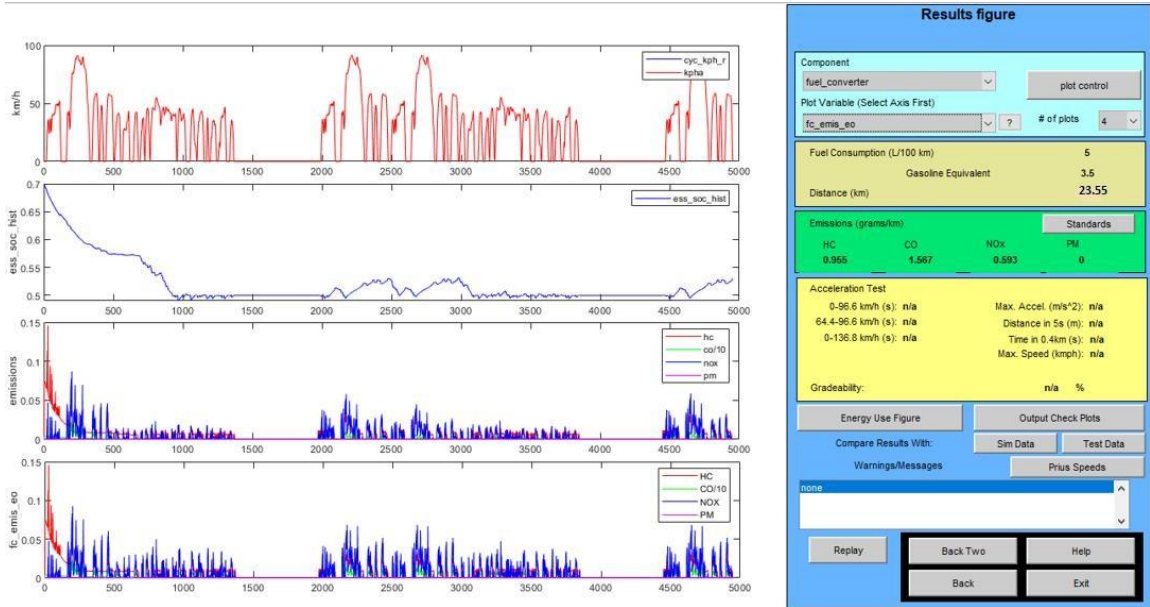


figura 31. Tasa de emisión de contaminantes del caso 2.

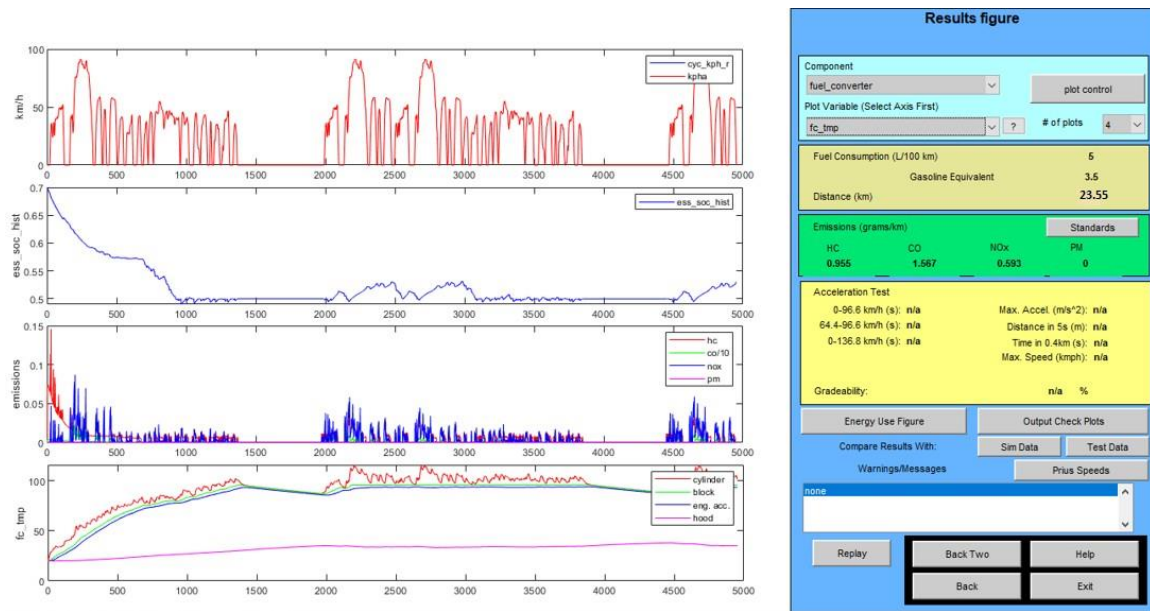


figura 32. Temperaturas de los componentes del caso 2.

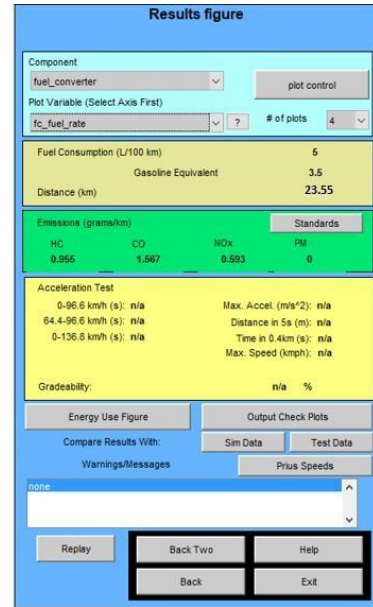
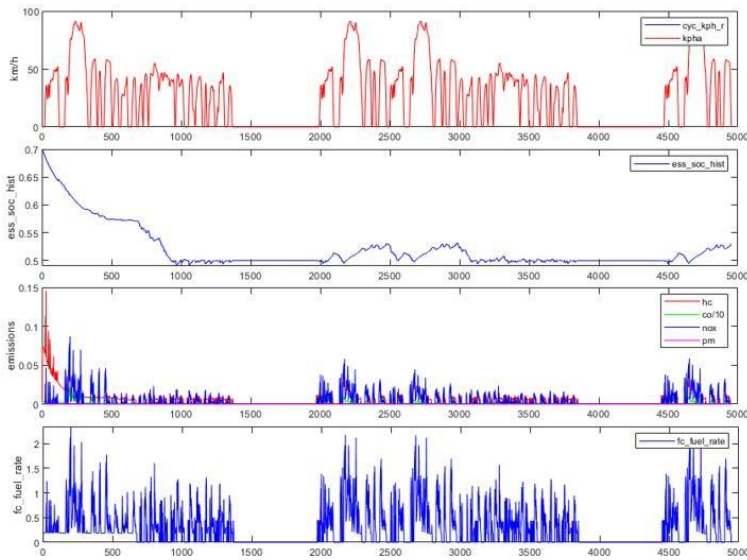


figura 33. Tasa de consumo de combustible del caso 2.

4.3 Caso 3: Volvo 7700 híbrido utilizando diésel

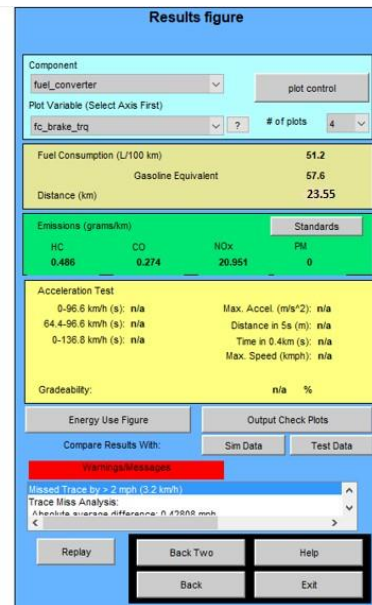
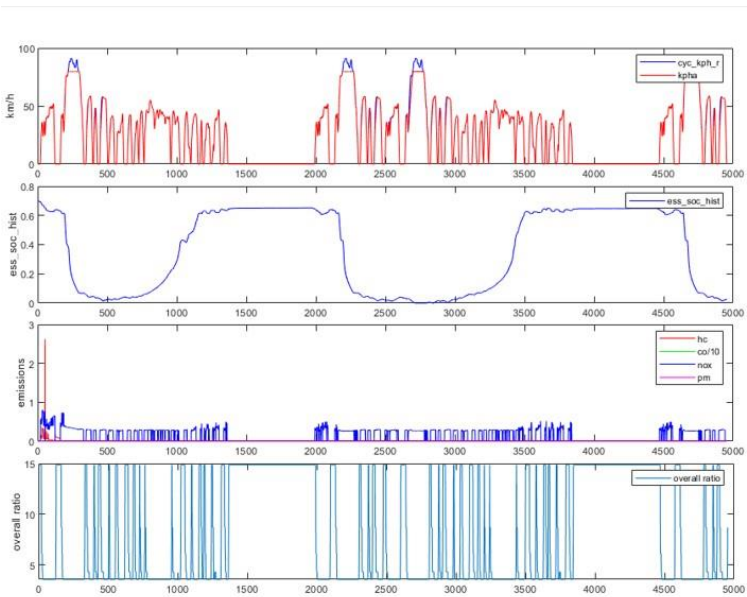


figura 34. Gráfica de comportamiento del Volvo 7700 híbrido utilizando diésel (caso 3).

Análisis de emisiones de motores de combustión interna utilizando biocombustibles

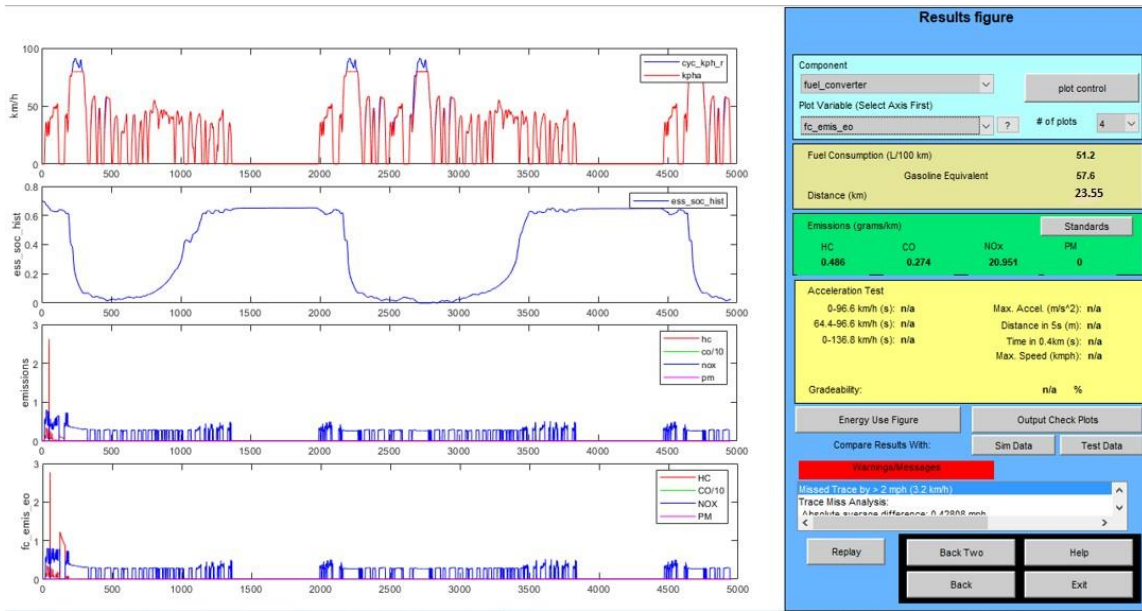


figura 35. Tasa de emisión de contaminantes del caso 3.

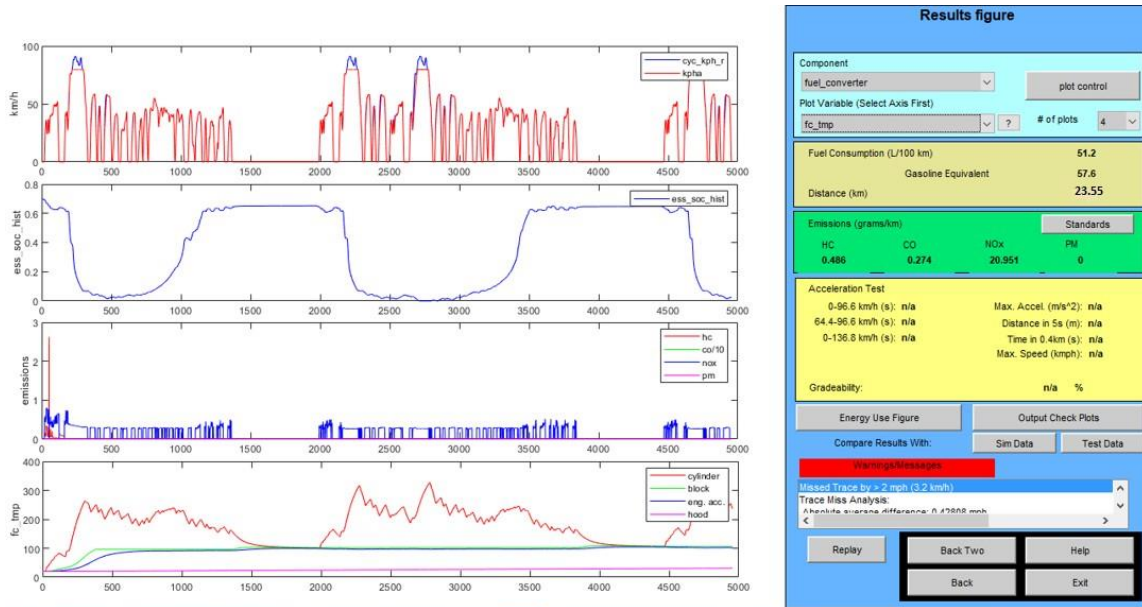


figura 36. Temperaturas de los componentes del caso 3.

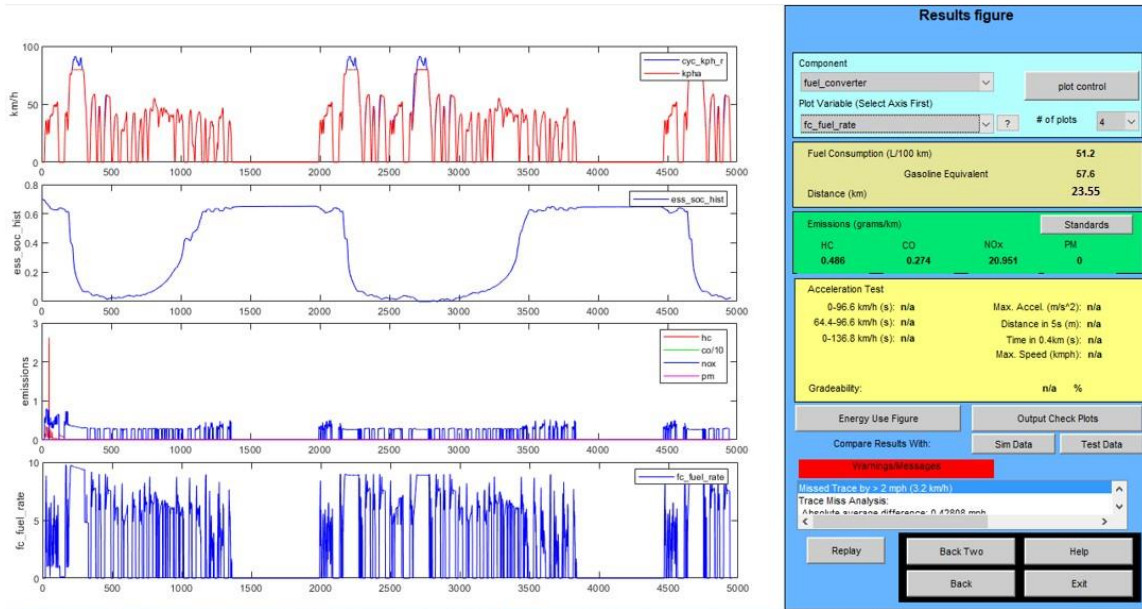


figura 37. Tasa de consumo de combustible del caso 3.

4.4 Caso 4: Volvo 7700 utilizando biodiésel

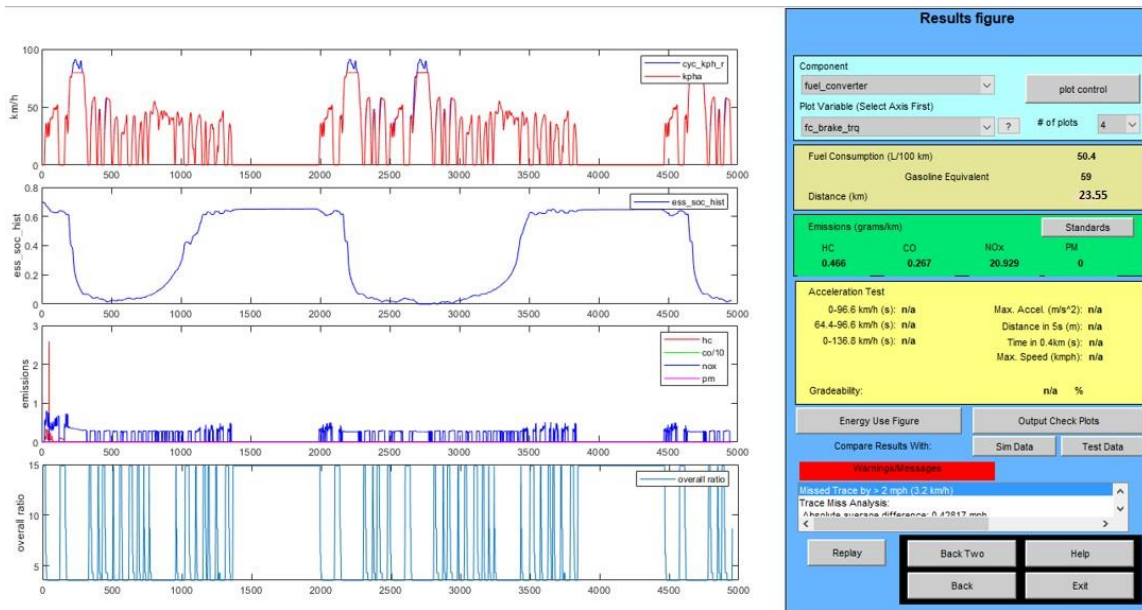


figura 38. Gráfica de comportamiento del Volvo 7700 híbrido utilizando biodiésel (caso 4).

Análisis de emisiones de motores de combustión interna utilizando biocombustibles

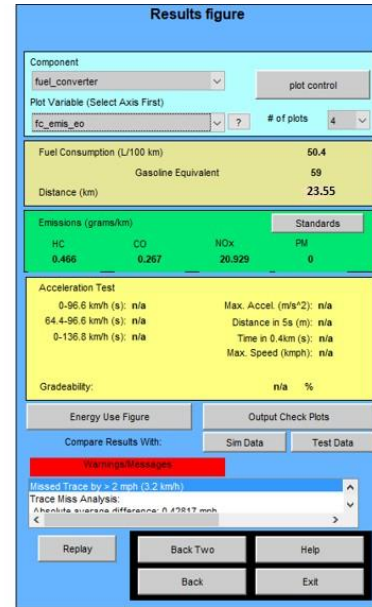
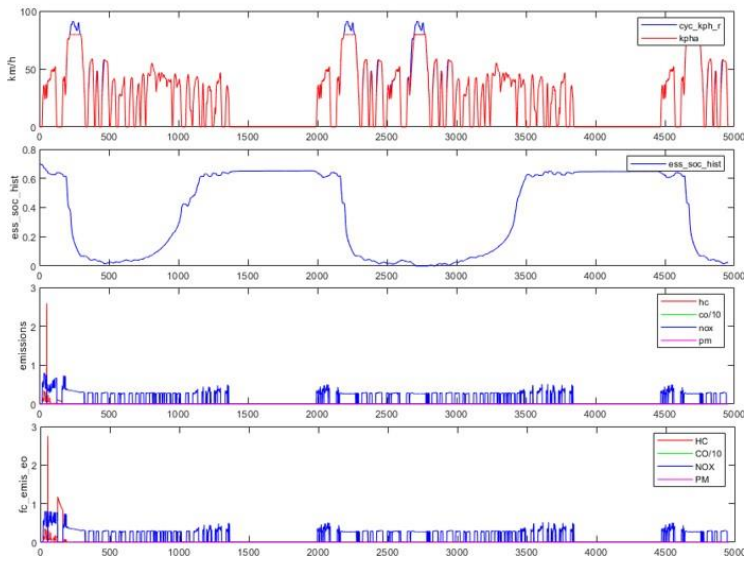


figura 39. Tasa de emisión de contaminantes del caso 4.

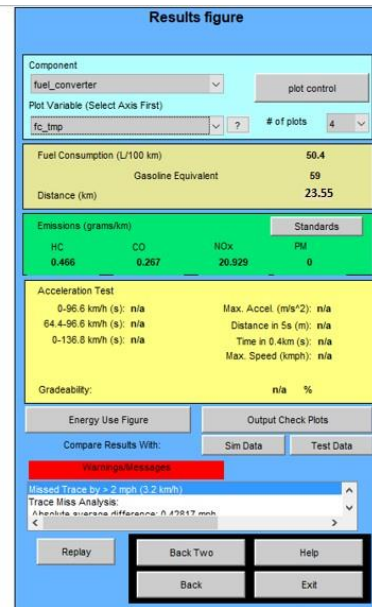
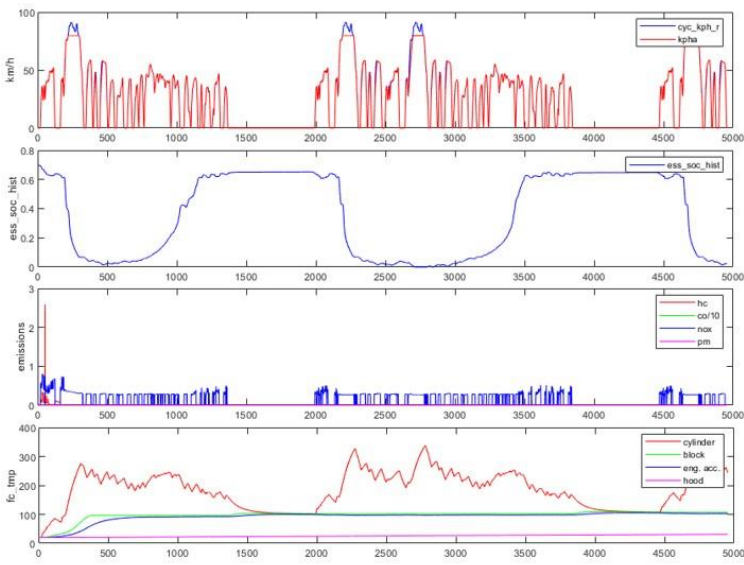


Figura 40. Temperaturas de los componentes del caso 4.

Análisis de emisiones de motores de combustión interna utilizando biocombustibles

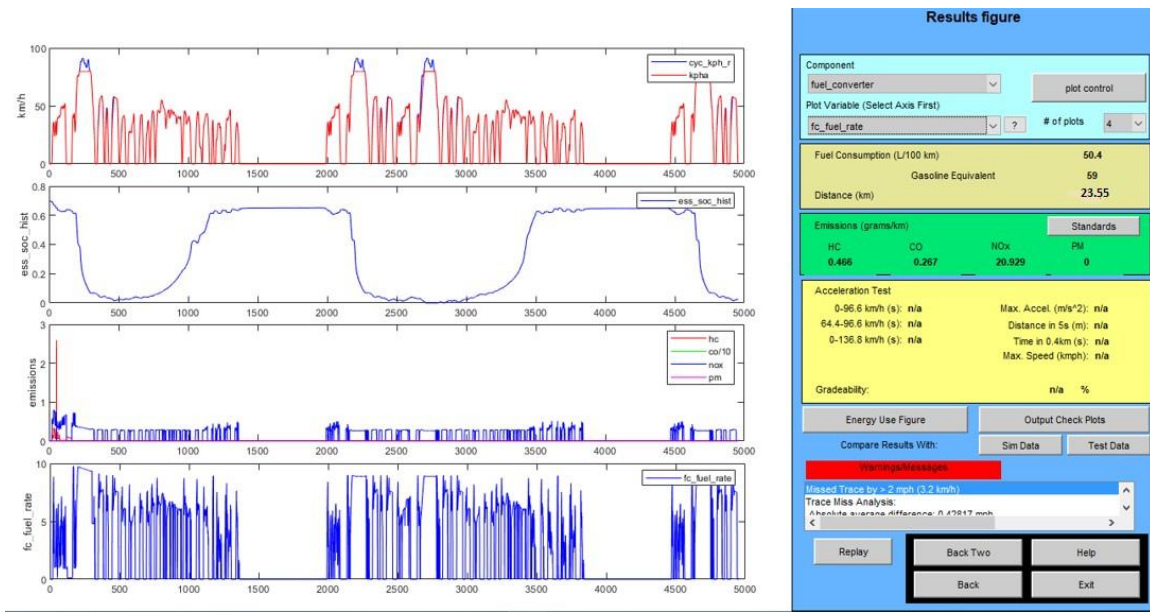


figura 41. Tasa de consumo de combustible del caso 4.

Conclusiones

Los resultados muestran tendencias notables en el uso de biocombustibles comparado con el de combustibles convencionales. Las condiciones en las que se llevaron a cabo las simulaciones fueron las mismas (terreno, ciclo de conducción y ruta).

El en primer caso se utilizó como combustible gasolina para alimenta al modelo Prius de Toyota®, los resultados muestran que los consumos no fueron los mismos pero la diferencia entre ambos fue mínima, sin embargo, la emisión de contaminantes cambió considerablemente, aumentando en casi cinco veces las emisiones de NO_x, de un valor de 0.113 g/km en el caso de la gasolina a 0.593 g/km para el caso del bioetanol, lo que es normal para la naturaleza del biocombustible.

Por otra parte, la emisión de CO se pronosticaba ser menor para el caso del bioetanol, pero se observó un aumento en la emisión de este contaminante, pasando de 0.411 g/km por parte de la gasolina hasta 1.567 g/km por parte del biocombustible, lo que representa un incremento del 381%, este resultado es considerable tomando en cuenta las consecuencias que tiene a la salud humana la exposición a este contaminante.

En el caso de la emisión de hidrocarburos (combustible sin quemar y vapores de aceite) o HC, también se tuvo un incremento del 263% pasando de la emisión de 0.363 g/km por la gasolina hasta 0.955 g/km por el bioetanol.

Se observó que el desempeño del vehículo para ambos casos cumplió con las características del ciclo de conducción, es decir, no hubo un desfase entre la velocidad estipulada con la distancia requerida utilizando cualquiera de los dos combustibles.

En las temperaturas alcanzadas por parte de los componentes del vehículo tales como el bloque, los accesorios del motor, los cilindros y el cofre, fueron más altas para el caso del vehículo utilizando gasolina, disminuyendo casi 20°C en promedio utilizando bioetanol para todos los componentes.

El consumo de combustible tuvo una diferencia mínima comparando ambos casos, en el primero (gasolina) la tasa de consumo fue de 5.1 L/100 km y en el segundo (bioetanol) fue de 5.0 L/100 km.

En el caso del modelo 7700 híbrido de Volvo se obtuvo una tasa de 51.2 L/100 km utilizando diésel fósil y una de 50.4 L/100 km para el caso del biodiésel.

Las emisiones contaminantes fueron menores utilizando biodiésel puro, obteniendo una tasa de emisión de NO_x de 20.929 g/km, en el caso del diésel fósil se tuvo una tasa de 20.951 g/km.

Para las emisiones de CO, en el primer caso (biodiésel), se obtuvo una tasa de 0.267 g/km, menor comparado con la del segundo caso (diésel fósil), la cual fue de 0.274 g/km, lo cual representó una disminución del 2.55%.

Las emisiones de HC utilizando biodiésel fueron de 0.466%, comparando esta tasa de emisión con la del diésel fósil que fue de 0.486%, se tuvo una disminución del 4.11%.

Los comportamientos de carga de la batería para el accionamiento del motor eléctrico fueron muy parecidos.

Se observa un desfase en el rendimiento del vehículo comparado con el ciclo de conducción, tomando en cuenta de que el vehículo que circula en la línea uno del Metrobús tiene características diferentes al modelo 7700 híbrido, se puede asociar ese comportamiento a esta situación, ya que en ambos casos se tuvo un comportamiento similar.

La variación de las temperaturas del motor y sus componentes no fue evidente, siendo prácticamente las mismas.

Los resultados en ambos casos tienen particularidades. En el caso del modelo Prius de Toyota®, los resultados esperados eran distintos a los obtenidos, con la revisión literaria e investigación de trabajos relacionados, se tienen tendencias que no se cumplen, tales como el consumo de combustible, el cual se pronosticaba como menor en el caso de la gasolina, así como la reducción de emisiones contaminantes

a excepción de los NOx, por el contrario, se tuvieron incrementos en los contaminantes criterio que se tomaron en cuenta, obteniendo resultados no pronosticados.

En el caso del modelo 7700 híbrido, los resultados fueron los esperados, sin embargo, la tendencia a pesar de ser cumplida no fue evidente como se pronosticaba, teniendo disminución en la emisión de contaminantes y aumento en el consumo de combustible utilizando biodiésel.

Tomando en cuenta que el software utilizado (ADVISOR) es un modelo semi-empírico, éste utiliza mapas de búsqueda en lugar de simulaciones físicas puras de motores y similares. Estos mapas tienen la ventaja de ser muy rápidos, la desventaja es que, para caracterizar un modelo, se tienen que crear estos mapas a partir de experimentación física. La recomendación que se hace por parte de los desarrolladores del programa es hacer el cambio de las características del combustible, sin embargo, la eficiencia de los mapas no será la correcta. Por lo tanto, para poder desarrollar una simulación exacta de los vehículos bajo ciertas condiciones, tales como las del sistema Metrobús, se recomienda introducir un mapa creado a partir de experimentación en dichas condiciones para poder llevar a cabo la simulación de una manera precisa y tener valores confiables.

El presente trabajo busca ser un antecedente de dicha aplicación, para que en un modelo en específico se hagan los mapas correspondientes y las simulaciones posteriores sean valores que cumplan con las tendencias establecidas.

Bibliografía

- Adler, J. (2013). Why fire makes us human . *Smithsonian magazine*.
- Aldhaidhawi, M., Chiriac, R., & Badescu, V. (2017). Ignition delay, combustion and emission characteristics of Diesel engine fueled with rapeseed biodiesel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 178-186.
- Álvarez Maciel, C. (2009). Biocombustibles: desarrollo histórico-tecnológico, mercados actuales y comercio internacional. *Economía informa*, 73-74.
- Anderson, B. (3 de Septiembre de 2018). *Milenio*. Obtenido de <https://www.milenio.com/opinion/barbara-anderson/nada-personal-solo-negocios/mexico-el-tercer-mayor-comprador-de-prius-del-mundo>
- Asamblea legislativa del Distrito Federal. (13 de Enero de 2000). Ley Ambiental de protección a la Tierra en el Distrito Federal . *Gaceta Oficial del Distrito Federal* , págs. 4-5.
- Atabani, A., Silitonga, A., Arjum Badruddin, I., Mahlia, T., Masjuki, H., & Mekhilef, S. (2012). A comprehensive review on biodiesel as an alternative energy resource and its characteristics . *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2070-2093.
- Bárceñas, M. (15 de Enero de 2019). *UNAM*. Obtenido de http://www.dcb.unam.mx/cerafin/bancorec/ejenlinea/C_Otto_MBE.pdf
- Brusco, A. (2004). El PNUMA y el Derecho Ambiental . *Programa de Regional de Capacitación en Derecho y Políticas Ambientales* (pág. 6). : PNUMA, ONU .
- Buelna Quijada, G. (1995). *Propuesta de diseño y construcción de un sistema de lavado y purificado de gases de combustión, en planta piloto; método de absorción-adsorción*. Hermosillo : Universidad de Sonora.
- Can, Ö. (2014). Combustion characteristics, performance and exhaust emissions of a diesel engine fueled with a waste cooking oil biodiesel mixture. *Energy Conversion and Management*, 676-686.
- Can, O., Oztürk, E., & Serdar Yücesu, H. (2017). Combustion and exhaust emissions of canola biodiesel blends in a single cylinder DI diesel engine. *Renewable Energy*, 73-82.
- Can, Ö., Oztürk, E., & Serdar Yücesu, H. (2017). Combustion and exhaust emissions of canola biodiesel blends in a single cylinder DI diesel engine. *Renewable Energy*, 73-82.
- Cardona Vallarta, D. E. (2018). *Optimización a escala piloto de un proceso de transesterificación de aceite comestible residual para la obtención sustentable de biodiésel*. Ciudad de México.
- Cardona, A., & Ariel, C. (2009). Perspectivas de la producción de biocombustibles en Colombia: contextos latinoamericano y mundial . *Revista de ingeniería*, 109-120.
- Çengel, Y., & Boles, M. A. (2012). *Termodinámica*. Ciudad de México: McGraw Hill.

- Cerutti, C. G. (2011). *La bioenergía en México, situación actual y perspectivas*. Ciudad de México: Red mexicana de bioenergía.
- Checa Artasu, M. M. (2016). Las áreas verdes en la Ciudad de México. Las diversas escalas de una geografía urbana . *Revista bibliográfica de geografía y ciencias sociales* .
- Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía. (2017). *CONUEE*. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/187220/vehiculohibrido_1_260117.pdf
- Consejería de Economía, Innovación y Ciencia. (23 de enero de 2019). *Agencia Andaluza de Energía* . Obtenido de https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/sites/default/files/documentos/aplicaciones_de_los_biocarburantes_0.pdf
- Crónica ambiental. (2015). Historia ambiental de México. *Crónica ambiental*.
- Departamento de energía de los Estados Unidos de América. (24 de Abril de 2013). Advanced Vehicle Simulator. Estados Unidos .
- DiLaura, D. (2008). A Brief History of Lighting . *The Optical Society*.
- Domiwebs. (18 de Julio de 2018). *Tratado de Libre Comercio de América del Norte*. Obtenido de <http://www.tlcan.com.mx/ventajas-del-tlcan.html>
- Echeverría Álvarez, L. (1976). *Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental Originada por la Emisión de Ruidos*. Ciudad de México: Diario Oficial de la Federación.
- EcuRed. (21 de Diciembre de 2016). *EcuRed, conocimiento con todos y para todos* . Obtenido de https://www.ecured.cu/Ley_de_conservaci%C3%B3n_de_la_energ%C3%ADa
- Educar Chile. (2 de Junio de 2018). *Aprende con energía* . Obtenido de <http://www.aprendeconenergia.cl/unidades-de-la-energia/>
- Ehsani, M., Gao, Y., & Longo, S. E. (2018). *Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles* . Boca Ratón : CRC Press.
- El-Seesy, A. I., Abdel-Rahman, A. K., Bady, M., & S., O. (2017). Performance, combustion, and emission characteristics of a diesel engine fueled by biodiesel-diesel mixtures with multi-walled carbon nanotubes additives. *Energy Conversion and Management*, 373-393.
- Energía nuclear. (25 de Noviembre de 2016). *Energía Nuclear.net*. Obtenido de <https://energia-nuclear.net/definiciones/energia.html>
- Fernández, J. (13 de Enero de 2019). *Primera Ley de la Termodinámica*. Obtenido de FISICALAB: <https://www.fisicalab.com/apartado/primer-principio-termo#contenidos>
- Fundación mi parque. (5 de Marzo de 2012). *Fundación mi parque*. Obtenido de <https://www.miparque.cl/la-gran-diferencia-de-m2-de-areas-verde-por-persona-en-latinoamerica/>

- Gaviria Ríos, J., Mora Guzmán, J., & Agudelo, J. (2002). Historia de los motores de combustión interna. *Revista facultad de ingeniería*, 66-78.
- Hurtado Torres, V. (2016). *Estudio de la contaminación ambiental de la ciudad de México mediante los modelos redes neuronales artificiales y algoritmos genéticos*. Ciudad de México.
- Iniesta Burgos, J., & García Fernández, P. A. (2002). *La energía. El recorrido de de la energía*. Madrid: Madrid innova.
- Instituto Argentino de Energía. (16 de Enero de 2019). IAE. Obtenido de <http://www.iae.org.ar/archivos/educ1204.pdf>
- Lede, S. (s.f.). *Los biocombustibles*. Obtenido de ArgenBio: <http://www.argenbio.org/adc/uploads/pdf/biocombustibles.pdf>
- M. Wood, B., Kirwan, K., Maggs, S., Meredith, J., & R. Coles, S. (2015). Study of combustion performance of biodiesel for potential. *Journal of cleaner production*, 167-173.
- Martín Blas, T., & Gómez, L. (15 de Enero de 2019). *Universidad Politécnica de Madrid*. Obtenido de <http://www2.montes.upm.es/dptos/digfa/cfisica/termo2p/otto.html>
- Martínez de Vedia, R. (1989). *Teoría de los motores térmicos, dinámica de gases*. Buenos Aires: Alsina.
- Martínez Villegas, A. (2007). *Motores de combustión interna*. Sant Celoni: Treball de recerca.
- Martínez, J. (2016). *Autos Híbridos*. Madrid: TAI 2.
- Medina Ramírez, I. E., Chávez Vela, N. A., & Jáuregui Rincón, J. (2012). Biodiesel, un combustible renovable. *Investigación y ciencia*, 62-70.
- Meixueiro Nájera, G. (28 de Agosto de 2006). *Medio ambiente*. Obtenido de www.diputados.gob.mx/cesop/
- Metrobús. (2019). *Gobierno de la Ciudad de México*. Obtenido de Metrobús : <https://www.metrobus.cdmx.gob.mx/dependencia/acerca-de>
- Meza Aguilar, M. d., & Moncada Maya, J. O. (2010). Las áreas verdes de la Ciudad de México. Un reto actual. *Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*.
- Micheli, J. (2000). Política ambiental en el sexenio 1994-2000. *El cotidiano*, 14.
- Molina, S. (29 de Enero de 2008). *porcinos.blogspot.com*. Obtenido de http://porcinos.blogspot.com/2006/01/historia-del-bio-gas_113857323502124249.html
- Organización de las Naciones Unidas. (2018 de Julio de 18). *UN*. Obtenido de <https://www.un.org/ruleoflaw/es/un-and-the-rule-of-law/united-nations-environment-programme/>
- Organización de los Estados Americanos. (18 de Julio de 2018). *Sistema de Información sobre Comercio Exterior*. Obtenido de http://www.sice.oas.org/Trade/nafta_s/ambien1.asp

- Orozco Segovia, A. D. (6 de Octubre de 2014). Muros verdes: creatividad y experimentación biológica. (J. Marínez Sánchez, Entrevistador)
- Paredes, J., Martínez, F., Vázquez, R., & Romero, R. (2018). Analysis of pollutant emissions in a diesel engine using biodiesel as fuel. *6 ISEBE*, (pág. 11). Ciudad Obregón.
- Pasa Duarte, V. M. (Marzo de 2010). Recomendaciones de especificaciones técnicas para el etanol y sus mezclas (E6) y la infraestructura para su manejo en México. Ciudad de México, Ciudad de México, México.
- Pawlak, W. (1984). *Funcionamiento de motores de combustión interna*. Linares : Editorial de la Universidad Autónoma de Nuevo León .
- Pemex . (2010). *Desafío ecológico*. Monterrey: Agencia Promotora de Publicaciones.
- PEMEX. (2 de Junio de 2018). *Secretaría de energía* . Obtenido de sie.energia.gob.mx/docs/glosario_hc_es.pdf
- Pérez Calderón, J. (2010). La política ambiental en México: Gestión e instrumentos económicos. *El cotidiano*, 91-97.
- Pérez Campuzano, E., & Valderrábano Almegua, M. d. (2011). *Medio ambiente, sociedad y políticas ambientales en el México contemporáneo*. Ciudad de México: Políticas Públicas Serie.
- Planck, M. (1917). *Treatise oh Thermodynamics* . Berlín: Dover Publications, Inc.
- Portal Caña. (25 de Abril de 2018). *Portal Caña*. Obtenido de <https://www.portalcania.com.ar/noticia/brasil-la-produccion-de-etanol-aumento-en-la-zafra-2017-2018/>
- Presidencia de la República. (11 de Enero de 1982). Ley federal de protección al ambiente. Ciudad de México, México: Diario oficial de la federación.
- Rafael, M., & Andrés, H. (2014). *Caracterización de un motor de combustión interna con dos tipos de combustible*. Sanfadilla: Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
- Ramos, D., Díaz, M., & Villar, M. (2016). Biocombustibles. *Universidad Nacional del Sur - Conicet*, 69-73.
- Real Academia Española. (12 de enero de 2019). Diccionario de la lengua española. Madrid, España.
- Red Mexicana de Bioenergía. (5 de Septiembre de 2018). *Red Mexicana de Bioenergía*. Obtenido de <http://rembio.org.mx/areas-tematicas/biogas/>
- REN 21. (2019). *Renewables 2019 global status report*. Paris: REN 21.
- Renewable Fuels Association . (s.f.). *enewable Fuels Association* . Obtenido de <https://ethanolrfa.org/issues/exports-and-trade/>
- Rothkopf, G. (2007). *A blueprint for green energy in the Americas*. IADB.

- Salinas Callejas, E., & Gasca Quesada, V. (2009). Los biocombustibles . *El Cotidiano* , 75-82.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (31 de Mayo de 2017). *Secretaría de gobernación* . Obtenido de Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación: <https://www.gob.mx/sagarpa/articulos/biogas-energia-natural?idiom=es>
- Secretaría de energía - República de Argentina . (2003). *Conceptos sobre energía* . Secretaría de energía de la República de Argentina.
- Secretaría del Medio Ambiente. (2003). *Inventario General de Áreas Verdes del Distrito Federal*. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Secretaría del Medio Ambiente. (4 de Agosto de 2018). Historia del monitoreo de la calidad del aire en la Ciudad de México. Ciudad de México, México.
- SourceForge. (15 de Marzo de 2019). *SOURCEFORGE*. Obtenido de <https://sourceforge.net/projects/adv-vehicle-sim/>
- Torres Rivas, D. (2005). *Planeación, espacios verdes y sustentabilidad en el distrito federal* . Ciudad de México : Universidad Autónoma Metropolitana.
- Toyota motors corporation. (2004). *Toyota Prius Modelo de 2004 2a generación, guía de respuesta ante emergencias*. Toyota motor corporation.
- Valdés Rodríguez, O. A., & Palacios-Wassenaar, O. M. (2016). Evaluación actual de plantaciones para biocombustibles: perspectivas y retos para México. *Research gate*, 33-41.
- Volvo buses. (2015). *Autobuses híbridos, movilidad y ambiente ahora en paralelo*. Tultitlán: Volvo.

Glosario

- BTEX: Acrónimo que tiene como significado benceno, tolueno, etilbenceno y xileno.
- LADF: Ley ambiental del Distrito Federal.
- LFPCCA: Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental.
- Máquina térmica: Dispositivo cuyo principio de funcionamiento se basa en un ciclo termodinámico, realizando una cierta cantidad de trabajo transfiriendo calor de un cuerpo con alta temperatura a otro con baja temperatura.
- Motor de combustión interna: Dispositivo que funciona mediante la liberación de energía que se logra en su interior por medio de la explosión de un combustible.
- Motor híbrido: Es aquel que tiene la combinación de dos o más propulsores, para generar movimiento.
- OMS: Organización Mundial de la Salud.
- ONU: Organización de las Naciones Unidas.
- PNUD: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.
- PST: Partículas Suspendidas Totales.
- RAMA: Red Automática de Monitoreo Atmosférico.
- REDDA: Red de Depósito Atmosférico.
- REDMA: Red Manual de Monitoreo Atmosférico.
- REDMET: Red de Meteorología y Radiación Solar.

- REDPANAIRE: Red Panamericana de Muestreo Normalizado de la contaminación del aire.
- SEDUE: Secretaria de Desarrollo Urbano y Ecología.
- SIMAT: Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México.
- SMA: Secretaria del Medio Ambiente.
- SSA: Secretaria de Seguridad y Asistencia.
- SSP: Secretaria de Seguridad Pública.
- ZMVM: Zona Metropolitana del Valle de México

Anexos

Anexo 1

Especificaciones del modelo 7700 híbrido de Volvo®



Las ciudades mexicanas se unen a la onda verde de buses alrededor del mundo que ya utilizan autobuses híbridos Volvo.

Autobus BSL híbrido en Londres.

VOLVO 7700 HÍBRIDO:

Longitud: 12 m.
Altura: 3,20 m.
Ancho: 2,55 m.
Accesor: Piso bajo.
Distancia entre ejes: 5,95 m.
Peso bruto vehicular: 18,000 Kg.
Suspensión: Suspensión neumática electrónica.
Dirección: Dirección de alimentación eléctrica.
Compresor de aire: Compresor eléctrico rotatorio.
Frenos: Frenos de disco EBS.
Número de puertas: 3 en costado derecho.
Altura de entradas: 25, 27, 27 cm.
Capacidad de pasajeros: 95 personas.
Sistema híbrido: Híbrido en paralelo Volvo I-Shift.
Motor diesel: Volvo D5E.
Potencia/ Par motor Diesel: 210hp/800Nm.
Potencia/ Par motor eléctrico: 160hp/800Nm.
Caja de cambios: Sistema de cambio automático Volvo I-Shift.



Volvo Autobuses

GreenEFFICIENCY

Lugar de Guatemala 289, Fase Industrial Cartagena, Tuxtla, Estado de México 54900
Tel. +52 (55) 5090-3100, 01 800 88 VOLVO(885880), Fax. +52 (55) 5090-3178
servicioclientes@volvo.com

DESCUBRE EL NUEVO VOLVO 7700 HÍBRIDO



MÁXIMAS VENTAJAS PARA EL ENTORNO URBANO.

La tecnología híbrida para autobuses Volvo recicla la energía generada por los frenos en las frecuentes paradas del tránsito urbano. En vez de perderse en forma de calor, esta energía se utiliza para propulsar el autobús. De esta forma, el consumo de combustible en modo eléctrico es 30% y las emisiones contaminantes caen en 40-50%. Además, el arranque es silencioso debido al uso del motor eléctrico en el inicio.

Elige la solución híbrida en paralelo de Volvo.

La solución híbrida desarrollada por Volvo es revolucionaria. Se trata de un híbrido en paralelo, lo que significa que el autobús tiene un motor diesel y otro eléctrico que funcionan de forma independiente. El motor eléctrico se utiliza para arrancar el autobús y acelerarlo hasta una velocidad de 20 km/h, y hasta 40 km/h en modo eléctrico. Cada vez que se accionan los frenos, esta energía se utiliza para cargar las baterías. El motor eléctrico proporciona un par mismo desde el arranque, lo que resulta en excelente aceleración y facilidad de conducción.

Reducción de las emisiones entre un 40 y un 50%.

El Volvo 7700 híbrido demuestra que un nivel bajo de emisiones es compatible con una elevada capacidad de transporte. Cuando el autobús se detiene, el motor diesel para autonomía comienza y se activa la energía eléctrica, eliminando emisiones en ralentí. El motor diesel no se activa de nuevo hasta que el autobús llega a CO2 NCV, que reduce en 40-50%. El Volvo 7700 Híbrido tiene como opción un filtro que reduce en un 80% adicionales las partículas pesadas. Como ventaja ambiental añadida, el nivel general de ruido provocado por el motor es de alrededor de 44dBA.

Reducción del consumo de combustible hasta en un 30%.

El sistema híbrido de Volvo realmente ahorra energía. De hecho, Volvo Buses ha conseguido el respaldo oficial de la Agencia Sueca de Energía para su desarrollo. El sistema híbrido reduce considerablemente el consumo de combustible y, por consiguiente, reduce los costos de operación. Esto no solo reduce el costo de combustible, sino también el costo del autobús: la gran potencia del motor eléctrico también hace posible la instalación de un motor diesel más pequeño y económico. Asimismo, componentes auxiliares del motor reducen su tamaño y peso.

Garantía de productividad, comodidad y seguridad.

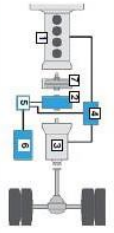
El Volvo 7700 híbrido es un auténtico vehículo para transporte de personas con un alto nivel de comodidad y seguridad. Con capacidad para 90-100 pasajeros, el 7700 Híbrido cuenta con un amplio espacio, configuración de piso bajo y amplias puertas dobles para un rápido y cómodo flujo de pasajeros. El nuevo sistema integrado de control de tráfico de Volvo ofrece un mayor espacio de maniobra para el conductor. El nuevo sistema de frenos de disco controlados electrónicamente, sistema ABS que incluye ABS y ASR, lo que ofrece un frenado más rápido y en corta distancia.



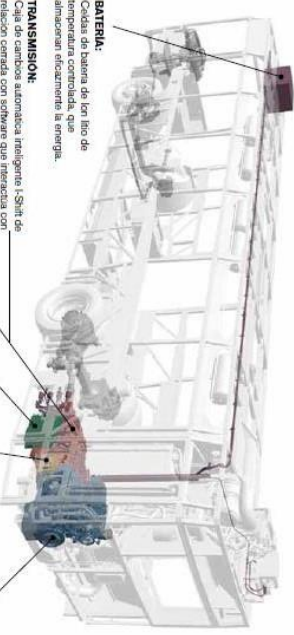
OPTE POR LA TECNOLOGÍA HÍBRIDA FIABLE Y EFICAZ.

i-Charge es el núcleo del sistema híbrido desarrollado por Volvo. i-Charge ofrece fiabilidad y eficacia superiores por varias razones:

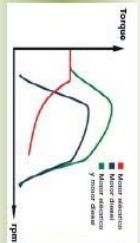
- * Sistema híbrido en paralelo que usa el motor eléctrico y motor diesel de forma independiente o al mismo tiempo, según la ruta.
- * Sistema integrado con componentes principales Volvo actuando en perfecta sincronía.
- * Motor eléctrico optimizado para el sistema de tracción.



- Principales componentes de Volvo i-Charge.**
1. Motor diesel.
 2. Motor/generador eléctrico.
 3. Caja de cambios.
 4. Unidad de gestión del sistema de transmisión (PMU).
 5. Unidad de gestión de la energía CO2/CO/NOx/PM.
 6. Baterías.
 7. Eje trasero.



- BATERÍA:**
Celdas de batería de ion litio de temperatura controlada, que almacenan eficientemente la energía.
- TRANSMISIÓN:**
Caja de cambios automática inteligente i-Shift de relación cambiada con software que interactúa con el sistema híbrido y optimizada para el tráfico urbano e interurbano, ofreciendo un consumo de combustible óptimo.
- MOTOR/GENERADOR ELÉCTRICO:**
i-SAM Motor Alternador de Arranque Integrado es un motor magnético permanente que funciona con corriente alterna y que también sirve como generador.
- CONVERTIDOR DE ENERGÍA CO2/CO/NOx/PM:**
Convertidor de CO2/CO/NOx/PM.
- MOTOR DIESEL:**
Motor diesel Volvo D5E de 4 cilindros y 5 litros con bajo consumo de combustible y 210 km/h máximo velocidad en la carretera. El motor cumple con el nivel de la gama Volvo 7700.
- UNIDAD DE GESTIÓN DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN (PMU):**
El control del sistema es el módulo de control electrónico que regula la activación y desactivación de la energía eléctrica y la energía diesel, así como los modos de cambio de marcha y la recarga de la batería.



Mayor capacidad que los autobuses urbanos convencionales.
El motor diesel arranca cuando el autobús alcanza una determinada velocidad propulsado por el motor eléctrico. Las dos fuentes de energía funcionan después en combinación. Las ventajas propulsadas a la vez son: el motor eléctrico proporciona un alto nivel de torque y potencia de tracción a más revoluciones del motor diesel.

Anexo 2

Especificaciones del modelo Prius de Toyota®

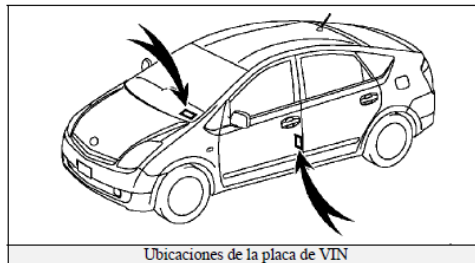
Identificación del Prius

El Prius de 2004 es un hatchback de 5 puertas. Las ilustraciones del exterior, del interior y del compartimiento del motor proporcionadas sirven para ayudar a su identificación.

El número de identificación del vehículo con 17 caracteres alfanuméricos se encuentra en el cubretablero del parabrisas delantero y en el montante de la puerta del conductor.

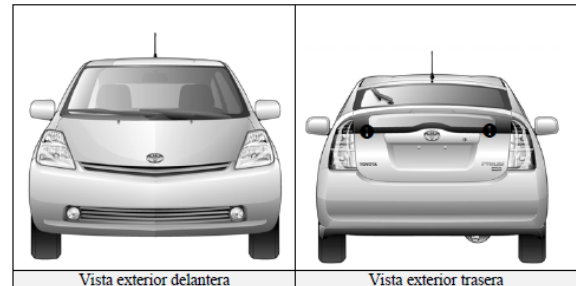
Ejemplo de VIN: JTDKB20U840020208

(El modelo Prius se identifica mediante los primeros 6 caracteres alfanuméricos: JTDKB2)



Exterior

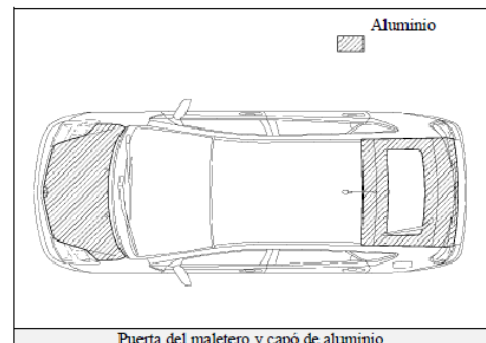
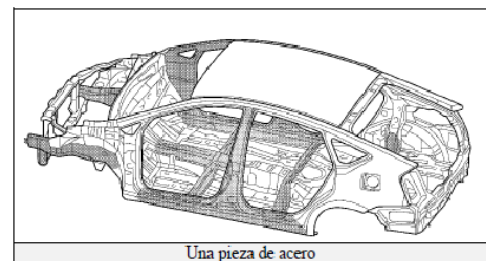
- ① TOYOTA PRIUS en la puerta del maletero.
- ② Tapa del depósito de combustible situada en el panel posterior lateral del lado del conductor.



Ubicación y descripción de los componentes del sistema Hybrid Synergy Drive (continuación)

Especificaciones clave:

Motor de gasolina:	Motor de aleación de aluminio de 1,5 litros y 76 cv
Motor eléctrico:	67 cv, motor de imanes permanentes
Transmisión:	Solo automática
Batería HV:	Batería de NiMH sellada de 201 V
Peso en vacío:	2.890 lb
Depósito de combustible:	11,9 galones
Millas por galón:	60/51 mpg (ciudad/carretera)
Litros/100 km:	4,0/4,2 L/100 km (ciudad/carretera)
Material del bastidor:	Una pieza de acero
Material de la carrocería:	Paneles de acero excepto en la puerta del maletero y en el capó, que se ha utilizado aluminio.



Anexo 3

Hoja de datos de seguridad del Pemex diesel



PEMEX DIESEL
 Núm. Versión: 6
 NOM-018-STPS-2000

Hoja de Datos de Seguridad

SECCIÓN I. DATOS GENERALES

HDSS: PR-301/2010

PEMEX DIESEL



No. ONU¹: 1202

No. CAS²: 68476-34-6

FECHA ELAB: 30/10/1998

REVISIÓN: 6

FECHA REV: 23/11/2016

FABRICANTE	EN CASO DE EMERGENCIA LLAMAR:
PEMEX: Av. Marina Nacional No. 329 C-3, colonia Verónica Anzures, Delegación Miguel Hidalgo, México, Ciudad de México, C. P. 11300. Teléfonos: (0155) - 19449365 y 19448895 (Horario de oficina).	SETIQ³: <ul style="list-style-type: none"> ▪ 01800 – 0021400, sin costo las 24 horas. ▪ (0155) – 55591588, Cd. de México, las 24 horas.
ASISTENCIA TÉCNICA: Teléfonos: (0155) – 19448164 (Horario de oficina).	CENACOM⁴: <ul style="list-style-type: none"> ▪ 01800 – 0041300, sin costo las 24 horas. ▪ (0155) – 51280000, ext. 11470 a 11476, Cd. de México, las 24 horas.
CONSULTA HOJAS DE DATOS DE SEGURIDAD: Teléfonos: (0155) – 19448628 y 19448041 (Horario de oficina).	COATEA⁵: <ul style="list-style-type: none"> ▪ 01800 – 7104943, sin costo las 24 horas. ▪ (0155) – 54496391 y 26152045 Cd. de México, las 24 horas.
	CCAE⁶: <ul style="list-style-type: none"> ▪ (0155) - 9686 6520 ▪ Correo electrónico: ccae@pemex.com

SECCIÓN II. DATOS GENERALES DEL PRODUCTO

Nombre químico: ND	Estado físico: Líquido
Nombre comercial: Diesel	Clase de Riesgo de transporte SCT ⁷ : Clase 3, "Líquidos inflamables"
Familia química: ND	No. Guía de Respuesta GRE ⁸ : 128
Sinónimos: Pemex Diesel	
Descripción general del producto: No disponible.	



Hoja de Datos de Seguridad

SECCIÓN III. IDENTIFICACIÓN DE COMPONENTES

COMPONENTE	% VOL.	NÚMERO ONU ¹	NÚMERO CAS ²	PPT ⁹ (mg/m ³)	CT ¹⁰ (ppm)	P ¹¹ (ppm)	IPVS ¹² (ppm)	GRADO DE RIESGO NFPA ¹³			
								S ¹⁴	I ¹⁵	R ¹⁶	E ¹⁷
Diesel	100%	1202	68476-34-6	100	ND	ND	ND	1	2	0	ND
Aromáticos	35% máx.	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Azufre	500 mg/kg	1350	7704-34-9	ND	ND	ND	ND	2	1	0	ND

SECCIÓN IV. PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

Temperatura de ebullición (°C): ND	Color: (2.5 máximo) ASTM-D 1500 ^B
Temperatura de fusión (°C): ND	Olor: Característico a hidrocarburo
Temperatura de inflamación (°C): 45 (mínimo) (ASTM-D 93) ^B	Velocidad de evaporación: ND
Temperatura de auto ignición (°C): 254 - 285°C ^A	Solubilidad en agua @ 20°C (g/100 ml): 0.0005 ^A
Densidad (g/m ³): 0.87 – 0.95 ^A	Presión de vapor (kPa): ND
pH: (IV.6) ND	% de volatilidad: NA
Peso molecular: ND	Límites de explosividad inferior-superior: 0.6 - 6.5 ^A
Estado físico: Líquido	Viscosidad cinemática @ 40°C (mm ² /s): 1.9 - 4.1 ^B

SECCIÓN V. RIESGOS DE FUEGO Y EXPLOSIÓN

Medio de extinción:

- Fuegos pequeños: Utilizar agua en forma de rocío o niebla, polvo químico seco, bióxido de carbono o espuma química.
- Fuegos grandes: Utilizar agua en forma de rocío o niebla, no usar chorro de agua directa, usar espuma química.

Equipo de protección personal para el combate de incendios:

- El personal que combate incendios de esta sustancia en espacios confinados, debe emplear equipo de respiración autónomo y traje para bombero profesional completo; el uso de este último proporciona solamente protección limitada.

Procedimiento y precauciones especiales durante el combate de incendios:

- Utilizar agua en forma de rocío para enfriar contenedores y estructuras expuestas y para proteger al personal que intenta eliminar la fuga.

Anexo 4

Normas oficiales mexicanas de calidad del aire ambiente

Contaminante	Dato utilizado para la evaluación	Exposición	Frecuencia tolerada	Valor límite del indicador con el que se evalúa	Norma oficial mexicana
Partículas PM ₁₀	Promedio 24 horas	Aguda	No se permite	75 µg/m ³ Máximo	NOM-025-SSA1-2014
		Crónica	- -	40 µg/m ³ Promedio anual	
Partículas PM _{2.5}	Promedio 24 horas	Aguda	No se permite	45 µg/m ³ Máximo	
		Crónica	- -	12 µg/m ³ Promedio anual	
Ozono (O ₃)	Dato horario	Aguda	No se permite	0.095 ppm Máximo	NOM-020-SSA1-2014
	Promedio móvil de 8 horas		No se permite	0.070 ppm Máximo	
Dióxido de azufre (SO ₂)	Promedio de 8 horas	Aguda	1 vez al año	0.200 ppm Segundo máximo	NOM-022-SSA1-2010
	Promedio de 24 horas	Aguda	No se permite	0.110 ppm Máximo	
	Dato horario	Crónico	- -	0.025 ppm Promedio anual	
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	Dato horario	Aguda	1 vez al año	0.210 ppm Segundo máximo	NOM-023-SSA1-1993
Monóxido de carbono (CO)	Promedio móvil de 8 hora	Aguda	1 vez al año	11 ppm segundo máximo	NOM-021-SSA1-1993
Plomo (Pb)	Promedio aritmético de tres meses	Crónica	No se permite	1.5 µg/m ³	NOM-026-SSA-1993



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
UNIDAD CULHUACÁN**

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

**ANÁLISIS DE EMISIONES DE MOTORES DE
COMBUSTIÓN INTERNA UTILIZANDO
BIOCOMBUSTIBLES**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO
MECÁNICO**

P R E S E N T A

RENATO AUGUSTO ROMERO MERINO

ASESORES

Dr. Juan Carlos Paredes Rojas

M. en C. Fernando Elí Ortiz Hernández



CIUDAD DE MÉXICO

Agradecimientos

A quienes permitieron mi existencia en este mundo, por darme esta oportunidad llamada vida, así como las herramientas para caminar por ella, por estar aquí y ahora conmigo, por estarlo siempre.

A mis padres, a quienes les debo absolutamente todo lo que soy. Nunca me cansaré de agradecerles todo lo que han hecho por mi hermano y por mí, por enfrentar el reto de aceptarnos en sus vidas, por estar siempre con nosotros, por guiarnos, apoyarnos y formarnos, por su confianza, amor y apoyo eterno, soy muy afortunado de ser su hijo. El amor, admiración y agradecimiento que siento por ustedes va más allá de lo que se puede escribir, para mi infortunio hay palabras que no pueden describir ciertos sentimientos. Peleke y Palato, quiero dedicarles este trabajo en especial a ustedes, ojalá que esto les recuerde que mis esfuerzos serán motivados por la existencia de ustedes y los logros son colectivos, son nuestros.

A mi mejor amigo en la vida, a mi compañero, confidente y cómplice, mi hermano Roy, quien es la persona que me ha acompañado en mi vida y quien me ha enseñado mejor que nadie el significado de lealtad, amor y compañerismo, Roy eres el mejor colega que me ha dado la vida y me siento muy orgulloso de ser tu hermano, mi cariño hacia ti es inmarcesible.

A mi familia por brindarme su apoyo incondicional, por su confianza y cariño, por estar siempre conmigo, sin ustedes no soy nada.

A mis amigos, quienes han sido un pilar en mi vida, gracias a todos por sus palabras y métodos poco ortodoxos para motivarme a dar más de mí, son muy importantes en mi vida.

Quiero agradecer especialmente al mejor ingeniero que he conocido y quien desinteresadamente me ha hecho una mejor persona y un mejor técnico con sus consejos y apoyo, me refiero a mi tío Miguel Herrera, a quien le reitero mi admiración y respeto por su grandeza en todos los aspectos.

A todos los profesores con quienes tuve la fortuna de coincidir, por inspirarme, aumentar mi curiosidad y sembrar en mí la pasión por lo que se hace. En especial quiero agradecer a Óscar Jiménez, Nancy Mondragón, Louis Ejiofor, Magdaleno Vázquez, Javier Nájera, Víctor Reyes, Rosa Isabel Gómez, Sandra Enríquez y Germán Gutiérrez por ayudarme a reducir lo que ignoraba.

A mis asesores; el Dr. Juan Carlos Paredes Rojas por su apoyo incondicional a lo largo de estos años, por ayudarme a crecer y a encontrar oportunidades que antes era imposible verlas por mí mismo, por mostrarme que ir más lejos es cuestión de dedicación. Al maestro Fernando Eli Ortiz Hernández, quien me ha dado una visión más objetiva de lo que es la investigación, gracias por su colaboración para la realización de este trabajo.

Análisis de emisiones de motores de combustión interna utilizando biocombustibles

A la memoria de Papá Jaime

Índice

Resumen	1
Abstract	2
Introducción.....	3
Objetivos específicos.....	5
Justificación	5
CAPÍTULO I. ESTADO DEL ARTE	6
1.1 Motores de combustión interna.....	7
1.2 Historia de la contaminación del aire en México	11
1.3 Historia del monitoreo de la calidad del aire en la Ciudad de México	16
1.4 Historia de las políticas ambientales en México.....	18
1.4.1 México prehispánico (30 000 a. C. hasta 1521).....	18
1.4.2 La Conquista y la Colonia (1519-1821).....	19
1.4.3 México independiente (1821-1877).....	19
1.4.4 El Porfiriato (1877-1911).....	20
1.4.5 La Revolución y el México posrevolucionario (1910-2000).....	20
1.5 Biocombustibles	28
1.5.1 Principales biocombustibles.....	28
1.5.1.1 Bioetanol	29
1.5.1.2 Biodiesel.....	30
1.5.1.3 Biogás.....	32
1.6 Proyectos relacionados	34
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	37
2.1 Energía.....	38
2.1.1 Formas de energía.....	38
2.2 Motores de combustión interna.....	41
2.2.1 Clasificación de los motores de combustión interna	41
2.2.2 Aspectos termodinámicos de los motores de combustión interna	43
2.2.2.1 Calor.....	43

2.2.2.2 Trabajo.....	43
2.2.2.3 Ciclos termodinámicos.....	44
2.2.3 Ciclos de funcionamiento de un motor de combustión interna.....	46
2.2.3.1 Ciclo Otto	46
2.2.3.2 Ciclo Diésel.....	49
2.2.4 Combustibles	49
2.2.4.1 Clasificación de los combustibles.....	50
2.2.4.2 Biocombustibles	52
2.2.4.3 Ventajas y desventajas de los biocombustibles.....	55
2.2.4.4 Supuestos de normas internacionales.....	59
CAPÍTULO III. DISEÑO DE VEHÍCULOS HÍBRIDOS Y SIMULACIÓN	68
3.1 Sistema de corredores de transporte público de pasajeros de la Ciudad de México (Metrobús)	69
3.1.1 Componentes del sistema	69
3.1.1.1 Infraestructura.....	70
3.1.1.2 Organización	70
3.1.1.3 Operación	70
3.1.1.4 Tecnología.....	70
3.1.2 Líneas del Metrobús	71
3.1.2.1 Línea 1 – Avenida de los insurgentes	71
3.1.2.2 Línea 2 – Eje 4 Sur.....	72
3.1.2.3 Línea 3 – Eje 1 Poniente.....	72
3.1.2.4 Línea 4 – Buenavista – San Lázaro – Aeropuerto Terminales 1 y 2	73
3.1.2.5 Línea 5 – Eje 3 Oriente – Avenida Ingeniero Eduardo Molina.....	74
3.1.2.6 Línea 6 – Eje 5 Norte – Avenida Montevideo	74
3.1.2.7 Línea 7 – Avenida Paseo de la Reforma	75
3.1.3 Cronología del Metrobús.....	76
3.2 Autos híbridos	81
3.2.1 Componentes de un auto híbrido.....	81
3.2.1.1 Motor a gasolina.....	81
3.2.1.2 Baterías.....	82
3.2.1.3 Motor Eléctrico.....	82

3.2.1.4	Generador.....	82
3.2.1.5	Convertidor.....	82
3.2.1.6	Cargador.....	83
3.2.1.7	Variador.....	83
3.2.1.8	Transmisión.....	83
3.2.2	Ventajas.....	83
3.2.3	Desventajas.....	84
3.2.4	Autos híbridos en serie.....	84
3.2.5	Autos híbridos en paralelo.....	85
3.2.6	Autos híbridos en serie – paralelo.....	86
3.3	Simulación de vehículos híbridos.....	87
3.3.1	Características de un vehículo Toyota® modelo Prius 2004.....	87
3.3.2	Características de un vehículo Volvo® 7700 híbrido.....	90
3.4	Condiciones de simulación.....	93
3.4.1	Ciclo de conducción de la línea 1 del Metrobús.....	93
3.4.2	Características de los combustibles.....	95
3.4.3	Definición de los vehículos.....	98
3.4.4	Introducción del ciclo de conducción.....	100
CAPÍTULO 4. RESULTADOS	.....	103
4.1	Caso 1: Toyota Prius utilizando gasolina.....	104
4.2	Caso 2: Toyota Prius utilizando bioetanol.....	106
4.3	Caso 3: Volvo 7700 híbrido utilizando diésel.....	108
4.4	Caso 4: Volvo 7700 utilizando biodiésel.....	110
	Conclusiones.....	113
	Bibliografía.....	116
	Glosario.....	121
	Anexos.....	123

Índice de Figuras

Figura 1. Ciclo termodinámico.....	7
Figura 2. Mapa de áreas verdes urbanas de la Ciudad de México.	15
Figura 3. Leyes y secretarías de gestión ambiental.	21
Figura 4. Recuento de la gestión ambiental desde sus inicios hasta la actualidad.....	26
Figura 5. Tipos de Energía.....	39
Figura 6. Mapa conceptual de la energía.	40
Figura 7. Ciclo termodinámico convencional.	45
Figura 8. Ciclo Termodinámico inverso.	45
Figura 9. Tiempo de un Ciclo Otto: a) Admisión, b) Compresión, c) Expansión, d) Escape.	48
Figura 10. presión (P) – volumen (V) y temperatura (T) – entropía (S).	48
Figura 11. Cuadro sinóptico de la clasificación de los combustibles.	51
Figura 12. Biocombustibles	54
Figura 13. Mapa de las líneas del Metrobús de la Ciudad de México.	80
Figura 14. Diagrama de un auto híbrido en serie.	85
Figura 15. Diagrama de un auto híbrido en paralelo.	86
Figura 16. Comportamiento de auto híbrido serie-paralelo.	86
Figura 17. Toyota Prius 2004 de 2° Generación.	90
Figura 18. Dimensiones de autobús Volvo® 7700 híbrido	93
Figura 19. Gráfica Velocidad-Tiempo del Ciclo de conducción de la línea 1.....	94
Figura 20. Perfil de elevación de la línea 1.....	95
Figura 21. Ingreso del Toyota Prius a la interfaz gráfica del simulador.	99
Figura 22. Ingreso de los datos a la interfaz gráfica del simulador.....	99
Figura 23. Ingreso del ciclo de conducción creado al simulador.	101
Figura 24. Cambios de parámetros en la interfaz gráfica del simulador.....	101
Figura 25. Cambios de parámetros en la interfaz gráfica del simulador.....	102
Figura 26. Gráfica de comportamiento del Toyota Prius utilizando gasolina (caso 1)...	104
Figura 27. Tasa de emisión de contaminantes del caso 1.....	105
Figura 28. Temperaturas de los componentes del caso 1.....	105
Figura 29. Tasa de consumo de combustible del caso 1.....	105
Figura 30. Grafica de comportamiento del Toyota Prius utilizando bioetanol (caso 2)..	106
Figura 31. Tasa de emisión de contaminantes del caso 2.....	106
Figura 32. Temperaturas de los componentes del caso 2.....	107
Figura 33. Tasa de consumo de combustible del caso 2.....	107
Figura 34. Gráfica de comportamiento del Volvo 7700 híbrido utilizando diésel (caso 3).....	108
Figura 35. Tasa de emisión de contaminantes del caso 3.....	108
Figura 36. Temperaturas de los componentes del caso 3.....	109
Figura 37. Tasa de consumo de combustible del caso 3.....	109
Figura 38. Gráfica de comportamiento del Volvo 7700 híbrido utilizando biodiésel (caso 4)....	110
Figura 39. Tasa de emisión de contaminantes del caso 4.....	110
Figura 40. Temperaturas de los componentes del caso 4.....	111
Figura 41. Tasa de consumo de combustible del caso 4.....	111

Índice de Tablas

Tabla 1. Areas verdes en la Ciudad de México.	11
Tabla 2. Tipos de áreas verdes según la LADF.	13
Tabla 3. Especificaciones de las áreas verdes de la Ciudad de México por delegación. 14	
Tabla 4. Producción y consumo de materias primas en países europeos.....	30
Tabla 5. Tipos de clasificación de los motores de combustión interna.....	42
Tabla 6. La Primera Ley de la Termodinámica.	44
Tabla 7. Tipos de Biocombustibles.....	52
Tabla 8. Ventajas y desventajas de los diferentes biocombustibles.....	56
Tabla 9. Descripción y aplicaciones de los biocarburantes.	58
Tabla 10. Mandatos para el transporte renovable por países.	60
Tabla 11. Características de la línea 1 de Metrobús.	94
Tabla 12. Características del biodiesel según la norma ASTM D6751.....	95
Tabla 13. Características de las Normas: ASTM D4814, ANP Resolución 36 y PrEN 15376. ...	96

Resumen

El mercado de la bioenergía en México no ha impulsado implementaciones sólidas con el propósito de reducir las emisiones contaminantes a la atmósfera en busca del desarrollo sostenible. El objetivo del presente trabajo es determinar el rendimiento energético de un autobús híbrido de piso bajo modelo 7700 de Volvo® y de un automóvil modelo Prius de Toyota®, mediante simulaciones del programa Advisor (simulador avanzado de vehículos) en MATLAB. Estos vehículos fueron seleccionados porque pertenecen a la flota común de autobuses del sistema de transporte público de la Ciudad de México (STP), también conocido como Metrobús y el segundo es el automóvil híbrido más vendido en México. La ruta seleccionada es: la ruta Insurgentes - Indios verdes, línea 1 del sistema de autobús de tránsito rápido, porque comunica a la ciudad de México de norte a sur. Los parámetros considerados, son condiciones reales: número de estaciones, elevación de la ruta, flujo másico (pasajeros) y características automotrices. Los ciclos de conducción fueron diseñados a partir de la información provista por el STP y el combustible utilizado fue biodiésel, diésel fósil, gasolina y bioetanol. Este trabajo busca demostrar que el uso de biocombustibles en el transporte es una buena inversión para reducir el impacto ambiental sin comprometer el buen desempeño del mismo. Los resultados indican que, debido al valor calorífico del biodiésel, el rendimiento disminuyó en potencia y aumentó el consumo de combustible, pero también mostró características positivas en la reducción de emisiones contaminantes a la atmósfera, teniendo esto en comparación con el comportamiento del vehículo en funcionamiento sólo con diésel fósil. Para el caso del bioetanol, los resultados no mostraron mejoría al sustituir por gasolina. Este trabajo se deriva del proyecto IPN SIP 20181515 “Innovación y desarrollo sostenible en microempresas rurales”.

Palabras clave: Autobús de pasajeros, motor híbrido, biodiésel, automóvil híbrido, bioetanol.

Abstract

The bioenergy market in Mexico has not promoted solid implementations with the purpose of reducing pollutant emissions into the atmosphere in search of sustainable development. The objective of this work is to determine the energy efficiency of a Volvo® 7700 low floor hybrid bus and a Toyota® Prius model car, using simulations of the Advisor program (advanced vehicle simulator) in MATLAB. These vehicles were selected because they belong to the common bus fleet of the Mexico City public transport system (STP), also known as Metrobús and the second is the best-selling hybrid car in Mexico. The selected route is: Insurgentes - Indios Verdes, line 1 of the rapid transit bus system, because it communicates to Mexico City from north to south. The parameters considered are real conditions: number of stations, route elevation, mass flow (passengers) and automotive characteristics. The driving cycles were designed based on the information provided by the STP and the fuel used was biodiesel, fossil diesel, gasoline and bioethanol. This work seeks to demonstrate that the use of biofuels in transport is a good investment to reduce its environmental impact. The results indicate that due to the calorific value of biodiesel, the performance decreased in power and fuel consumption increased, but also showed positive characteristics in reducing pollutant emissions to the atmosphere, having this compared to the behavior of the vehicle in operation only with fossil diesel. In the case of bioethanol, the results showed no improvement when replacing gasoline. This work derives from the project: IPN SIP 20181515 "Innovative and sustainable development in rural microenterprises".

Keywords: Passenger bus, hybrid engine, biodiesel, bioethanol hybrid car.

Introducción

El crecimiento acelerado que ha tenido la sociedad en su búsqueda por el desarrollo, desde la revolución industrial, ha provocado la ruptura del equilibrio natural del planeta, modificando sus condiciones óptimas para la sostenibilidad de la vida.

Dentro de las actividades antropogénicas, el sector transporte es uno de los que mayor impacto ambiental tiene y su crecimiento se ha ido elevando en los últimos años.

A pesar de los esfuerzos que se han tenido tanto tecnológica como políticamente para la reducción de emisiones contaminantes, éstos han sido insuficientes para lograrlo, por el contrario, los niveles de toxicidad, así como las consecuencias de éstos, han aumentado, lo que se refleja en la creciente tasa de mortalidad. Esto se puede observar en la pérdida de biodiversidad, así como de la productividad por parte de la sociedad, lo que se traduce en grandes inversiones en el sector salud y de protección ambiental para poder atender esta situación que sigue agravándose.

Este fenómeno es imposible de ignorar, por lo que se deben implementar estrategias para una solución inmediata.

La fuente de energía más utilizada en el transporte son los combustibles fósiles. El uso de los mismos se debe a la oferta que se tiene, sus beneficios termodinámicos, además de su relativo bajo costo. No obstante, el impacto que provocan es alto, así como de ser recursos no renovables. Como alternativa, se han propuesto los biocombustibles, que encima de ser una fuente energética renovable, sus características son muy similares a las de los combustibles fósiles y su desarrollo ha permitido ampliar la matriz energética en búsqueda de fuentes más limpias.

La generación de nuevas tecnologías sumado con una buena gestión de las mismas pretende dar cambios positivos al desarrollo económico sin comprometer al medio ambiente. Ejemplo de esto, es la generación e implementación de tecnologías más limpias, así como programas de concientización a la sociedad con miras a un desarrollo sostenible.

Los intentos para responder al deterioro del planeta deben persistir para estructurar estrategias sólidas y permanentes, aprovechando los recursos científicos y tecnológicos disponibles, además de no detenerse en la búsqueda de ampliarlos a favor del medio ambiente y el desarrollo.

Objetivo general

Evaluar el comportamiento de los dos vehículos híbridos más utilizados para el transporte público y privado en la Ciudad de México, utilizando biocombustibles, por medio de un simulador avanzado de vehículos.

Objetivos específicos

1. Investigar información respectiva a los vehículos y a la ruta elegida.
2. Diseñar un ciclo de conducción.
3. Analizar la información al lenguaje de programación del software utilizado.
4. Evaluar y discutir los resultados obtenidos.

Justificación

El propósito del proyecto es demostrar que el uso de biocombustibles en vehículos automotores híbridos disminuye la emisión de contaminantes a la atmósfera sin comprometer el desempeño de los mismos.

Por otra parte, se dará seguimiento del proyecto para poder desarrollar modelos de emisiones para que se logren resultados más precisos con el mismo simulador aprovechando el principio de funcionamiento del mismo.

Capítulo I

Estado del arte

1.1 Motores de combustión interna

Uno de los retos más importantes para la humanidad ha sido la transformación de energía de la manera en la que la naturaleza la provee, de modo que esta sea aprovechable para satisfacer sus necesidades.

La energía que la naturaleza suministra necesita algunos tratamientos previos a la utilización de ésta para poder efectuar un trabajo. El hombre ha utilizado la reserva natural que está contenida en algunas sustancias, tales como, la energía química o nuclear para poder ser transformadas en energía térmica. El calor originado a partir de estas fuentes es transformado por medio de dispositivos, en trabajo. Dichos dispositivos son llamados máquinas térmicas y se pueden caracterizar por lo siguiente:

1. Reciben calor de una fuente a temperatura alta (energía solar, horno de petróleo, reactor nuclear, etcétera).
2. Convierten parte de este calor en trabajo (por lo general en la forma de una flecha rotatoria).
3. Rechazan el calor de desecho hacia un sumidero de calor de baja temperatura (la atmósfera, los ríos, etcétera).
4. Operan en un ciclo.

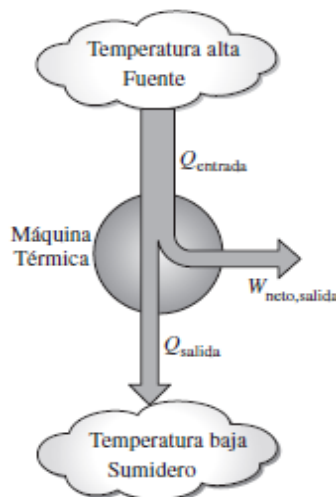


Figura 1. Ciclo termodinámico.

Fuente: Termodinámica (Çengel & Boles, 2012)

Las máquinas térmicas y otros dispositivos cíclicos por lo común requieren un fluido hacia y desde el cual se transfiere calor mientras experimenta un ciclo. Al fluido se le conoce como fluido de trabajo.

El término máquina térmica se usa con frecuencia en un sentido más amplio que incluye dispositivos que producen trabajo que no operan en un ciclo termodinámico. Las máquinas relacionadas con la combustión interna, como las turbinas de gas y los motores de automóviles, entran en esta categoría. Estos dispositivos operan en un ciclo mecánico, pero no en un ciclo termodinámico, porque el fluido de trabajo (los gases de combustión) no experimenta un ciclo completo. En lugar de ser enfriados a la temperatura inicial, los gases de escape se purgan y se reemplazan por una mezcla fresca de aire y combustible al final de ciclo.

Los motores de combustión interna siendo máquinas térmicas tienen como función generar trabajo a partir de energía térmica, la cual es obtenida a partir de una explosión obtenida de la energía interna del combustible con el que trabaja.

El motor de combustión interna fue creado para sustituir a la máquina de vapor, la cual era menos eficiente, su evolución se muestra a continuación:

- 1687 – Denis Papin a partir de un estudio previo con Christian Huyghens acerca del aprovechamiento de la energía producida por el vapor de agua a presión, crea una máquina de vapor capaz de moverse por sí sola, la cual permitió demostrar que la condensación del vapor puede producir efectos comparables a la depresión de los gases.
- 1698 – Thomas Savery a finales del siglo XVII, construye la primera máquina de vapor patentada. Esta máquina consistía de una bomba de succión provista de un cilindro, la que era usada para drenar agua de las minas de carbón.
- 1705 – Thomas Newcomen perfeccionó una máquina que no estuviera limitada por la presión del agua, tal como la de Savery, creando la llamada máquina de balancín, la cual también bombeaba agua de las minas de una

manera más eficiente, no teniendo rival durante más de medio siglo hasta cuando James Watt creó una máquina superior.

- 1769 – 1800 – James Watt a partir de los trabajos previos de Papin, Savery y Newcomen, crea una máquina que aprovechaba al doble la presión del vapor colocando a cada lado del cilindro una cámara de condensación junto con un comportamiento, en donde se provocaba el vacío provocado por la subida del pistón.
- 1794 y 1795 – En esos años Robert Street intentó crear un motor de explosión que funcionaba con hulla sin éxito y cinco años después Philippe Lebon volvió a hacer el intento de crear un motor de combustión interna funcionando a base de aire y gas alumbrado con el objetivo de mover un pistón, fracasando nuevamente.
- 1805 – En este año se hizo una de las primeras aplicaciones de la máquina de vapor para uso de transporte, cuando Richard Thravenick, Timothy Hackworth y William Hedley construyen una mejor versión para que en 1807 Robert Fulton construyera el buque de vapor.
- 1816 – Robert Stirling crea el motor que lleva su nombre, siendo un motor de aire caliente, el cual tiene muchas prestaciones como alto rendimiento, uso de calor externo y de ciclo cerrado.
- 1854 – Eugenio Barsanti y Felipe Matteuci presentaban como invento propio el primer motor de combustión interna que operaba de manera práctica, siendo el primero en la historia.
- 1859 – Joseph Étienne Lenoir fabrica el primer motor de combustión interna, el cual contaba con un pistón y era de un solo tiempo. Este motor no era muy eficiente, teniendo un 5% de eficiencia y ya contaba con una bujía para el encendido del combustible que era gas de carbón mezclado con aire.
- 1862 – Alphonse Beau de Rochas mejoró notablemente la máquina de Étienne Lenoir, comprimiendo la mezcla antes de la combustión, esto lo ayudó a idear un ciclo de cuatro tiempos.
- 1872 – En este año, el alemán Nikolaus August Otto ayudado por su auxiliar mecánico E. Langen, concluye su trabajo iniciado en 1867, el que buscaba

superar el motor que había sido diseñado por de Rochas. En dicho año había logrado su objetivo ligeramente, utilizando el principio de pistón libre, aunque seguía siendo un motor atmosférico al no comprimir previamente la mezcla. Ya en 1876 logró construir el primer motor de cuatro tiempos de la historia, utilizando los principios planteados por de Rochas. Este motor, logró superar la eficacia del motor de combustión externa a vapor de Watt, por lo que se empezaban a montar estos motores en la industria. A pesar del éxito económico inicial de sus motores, Otto perdió la patente en 1886, al descubrirse la anterioridad del invento del ciclo de cuatro tiempos por Alphonse Beau de Rochas (Martínez Villegas, 2007). Sin embargo, la historia le atribuye a Otto los créditos de la invención, justificando que fue el primero en construirla.

- 1873 – George Brayton crea en Gran Bretaña el motor que lleva su nombre, el cual utilizaba queroseno.
- 1876 – El ingeniero escocés Dugald Clark crea el primer motor de dos tiempos, siendo gas el combustible que utilizaba.
- 1883 – Entre los colaboradores de Nikolaus Otto estaba Gottlieb Daimler, quien sustituyó el gas por la gasolina como combustible para el motor de cuatro tiempos. En este año se empezó la construcción de estos motores, los cuales eran tan compactos que eran ideales para vehículos ligeros, y alcanzaron regímenes de hasta 900 revoluciones por minuto.
- 1892 – En este año se patentó la máquina térmica más eficiente de la historia: el motor diésel. El ingeniero francés Rudolf Diesel desarrolló el motor que lleva su nombre de 1893 a 1897 en MAN (perteneciente al grupo Krupp). Fue hasta 1897 cuando después de varios estudios y mejoras logra construir el primer motor diésel, el cual alcanzó los 25 caballos de vapor de potencia y un rendimiento del 10%, siendo el primer motor de combustión interna en utilizar aceite vegetal como combustible (aceite de palma), siendo galardonado también por sus investigaciones y desarrollos sobre los motores utilizando aceite de cacahuate. Al año siguiente mejoró el motor, alcanzando un rendimiento del 18% lo que superó el motor Otto, siendo suficiente para

que se implementara este motor en la industria, aunque el combustible fue sustituido por petróleo por ser más barato.

- 1957 - El más reciente desarrollo en motores de combustión interna es el motor Wankel, basado en los planos hechos por Félix Wankel, cuya patente data de 1936. En febrero de 1957 se logró la construcción de este motor, pero para mayo del mismo se fabricó un motor que funcionaba durante dos horas produciendo 21 caballos de vapor.

1.2 Historia de la contaminación del aire en México

La Ciudad de México es una región que naturalmente tiene una desventaja para contrarrestar el crecimiento urbano. Con velocidades del viento muy bajas, sin ríos cercanos (causado por el desagüe del lago de Texcoco y cercanos), un área de alto riesgo sísmico y un suelo con características fangosas debido a que está asentada en lo que milenariamente fue un lago. Esta ciudad sufre de problemas ambientales muy serios que con el crecimiento poblacional y la mancha urbana han sido acrecentados. Uno de los problemas que incrementan la contaminación del aire es la escasez de áreas verdes en la ciudad. A continuación, se muestra el porcentaje de áreas verdes en la Ciudad de México hasta el año 2009 (Tabla 1), cuando fue el último estudio que determinó la superficie que ocupan éstas en la ciudad:

Tabla 1. Áreas verdes en la Ciudad de México.

Tipo de zona verde	Superficie ocupada (en Km²)	Porcentaje de superficie de la CDMX
Arbolado	78.1	12.8%
Pastos y arbustos	34.8	5.7%
Total	112.9	18.5%

Fuente: Las áreas verdes en la Ciudad de México. Las diversas escalas de una geografía urbana (Checa Artasu, 2016)

Para una ciudad de 1495 Km², 112 Km² sólo representa el 18.5% hasta hace 9 años, y la cantidad va disminuyendo.

Se han hecho distintos estudios sobre las áreas verdes en la ciudad de México, iniciando estos hasta inicios del siglo XXI cuando el Gobierno del Distrito Federal (GDF), a través de su Secretaría del Medio Ambiente (SMA), implementó diversas estrategias para conocer, normar y desarrollar las áreas verdes urbanas. El día del Medio Ambiente (5 de junio de 2003) la Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal dio a conocer los resultados del Inventario General de las Áreas Verdes del DF (Secretaría del Medio Ambiente, 2003), dando cumplimiento al artículo 88Bis 2 de la Ley Ambiental del Distrito Federal, para servir, junto con la normatividad específica en esta materia, como instrumento de gestión para el diseño y ejecución de política pública de mejoramiento, mantenimiento e incremento de las áreas verdes. No puede decirse que hubiese sido un inventario “general” de las áreas verdes porque no se incluye las que se encuentran en el suelo de conservación. El estudio tampoco es, solamente, de las “áreas verdes” porque incluye a las “áreas de valor ambiental” y a las “áreas naturales protegidas” dentro del suelo de desarrollo urbano del Distrito Federal.

De acuerdo con datos generados a partir de dicho registro, la cobertura vegetal del Distrito Federal es de 20,4% del suelo urbano, cabe aclarar que este dato incluye tanto áreas verdes públicas como privadas, lo que equivale a 15,1 metros cuadrados por habitante. Aquí cabría aclarar que las áreas privadas, aunque contribuyen al mejoramiento ambiental, no son accesibles a la ciudadanía por su propio estatus. Considerando que la contribución de las áreas verdes al mejoramiento de las condiciones ambientales en la ciudad está directamente relacionada con las formas vegetales que las componen, de este porcentaje, tan sólo el 55,9 son zonas arboladas, el resto son zonas de pasto y/o arbustos; por tanto, si se consideran solamente las zonas arboladas –a las que se atañe mayores beneficios ambientales-, el número promedio por habitante baja drásticamente de 15,1 a 8,4 metros cuadrados de área verde por habitante (Meza Aguilar & Moncada Maya, 2010).

Existe un trabajo hecho por Daniel Rivas Torres llamado: “Estudio sobre los espacios verdes en el Distrito Federal” integrado en su tesis llamada: “Planeación, espacios verdes y sustentabilidad en el distrito federal” (Torres Rivas, 2005).

Este estudio específico se obtuvo a partir de los resultados del “Inventario General de Áreas Verdes del Distrito Federal”. Dicho estudio permitió elaborar el cuadro (Tabla 2) en donde se cuantifican los tipos de espacios verdes que surgen de la última reforma de la Ley Ambiental del Distrito Federal (LADF). Las definiciones que da la LADF sobre áreas verdes, áreas de valor ambiental y áreas naturales protegidas son las siguientes:

Área verde: Toda superficie cubierta de vegetación, natural o inducida que se localice en el Distrito Federal;

Áreas de valor ambiental: Las áreas verdes en donde los ambientes originales han sido modificados por las actividades antropogénicas y que requieren ser restauradas o preservadas, en función de que aún mantienen ciertas características biofísicas y escénicas, las cuales les permiten contribuir a mantener la calidad ambiental de la Ciudad;

Áreas naturales protegidas: Los espacios físicos naturales en donde los ambientes originales no han sido suficientemente alterados por actividades antropogénicas, o que quieren ser preservadas y restauradas, por su estructura y función para la recarga del acuífero y la preservación de la biodiversidad. Son áreas que por sus características ecogeográficas, contenido de especies, bienes y servicios ambientales y culturales que proporcionan a la población, hacen imprescindible su preservación (Asamblea legislativa del Distrito Federal, 2000).

Tabla 2. Tipos de áreas verdes según la LADF.

TIPO DE ESPACIO VERDE	Superficie (Ha)	POR CIENTO
Áreas verdes	7,554	58.9
Áreas de Valor Ambiental	805	6.3
Áreas Naturales Protegidas	4.469	34.8
TOTAL	12,828	100

Fuente: Planeación, espacios verdes y sustentabilidad en el Distrito Federal (Torres Rivas, 2005)

Por otra parte, en el inventario se propone un nuevo concepto que son las áreas verdes con programa de manejo, que en sus registros equivalen tan sólo a 5,3 metros cuadrados de área verde por habitante y que comprende únicamente las áreas verdes públicas que reciben mantenimiento; con ello, la distribución de área verde per cápita disminuye aún más (Meza Aguilar & Moncada Maya, 2010).

Gracias a esto se puede concluir que casi el 59 por ciento de los espacios verdes en la Ciudad de México son áreas verdes (jardineras, camellones, jardines públicos y privados, árboles en las banquetas, barrancas, colinas y zonas de recarga del acuífero), el 6% son áreas de valor ambiental (bosques urbanos de Chapultepec y Aragón) y casi el 35% son áreas naturales protegidas (Parque Ecológico de la Ciudad de México, Bosques de las Lomas, Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco, etc.)

Tabla 3. Especificaciones de las áreas verdes de la Ciudad de México por delegación.

Delegación	Área (Km ²) (*)	Total de áreas verdes por Km ²	% sup. De áreas verdes por delegación	% zonas arboladas	% zonas de pasto y arbustos	Áreas verdes por habitante en m ²	Zonas arboladas por habitante en m ²	% de Población (2000)
Álvaro Obregón	61.13	24.59	40.2	64.5	35.5	35.8	23.1	8.1
Azcapotzalco	33.51	4.28	12.8	54.7	45.3	9.7	5.3	5.2
Benito Juárez	26.5	1.19	4.5	99.0	1.0	3.3	3.3	4.2
Coyoacán	54.01	20.13	37.3	76.7	23.3	31.4	2.1	7.5
Cuajimalpa	15.08	5.55	36.8	46.4	53.6	36.7	17.0	1.8
Cuauhtémoc	32.67	1.81	5.5	74.0	26.0	3.5	2.6	6.1
G. A. Madero	87.29	14.26	16.3	47.3	52.7	11.5	5.4	14.5
Iztacalco	23.12	2.25	9.7	54.7	45.3	5.5	3.0	4.8
Iztapalapa	113.37	18.32	16.2	27.1	72.9	10.3	2.8	20.8
M. Contreras	14.08	1.82	16.2	27.1	72.9	10.3	2.8	20.8
Miguel Hidalgo	47.69	8.89	18.6	57.3	42.7	25.2	5.7	2.6
Tláhuac	19.17	2.27	11.8	4.4	95.6	7.5	0.3	3.6
V. Carranza	33.87	5.23	15.4	23.5	76.5	11.3	2.7	5.4
Xochimilco	22.90	5.89	25.7	60.8	39.2	15.9	9.7	4.3
Tlalpan	48.29	11.80	24.4	88.9	11.1	20.3	18.0	6.8
Total	632.66	128.28	20.4	55.9	44.1	15.1	8.4	100

*Estas cifras de área no incluyen las delegaciones con suelo de conservación, salvo los casos de G.A. Madero e Iztapalapa, cuyo porcentaje de SC es poco significativo

Fuente: Las áreas verdes de la Ciudad de México. Un reto actual (Meza Aguilar & Moncada Maya, 2010)

Así, el inventario muestra que superficialmente las delegaciones con mayor cantidad de áreas verdes, en orden de importancia son: Álvaro Obregón, Coyoacán, Iztapalapa, Gustavo A. Madero y Tlalpan que suman el 70% del total de espacios con vegetación, y representan en conjunto el 58% de la población total de la ciudad de México y casi todas presentan altos porcentajes de zonas arboladas a excepción de Iztapalapa, que además de ser una delegación con un alto índice de densidad urbana (comprende el 20% de la población del D. F. en el 18% del total del suelo urbano), sólo incorpora el 27% de zonas arboladas, lo que disminuye considerablemente su influencia en el mejoramiento de las condiciones atmosféricas en su territorio e incide de forma negativa en la calidad de vida de sus habitantes.

Estos datos se pueden ver gráficamente en el mapa de la Figura 2.

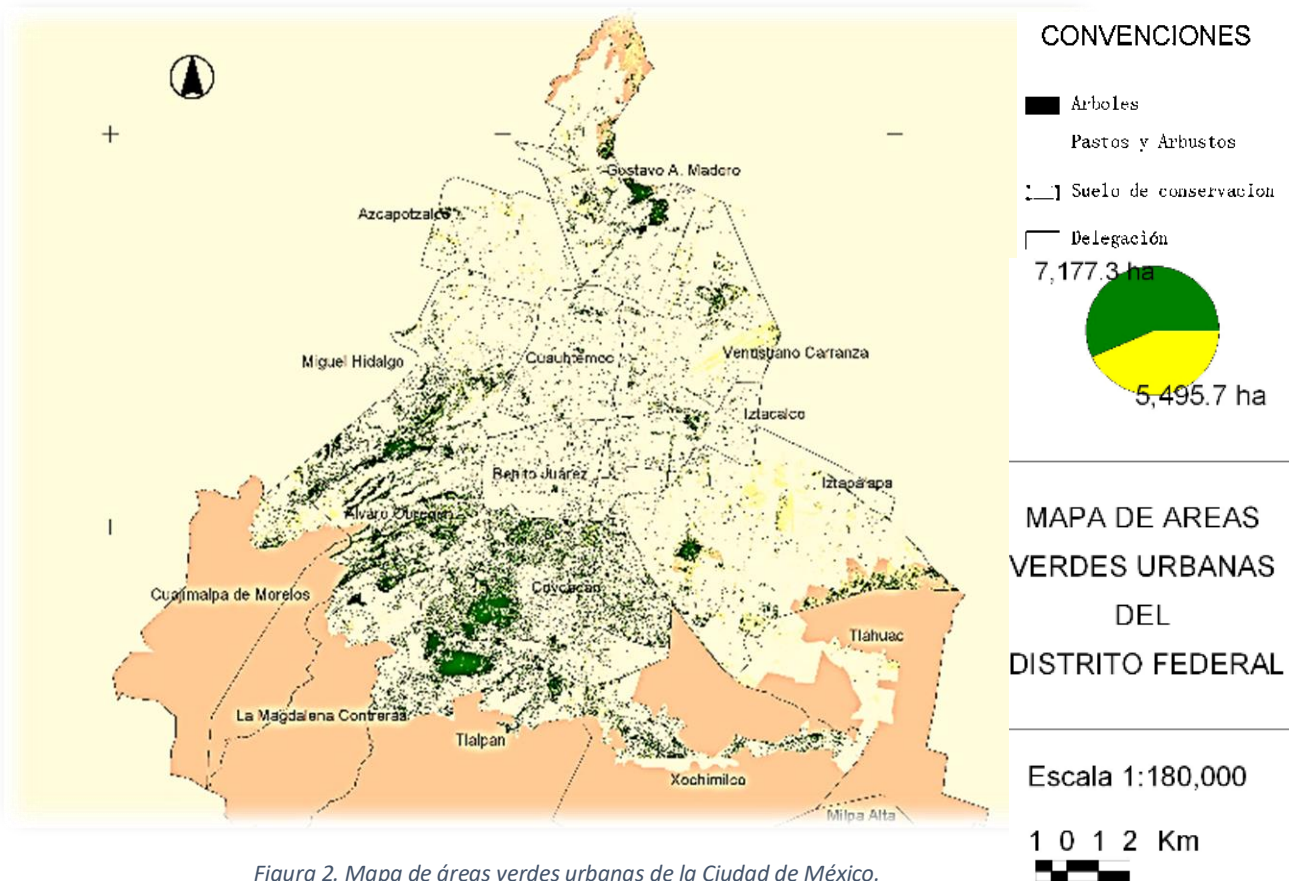


Figura 2. Mapa de áreas verdes urbanas de la Ciudad de México.

Fuente: Planeación, espacios verdes y sustentabilidad en el Distrito Federal (Torres Rivas, 2005)

La Organización de las Naciones Unidas (ONU) recomienda a los países que las ciudades deben tener por lo menos 16 metros cuadrados de áreas verdes por persona. La Organización Mundial de la Salud (OMS), recomendando al menos nueve (Fundación mi parque, 2012). Sin embargo, en la Ciudad de México, se tienen en promedio 5.3 metros cuadrados (Orozco Segovia, 2014), además de que la distribución espacial

de las áreas verdes arboladas se concentra en la zona suroccidental de la ciudad (donde se alberga tan sólo el 32.6% de la población),

mientras las porciones centro, norte y oriental (donde se encuentra el 67.4% de la población). Se toman en cuenta este tipo de áreas, ya que el aporte de servicios ambientales que brindan son las de mayor valor (Captura de CO₂, refrigeración al aire, protección a la fauna, suelo, producción de oxígeno y recreación). Las zonas norte, centro y oriental están cubiertas en cambio en su mayoría por pasto y por poca vegetación arbolada, cuyo aporte en servicios ambientales es limitado.

1.3 Historia del monitoreo de la calidad del aire en la Ciudad de México

Actualmente la calidad del aire en la Ciudad de México es monitoreada diariamente debido a la variación en la calidad del aire, lo cual es de suma importancia para la vida diaria de la población del lugar. Estas acciones han ido evolucionando, desde su visibilidad hasta su cuantificación, como se muestra a continuación (Secretaría del Medio Ambiente, 2018):

- 1940 - La visibilidad fue el primer indicador de deterioro ambiental. El Observatorio Nacional de Tacubaya identificó que la visibilidad en la década de los años 40 era de 4 a 10 km, y en los años 50 se redujo de 2 a 4 km.
- 1950 – La Dirección de Higiene Industrial de la Secretaría de Salubridad y Asistencia realizó las primeras investigaciones en la Ciudad de México donde se confirmaba la existencia de contaminación ambiental.
- 1960 - Se publicó el “Estudio del depósito de polvo por gravedad en la Ciudad de México” en el cual se describe que existían áreas en las que se depositaron hasta 70 ton/km²/mes de polvo en la época de tolvaneras.

- La organización Panamericana de la Salud instaló la “Red Panamericana de Muestreo Normalizado de la Contaminación del Aire (REDPANAIRES)” con 10 estaciones además de las cuatro existentes.
- 1967 - Se instalan las primeras 4 estaciones para el monitoreo de dióxido de azufre, partículas suspendidas, polvo sedimentable y acidez.
- 1973 - El gobierno mexicano y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) adquirieron equipos para aumentar a 22 estaciones de monitoreo e integrar la “Red Computarizada Automática de Monitoreo Atmosférico del Valle de México” o “Red Philips”.
- 1976 - Se suspende el monitoreo de la Red Philips y solo quedan en operación los equipos manuales para el muestreo de partículas suspendidas.
- 1985 - La Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE) adquiere un nuevo sistema de monitoreo atmosférico con 25 estaciones, un centro de cómputo y procesamiento, dos radares sónicos y 10 torres meteorológicas.
- 1986 - Inicia formalmente la operación de la “Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA)” con 25 estaciones automáticas para la medición de O₃, CO, SO₂, NO_x, y equipos manuales para PST y su contenido de Pb. En 10 de estas estaciones se instalaron equipos para medir temperatura ambiente, humedad relativa, dirección y velocidad del viento.
- 1987 – Inició el Programa de Precipitaciones Ácidas de la ZMVM con cuatro sitios de muestreo equipados con colectores convencionales.
- 1993 - Se amplía la cobertura de la RAMA, aumentando a 32 estaciones automáticas de monitoreo.
- 1995 - Entran en operación 10 estaciones con equipo automático para el monitoreo de Partículas Menores a 10 micrómetros (PM₁₀).
- 1998 - Se instalan en 10 estaciones de la RAMA equipo para la medición radiación UV.
- 2000 - Se integra el Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México (SIMAT), unificando a la RAMA, REDMA, REDMET, REDDA. Además de una Unidad Móvil de Monitoreo Atmosférico, un Laboratorio de

transferencia de Estándares, Laboratorio de Gravimetría y un centro de cómputo.

- 2003 - Inicia el monitoreo de Partículas Menores a 2.5 micrómetros (PM2.5) con 8 equipos automáticos y 7 con equipos manuales.
- 2007 - Se amplía la cobertura del SIMAT con tres nuevas estaciones Iztacalco (IZT), Acolman (ACO) y Chalco (CHO) al SIMAT.
- 2009 - Se instala una red para el monitoreo de hidrocarburos tóxicos y reactivos en el aire ambiente de la Zona Metropolitana del Valle de México.
- 2011 - Rediseño del SIMAT. Se eliminan 10 estaciones de monitoreo que ya no cumplían con los objetivos de calidad del aire. Se refuerzan 13 estaciones con nuevos parámetros. Inicia el monitoreo de BTEX. El Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México cumple 25 años de operación continua.
- (CUT), Santa Fe (SFE), UAM Xochimilco (UAX), Ajusco (AJU) y Hospital General de México (HGM).

1.4 Historia de las políticas ambientales en México

La contaminación ambiental en México tuvo indicios evidentes durante la década de los setentas. Durante la década de los ochenta, la atención del gobierno a la crisis ambiental fue creciente y diversa desde el punto de vista de las medidas que se llevaron a cabo (Micheli, 2000).

La historia ambiental es un enfoque de investigación que comenzó en América Latina durante los años 70 (Crónica ambiental, 2015), la cual ha llevado a construir medidas preventivas y correctivas para la preservación ambiental. A continuación, se hace un breve desglose de este enfoque:

1.4.1 México prehispánico (30 000 a. C. hasta 1521)

Las alteraciones y posibles daños medioambientales de las civilizaciones prehispánicas apenas comienzan a estudiarse.

A pesar de ello, a los grupos del centro y el sureste de México se les reconoce una actividad urbanizadora intensa que se manifestó en la construcción de acueductos para manejar los lagos en el centro, y la tala y quema de extensiones importantes de bosque y selva para el desarrollo agrícola.

En ese sentido, se ha descubierto en fechas recientes que el ocaso de sus ciudades más importantes siempre coincidió con un agotamiento de los recursos forestales.

1.4.2 La Conquista y la Colonia (1519-1821)

La conquista se caracterizó por modificar seriamente la cuenca del Valle de México. La introducción de la ganadería, y otros animales domésticos, sólo fue el inicio de un proceso de desaparición de especies mesoamericanas de plantas y animales.

Durante el periodo colonial, las transformaciones del paisaje fueron más severas por el gran proyecto de desecación de los lagos de Texcoco, Xochimilco, Chalco, Zumpango y Xaltocan, que contribuyó a la desaparición de la agricultura chinampera y a provocar estrés hídrico en la zona central del país.

1.4.3 México independiente (1821-1877)

La época independiente vivió un proceso de repoblación migratoria, sobre todo del norte del país.

Hubo intentos por descentralizar el proceso de poblamiento, a través del establecimiento de políticas públicas, que, en su momento, fueron orquestadas por los gobiernos de Santa Anna, Benito Juárez y Sebastián Lerdo de Tejada.

Entre éstas destacan las leyes de terrenos baldíos y manos muertas, que favoreció el surgimiento de la propiedad privada de empresarios agrícolas y el desmonte.

La política ambiental se instala desde 1841 con la creación del Consejo Superior de Salubridad del Departamento de México, y con la creación de un código sanitario (Pérez Calderón, 2010). En 1917 se crea la Secretaría de Seguridad Pública (SSP),

y en 1943 la Secretaría de Seguridad y Asistencia (SSA), las cuales se encargarían de la gestión ambiental, vigilando el cumplimiento de este código sanitario.

1.4.4 El Porfiriato (1877-1911)

Durante la dictadura de Porfirio Díaz, la Revolución Industrial se instaló en México. Se incrementaron las vías férreas para conectar todo el país, se construyeron fábricas y las ciudades se modernizaron como parte del surgimiento de una clase media con un poder adquisitivo cada vez mayor.

Sin embargo, como parte de este movimiento, también se establecieron las bases para regular la construcción de infraestructura hidráulica y urbana que necesitaba el país.

La intención era que el avance de la mancha urbana no terminara con las áreas verdes, a las que la ciencia apenas comenzaba a conferirles cierta importancia, al relacionarlas con beneficios para la vida citadina, tales como mejor calidad de aire, protección contra condiciones climáticas extremas, etcétera.

1.4.5 La Revolución y el México posrevolucionario (1910-2000)

La Revolución significó una transformación radical del modo en el que se aprovechaban los recursos naturales en México. La principal prioridad de los gobiernos que resultaron de este levantamiento social fue acelerar el proceso de industrialización y restablecer el liderazgo del país como proveedor de materias primas agrícolas, ganaderas y minerales.

Esta situación, sumada a la Reforma agraria impulsada por Lázaro Cárdenas, alteró el uso de la tierra en muchas zonas del país; situación que fue compensada con la creación de parques nacionales, sobre todo en las montañas que rodean a la cuenca de México y el fomento de áreas verdes dentro del perímetro urbano.

En 1917 se crea la secretaria de seguridad pública (SSP) y en 1943 la Secretaría de Seguridad y Asistencia (SSA), las cuales se encargarían de la gestión ambiental, vigilando el cumplimiento de este código sanitario.

Aunque pasaron todavía muchos años para que la aparición de la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental (1971), que permitió, la fundación de la Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente (SMA), antecedente de la SEMARNAT (2000), se encargara de establecer las estrategias para evitar la contaminación del agua, del aire y el agotamiento de recursos naturales (Crónica ambiental, 2015).

El 23 de marzo de 1971 se promulga la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental que tiene como finalidades fundamentales, contribuir a la protección de la salud pública y evitar la degradación de los sistemas ecológicos en detrimento de la economía nacional (Echeverría Álvarez, 1976).

De esta ley se contemplan la preservación y la atención al uso de suelos, aguas y aire, usando secretarías especializadas en la materia (Figura 3).

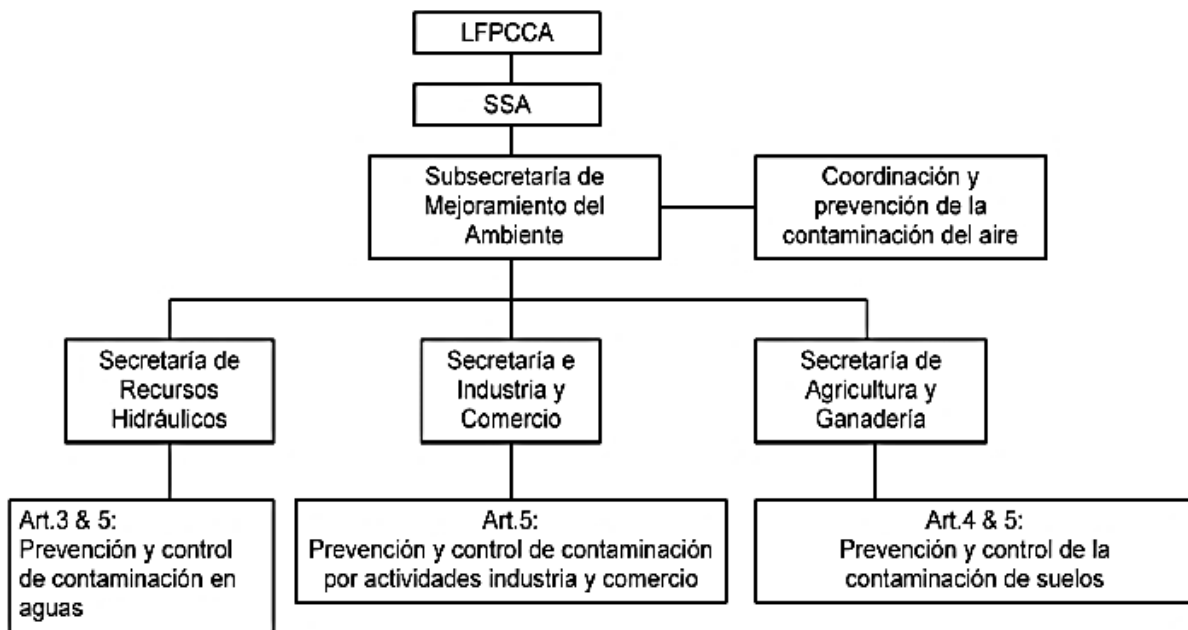


Figura 3. Leyes y secretarías de gestión ambiental.

Fuente: Estudio de la contaminación ambiental de la Ciudad de México mediante los modelos Redes Neuronales artificiales y Algoritmos Genéticos (Hurtado Torres, 2016)

En 1972, el gobierno federal creó la Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente, dependiente de la Secretaría de Salud, que fue la primera institución pública establecida para atender principalmente los problemas de contaminación urbana producida por las industrias y los vehículos.

En 1982, la política ambiental adquirió un enfoque integral, se reformó la Constitución, se crearon nuevas instituciones y se edificaron las bases jurídico-administrativas de una política de protección del medio ambiente. En ese año fue creada la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE) y los temas que eran atendidos por la Secretaría de Salud pasaron a esta nueva dependencia, a la que además le correspondió vigilar el funcionamiento de los ecosistemas naturales. En ese año también se promulgó la Ley Federal de Protección al Ambiente (Meixueiro Nájera, 2006). Esta ley, promulgada por José López Portillo tiene como objetivo la protección, mejoramiento, conservación y restauración del ambiente, así como la prevención y control de la contaminación que lo afecte (Presidencia de la República, 1982).

En 1983 se crea la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE), cuyas facultades eran preservar los recursos forestales, de la Flora y la fauna silvestre y contrarrestar los efectos nocivos de la excesiva concentración industrial. Su estructura se dio con una subsecretaría y seis direcciones generales, que pasaron a ser cuatro en 1985. El proceso de fortalecimiento de la gestión ambiental continuó con la creación de la Comisión Nacional de Ecología (CONADE), con la función de analizar y proponer prioridades en materia ecológica. Dentro de la CONADE se crea la Subsecretaría de Ecología junto con el Programa Nacional de Ecología. En 1988 se elabora la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LEEGEPA), misma que hasta la fecha (con algunas modificaciones) ha sido la base de la política ambiental del país. En 1989 se creó la Comisión Nacional del Agua (CNA) como autoridad federal en materia de administración del agua, protección de

cuencas hidrológicas y vigilancia en el cumplimiento de las normas sobre descargas y tratamientos del agua (Pérez Calderón, 2010).

En 1992 se crearon dos organismos desconcentrados de la Sedesol: el Instituto Nacional de Ecología (INE) y la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (Profepa). La primera, encargada de generar normas y definir políticas; la segunda, responsable de vigilar y fiscalizar el cumplimiento de las normas y leyes (Micheli, 2000).

La entrada en vigor en enero de 1994 del Tratado de Libre Comercio de América del Norte fue un factor importante que detonó un proceso de cambio acelerado en las organizaciones mexicanas a todos los niveles, obligándolas a reformularse y con ello obligando también a que el papel que juegan sus empleados se convierta en un proceso dinámico (Pérez Campuzano & Valderrábano Almegua, 2011), Esto debido a que el comercio entre los países del TLCAN creció 128% desde que el acuerdo entró en vigor, lo que significó pasar de 297.000 millones de dólares en 1994 a 676.000 millones de dólares en 2000. Las tres naciones comercian trilateralmente 1.800 millones de dólares cada día (Domiwebs, 2018). El TLCAN incluye de manera paralela el Acuerdo de Cooperación Ambiental de América del Norte (ACAAN). Este acuerdo tiene como objetivos los siguientes (Organización de los Estados Americanos, 2018):

- a) alentar la protección y el mejoramiento del medio ambiente en territorio de las Partes, para el bienestar de las generaciones presentes y futuras;
- b) promover el desarrollo sustentable a partir de la cooperación y el apoyo mutuo en políticas ambientales y económicas;
- c) incrementar la cooperación entre las Partes encaminada a conservar, proteger y mejorar aún más el medio ambiente, incluidas la flora y la fauna silvestres;
- d) apoyar las metas y los objetivos ambientales del TLC;
- e) evitar la creación de distorsiones o de nuevas barreras en el comercio;

- f) fortalecer la cooperación para elaborar y mejorar las leyes, reglamentos, procedimientos, políticas, y prácticas ambientales;
- g) mejorar la observancia y la aplicación de las leyes y reglamentos ambientales;
- h) promover la transparencia y la participación de la sociedad en la elaboración de leyes, reglamentos y políticas ambientales;
 - 1. promover medidas ambientales efectivas y económicamente eficientes;
 - 2. promover políticas y prácticas para prevenir la contaminación.

En 1995 se elaboró un programa para mejorar la calidad del aire de la zona metropolitana de México (PROAIRE), orientado a disminuir los niveles de contaminación y a proteger la salud de los pobladores, que se añadió a otros como el “Hoy no circula” (restricción vehicular) y el de verificación de los automóviles. Se privilegió la circulación de los vehículos de baja emisión, se modernizó el transporte público y se fomentó el uso de bicicletas y bici taxis (Pemex , 2010).

La asamblea legislativa del Distrito Federal decreta el 13 de enero del 2000 la ley ambiental de protección a la Tierra en el Distrito Federal, la cual busca definir los principios mediante los cuales se habrá de formular, conducir y evaluar la política ambiental en el Distrito Federal, así como los instrumentos y procedimientos para su protección, vigilancia y aplicación, cuya última reforma fue publicada en la gaceta oficial del Distrito Federal el 18 de noviembre de 2015 (Asamblea legislativa del Distrito Federal, 2000).

En el 2000 se cambió la Ley de la Administración Pública Federal, dando origen a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), y al Programa Nacional del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Con la creación de estas secretarías para protección del medio ambiente y los recursos, se adoptó un nuevo diseño institucional y una nueva estructura en la que actualmente la política ambiental es una política de Estado. La SEMARNAT cuenta con tres subsecretarías:

la primera destinada a la Planeación y Política Ambiental, la segunda es de Gestión para la Protección Ambiental, y la tercera de Fomento y Normatividad Ambiental. Además, la secretaría cuenta con el apoyo de seis órganos desconcentrados: delegaciones federales, coordinaciones regionales, la Comisión Nacional del Agua (CNA), el Instituto Nacional de Ecología (INE), la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (Profepa) y la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), y dos órganos descentralizados: el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) y la Comisión Nacional Forestal (Conafor). En la actualidad, la SEMARNAT sigue siendo la encargada de la gestión ambiental y se ha creado el Programa Sectorial del Medio Ambiente (2007-2012). También existen varias leyes federales para protección del medio ambiente, como la Ley de Desarrollo Forestal Sustentable (2003), la Ley de Aguas Nacionales (2004), la Ley General de Vida Silvestre (2005) y la Ley de Bioseguridad (2005) (Pérez Calderón, 2010).

En la Figura 4 se hace un recuento de la gestión ambiental en México desde sus inicios hasta la actualidad.

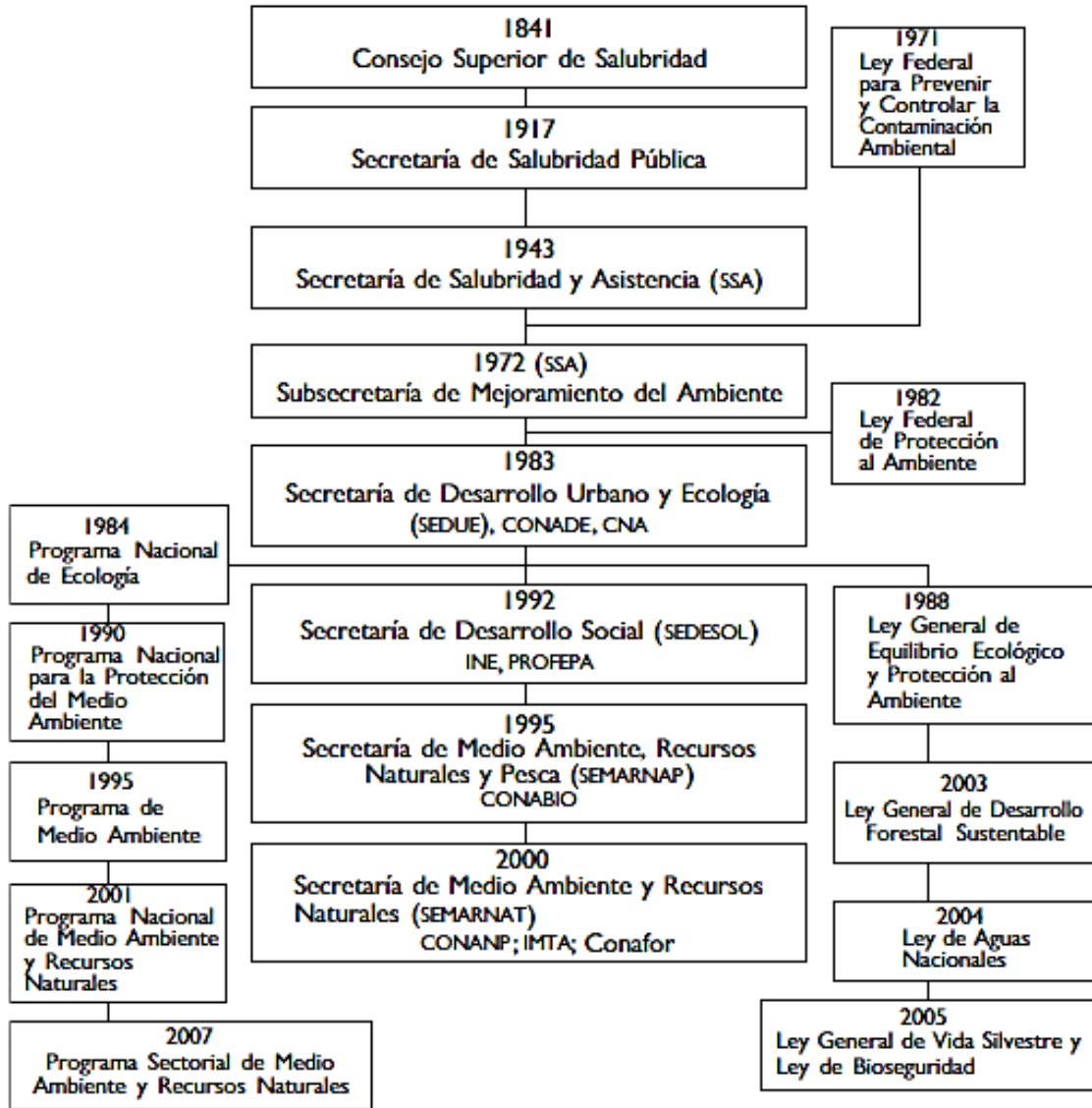


Figura 4. Recuento de la gestión ambiental desde sus inicios hasta la actualidad.

Fuente: La política ambiental en México: Gestión e instrumentos económicos (Pérez Calderón, 2010)

Dentro del contexto internacional, México también es integrante del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). El PNUMA actúa como catalizador, promotor, educador y facilitador para promover el uso racional y el desarrollo sostenible del medio ambiente mundial (Organización de las Naciones Unidas, 18).

La labor del PNUMA abarca evaluar las condiciones y las tendencias ambientales a nivel mundial, regional y nacional; elaborar instrumentos ambientales internacionales y nacionales; y fortalecer las instituciones para la gestión racional del medio ambiente. El PNUMA tiene una larga historia de contribuir al desarrollo y la aplicación del derecho del medio ambiente a través de su labor normativa o mediante la facilitación de plataformas intergubernamentales para la elaboración de acuerdos principios y directrices multilaterales sobre el medio ambiente, que tienen por objeto hacer frente a los problemas ambientales mundiales.

El Cuarto Programa de Montevideo de Desarrollo y Examen Periódico del Derecho Ambiental, aprobado por los Estados Miembros en 2009, forma una estrategia amplia para la comunidad jurídica internacional y el PNUMA en la formulación de actividades en la esfera del derecho ambiental para el decenio hasta 2020. Tras el Primer Congreso Mundial de Justicia, Gobernanza y Derecho para la Sostenibilidad Ambiental, celebrado en 2012, los Estados Miembros exhortaron al PNUMA a que dirigiese el sistema de las Naciones Unidas y prestase apoyo a los gobiernos nacionales en la elaboración y aplicación del estado de derecho del medio ambiente

En líneas generales, los reconocimientos que incorporan las diversas cláusulas de las constituciones de los países de la región de América Latina y el Caribe, (Brusco, 2004), incluyen:

- El reconocimiento del derecho de la ciudadanía a un medio ambiente de calidad, adecuado, sano, equilibrado;
- La vinculación entre medio ambiente y desarrollo, partiendo del concepto de desarrollo sostenible del Informe Brundtland;
- El deber consiguiente del Estado de proteger el derecho al medio ambiente;
- El deber de la ciudadanía de proteger el medio ambiente, con las consiguientes restricciones al ejercicio de derechos individuales y la tendencia a reconocer la función ambiental de la propiedad como una derivación de la función social general del derecho de propiedad;
- Garantías procesales para la efectividad de los derechos ambientales;

- La regulación específica de algunos componentes del medio ambiente como el patrimonio genético, la fauna y flora silvestres;
- La relación entre el patrimonio natural y el patrimonio cultural y los derechos de las comunidades originarias;
- La participación social en la gestión ambiental, a través del derecho a la información y la educación ambiental,
- La responsabilidad por daño ambiental, lo cual constituye una novedad en el derecho comparado, con excepción del precedente instituido en la constitución española de 1976.

1.5 Biocombustibles

La producción de biocombustibles se popularizó a partir de que fueron considerados como una estrategia energética más sustentables que la quema de combustibles fósiles, la cual genera emisiones de gases de efecto invernadero y contribuye al cambio climático (Valdés Rodríguez & Palacios-Wassenaar, 2016).

El uso de fibras y aceites vegetales con fines biocombustibles se remonta a más de 1.8 millones de años, cuando el *Homo erectus* usaba leña y fibras secas para encender hogueras (Adler, 2013). Sin embargo, se puede decir que los orígenes de la comercialización de los biocombustibles datan de tiempo después, ya que, se ha documentado la domesticación de higuera (*Ricinus communis L.*) y uso de su aceite como carburante en el antiguo Egipto unos 4000 años a.C.; así como, del olivo (*Olea europaea*) y ajonjolí (*Sesamum indicum*) cuyos aceites se usaban para los mismos fines en medio oriente y mediterráneo 2500 años a.C (DiLaura, 2008), aunque no sólo se utilizaban para generar luz, ya que, también eran utilizados estas plantas con fines medicinales debido a sus propiedades.

1.5.1 Principales biocombustibles

1.5.1.1 Bioetanol

Ya en el año 1908, Henry Ford, cuando diseñó su primer automóvil, promovía el empleo de etanol como combustible, fabricado a partir de fuentes renovables. De hecho, en la década de 1920 se incorporó en Estados Unidos un 25% de etanol a la gasolina, pero los altos precios del maíz, combinados con dificultades en el almacenamiento y transporte, hicieron fracasar el proyecto. En la década de 1930 Henry Ford y varios expertos unieron fuerzas y construyeron una planta de fermentación para fabricar etanol a partir de maíz para combustible de motores, al que llamaron "gasohol". Pero en la década de 1940, los bajos precios del petróleo llevaron al cierre de la planta, y el gasohol fue reemplazado por la gasolina otra vez (Lede).

El alcohol etílico o etanol puede obtenerse químicamente a partir del etileno, un producto de la refinación del petróleo y del etano, un constituyente del gas natural; o bioquímicamente a través de azúcares fermentables, derivados del azúcar, almidón, celulosa y polisacáridos; este último es etanol de origen biológico o bioetanol. Se utiliza el etanol hidratado en automóviles flex-fuel y el etanol anhidro en mezclas del 5% al 85% en volumen con gasolina, en motores convencionales. En mezclas E5 y E10 substituye a oxigenantes y antidetonantes como el MTBE y el TAME (Cerutti, 2011).

Países como Brasil y Estados Unidos son los principales productores de este biocombustible, el resto proviene de Asia, de países como China. Según la Asociación de combustibles renovables (Renewable Fuels Association , s.f.) en el año 2017 la producción de Bioetanol en Estados Unidos fue de 15.8 billones de galones, mientras que la de Brasil fue de 6.89 billones de galones (Portal Caña, 2018).

Actualmente, la Unión Europea es uno de los más grandes mercados de biocombustibles en el mundo, y en cuanto al biodiesel es el mayor mercado, pues en 2008 consumió 7 694 097 toneladas de petróleo equivalente (TPE) de biocombustibles, cifra conformada por 1 166 243 TPE (2 325 ML) de etanol, 5 774 207 TPE (7 326 ML) de biodiesel y 753 617 TPE de otros biocombustibles (Álvarez Maciel, 2009), como se muestra en la Tabla 4

Tabla 4. Producción y consumo de materias primas en países europeos.

País	Producción	Consumo	Materias Primas
Alemania	394	584	Trigo, centeno, cebada, remolacha y carbón (sintético)
Austria	0	44	Trigo, maíz y remolacha
Bulgaria	*	132	*
Dinamarca	*	12	*
Eslovaquia	30	26	*
Eslovenia	*	1.6	*
España	348	225	Vino, centeno, trigo y remolacha
Francia	539	544	Remolacha, trigo, vino, residuos de uva vinífera y melazas
Hungría	30	18	Granos
Irlanda	0	4.7	*
Italia	60	0	Vino, remolacha, maíz y frutas (manzana)
Letonia	18	3.5	*
Lituania	20	23	*
Luxemburgo	*	1.7	*
Países Bajos	14	17	*
Polonia	155	170	Papa, trigo, maíz, cebada, centeno y melazas
Reino Unido	20	156	Trigo, remolacha, colza
República Checa	33	0.36	*
Suecia	70	362	Vino
Suiza	2.5	6.9**	Pulpa de papel
Ucrania	100**	*	Colza, trigo y

Fuente: Biofuels Platform, Production of bioethanol in Switzerland Eurobserv'er; Le Baromètre des Biocarburants (Rothkopf, 2007)

1.5.1.2 Biodiésel

Rudolf Diesel hizo funcionar su primer prototipo de motor diesel, cien años atrás, con aceite de maní. Diesel vislumbraba que los motores diesel operarían a base de una variedad de aceites vegetales. Pero cuando el combustible diesel proveniente del petróleo irrumpió en el mercado, se convirtió en el combustible elegido, ya que era barato, razonablemente eficiente y fácilmente disponible. A mediados de la década de 1970, la escasez de combustible en los Estados Unidos estimuló el interés en diversificar sus fuentes y con ello el interés en desarrollar biodiésel como una alternativa al obtenido a partir de petróleo.

Actualmente, entre los principales problemas que enfrenta la humanidad, destacan el deterioro ambiental y la crisis energética. Una de las principales causas de la contaminación del aire es la quema de combustibles fósiles, ya que la combustión

de estos produce grandes cantidades de gases de efecto invernadero (dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno), óxidos de azufre, hidrocarburos no quemados y cenizas finas. Además, este recurso natural es una fuente energética no renovable y, a últimas fechas, se ha informado que las reservas mundiales tarde o temprano se agotarán. Se estima que el petróleo se acabará en 41 años, el gas natural en 63 años y el carbón en 218 (Medina Ramírez, Chávez Vela, & Jáuregui Rincón, 2012).

El biodiesel es un éster que puede producirse a partir de aceites vegetales, como el de soja, colza, girasol, y otros, y también a partir de grasas animales. Su elaboración se basa en la reacción de transesterificación de los glicéridos, utilizando catalizadores. Desde el punto de vista químico, los aceites vegetales son triglicéridos, es decir, tienen tres cadenas de ácidos grasos unidas a un alcohol, el glicerol. En la reacción de transesterificación, una molécula de triglicérido reacciona con tres moléculas de metanol o etanol para dar tres moléculas de monoésteres y una de glicerol. Estos ésteres metílicos o etílicos (biodiesel) se mezclan con el diesel convencional (o gasoil) o se utilizan como combustible puro en cualquier motor diesel. El glicerol desplazado se recupera como un subproducto de la reacción (Lede).

La producción de biodiesel se incrementó de 1,000 MI en el año 2000 a 11,000 MI en 2007. Alrededor de la mitad de la producción global de biodiesel proviene de Europa, mientras que el resto se divide entre Estados Unidos, Brasil, Argentina, Malasia e Indonesia, entre otros. Las materias primas más utilizadas son aceites de colza, soya, girasol y palma aceitera.

En México hay dos experiencias de producción de biodiesel a escala industrial:

- Biocombustibles Internacionales SA de CV, en Nuevo León, tuvo durante varios años una planta de 50,000 l/d a partir de sebo de res y aceites vegetales usados. El biodiesel era utilizado por PEMEX Refinación como aditivo para la lubricidad del diésel de ultra bajo azufre. Desafortunadamente la planta fue cerrada en meses recientes debido a que PEMEX Refinación decidió dejar de comprar biodiesel como

lubricante. Esto habla de la dificultad de armar proyectos a largo plazo en el país cuando no se tiene un marco institucional sólido o coherente entre las distintas instancias gubernamentales.

- Chiapas Bioenergético tiene dos plantas de biodiesel a partir de aceite de palma africana y de aceites vegetales usados (Tuxtla Gutiérrez con 2,000 l/d y Puerto Chiapas con 28,000 l/d), y propone establecer 20,000 ha de *Jatropha curcas* para el año 2012. Ese biodiesel se utiliza en mezclas B5 y B20 en 40 vehículos de transporte público de Tuxtla Gutiérrez y Tapachula (Cerutti, 2011).

1.5.1.3 Biogás

El biogás es una mezcla conformada principalmente por CH₄ (metano) y CO₂ (dióxido de Carbono), que se genera a partir de la descomposición de la materia orgánica, por un conjunto de microorganismos en ausencia de oxígeno (biodigestión).

La materia orgánica son desechos de agricultura, desechos de comida, estiércol, desechos municipales, etcétera. Se considera materia orgánica son materiales biodegradables que son fermentados por bacterias.

En el año 1776 el científico italiano Volta descubrió que el principal compuesto del gas natural era metano. Sólo 100 años después se descubrió el origen microbiológico de la formación de metano. En el año 1887 el científico Hoppe-Seyler pudo comprobar la formación de metano a partir de acetato. La misma observación hizo Omelianski en 1886 con guano de vacas. En 1888 Gayon obtuvo gas al mezclar guano y agua, a una temperatura de 35°C. Soehngen descubrió en 1906 la formación de metano a partir de hidrógeno y dióxido de carbono. A su vez, describió los primeros dos organismos que participaban en la formación de metano. En 1920 Imhoff puso en práctica el primer biodigestor en Alemania (Molina, 2008).

El metano, como bien sabemos, es uno de los componentes que contribuyen a la degradación de la capa de ozono, pero gracias a las tecnologías actuales para

obtener biocombustibles -en este caso biogás-, podemos transformar el metano proveniente de la materia orgánica en descomposición, en energía limpia, además con los residuos de éstas, se pueden fabricar abonos y fertilizantes naturales (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, 2017).

Actualmente el biogás es utilizado en todo el mundo, especialmente en aquellos lugares en donde no hay reservas considerables de combustibles fósiles.

Las mayores aplicaciones del biogás se han dado en China, India y Europa. China desarrolló un programa que inició en los años setenta con un resultado de más de 7 millones de digestores, aunque sufrió de varias fallas. Una iniciativa posterior con mejor tecnología e infraestructura logró la instalación y operación exitosa de 5 millones de biodigestores domésticos hasta mediados de los años noventa. En India se instalaron 2.8 millones de biodigestores y se identificó un potencial para instalar 12 millones más.

La SENER considera que existe un potencial de 3,000 MW para generación de energía eléctrica con biogás proveniente de la recuperación y aprovechamiento del metano a partir de residuos animales, residuos sólidos urbanos (RSU) y tratamiento de aguas negras. En 2010 existían en México, 721 biodigestores, de los cuales 367 en operación y 354 en construcción. De éstos, 563 biodigestores son financiados bajo el esquema del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), 154 con apoyo del Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO) y 4 biodigestores a través de la Iniciativa Metano a Mercados. El 8% de las granjas porcícolas cuentan con biodigestores, de los cuales el 20% dispone de motogeneradores con 70% en funcionamiento. La potencia total instalada es de 5.7 MWel. Para el aprovechamiento de biogás obtenido a partir de rellenos sanitarios, una de las experiencias más importantes en México es la de Bioenergía de Nuevo León, la primera a nivel nacional. El sistema está compuesto de 7 motogeneradores de 1 MW cada uno. La planta fue diseñada de manera modular para permitir futuras adiciones de capacidad (Red Mexicana de Bioenergía, 2018). El metro de la ciudad de Monterrey (Nuevo León), es el primer tren ligero que funciona con biogás

producido con la basura que genera el municipio (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, 2017).

1.6 Proyectos relacionados

Investigaciones relacionadas al desempeño de motores de combustión interna, muestran resultados relacionados. Se ha visto de forma positiva el uso del biodiésel como un biocombustible con diversas ventajas. Los niveles de toxicidad son menores en el biodiésel que los presentados por el diésel y su desempeño tiene una diferencia mínima (Paredes, Martínez, Vázquez, & Romero, 2018).

Comparado con el diésel fósil, el biodiésel no produce sulfuros, no produce dióxido de carbono neto, menos monóxido de carbono, menos partículas de materia, humo y emisiones de hidrocarburos (Atabani, y otros, 2012).

En el estudio “Study of combustion performance of biodiesel for potential application in motosport” (M. Wood, Kirwan, Maggs, Meredith, & R. Coles, 2015) se hace una comparación del desempeño de un motor de combustión interna a base de diésel, el cual es probado utilizando mezclas B50 de biodiésel a partir de grasa animal, B100 de biodiésel a partir de aceite de soya y de diésel puro EN 590, el cuál es un estándar en el Reino Unido. El torque del motor fue medido por un dinamómetro acoplado al motor.

Los resultados del estudio mostraron que el torque del motor aumentaba a altas velocidades utilizando biocombustibles, lo cual es bueno para evitar el efecto “Golpe de diésel”, además de generar un aumento en el torque. Los resultados entre los diferentes tipos de biodiésel variaron poco.

En el estudio “Combustion characteristics, performance and exhaust emissions of a diesel engine fueled with a waste cooking oil biodiesel mixture”, se hicieron pruebas con una mezcla de combustibles tipo biodiésel producidos de dos distintos tipos de aceite para cocinar de desecho, en un motor monocilíndrico diésel de aspirado natural, de inyección directa, 4 tiempos, bajo 4 diferentes cargas en el motor (BMEP

0.48-0.36-0.24-0.12 MPa) y 2000 rpm de velocidad en el motor. A pesar del inicio más temprano de la inyección, los resultados detallados de combustión y rendimiento del motor mostraron que el retardo de encendido con la adición de biodiésel disminuyó para todas las cargas del motor con los tiempos de combustión más tempranos debidos a la mayor cantidad de cetano de biodiésel (Can, Combustion characteristics, performance and exhaust emissions of a diesel engine fueled with a waste cooking oil biodiesel mixture, 2014).

El experimento realizado por El-Seesy llamado “Performance, combustion, and emission characteristics of a diesel engine fueled by biodiesel-diesel mixtures with multi-walled carbon nanotubes additives” se llevó a cabo con parámetros similares a los utilizados en este artículo, con la diferencia de la utilización de biodiésel derivado de jojoba y nanotubos de carbono de paredes múltiples. Para medir el desempeño del motor, de manera similar se hizo un precalentamiento del motor y una variación de la velocidad del motor para tener una mejor quema del combustible. Además de realizar la medición parámetros similares (El-Seesy, Abdel-Rahman, Bady, & S., 2017).

El estudio que se realizó reveló una disminución de monóxido de carbono y un incremento considerable de óxidos de nitrógeno. Por otra parte, el estudio “Combustion and exhaust emissions of canola biodiesel blends in a single cylinder DI diesel engine” realizado con biodiésel de canola con proporciones de: 5%, 10%, 15% y 20% (del volumen total de la mezcla) y diésel común, bajo diferentes cargas en un motor monocilíndrico, mostró entre varios resultados, que la ignición era retardada, aunque con un retraso muy pequeño, con el biodiésel de canola. También se mostró que las emisiones de NOx disminuyeron, así como el humo generado y el CO₂ en todas las cargas (Can, Oztürk, & Serdar Yücesu, Combustion and exhaust emissions of canola biodiesel blends in a single cylinder DI diesel engine, 2017).

En el artículo “Ignition delay, combustion and emission characteristics of Diesel engine fueled with rapeseed biodiesel” por Aldhaidhawi se hace un análisis del biodiésel producido con aceite de colza, el cual está ganando aceptación en el

mercado de biocombustibles debido a los beneficios ambientales y económicos que brinda. Algunas publicaciones señalan que el biodiésel de colza tiene casi el mismo desempeño que el diésel fósil, reduce el retraso de ignición, además de que reduce considerablemente las emisiones contaminantes comparado con biodiésel de otras materias primas (Aldhaidhawi, Chiriac, & Badescu, 2017).

Capítulo II

Marco Teórico

2.1 Energía

La energía se entiende como todo aquello que puede originar o dar existencia a un trabajo. Es la capacidad que posee la materia para producir calor, trabajo en forma de movimiento, luz, crecimiento biológico, etc. Por materia se entiende cualquier cuerpo sólido, líquido y gaseoso existente (Secretaría de energía - República de Argentina , 2003), es decir, la energía es la capacidad que tienen los cuerpos para producir cambios en ellos mismos o en otros.

2.1.1 Formas de energía

La energía se puede manifestar en diferentes formas encontradas en dos categorías principales: la energía cinética y la energía potencial.

La física designa, con el nombre de energía cinética, la capacidad de realizar trabajo, asociada al movimiento de los cuerpos. Mientras que la manifestación de energía cinética suma de las aportaciones microscópicas de las partículas que forman una sustancia, se denomina energía térmica, que está muy relacionada con la temperatura de la sustancia. En determinadas circunstancias, los cuerpos tienen capacidad de realizar trabajo (recordamos que ésta era la definición de energía), aunque no se encuentren en movimiento, e independientemente de la cantidad de energía térmica que poseen, a causa de la agitación de sus moléculas. Se dice entonces que el cuerpo o la partícula en cuestión tiene energía potencial acumulada (Inieta Burgos & García Fernández, 2002)

Paralelamente se puede decir que, si en un sistema físico aislado desaparece una determinada cantidad de trabajo, o una parte equivalente de este trabajo, formando parte de diversas formas de la energía, la misma cantidad de trabajo debe aparecer bajo otras formas energéticas según la definición de ley de conservación de la energía (Energía nuclear, 2016), la cual afirma que la cantidad total de energía en cualquier sistema aislado (sin interacción con ningún otro sistema) permanece

invariable con el tiempo, aunque dicha energía puede transformarse en otra forma de energía (EcuRed, 2016).

Partiendo de estas dos categorías se pueden encontrar las demás formas de energía, como se muestra en la Figura 5:

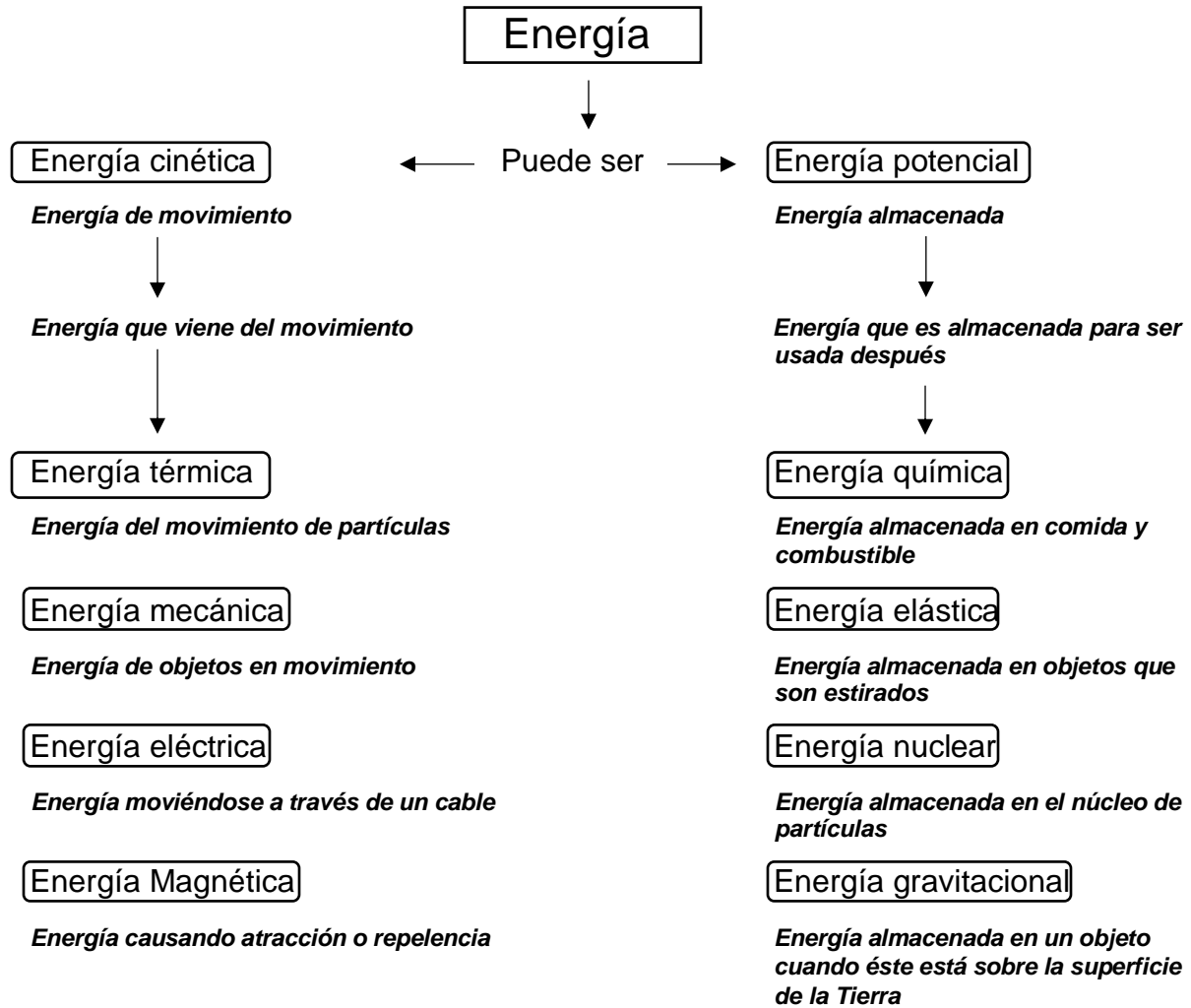


Figura 5. Tipos de Energía.

Fuente: elaboración propia

Partiendo de esto, se puede definir a la energía de la siguiente manera (Figura 6):

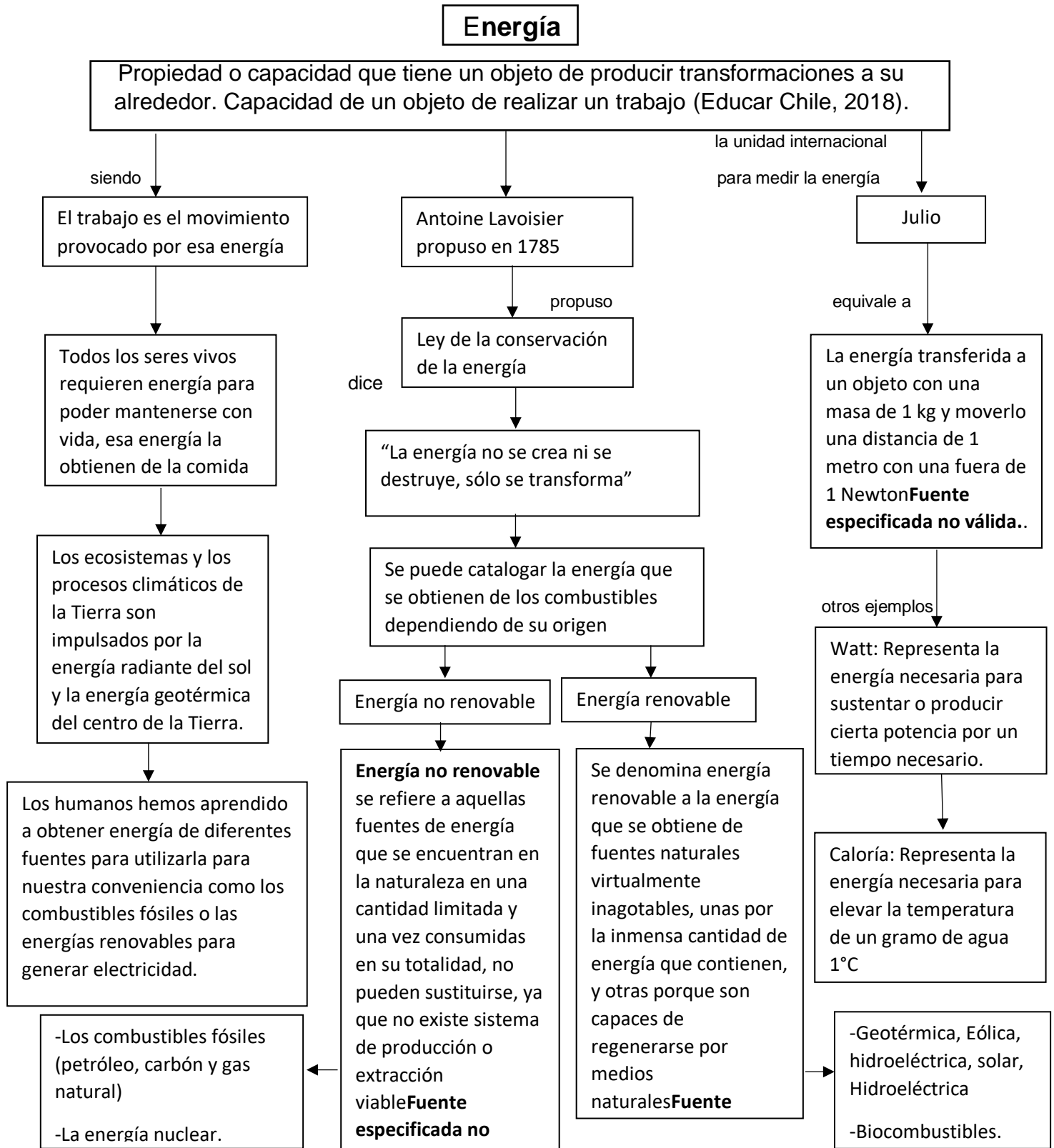


Figura 6. Mapa conceptual de la energía.

Fuente: elaboración propia

2.2 Motores de combustión interna

Dentro de la clasificación de energía, la energía mecánica es fundamental para que los cuerpos tengan movimiento, esto siendo originado en muchos casos por energía térmica.

El motor es una máquina destinada a producir movimiento a expensas de otra fuente de energía. El motor de combustión interna es una máquina térmica en la que la parte de energía liberada al quemar combustible en el interior del cilindro se transforma en trabajo (Real Academia Española, 2019).

La gran mayoría de la maquinaria de transporte es movida por motores de combustión interna. Actualmente, la construcción de esos motores para vehículos, lanchas, aeroplanos, trenes, máquinas pesadas, excavadoras y barcos, lo mismo que para pequeñas plantas de energía, constituye una de las más grandes industrias en el mundo (Pawlak, 1984). Una parte pequeña de la maquinaria es movida por otro tipo de motores, tales como, los motores de combustión externa o motores eléctricos.

La energía térmica con la que funcionan los motores de combustión interna proviene de la quema de combustibles, por ejemplo, los hidrocarburos. Los motores de combustión interna consumen el 80% de la energía derivada de los hidrocarburos a nivel mundial (Rafael & Andrés, 2014).

2.2.1 Clasificación de los motores de combustión interna

Por lo general se distinguen tres tipos principales de motores de combustión interna:

1. Motores de cuatro tiempos
2. Motores de dos tiempos
3. Turbinas de gas

A su vez en los motores de dos y cuatro tiempos se clasifica:

1. Motores encendidos por chispa generada por bujía (también conocidos como motores ECH).

2. Motores encendidos por compresión o por autoencendido del combustible (conocidos como motores EC).

Estas son las clasificaciones más significativas, sin embargo, los motores de combustión interna se clasifican de acuerdo con la Tabla 5.

Tabla 5. Tipos de clasificación de los motores de combustión interna.

Aplicación	En automóviles, camiones, locomotoras, avión ligero, marino, sistema de potencia portátil y generación de energía.
Diseño básico del motor	Motores reciprocantes (subdivididos por el arreglo de los cilindros: en línea, en V, etc.).
Ciclos de funcionamiento	Ciclo de cuatro tiempos: aspirado naturalmente (admitiendo el aire atmosférico), sobrealimentado (admite previamente comprimida la mezcla fresca) y turbo cargado (admitiendo la mezcla fresca comprimida en un compresor conducido por una turbina de extractor), ciclo de dos tiempos: sobrealimentado y turbo cargado.
Válvula o diseño del puerto y localización	Válvulas en la cabeza, válvulas debajo de la cabeza, válvulas rotatorias, etc.
Combustible	Gasolina, diésel, gas natural, gas líquido, alcoholes (metanol, etanol), hidrógeno, combustible dual.
Método de preparación de la mezcla	Carburación, inyección del combustible en los puertos, inyección del combustible en el cilindro del motor.
Método de encendido	Encendido por chispa, encendido por compresión.
Diseño de la cámara de combustión	Cámara abierta, cámara dividida
Método de control de carga	La estrangulación de la mezcla del flujo del combustible y de aire junto permanece sin cambio, control del flujo del combustible solamente, una combinación de éstos.
Método de enfriamiento	Enfriados por agua, enfriados por aire, sin enfriar (por convección y radiación naturales)

Fuente: Caracterización de un motor de combustión interna con dos tipos de combustible (Rafael & Andrés, 2014)

2.2.2 Aspectos termodinámicos de los motores de combustión interna

2.2.2.1 Calor

La concepción del calor surge de esa particular sensación de calor o frialdad que se experimenta de inmediato al tocar un cuerpo. Esta sensación directa, sin embargo, no proporciona ninguna medida científica cuantitativa del estado de un cuerpo con respecto al calor; sólo produce resultados cualitativos, que varían de acuerdo a las circunstancias externas. Para cuantitativo utilizamos el cambio de volumen que se produce en todos los cuerpos cuando se calienta bajo presión constante, para esto se admite la medida exacta. La calefacción produce en la mayoría de las sustancias un aumento de volumen, y por lo tanto podemos decir si un cuerpo se calienta o se vuelve más frío, no solo por el sentido del tacto, pero también por una observación puramente mecánica con mayor grado de precisión. También podemos decir con precisión cuando un cuerpo asume un antiguo estado de calor.

Si dos cuerpos, uno de los cuales se siente más cálido que el otro, se reúnen (por ejemplo, un pedazo de metal y agua fría), se encuentra invariablemente que el más caliente, el cuerpo se enfría y el frío se calienta hasta cierto punto y entonces todo cambio cesa. Los dos cuerpos entonces están en equilibrio térmico. La experiencia demuestra que tal estado de equilibrio finalmente se establece, no solo cuando dos, pero también cuando cualquier número de cuerpos calentados de manera diferente se ponen en contacto mutuo. De esto surge la siguiente proposición importante: si un cuerpo, A, está en equilibrio térmico con los otros dos cuerpos, B y C, entonces B y C están en equilibrio térmico entre sí. Si colocamos A, B, y C juntos para que cada uno toque a los otros dos, entonces, de acuerdo con nuestra suposición, habrá equilibrio en los puntos de contacto AB y AC, y, por lo tanto, también en el contactar a BC. Si no fuera así, el equilibrio térmico general no sería posible, lo cual es contrario a la experiencia (Planck, 1917).



2.2.2.2 Trabajo

El trabajo es la transferencia de energía relacionada con una fuerza que actúa

a lo largo de una distancia. Entonces se puede entender que el trabajo es energía mecánica en transición, la cual no puede ser almacenada en un campo o un sistema. Cuando un campo se somete a un trabajo, el éste solo permanece el resultado del trabajo capaz de manifestarse en otra forma de energía

La **primera ley de la termodinámica** determina que la energía interna de un sistema aumenta cuando se le transfiere *calor* o se realiza un *trabajo* sobre él. Su expresión depende del criterio de signos para sistemas termodinámicos elegido (Fernández, 2019), Tabla 6.

Tabla 6. La Primera Ley de la Termodinámica.

 <p>Criterio IUPAC</p>	 <p>Criterio tradicional</p>
Se considera positivo aquello que aumenta la energía interna del sistema, o que es lo mismo, el trabajo recibido o el calor absorbido	Se considera positivo el calor absorbido y el trabajo que realiza el sistema sobre el entorno.
$\Delta U = Q + W$	$\Delta U = Q - W$

Fuente: Primera Ley de la Termodinámica (Fernández, 2019)

Donde:

- ΔU : Incremento de energía interna del sistema ($\Delta U = U \text{ final} - U \text{ inicial}$). Su unidad de medida en el Sistema Internacional es el julio (J).
- Q: Calor intercambiado por el sistema con el entorno. Su unidad de medida en el Sistema Internacional es el julio (J), aunque también se suele usar la caloría (cal). 1 cal = 4.184 J
- W: Trabajo intercambiado por el sistema con el entorno. Su unidad de medida en el Sistema Internacional es el julio (J).

2.2.2.3 Ciclos termodinámicos

Un ciclo termodinámico es un proceso o conjunto de procesos en el que un sistema evoluciona volviendo al estado inicial.

Para todo ciclo se cumple que:

$$\Delta U = 0; \quad Q=W$$

Siendo un sistema una porción del espacio o cantidad de materia seleccionada para que un proceso se lleve a cabo. Todo lo que sea ajeno al sistema se le conoce como alrededores y el límite real o hipotético entre el sistema con sus alrededores es llamado fronteras o límites del sistema (Figura 7).

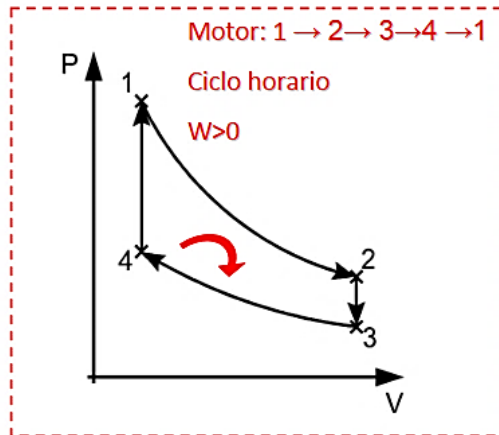


Figura 7. Ciclo termodinámico convencional.

Los ciclos termodinámicos permiten:

1. La conversión en trabajo por interacción con dos focos térmicos: máquinas o motores térmicos. Estos son descritos en sentido horario.
2. Pasar calor de un foco frío a otro con mayor temperatura: refrigeradores o bombas de calor. Estos se describen en sentido antihorario (Figura 8).

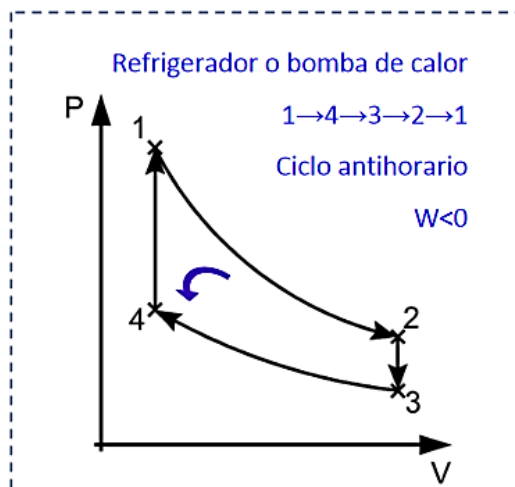


Figura 8. Ciclo Termodinámico inverso.

Los procesos termodinámicos se clasifican en:

- **Procesos adiabáticos** ($Q = 0$): Aquellos en los que el sistema no intercambia calor. Por ejemplo, al usar un ambientador o desodorante en aerosol se produce un proceso casi adiabático. En estos casos $\Delta U = W$ (o bien $\Delta U = -W$), según criterio de signos elegido), es decir, el trabajo es función de estado. Cuando comprimimos o expandimos un gas en un proceso en el que no se intercambia calor, variamos su energía interna y, por tanto, su temperatura.
- **Procesos isocóricos** ($V = \text{cte}$): Aquellos en los que el volumen permanece constante. Por ejemplo, una botella de champán metida en un recipiente con hielo. Al no haber variación de volumen, el trabajo del sistema es cero: $W_{\text{sistema}} = 0$. Siguiendo el primer principio, nos queda $\Delta U = Q$, es decir, el calor es una función de estado. Esto significa que la única forma de variar la energía interna en un proceso en el que no se varía el volumen es a través del intercambio de calor.
- **Procesos isobáricos** ($p = \text{cte}$): Aquellos en los que la presión permanece constante. Por ejemplo, las reacciones químicas. El valor del trabajo se calcula a partir de la expresión $W_{\text{sistema}} = -p \cdot \Delta V$, o bien: $W_{\text{sistema}} = p \cdot \Delta V$, según criterio IUPAC o tradicional respectivamente
- **Procesos isotérmicos** ($T = \text{cte}$): Aquellos en los que la temperatura permanece constante. Por ejemplo, un recipiente con gas y un pistón en la zona superior, sumergido en un depósito calorífico a temperatura constante. Al ser la temperatura constante, la variación de energía interna es cero $\Delta U = 0$.

2.2.3 Ciclos de funcionamiento de un motor de combustión interna

Los ciclos utilizados en el funcionamiento de los motores de combustión interna son el ciclo Otto y el ciclo Diésel.

2.2.3.1 Ciclo Otto

El ciclo Otto describe el fluido de trabajo en motores de combustión interna de 4 tiempos, llamado así por su inventor Nikolaus August Otto en el siglo XIX.

El ciclo mecánico de un motor Otto de cuatro tiempos se compone por cuatro carreras del pistón y dos vueltas del cigüeñal, así como una del árbol de levas.

En el ciclo de Otto, el fluido de trabajo es una mezcla de aire y gasolina que experimenta una serie de transformaciones (seis etapas, aunque el trabajo realizado en dos de ellas se cancela) en el interior de un cilindro provisto de un pistón.

- 0-1 - **Admisión**: la válvula de admisión se abre, permitiendo la entrada en el cilindro de la mezcla de aire y gasolina. Al finalizar esta primera etapa, la válvula de admisión se cierra. El pistón se desplaza hasta el denominado punto muerto inferior (PMI).
- 1-2 - **Compresión adiabática**: la mezcla de aire y gasolina se comprime sin intercambiar calor con el exterior. La transformación es por tanto isentrópica. La posición que alcanza el pistón se denomina punto muerto superior (PMS). El trabajo realizado por la mezcla en esta etapa es negativo, ya que ésta se comprime.
- 2-3 - **Explosión**: la bujía se activa, salta una chispa y la mezcla se enciende. Durante esta transformación la presión aumenta a volumen constante.
- 3-4 - **Expansión adiabática**: la mezcla se expande adiabáticamente. Durante este proceso, la energía química liberada durante la combustión se transforma en energía mecánica, ya que el trabajo durante esta transformación es positivo.
- 4-1 - **Enfriamiento isocórico**: durante esta etapa la presión disminuye y la mezcla se enfría liberándose calor al exterior.
- 1-0 - **Escape**: la válvula de escape se abre, expulsando al exterior los productos de la combustión. Al finalizar esta etapa el proceso vuelve a comenzar (Martín Blas & Gómez, 2019)

El trabajo total realizado durante el ciclo es positivo (ya que éste se recorre en sentido horario). El trabajo realizado por el sistema durante las etapas 01 y 10 es igual en valor absoluto, pero de signo contrario, por lo que no contribuyen al trabajo total.

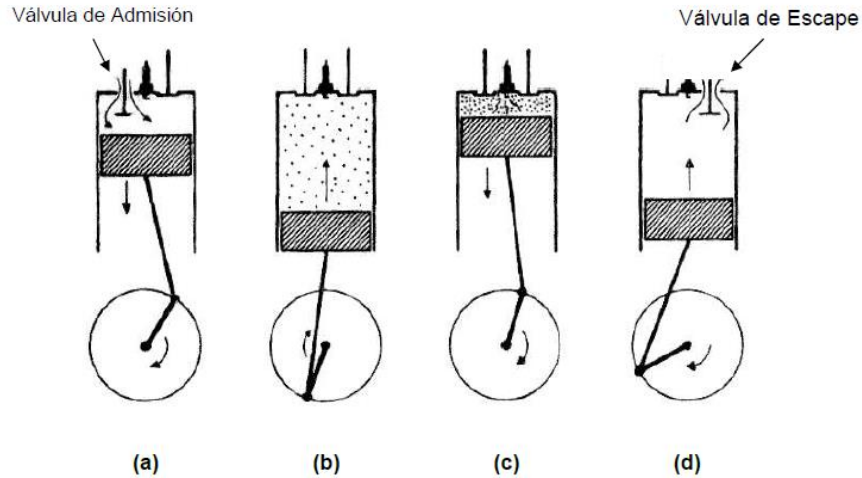


Figura 9. Tiempo de un Ciclo Otto: a) Admisión, b) Compresión, c) Expansión, d) Escape.

El movimiento del pistón se transmite a la biela y de ésta al cigüeñal. Posteriormente este movimiento se transmite a las ruedas (Martín Blas & Gómez, 2019).

En la práctica, el ciclo Otto no tiene transformaciones adiabáticas ni las transformaciones isocóricas se dan a volumen constante.

A continuación, se muestran los diagramas presión – volumen y temperatura – entropía (Figura 10).

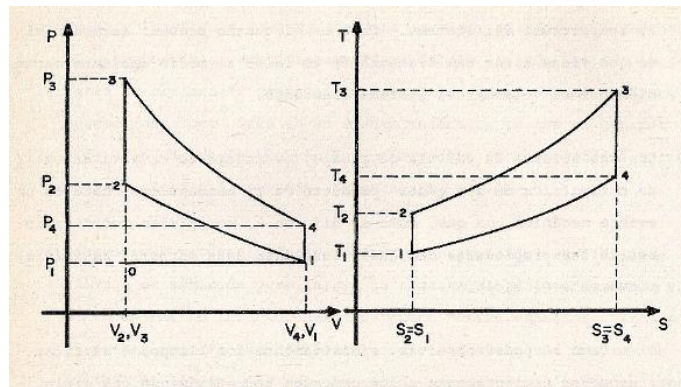


Figura 10. presión (P) – volumen (V) y temperatura (T) – entropía (S).

Fuente: Ciclo Otto (de cuatro tiempos) (Bárcenas, 2019)

2.2.3.2 Ciclo Diésel

El motor diésel tiene como base de funcionamiento el ciclo Otto, la diferencia está en que el combustible en motores de esta clase se inyecta cuando se ha realizado la compresión del aire.

El proceso es, a comparación del motor de encendido por chispa (también llamado motor Otto) en el cual se inyecta una mezcla de combustible y aire, en el motor diésel sólo se inyecta aire, lo que produce que en el segundo tiempo éste se comprima y se caliente, cuando el pistón llega al punto muerto superior (PMS), entonces el diésel es inyectado. En el tercer tiempo, el diésel se enciende es encendido debido a la presión elevada que del aire. El cuarto tiempo es igual al del motor Otto. El combustible inyectado es encendido debido a la alta relación de compresión de la carga de aire.

Este tipo de motor puede ser utilizado con diferentes tipos de combustibles, siendo históricamente el aceite de palma el primero en serlo. Estos combustibles se caracterizan por su alta eficiencia térmica y las ventajas económicas para las aplicaciones que tienen.

Para obtener una combustión limpia, así como para no emplear una gran cantidad de aire, todo el proceso se realiza en milisegundos. Según el proyecto de Rudolph Diesel, el motor diesel presenta un sistema de inyección de combustible en el que la razón de inyección se retarda y se controla para obtener una presión constante durante el proceso de combustión (Rafael & Andrés, 2014).

2.2.4 Combustibles

Se le denomina así a cualquier sustancia usada para producir energía calorífica a través de una reacción química o nuclear. La energía se produce por la conversión de la masa combustible a calor (PEMEX, 2018).

Los combustibles pueden ser sólidos, líquidos y gases, ya sea en su estado natural o en forma preparada. Dentro de los combustibles sólidos se encuentran los carbones, lignitos, coques, madera y residuos combustibles, subproducto de algún proceso de fabricación. Los combustibles líquidos contienen al petróleo y sus

destilados y a los no derivados del petróleo. Dentro de los gases tenemos a los naturales, que salen de la tierra y a los fabricados, que son productos obtenidos del carbón, principalmente. Los elementos básicos de un combustible son carbono e hidrógeno. El azufre es también un elemento constitutivo, pero no se considera como combustible, sino como cuerpo indeseable (Buelna Quijada, 1995).

2.2.4.1 Clasificación de los combustibles

De acuerdo con la condición de ingreso en el motor, en lo que se relaciona con la volatilidad, es posible clasificar los combustibles para motores en *combustibles* propiamente dichos y *carburantes*. Se designa con el primer término a los que alimentan los motores de compresión-inyección, y carburantes a los combustibles líquidos que se vaporizan con aire antes de entrar en el cilindro, caso típico de las naftas, los alcoholes y el benzol (Martínez de Vedia, 1989).

Dependiendo del estado físico de los combustibles, estos pueden ser líquidos, sólidos o gaseosos, además de que, si se considera la fuente procedencia, los combustibles también se pueden clasificar en hidrocarburos de petróleo, benzol, alcoholes y gases varios.

La clasificación de los combustibles se puede observar en la figura 11:

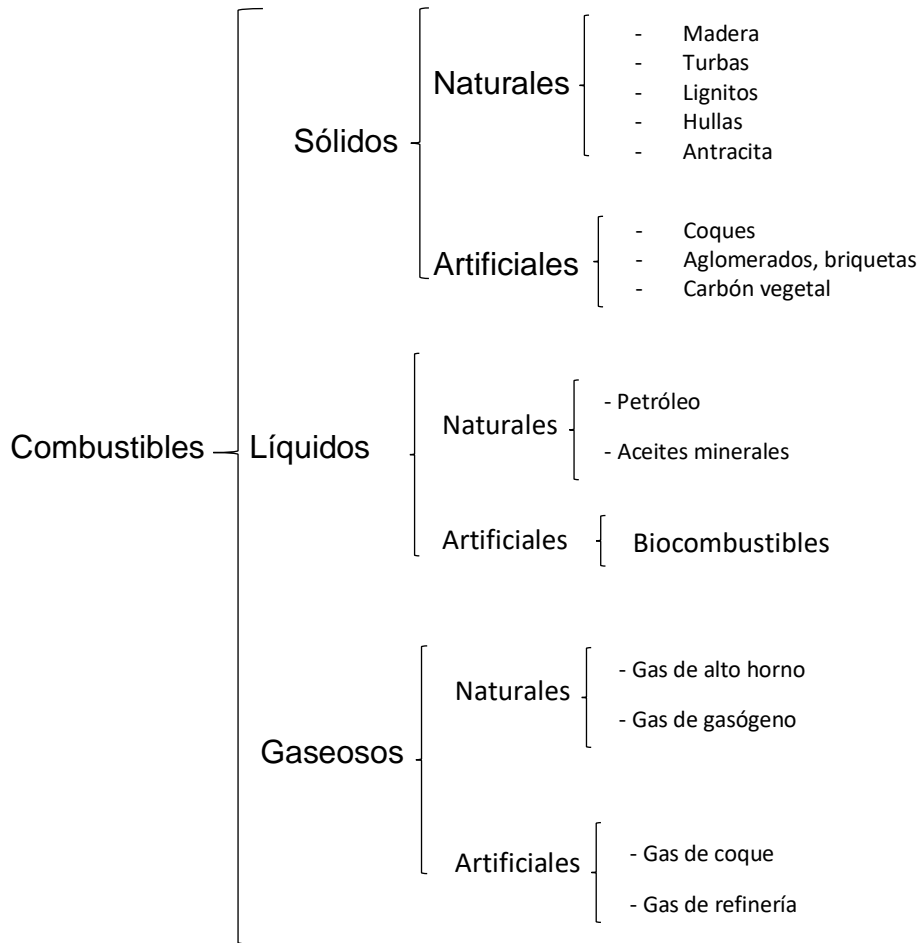


Figura 11. Cuadro sinóptico de la clasificación de los combustibles.

Las características que deben tener los combustibles utilizados en los motores de combustión interna de cuatro tiempos varían dependiendo del ciclo que tenga dicho motor. En los motores de ciclo Otto, la combustión se inicia mediante el salto de una chispa eléctrica proveniente de una bujía. Los combustibles de estos motores deben tener capacidad antidetonante, o sea, que no se enciendan antes de recibir la chispa fenómeno conocido como autoencendido. Los combustibles más usados son las naftas y gases (GNC).

Los combustibles que se utilizan deben tener una velocidad de autoignición adecuada al régimen de operación de cada motor. De acuerdo a su tipo, se los clasifica en veloces, medios y lentos, que corresponden al gas oil, Diesel oil, bunker y fuel oil, en ese orden. Las primeras aplicaciones de los motores Diesel fueron en motores marinos y ferroviarios. Estos motores son de bajas revoluciones, e

inicialmente no requirieron gran desarrollo cualitativo de combustibles, ya que usaban subproductos de la destilación directa del petróleo crudo. Pero al avanzar el diseño de los motores Diesel, con mayor compresión y revoluciones elevadas, y al extenderse su utilización en el agro, en el transporte (camiones y ómnibus) y en el parque automotor liviano (automóviles), se originó la necesidad de contar con nuevos combustibles más refinados (Instituto Argentino de Energía, 2019).

2.2.4.2 Biocombustibles

Se entiende como biocombustible a aquellos combustibles que son generados a partir de biomasa. El término biomasa, en el sentido amplio, se refiere a cualquier tipo de materia orgánica que haya tenido su origen inmediato en el proceso biológico de organismos recientemente vivos, como plantas, o sus desechos metabólicos (el estiércol); el concepto de biomasa comprende productos tanto de origen vegetal como de origen animal (Salinas Callejas & Gasca Quesada, 2009).

En la siguiente tabla se muestran los diferentes tipos de biocombustibles:

Tabla 7. Tipos de Biocombustibles.

Líquidos	Sólidos	Gaseosos
<ul style="list-style-type: none">• Paja• Leña• Astillas• Briquetas• Carbón vegetal	<ul style="list-style-type: none">• Alcoholes• Biohidrocarburos• Aceites vegetales y ésteres derivados• Aceites de pirólisis	<ul style="list-style-type: none">• Gas de gasógeno• Biogás• Hidrógeno

Fuente: Los biocombustibles (Lede)

Existen distintos tipos de clasificaciones, aunque la que más se ha difundido no es por su composición química, sino por el tipo de materia orgánica de la que provienen. Entonces, se pueden clasificar como biocombustibles de primera y segunda generación. Los primeros se producen a partir de aceites o azúcares comestibles que provienen de plantas tales como el girasol, la jatrofa, maíz, caña

de azúcar o la soya. La obtención de éstos depende de su origen: si la planta de la que se origina es rica en azúcares, se opta por un proceso de fermentación para generar alcoholes. Ejemplo de esto es la generación de etanol a partir de la caña de azúcar. Por su parte, para aquellas plantas que son ricas en aceites o grasas, se recurre a una reacción química llamada transesterificación, la cual, a partir de la combinación de dichos aceites o grasas con un alcohol, genera ésteres grasos, como el biodiésel.

Los combustibles de segunda generación se obtienen a partir de materias primas que no se pueden aprovechar para el consumo humano, por ejemplo, los desechos forestales, agrícolas e incluso desechos de actividades humanas (como el aceite reciclado de cocina). Estos desechos para ser aprovechables deben tener un alto contenido en celulosa y lignina, los cuales son los principales componentes de las paredes celulares de las plantas.

Los combustibles de tercera generación son provenientes de organismos que son capaces de producir su propio alimento, por ejemplo, las algas marinas que se cultivan en reactores fotoquímicos o en piletones al aire libre. Después, se secan estos organismos para poder extraer el aceite de sus células y después por algún método antes mencionado producir biocombustible. En el siguiente mapa se explican las primeras tres generaciones de biocombustibles (Figura 12).

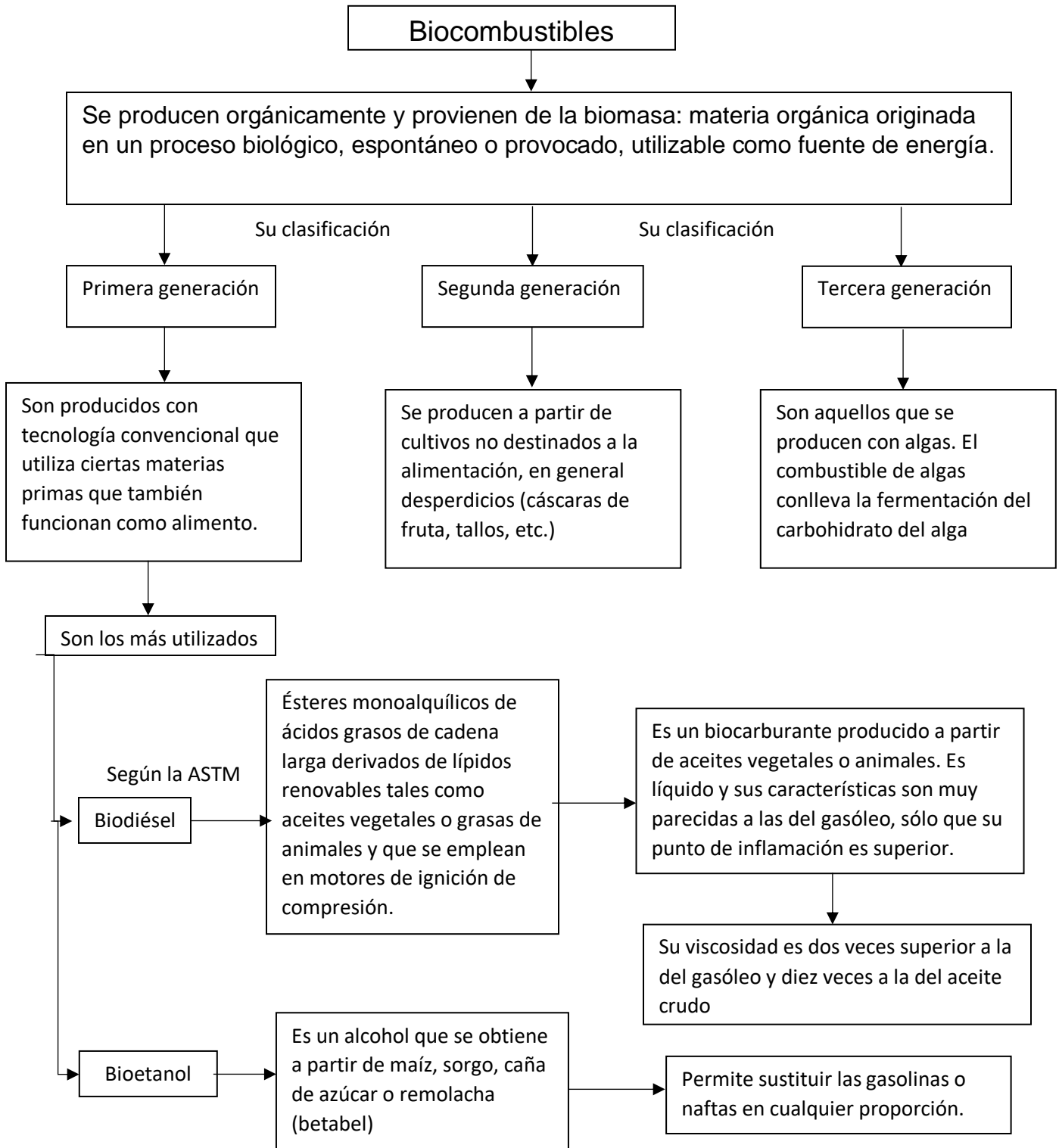


figura 12. Biocombustibles

Fuente: Elaboración propia

Los combustibles de cuarta generación se producen a partir de organismos que son modificados genéticamente, lo que permiten que capten más dióxido de carbono del ambiente, por lo que disminuyen los gases de efecto invernadero de una manera bastante efectiva. Así se ha alterado por procedimientos de ingeniería genética árboles como el eucalipto para que almacenen hasta tres veces más CO₂ que los normales, y provean celulosa en mayores proporciones, lo cual se traduce en un incremento de biocombustible generado (Ramos, Díaz, & Villar, 2016).

2.2.4.3 Ventajas y desventajas de los biocombustibles

Ningún combustible es completamente positivo ni negativo, todos ofrecen ventajas y desventajas que se deben tomar en cuenta para poder hacer un uso óptimo de éstos. Se mencionan a continuación éstas:

Ventajas:

- **Costo:** La tecnología ha ido evolucionando, cuando ya se encuentre lista de manera general, el precio de los biocombustibles será menos que el de los combustibles fósiles.
- **Material disponible:** Debido a que los combustibles fósiles provienen de una fuente no renovable, se tienen recursos limitados, mientras que los biocombustibles se pueden generar de distintas fuentes.
- **Seguridad:** Esto, relacionado al material disponible, ayudaría a los países a no depender de combustibles extranjeros, lo cual, brinda una estabilidad económica, y de la misma manera evitar conflictos políticos y sociales.
- **Estimulación económica:** Debido a la amplia gama de materias primas y al tipo de procesos que se utilizan para la obtención de los biocombustibles, se generarían más empleos en distintos sectores sociales.
- **Menor emisión de contaminantes:** Cuando son utilizados, se producen menos emisiones de contaminantes como el dióxido de carbono y el dióxido de azufre.

Desventajas:

- Cantidad de energía: En general los biocombustibles tienen menor cantidad de energía que los combustibles comunes, por lo que se necesita mayor volumen de éstos para para producir la misma energía que los hidrocarburos convencionales.
- Contaminación en la producción: Estudios han demostrado que la combustión de los biocombustibles emite menor cantidad de contaminantes a la atmósfera, pero su producción si tiende a contaminar.
- Precio de los alimentos: Al utilizar bio-cultivos, la demanda de alimentos incrementaría, lo que aumentaría el precio de éstos.
- Uso de agua: El proceso para obtener los biocombustibles necesita altas cantidades de agua, por lo que representa una gran desventaja.

Dentro de los biocombustibles líquidos se encuentran el alcohol carburante, también conocido como bioetanol y el biodiésel, son los más utilizados en el sector automotriz, los cuales pueden ser utilizados solos o mezclados con gasolina o diésel convencional respectivamente en motores de combustión interna. Las ventajas y desventajas que tienen estos son:

Tabla 8. Ventajas y desventajas de los diferentes biocombustibles.

Biocombustible	Ventajas	Desventajas
Bioetanol	<ul style="list-style-type: none"> - Alto Octanaje. - Mayor calor de combustión. - Menor calor de vaporización. - Fomento al comercio agrícola. - Aprovechamiento de materias primas y recursos renovables. 	<ul style="list-style-type: none"> - Producción más costosa que la de la gasolina. - La mezcla de éste con la gasolina contribuye a la formación de smog y ozono. - Tendencia a que se formen dos fases líquidas en presencia de agua. - Es altamente corrosivo.

Biodiésel	<ul style="list-style-type: none">- Como no contiene azufre, no se producen óxidos durante su combustión.- La emisión de material particulado se reduce a comparación del diésel convencional.- Tiene mayor viscosidad que el diésel, por lo que alarga la vida útil del motor.- Reduce la tendencia a formación de depósitos, lo que aumenta su estabilidad.	<ul style="list-style-type: none">- Incremento de las emisiones de óxidos de nitrógeno.- Problemas de flujo a bajas temperaturas.- Incompatibilidad con algunos plásticos.- Su poder calorífico es inferior al del diésel.
-----------	--	---

Las especulaciones más conocidas de los biocombustibles son:

- Los biocombustibles son excelentes para el medio ambiente.
- Los biocombustibles afectan la seguridad alimentaria.
- Los biocombustibles son el mejor negocio.
- Las vinazas son fertilizantes adecuados para los mismos cultivos bioenergéticos.
- Las instalaciones de cualquier capacidad serán rentables.
- Los biocombustibles tienen sólo implicaciones sociales positivas (Cardona & Ariel, 2009).

A continuación, se muestra la descripción y aplicaciones de los biocarburantes:

Tabla 9. Descripción y aplicaciones de los biocarburantes.

Biocarburantes	Descripción	Uso y aplicaciones
Bioetanol	Etanol producido a partir de biomasa o de la fracción biodegradable de los residuos, para su uso como biocarburante.	<ul style="list-style-type: none"> - Uso en motores de gasolina convencionales mezclado hasta el 15% con gasolina. - Uso en motores Flex-fuel como E85 - E-diesel: etanol mezclado en bajas proporciones (máximo al 10%) con gasoil para uso en motores diesel. En desarrollo.
Biodiésel	Éster metílico producido a partir de aceite vegetal o animal de calidad similar al gasóleo, para su uso como biocarburante.	Uso en motores diésel convencionales en mezcla con gasóleo convencional al 100%.
Biogás	Combustible gaseoso producido a partir de biomasa y/o a partir de la fracción biodegradable de los residuos y que puede ser purificado hasta alcanzar una calidad similar a la del gas natural, para su uso como biocarburante, o gas de madera.	Uso en motores de gas como sustituto o en mezcla con gas natural.
Biometanol	Metanol producido a partir de la biomasa, para uso como biocarburante.	Dadas las propiedades del biocombustible, muy parecidas a las del bioetanol, el Biometanol se puede utilizar en los motores de ciclo Otto y Diésel.
Biodimetiléter	Dimetiléter producido a partir de la biomasa, para su uso como Biocarburante.	Indicado para la sustitución del gasoil en los motores de ciclo diésel.
Bio-ETBE (etil ter-butil éter)	ETBE producido a partir del bioetanol. La fracción volumétrica de bio-ETBE que se computa como biocarburante es del 47%.	Puede ser utilizado en mezcla al 15% en volumen con la gasolina.
Biocarburantes sintéticos	Hidrocarburos sintéticos o sus mezclas, producidos a partir de la bioma	En función de las características del hidrocarburo sintético podrá emplearse en un motor diesel o de ciclo Otto.

Bio-hidrógeno	Hidrógeno producido a partir de la biomasa y/o a partir de la fracción biodegradable de los residuos para su uso como biocarburante	Uso en motores adaptados.
Hidro-biodiésel	Combustible producido por hidrogenación/isomerización de aceite vegetal o animal	Uso en motores diésel.
Otros biocombustibles producidos a partir de biomasa	Bioalcoholes, bio-ésteres y bio-ésteres distintos de los enumerados; los productos producidos por tratamiento en refinería de biomasa, la biogasolina y el bioLPG; y los carburantes de biorrefinería	Uso en motores diésel u Otto en función de las características del combustible.
Bioqueroseno	Fracción ligera procedente de la destilación de biodiésel obtenido por transesterificación de aceites vegetales	Uso en mezclas con queroseno hasta el 20% para uso en motores de aviación.

Fuente: Agencia Andaluza de la energía (Consejería de Economía, Innovación y Ciencia, 2019)

2.2.4.4 Supuestos de normas internacionales

Existen mandatos a nivel nacional, estatal y provincial para el transporte renovable, los cuales se muestran en la Tabla 10.

Nota: El texto en negrita indica nuevo / revisado en 2018, los corchetes "[]" indican los mandatos anteriores donde se promulgaron nuevos mandatos, y el texto en cursiva indica los mandatos adoptados a nivel estatal / provincial.

Tabla 10. Mandatos para el transporte renovable por países.

País	Mandatos para mezclas de biocombustible				Otros mandatos para transporte renovable
	Mandato de mezcla de biodiésel existente (% biodiésel)	Mandato de mezcla de etanol existente (% de etanol)	Mandato de mezcla general / no especificado	Mandato de biocombustibles por año futuro	
Alemania				0.05% de biocombustibles avanzados para 2020; 0.5% para 2025	6.5% como límite de biocombustibles convencionales
Angola		10%			
Argentina	10%	12%			
Australia					
<i>Nueva Gales del Sur</i>	2%	7%			
<i>Queensland</i>	1%	3%			
Austria	6.3%	3.4%	5.75%	8.75% para 2020	
Bélgica	6% [4%]	8.5% [4%]			
Brasil	10%	27%			
Bulgaria	6%	8%			
Canadá	2%	5%			
<i>Alberta</i>	2%	5%			
<i>Columbia británica</i>	4%	5%			
<i>Manitoba</i>	2%	9%			

Análisis de emisiones de motores de combustión interna utilizando biocombustibles

Ontario	4%	5%			
Saskatchewan	2%	8%			
China ¹		10%			
Taipéi Chino	1%				
Colombia	10%	10% [8%]			
Costa Rica	20%	7%			
Croacia	5.75%	0.97%	6.92%		0.1% biocombustibles de 2a generación
República Checa	6%	4.1%			
Dinamarca			5.75%	0.9% de biocombustibles avanzados de materiales residuales para 2020	
Ecuador	5%	10%			
Eslovaquia			5.8%		
Eslovenia			7.5%		El 100% de los camiones pesados funcionarán con biodiésel para 2030
España			6%		
Estados Unidos de América					Norma de combustible renovable

Análisis de emisiones de motores de combustión interna utilizando biocombustibles

					(RFS) de 2018: 73 mil millones de litros de combustibles renovables totales, incluidos 1,1 mil millones de litros de biocombustible celulósico, 7,9 mil millones de litros de diesel a base de biomasa, 16,2 mil millones de litros de biocombustible avanzado ³
<i>Hawái, Missouri y Montana</i>		10%			
<i>Luisiana</i>	2%	2%			
<i>Massachusetts</i>	5%				
<i>Minnesota</i>	10%	20% [10%]			
<i>Nuevo México</i>	5%				
<i>Oregón</i>	5%	10%			
<i>Pensilvania</i>					E10 un año después de 1.3

					billones de litros producidos; B5 un año después de producir 379 millones de litros, B10 un año después de producir 757 millones de litros y B20 un año después de producir 1.500 millones de litros
<i>Washington</i>	2%	2%			B5 180 días después de la capacidad de trituración de semillas y oleaginosas en el estado puede cumplir con el requisito del 3%
Etiopía		10%			
Finlandia			15%		
France	7.7%	7.5%			
Grecia			7%		
Guatemala		5%			
Holanda			8.5%	1% de biocombustibles	5% como límite para

Análisis de emisiones de motores de combustión interna utilizando biocombustibles

				avanzados para 2020	biocombustibles convencionales para 2020
Hungría	4.9%	4.9%			
India	20%	10%			
Indonesia	20%	3%			Se amplió el mandato de combinación B20 del sector del transporte por carretera para cubrir el uso de combustible de los ferrocarriles
Irlanda			8.7%	B10 iniciando en 2019	
Italia			7%	0.9% de biocombustibles avanzados para 2020; 1.85% para 2022 [0.6% de combustibles avanzados para 2018; 1% para 2020]	6.7% como límite para biocombustibles convencionales para 2022
Jamaica		10%			
Malawi		10%			
Malasia	10%	10%			

Análisis de emisiones de motores de combustión interna utilizando biocombustibles

México ²		10% [5.8%]			
Mozambique		15%			
Nueva Zelanda	7%				Máxima mezcla de metanol de 3%
Noruega	4%			E20 para 2020	0.5 de combustibles renovables en aviación para 2020
Panamá		10%			El 30% de las compras de vehículos nuevos para flotas públicas serán de combustible flexible (sin fecha)
Paraguay	1%	25%			
Perú	2%	8%			
Filipinas	2%	10%			
Polonia			7.5%	8.5% para 2020	
Portugal			9%		
Reino Unido			9.6%	0.2% de biocombustibles avanzados para 2020; 2.8% para 2032	El de tope en combustibles basados en cultivos disminuyó a 2%

Análisis de emisiones de motores de combustión interna utilizando biocombustibles

					en 2032; 12,4% de combustibles renovables en el transporte de maquinaria móvil por carretera y no por carretera para 2032 [6%]
República de Corea	3%				
Rumania	6.5%	8%		10% para 2020	
Sudáfrica	5%	2%			
Suecia					Flota de vehículos independientes de combustibles fósiles para 2030
Tailandia	7%	5%			4.1 billones de litros de etanol y 5.1 billones de litros de biodiesel para 2036
Turquía		2%			
Ucrania		7%			
Unión Europea				1% de biocombustibles avanzados y	

				biogás para 2025; 3.5% para 2030	
Uruguay	5%	5%			
Zimbabue		20% [15%]			

¹ el mandato E10 extendido para cubrir 15 regiones.

² la mezcla máxima E10 de México se detuvo posteriormente en respuesta a varios casos judiciales que desafiaron el aumento.

³ objetivo (s) original (es) establecido en galones y convertido a litros para mayor consistencia.

Nota: "E" se refiere al etanol y "B" se refiere al biodiesel. Las celdas en blanco indican que los datos no están disponibles

Fuente: Renewable 2019 Global status report (REN 21, 2019)

Capítulo III

Diseño de vehículos híbridos y simulación

3.1 Sistema de corredores de transporte público de pasajeros de la Ciudad de México (Metrobús)

Para que exista desarrollo en una ciudad, el transporte público es una parte fundamental de este. La población tiene que acceder a educación, servicios públicos y empleo, y en su mayoría, el medio para hacerlo es el transporte público, por lo que es de suma importancia tener un transporte eficiente, económico y accesible.

El sistema de corredores de transporte público de la Ciudad de México, mejor conocido como Metrobús es un sistema de transporte basado en autobuses de tránsito rápido, el cual presta servicio en toda la Ciudad de México por medio de 7 líneas, las cuales tienen asignado un número y color distintivo.

El portal de Metrobús define lo siguiente:

- “La Misión de METROBÚS es planear, administrar y controlar el Sistema de Corredores de Transporte Público de Pasajeros de la Ciudad de México, promoviendo un servicio de calidad mundial. Además, se busca contribuir a la mejora de la calidad del aire de la Zona Metropolitana del Valle de México con acciones que también mitiguen los efectos de los gases de efecto invernadero en el cambio climático global”.
- “La visión de METROBÚS buscamos ser una unidad de la administración pública del Gobierno de la Ciudad de México de excelencia en la administración, control y vigilancia del servicio público de transporte de pasajeros”.
- “Metrobús tendrá por objeto: La planeación, administración y control del Sistema de Corredores de Transporte Público de Pasajeros de la Ciudad de México”. (Metrobús, 2019)

3.1.1 Componentes del sistema

Los componentes del sistema son los siguientes:

3.1.1.1 Infraestructura

- **Carril Confinado:** El carril permite el libre tránsito a los autobuses articulados y biarticulados, realizando un traslado rápido y más seguro.
- **Estaciones:** De plataforma elevada, las estaciones permiten ingreso a nivel a los autobuses.

3.1.1.2 Organización

- **Concesionarios de operación:** Empresas privadas con la concesión de brindar el servicio de operación de flota.
- **Concesionarios de recaudación:** Empresas privadas con la concesión de brindar el servicio de la recaudación de la tarifa.
- **Organismo Público:** Organismo público descentralizado responsable de la administración, planeación y control de sistema.

3.1.1.3 Operación

- **Servicio:** El servicio es programado y controlado para que sea rápido y frecuente entre origen y destino.
- **Capacidad:** Capacidad para atender altas demandas de pasajeros.
- **Seguridad:** Ascenso y descenso rápido, seguro y a nivel.
- **Peaje:** Sistema de peaje totalmente automatizado por medio de tarjeta inteligente.

3.1.1.4 Tecnología

- **Flota:** Autobuses de gran capacidad con alta tecnología y muy bajas emisiones contaminantes.
- **Peaje:** Sistema de pago totalmente automatizado por medio de tarjeta inteligente.

Información obtenida del portal de Metrobús “¿Qué es Metrobús?”
<https://www.metrobus.cdmx.gob.mx/dependencia/acerca-de>

3.1.2 Líneas del Metrobús

Las líneas que conforman a Metrobús son:

3.1.2.1 Línea 1 – Avenida de los insurgentes

- Longitud: 30 Kilómetros en ambos sentidos.
- Demanda de usuarios: 480,000 pasajeros por día
- Terminales: Indios Verdes, Caminero, Buenavista II.
- Estaciones intermedias:

- | | |
|---------------------------|-----------------------------------|
| 1) Deportivo 18 de Marzo | |
| 2) Euzkaro | 24) Col. del Valle |
| 3) Potrero | 25) Cd. de los Deportes |
| 4) La Raza | 26) Parque Hundido |
| 5) Circuito | 27) Félix Cuevas |
| 6) San Simón | 28) Churubusco |
| 7) Manuel González | 29) Teatro Insurgentes |
| 8) Buenavista | 30) José María Velasco |
| 9) El Chopo | 31) Francia |
| 10) Revolución | 32) Olivo |
| 11) Plaza de la República | 33) Altavista |
| 12) Reforma | 34) La Bombilla |
| 13) Hamburgo | 35) Doctor Gálvez |
| 14) Insurgentes | 36) Ciudad Universitaria |
| 15) Durango | 37) Centro Cultural Universitario |
| 16) Álvaro Obregón | 38) Perisur |
| 17) Sonora | 39) Villa Olímpica |
| 18) Campeche | 40) Corregidora |
| 19) Chilpancingo | 41) Ayuntamiento |
| 20) Nuevo León 1 | 42) Fuentes Brotantes |
| 21) Río Piedad | 43) Santa Úrsula |
| 22) Polifórum | 44) La Joya |
| 23) Nápoles | |

3.1.2.2 Línea 2 – Eje 4 Sur

- Longitud: 20 Kilómetros en ambos sentidos.
- Demanda de usuarios: 180,000 pasajeros por día.
- Terminales: Tepalcates, Tacubaya.
- Estaciones intermedias:
 - 1) General Antonio de León
 - 2) Nicolás Bravo
 - 3) Canal de San Juan
 - 4) Constitución de Apatzingán
 - 5) CCH Oriente
 - 6) Leyes de Reforma
 - 7) Del Moral
 - 8) Río Frío
 - 9) Rojo Gómez
 - 10) Río Mayo
 - 11) Río Tecolutla
 - 12) El Rodeo
 - 13) UPIICSA
 - 14) Iztacalco
 - 15) Goma
 - 16) Tlacotal
 - 17) Canela
 - 18) Coyuya
 - 19) La Viga
 - 20) Andrés Molina Enríquez
 - 21) Las Américas
 - 22) Xola
 - 23) Álamos
 - 24) Centro SCOP
 - 25) Doctor Vértiz
 - 26) Etiopía I
 - 27) Amores
 - 28) Viaducto
 - 29) Nuevo León 2
 - 30) Escandón
 - 31) Patriotismo
 - 32) Parque Lira
 - 33) De la Salle
 - 34) Antonio Maceo

3.1.2.3 Línea 3 – Eje 1 Poniente

- Longitud: 17 Kilómetros en ambos sentidos.
- Demanda de usuarios: 155,000 pasajeros por día.
- Terminales: Tenayuca, Etiopía II, Buenavista III, La Raza II.
- Estaciones intermedias:

- | | |
|------------------------------|--------------------------|
| 1) San José de la Escalera | |
| 2) Progreso Nacional | |
| 3) Tres Anegas | |
| 4) Júpiter | |
| 5) La Patera | |
| 6) Poniente 146 | |
| 7) Montevideo | |
| 8) Poniente 134 | |
| 9) Poniente 128 | |
| 10) Magdalena de las Salinas | |
| 11) Coltongo | |
| 12) Cuitláhuac | |
| 13) Héroe de Nacozari | |
| 14) Hospital La Raza | |
| 15) Circuito 2 | |
| 16) Tolnahuac | |
| | 17) Tlatelolco |
| | 18) Ricardo Flores Magón |
| | 19) Guerrero |
| | 20) Mina |
| | 21) Hidalgo |
| | 22) Juárez |
| | 23) Balderas |
| | 24) Cuauhtémoc |
| | 25) Jardín Pushkin |
| | 26) Hospital General |
| | 27) Doctor Márquez |
| | 28) Centro Médico |
| | 29) Obrero Mundial |

3.1.2.4 Línea 4 – Buenavista – San Lázaro – Aeropuerto Terminales 1 y 2

- Longitud: 28 Kilómetros de recorrido.
- Demanda de usuarios: 65,000 pasajeros por día.
- Terminales: Buenavista IV, San Lázaro, Aeropuerto Terminales 1 y 2.
- Estaciones intermedias:

Estaciones intermedias Ruta Sur:

- 1) Delegación Cuauhtémoc
- 2) Puente de Alvarado
- 3) Plaza de la República
- 4) Glorieta de Colón
- 5) Expo Reforma
- 6) Vocacional 5
- 7) Juárez
- 8) Plaza San Juan
- 9) Eje Central
- 10) El Salvador
- 11) Isabel La Católica
- 12) Museo de la Ciudad
- 13) Pino Suárez
- 14) Las Cruces
- 15) Circunvalación
- 16) La Merced

Estaciones intermedias Ruta Norte:

- 22) Archivo General de la Nación
- 23) Morelos
- 24) Ferrocarril de Cintura
- 25) Mixcalco
- 26) Teatro del Pueblo
- 27) Rep. de Argentina
- 28) Rep. de Chile
- 29) Teatro Blanquita
- 30) Bellas Artes
- 31) Hidalgo
- 32) Museo San Carlos

- 17) Mercado Sonora
- 18) Cecilio Robelo
- 19) Eduardo Molina
- 20) Hospital Balbuena
- 21) Moctezuma

3.1.2.5 Línea 5 – Eje 3 Oriente – Avenida Ingeniero Eduardo Molina

- Longitud: 10 Kilómetros de recorrido.
- Demanda de usuarios: 70,000 pasajeros por día.
- Terminales: San Lázaro, Río de los Remedios.
- Estaciones intermedias:

- 1) 314 - Memorial New's Divine
- 2) 5 de mayo
- 3) vasco de Quiroga
- 4) El Coyol
- 5) Preparatoria 3
- 6) San Juan de Aragón
- 7) Río de Guadalupe
- 8) Talismán
- 9) Victoria
- 10) Oriente 101
- 11) Río Santa Coleta
- 12) Río Consulado
- 13) Canal del Norte
- 14) Deportivo Eduardo Molina
- 15) Mercado Morelos
- 16) Archivo General de la Nación

3.1.2.6 Línea 6 – Eje 5 Norte – Avenida Montevideo

- Longitud: 20 Kilómetros de Recorrido.
- Demanda de usuarios: 150 mil pasajeros por día.
- Terminales: El Rosario, Villa de Aragón.
- Estaciones intermedias:

- 1) El Rosario
- 19) Deleg. Gustavo A. Madero
- 20) Martín Carrera

- | | |
|------------------------------------|-------------------------------|
| 2) Colegio de Bachilleres 1 | 21) Hospital General La Villa |
| 3) De las Culturas | 22) San Juan de Aragón |
| 4) Ferrocarriles Nacionales | 23) Gran Canal |
| 5) UAM Azcapotzalco | 24) Casas Alemán |
| 6) Tecnoparque | 25) Pueblo San |
| 7) Norte 59 | Juan de Aragón |
| 8) Norte 45 | 26) Loreto Fabela |
| 9) Montevideo | 27) 482 |
| 10) Lindavista - Vallejo | 28) 414 |
| 11) Instituto del Petróleo | 29) 416 Oriente |
| 12) San Bartolo | 30) 416 Poniente |
| 13) Instituto Politécnico Nacional | 31) Deportivo los Galeana |
| 14) Riobamba | 32) Ampliación Providencia |
| 15) Deportivo 18 de marzo | 33) Volcán de Fuego |
| 16) La Villa | 34) La Pradera |
| 17) De los Misterios | 35) Colegio de Bachilleres 9 |
| 18) Hospital Infantil La Villa | 36) Francisco Morazán |

3.1.2.7 Línea 7 – Avenida Paseo de la Reforma

- Longitud: 15 Kilómetros de recorrido.
- Terminales: Indios Verdes, Campo Marte.
- Estaciones intermedias:

- | | |
|---------------------------------|-----------------------|
| 1) De los Misterios | 16) Glorieta Violeta |
| 2) Hospital Infantil La Villa | 17) Hidalgo |
| 3) Delegación Gustavo A. Madero | 18) El Caballito |
| 4) Garrido | 19) Glorieta de Colón |
| 5) Av. Talismán | 20) París |
| 6) Necaxa | 21) Reforma |
| 7) Excélsior | 22) Hamburgo |
| 8) Robles Domínguez | 23) La Palma |
| 9) Clave | 24) El Ángel |
| 10) Misterios | 25) La Diana |
| 11) Mercado Beethoven | 26) Chapultepec |
| 12) Peralvillo | 27) Gandhi |
| 13) Tres Culturas | 28) Antropología |
| 14) Glorieta Cuitláhuac | 29) Auditorio |
| 15) Garibaldi | |

3.1.3 Cronología del Metrobús

- 2002

Donación de recursos del fondo mundial para el medio ambiente para estudios (GEF – Banco Mundial) para el programa de introducción de medidas ambientalmente amigables en el transporte (octubre).

- 2003

- Inicia programa de introducción de medios ambientalmente en el transporte.
- Inicio del proyecto ejecutivo (septiembre).

- 2004

- Publicación de la declaración de necesidad del corredor Metrobús Insurgentes (12 de noviembre).
- Inicia evaluación de combustibles y tecnologías para autobuses (10 de noviembre).
- Inicia construcción de la Línea 1 corredor Metrobús Insurgentes Indios Verdes a Dr. Gálvez (4 de diciembre).

- 2005

- Se crea el organismo público descentralizado Metrobús (9 de marzo).
- Inauguración de Metrobús Insurgentes (19 de junio).
- Inicio del sistema de pago de peaje mediante tarjeta electrónica (3 de octubre).
- Firma del Convenio de Venta de Reducción de Emisiones Contaminantes de Carbono al Fondo Español de Carbono (2 de noviembre).

- 2006

- Metrobús transporta 50 millones de pasajeros (14 de marzo).
- Metrobús recibe premio “Proyecto del año” otorgado por el Latin American Leadership Forum en Nueva Orleans (junio).
- Metrobús transporta 100 millones de pasajeros (9 de noviembre).

- 2007
 - Metrobús primer transporte en el mundo en recibir pago por reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) verificadas. Fondo Español de Carbono – Banco Mundial (27 de mayo).
 - Inicia construcción tramo Dr. Gálvez a El Caminero Línea 1 (31 de mayo).
 - Inicia construcción de la Línea 2 Tacubaya a Tepalcates (4 de septiembre).
 - Metrobús recibe premio “Liderazgo Mundial” otorgado por el World Leadership Forum en Londres, Inglaterra.

- 2008
 - Inauguración del tramo Dr. Gálvez a El Caminero de la Línea 1 (13 de marzo).
 - Banderazo de salida a 12 autobuses biarticulados nuevos (6 de octubre).
 - Inauguración de la Línea 2 Tacubaya a Tepalcates (16 de diciembre).
- 2009
 - Metrobús recibe el reconocimiento “Roy Family Award for Environmental Partnership” otorgado por la escuela John F. Kennedy de la Universidad de Harvard (12 de noviembre).
 - Aprobación por ONU – MDL de metodología de reducción de emisiones NM0258 Metrobús Insurgentes, Ciudad de México (16 de octubre).

- 2010
 - Inicia construcción de la Línea 3 Tenayuca a Etiopía (5 de marzo).
 - Metrobús transporta 500 millones de pasajeros (18 de noviembre).

- 2011
 - Inauguración de la Línea 3 Tenayuca a Etiopía (8 de febrero).
 - Inicia construcción de la Línea 4 Buenavista a San Lázaro y

- Inicia construcción de la Línea 4 Buenavista a San Lázaro y Aeropuerto (4 de julio).
- Registro ante la ONU como proyecto de desarrollo limpio (MDL) (11 de agosto).

- 2012
 - Inicio de la tarjeta electrónica TDF (28 de febrero).
 - Inauguración de la Línea 4 Buenavista a San Lázaro y Aeropuerto (1 de abril).

- 2013
 - Banderazo de salida a 14 autobuses biarticulados nuevos (6 de febrero).
 - Metrobús recibe premio de Transporte Sustentable otorgado por Sustainable Transport Award. Washington D.C. (28 de febrero).
 - Inicia construcción de la Línea 5 Río de los Remedios a San Lázaro (26 de marzo).
 - Metrobús transporta 1,000 millones de pasajeros (16 de octubre).
 - Inauguración del Centro Informativo de Transporte Inteligente (CITI) (20 de junio).
 - Inauguración de la Línea 5 Río de los Remedios a San Lázaro (5 de noviembre).

- 2014
 - Inicia construcción de la Línea 6 Villa Aragón a El Rosario (1 de agosto).
 - Banderazo de salida a 31 autobuses articulados nuevos (12 de agosto).
 - Inician pruebas con autobuses de doble piso (septiembre).
 - Metrobús transporta 1,100 millones de pasajeros (31 de diciembre).

- 2015
 - 10° aniversario de Metrobús (19 de junio).
 - Metrobús transporta 1,650 millones de pasajeros (15 de octubre).

- 2016
 - Inauguración de la Línea 6 Villa Aragón a El Rosario (21 de enero).
 - Banderazo de salida a 38 autobuses nuevos de alta tecnología y bajas emisiones (21 de junio).
 - Metrobús transporta 2,000 millones de pasajeros (27 de octubre).
 - Inicia construcción de la Línea 7 Reforma (17 de noviembre).

- 2017
 - Inauguración de la Línea 7 Reforma de Indios Verdes a Periférico.

Análisis de emisiones de motores de combustión interna utilizando biocombustibles



Figura 13. Mapa de las líneas del Metrobús de la Ciudad de México.

Fuente: Mapa del sistema, Metrobús (Metrobús, 2019)

3.2 Autos híbridos

El transporte es una actividad fundamental para la humanidad, por lo que el desarrollo tecnológico para hacerlo más eficiente ha sido constante. En el caso del transporte terrestre, se han tenido innovaciones en tecnologías más limpias como es el caso de los vehículos híbridos.

Un vehículo eléctrico híbrido es aquel que contiene un motor eléctrico en el cual, la energía que está contenida en baterías alimenta a este. Alternativamente al motor eléctrico, el vehículo híbrido contiene un motor de combustión interna, que, dependiendo de su configuración, puede mover un generador, así como también darle movimiento directamente a las ruedas. En un vehículo híbrido, el motor de combustión interna es la segunda opción, dando prioridad al motor eléctrico, haciendo la determinación de sus usos por medio de un control electrónico.

A diferencia de los vehículos eléctricos que utilizan solo una sola fuente de movimiento (motor eléctrico) lo que representa una autonomía limitada debido a la capacidad de carga que ofrecen sus baterías, las cuales a su vez representan una carga en peso extra, los vehículos híbridos fueron creados con el objetivo principal de extender el rango de manejo agregando un sistema de motor alternativo para cargar las baterías a bordo.

3.2.1 Componentes de un auto híbrido

Los componentes que integran a un sistema híbrido son:

3.2.1.1 Motor a gasolina. En los motores híbridos, los motores de combustión interna son los generadores principales de energía.

3.2.1.2 Baterías. Estas son utilizadas para alimentar al motor eléctrico. En comparación con la fuente de energía del motor de combustión interna que es el tanque de combustible, la energía puede retornar a la fuente, en este caso las baterías, ya sea por medio de frenos regenerativos o de la tracción misma.

3.2.1.3 Motor Eléctrico. Existen varias configuraciones de motores en trenes motrices híbridos: de un solo motor, dos (uno en cada rueda de un eje), o cuatro (uno en cada rueda) (Martínez, 2016). Se pueden utilizar dos tipos de motores: de corriente alterna o de corriente continua.

Los motores de corriente continua son más fáciles de controlar debido a que solo se debe controlar la amplitud. Sus tipos son: motores de imanes permanentes, motores en serie y los motores de excitación independiente. Los motores de este tipo ofrecen grandes pares de arranque, así como que la alimentación y la regulación de su velocidad es sencilla (Martínez, 2016). Los motores de corriente alterna son más difíciles de controlar que los motores de corriente continua porque se debe de controlar la frecuencia de la tensión de alimentación, así como la amplitud de la tensión. Los tipos de motores de corriente alterna son: motores asíncronos, asíncronos de anillos rozantes, jaula de ardilla y los motores síncronos.

3.2.1.4 Generador. Es el encargado de producir energía eléctrica. Es utilizado por lo general en vehículos híbridos con configuración en serie. Los hay de dos tipos: generador de corriente continua y generador de corriente alterna.

3.2.1.5 Convertidor. Este dispositivo es una pequeña batería que alimenta a los accesorios (limpiaparabrisas, luces, claxon, etc.) con un convertidor de transistores electrónico.

3.2.1.6 Cargador. Transforma la corriente alterna de 220 voltios de las tomas de corriente continua a la tensión determinada. Hacen falta dos conversores, uno para convertir la electricidad alterna proveniente del alternador en corriente continua que pueda cargar la batería y otro que adapte la salida de las baterías al motor eléctrico (Martínez, 2016).

3.2.1.7 Variador. Este componente es el encargado de suministrar energía eléctrica al motor eléctrico dependiendo de la posición del acelerador.

3.2.1.8 Transmisión. Básicamente cumplen la misma función que en un auto convencional, la cual es transmitir la energía mecánica del motor a las ruedas para generar movimiento.

El freno regenerativo reduce la energía cinética del automóvil para convertirla en eléctrica, la cual será almacenada en las baterías para su uso posterior.

3.2.2 Ventajas

- El consumo de combustible disminuye alrededor del 50% (Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, 2017), a diferencia de un vehículo con un motor de combustión interna, todo dependiendo del perfil de ruta, así como el estilo de manejo del usuario.
- Debido al ahorro en combustible, también las emisiones contaminantes disminuyen.
- En comparación con un vehículo completamente eléctrico, el híbrido no necesita conectarse a la red eléctrica, gracias a los mecanismos de carga que ya tiene incluido como el motor de combustión interna y el freno regenerativo.
- El ruido generado por este tipo de vehículos es mínimo, por lo que no daña al medio ambiente de esta manera.
- El par y elasticidad es mayor que en un motor convencional.

- Tiene una respuesta casi inmediata.
- En recorridos que no son largos, el vehículo puede funcionar sin el motor térmico, evitando que éste trabaje en frío y se desgaste.

3.2.3 Desventajas

- Toxicidad en la disposición final de las baterías.
- Su peso es mayor que el de un vehículo convencional.
- Como es un sistema más complejo, sus revisiones y operaciones resultan más complicadas.
- El precio de estos vehículos es mayor que los convencionales parecidos, sin embargo, esto se compensa con los ahorros que se tienen a futuro.

Existen tres tipos de trenes de propulsión o híbridos: en serie, en paralelo y en serie-paralelo o combinado.

3.2.4 Autos híbridos en serie

En los trenes motrices híbridos en serie, el motor eléctrico es el único que está conectado a la transmisión, por lo tanto, es el encargado de dar la tracción, mientras que el motor térmico es aquel que genera electricidad para alimentar las baterías del sistema.

Los autos híbridos en serie fueron creados para ser propulsados por un motor de tracción, este motor es alimentado por un paquete de baterías y/o una unidad de motor/generador. La energía de ambas fuentes de poder es combinada por medio de un dispositivo de acoplamiento eléctrico controlable basado en la electrónica de potencia. Los modos de operación son variados y estos entran en servicio de acuerdo con las demandas de potencia del conductor y del estado operativo del sistema de transmisión (Ehsani, Gao, & Longo, 2018).

El desempeño del motor (en términos de aceleración, gradabilidad y velocidad máxima) está completamente determinada por el tamaño y las características del motor de tracción (Ehsani, Gao, & Longo, 2018). A continuación, se muestra un diagrama en el que se puede observar la configuración típica de un tren motriz híbrido en serie:

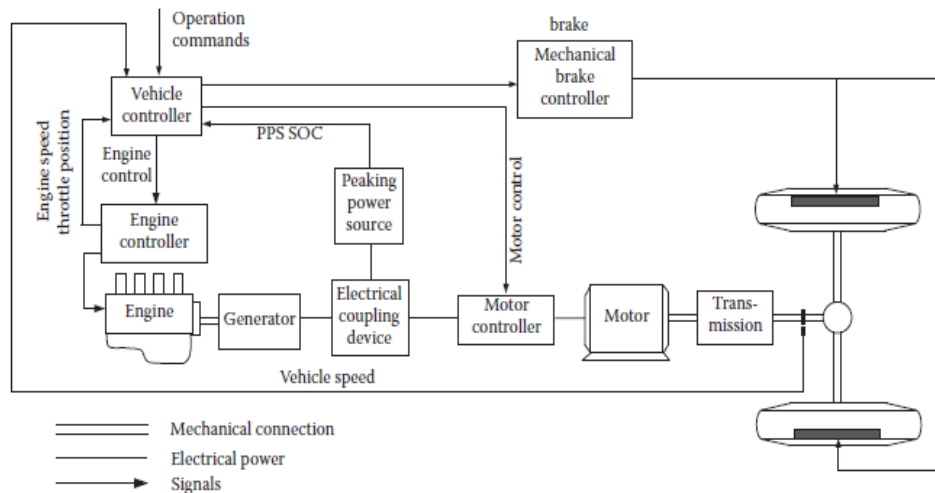


Figura 14. Diagrama de un auto híbrido en serie.

Fuente: Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles (Ehsani, Gao, & Longo, 2018)

3.2.5 Autos híbridos en paralelo

En esta configuración, a diferencia del tren motriz en serie, el motor térmico y el eléctrico pueden impulsar al vehículo ya que están conectados ambos a la transmisión, lo que permite transmitir su energía mecánica individualmente o en conjunto. Existen dos tipos de acoplamiento mecánico: el acoplamiento de torque y el de velocidad. Las ventajas que se tienen en la configuración en paralelo son las siguientes:

- No se necesita un generador.
- Un motor de tracción más pequeño.
- Sólo una parte de la potencia del motor pasa por conversión multi-poder

Gracias a esto se puede decir que la eficiencia en los trenes motrices híbridos en paralelo es mayor que en los configurados en serie.

Una configuración típica de un tren motriz híbrido en paralelo se muestra en la Figura 15.

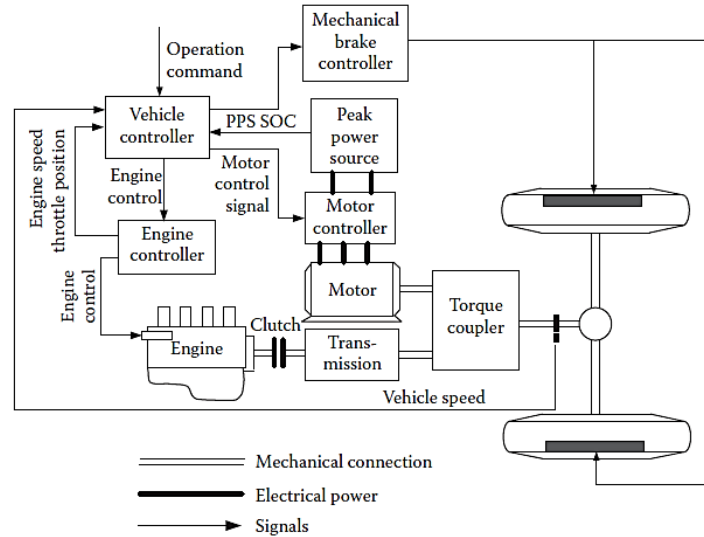


Figura 15. Diagrama de un auto híbrido en paralelo.

Fuente: Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles (Ehsani, Gao, & Longo, 2018)

3.2.6 Autos híbridos en serie – paralelo

Esta configuración complementa a las anteriores porque el motor eléctrico funciona en solitario a bajas velocidades, mientras que el térmico funciona en conjunto con el eléctrico a altas velocidades. La única diferencia de esta configuración con las anteriores es que dispone de otro generador independiente, el cual genera electricidad para alimentar y así alimentar al motor eléctrico.

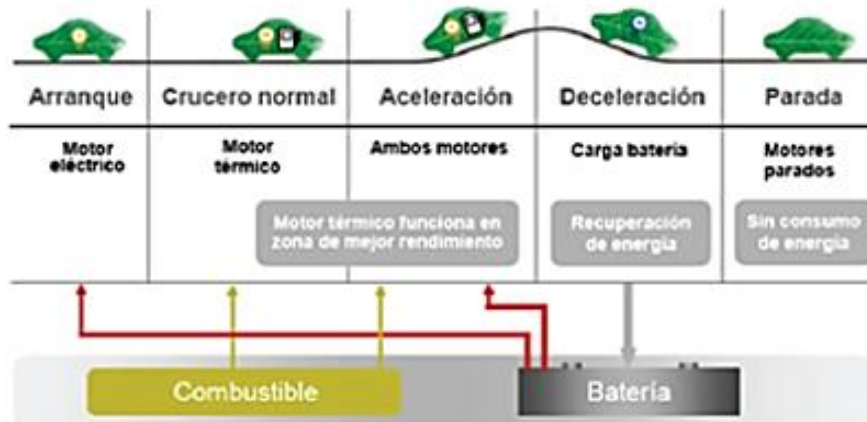


Figura 16. Comportamiento de auto híbrido serie-paralelo.

Fuente: Vehículo Híbrido (Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, 2017)

- Distancia entre ejes 2,700 mm
- Vía delantera 1,510 mm
- Vía trasera 1,480 mm
- Coeficiente Cx 0.26
- Superficie frontal $2.23 m^2$
- Factor de resistencia 0.58
- Peso 1,375 Kg
- Tipo de depósito:
 - Gasolina 45 litros
- Volumen del maletero 408 litros
- Número de plazas 5
- Distribución de asientos 2 + 3

- *Resumen del sistema de propulsión:*

- Potencia máxima 111 CV / 82 kW
- Par máximo 478 N * m

- *Motor de combustión:*

- Propósito Impulsar el vehículo / generar corriente
- Combustible Gasolina
- Potencia máxima 77 CV / 57 kW
- Revoluciones a potencia máxima 5000 RPM
- Par máximo 115 N * m
- Revoluciones par máximo 4200 RPM
- Ubicación Delantero transversal
- Número de cilindros 4
- Disposición de los cilindros En línea

- Material del bloque Aluminio
- Material de la culata Aluminio
- Diámetro 75 mm
- Carrera 84.7 mm
- Cilindrada 1.497 cm³
- Relación de compresión 13 a 1
- Distribución:
 - Válvulas por cilindro 4
 - Tipo de distribución Dos árboles de levas en la culata
- Alimentación Inyección directa
- Automatismo de parada y arranque del motor ("stop / start") Si

- Motor eléctrico
 - Propósito Impulsar el vehículo
 - Tipo de corriente Corriente alterna
 - Potencia máxima 68 CV / 50 kW
 - Par máximo 400 N * m
 - Ubicación Delantero transversal
 - Tensión nominal 500 V

- Batería
 - Tipo Acumulador de níquel – hidruro metálico
 - Ubicación Trasera
 - Capacidad 1,31 kWh

- Transmisión

- | | |
|-------------------------|--------------|
| • Tracción | Delantera |
| • Caja de cambios | Automático |
| • Número de velocidades | Múltiples |
| • Tipo de mando | Selección |
| • Tipo de embrague | Sin embrague |
| • Tipo de mecanismo | Epicycloidal |

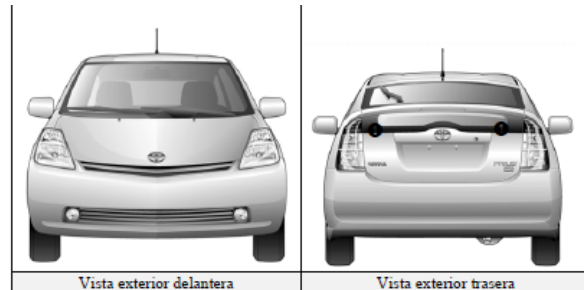
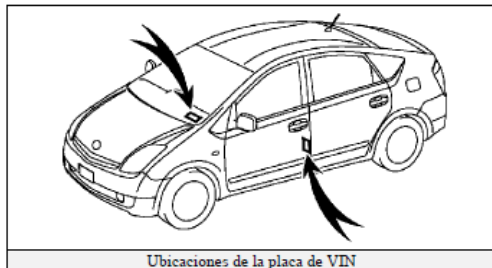


Figura 17. Toyota Prius 2004 de 2° Generación.

Fuente: Toyota Prius, modelo de 2004 2ª generación (Toyota motors corporation, 2004)

3.3.2 Características de un vehículo Volvo® 7700 híbrido

- *Estructura y capacidad de carga:*

- | | |
|--|-----------|
| • Chasis en acero de alta resistencia con protección anticorrosiva | |
| • Capacidad eje delantero | 7,100 Kg |
| • Capacidad eje trasero | 12,000 Kg |
| • Capacidad total | 18,900 Kg |

- *Motor diésel:*

- | | |
|------------|-------------------------------|
| • Potencia | 215 HP, 5 litros, 4 cilindros |
|------------|-------------------------------|

- Turbo alimentación, refrigeración, inyección de combustible de tren común.

- *Motor eléctrico:*

- Potencia 160 HP / 800 N * m
- Tecnología híbrida en paralelo con SCR (Reducción Catalítica Selectiva).
- Nivel de emisiones Euro 5

- *Sistema eléctrico y de información:*

- El sistema Multiplex Generación 2 (Smart bus), utiliza arneses simplificados y menos pesados, brinda monitoreo en tiempo real y diagnóstico de fallas de los elementos de chasis tales como: motor, transmisión, suspensión, frenos y luces exteriores. Opción: ITS4M.

- *Llantas y frenos:*

- Llantas 275 / 70 * 22.5; rines de acero
- Frenos de disco
- EBS5 (Sistema electrónico de frenos) = [ASR (Sistema antiderrame) + ABS (Sistema Antibloqueo) + EPS (Electronic Stability Program)].

- *Transmisión:*

- Automated Manual Transmission AT2412D (I-shift) semiautomática; controlado por módulo electrónico.
- Tres botones en tablero 12 velocidades al frente y 4 atrás.
- Torque 2400 N * m

- *Suspensión:*

- Sistema neumático monitoreado electrónicamente con bolsas de aire y barras estabilizadoras.

- *Dirección:*
 - Dirección hidráulica, volante de 450 mm de diámetro, regulable en ángulo y altura.
 - Radio de giro 53°

- *Carrocería:*
 - Capacidad de pasajeros 95 pasajeros en total
 - 1 espacio para silla de ruedas con su acompañante.

- *Dimensiones y capacidad:*
 - Altura 3.2 metros
 - Ancho 2.5 metros
 - Longitud 12 metros

- *Estructura y Laminación:*
 - Acero inoxidable laterales y poliéster laminado en toldo.

- *Puertas:*
 - Puertas de servicio neumáticas.
 - Puerta intermedia con rampa manual para silla de ruedas.

- *Interiores:*

- 2 o 3 salidas de emergencia en toldo.
 - Espacio para 1 silla de ruedas con cinturón de seguridad de 2 puntos.
 - Opción audio y video
- Aire acondicionado:
- Sistema de aire acondicionado generación 4 Suttrak 353.

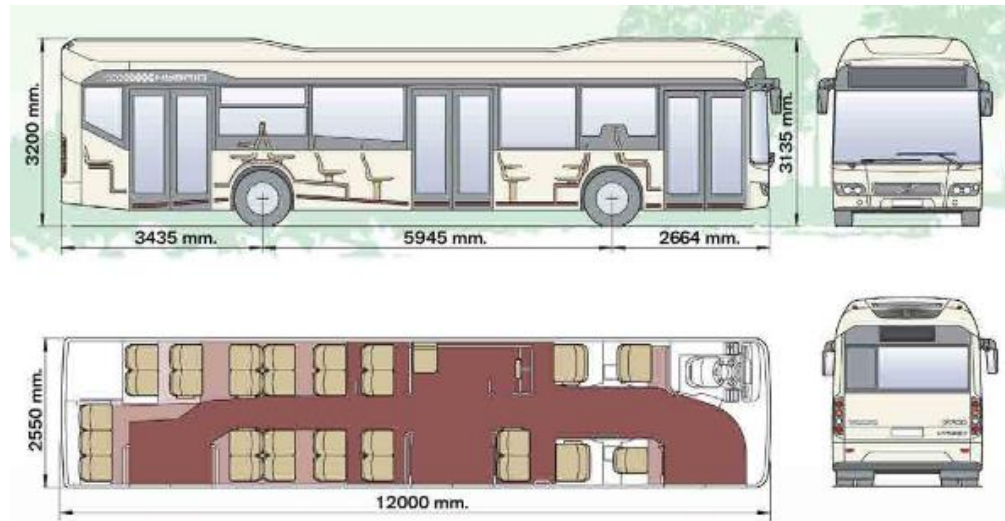


Figura 18. Dimensiones de autobús Volvo® 7700 híbrido

Fuente: Autobuses híbridos, movilidad y ambiente ahora en paralelo (Volvo buses, 2015)

3.4 Condiciones de simulación

3.4.1 Ciclo de conducción de la línea 1 del Metrobús

Un ciclo de conducción es una serie de puntos dados de datos, los cuales representan la velocidad que obtiene un vehículo durante un tiempo establecido.

Se solicitaron datos al sistema Metrobús de la línea 1 “Avenida de los insurgentes” la cual tiene distintas rutas programados: Indios verdes – Insurgentes, Indios verdes - El caminero, Indios verdes – Doctor Gálvez, Buenavista II – El caminero, Colonia del Valle – Tepalcates. La ruta seleccionada fue Indios verdes – El caminero,

obteniendo las siguientes características:

Longitud de la línea	23.55 kilómetros
Tiempo total de recorrido	1:12:06 horas
Estaciones recorridas	36
Velocidad promedio	20.12 km/h

Tabla 11. Características de la línea 1 de Metrobús.

El ciclo de conducción obtenido, así como el perfil de elevación de la línea se muestra en la Figura 19 y 20.

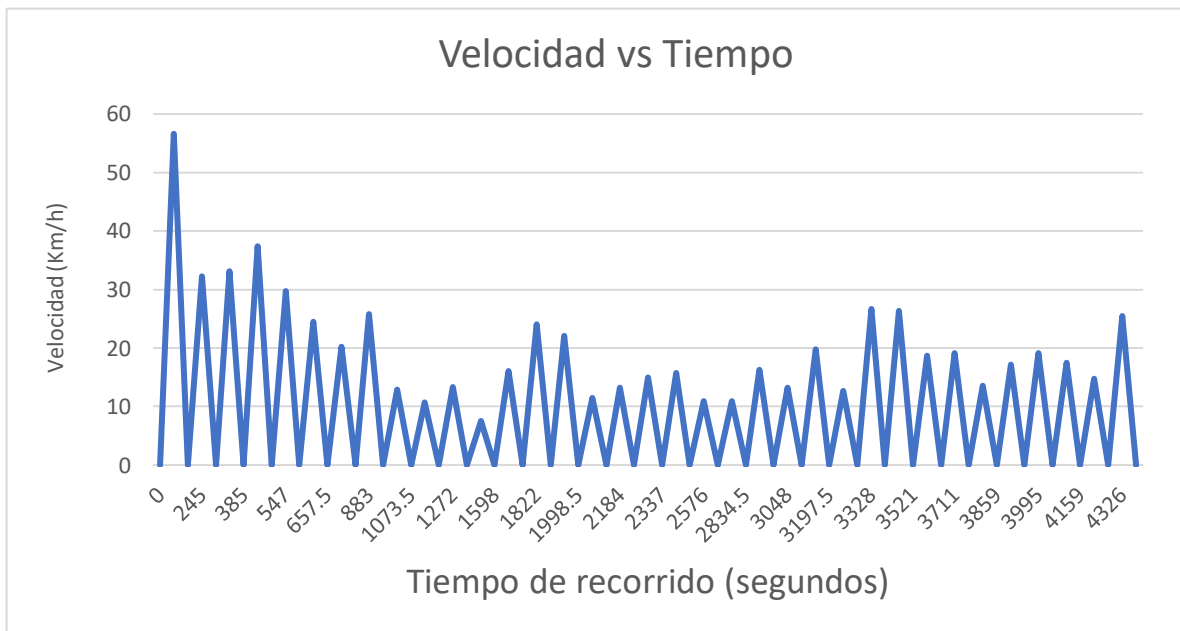


Figura 19. Gráfica Velocidad-Tiempo del Ciclo de conducción de la línea 1.

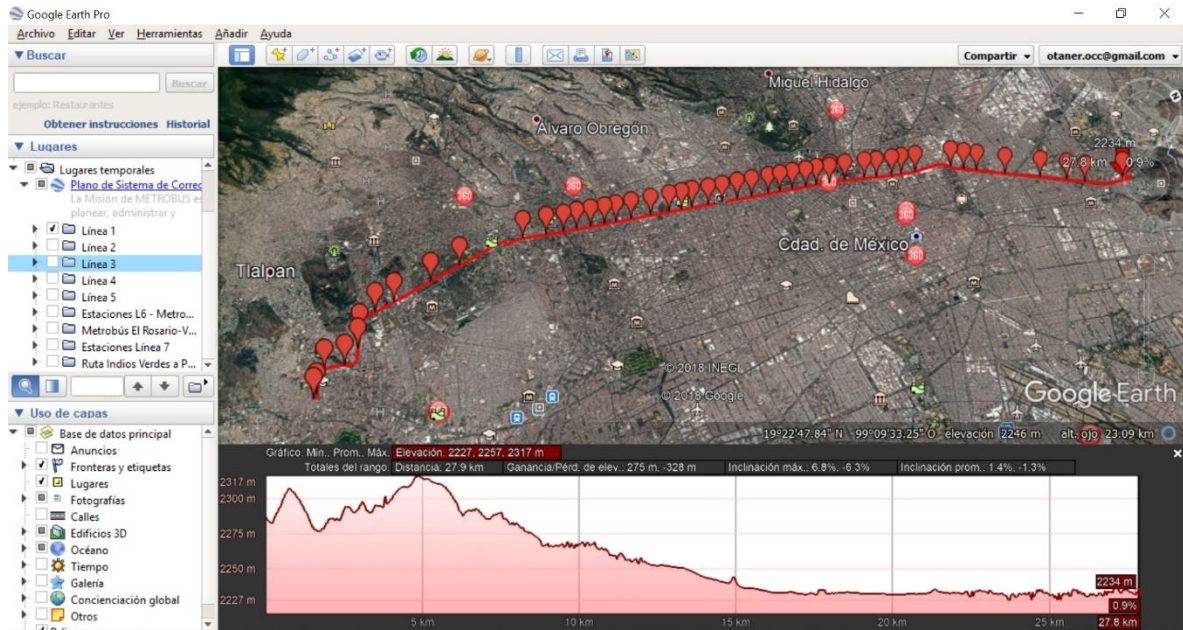


Figura 20. Perfil de elevación de la línea 1.

3.4.2 Características de los combustibles

Las características utilizadas para poder llevar a cabo la simulación se tomaron de estándares internacionales para el aseguramiento de su calidad.

Para el caso del biodiésel se tomó como referencia el biodiésel obtenido por Vallarta Cardona (Cardona Vallarta, 2018), el cual contiene las características de la norma ASTM D6751, donde se toman dos muestras de procesos de transesterificación de aceite comestible residual (ACR) y su transformación a esteres metílicos (EM). (Tabla 12).

Tabla 12. Características del biodiesel según la norma ASTM D6751.

Propiedad	Muestra	Valor	Intervalos
Agua y sedimento	EM	no presenta	0.050 % máx.
Viscosidad cinemática a 40°C	ACR	32 cP	-
	EM	3.6cP	1.9 – 6.0 cP
	ACR	0.9094 g/cm ³	-

Densidad	EM	0.8735 g/cm³	0.86 - 0.90 g/cm³
Número de cetano	EM	62	48-65
Punto de nube	EM	2 h, 5 °C	reportar
Carbono residual	EM	0.015	0.050 % máx.
Número de acidez	ACR	0.55	reportar
	EM	0.022	0.050 g KOH/g
Glicerol libre	% peso	No presenta	0.020 % máx.
Glicerol total	% peso	No presenta	0.024 % máx.

Fuente: Optimización a escala piloto de un proceso de transesterificación de aceite comestible residual para la obtención sustentable de biodiésel (Cardona Vallarta, 2018).

Para el caso del bioetanol se tomaron como referencia las especificaciones que se dan en Estados Unidos, Brasil y la Unión Europea según las normas ASTM D4814, ANP Resolución 36 y la prEN 15376 respectivamente, estas características se muestran en la Tabla 13.

Tabla 13. Características de las Normas: ASTM D4814, ANP Resolución 36 y PrEN 15376.

Característica	Estados Unidos		Brasil		Unión Europea
	<i>ASTM D4814</i>		<i>ANP Resolución 36</i>		<i>PrEN 15376</i>
	Anhidro	Anhidro desnaturalizado	Anhidro	Hidratado	
<i>Apariencia</i>	Límpido y claro	Límpido y claro	Límpido y ausente de impurezas	Límpido y ausente de impurezas	Límpido y claro
<i>Color</i>	Pigmento permitido	Pigmento permitido	Pigmento obligatorio	Pigmento prohibido	Pigmento permitido
<i>Contenido de etanol, volumen (%), mínimo.</i>	92.1	93.9	99.6 ⁽³⁾	-	[96.8] ⁽²⁾

Análisis de emisiones de motores de combustión interna utilizando biocombustibles

<i>Etanol + alcoholes C3- C5, volumen (%), mínimo.</i>	-	[98.4] ⁽²⁾			98.8
<i>Total, alcoholes, volumen (%), mínimo.</i>	-	[98.95]	99.6	95.1	[99.76]
<i>Alcoholes C3 – C5, volumen (%), máximo.</i>	-(1)	[4.5]			2.0
<i>Contenido de agua, volumen (%), máximo.</i>	1.0	1.05	[0.4]	[4.9]	0.24
<i>Densidad a 20°C, kg/m3, máximo.</i>	-	-	791.5	807.6	
<i>Metanol, volumen (%), máximo.</i>	0.5	0.53			1.0
<i>Desnaturalizante , volumen (%), mínimo/máximo.</i>	1.96/5.0	Sin desnaturalizante	Sin desnaturalizante	Sin desnaturalizante	Difiere por país 0/1.3
<i>Hidrocarburos, volumen (%), máximo.</i>	-	-	3 ⁽⁴⁾	3 ⁽⁴⁾ -	-
<i>Goma lavada (mg/100 ml), Max</i>	5.0	5.3	-	-	-
<i>Goma o residuo de evaporación (mg/100 ml), max.</i>	5 (goma lavada)	5.3 (goma lavada)	-	5 (no lavada) ⁽⁵⁾	10 (no lavada) ⁽⁵⁾
<i>Sulfato (mg/kg), max.</i>	4	4.2	-	4	A definir
<i>Cloruro inorgánico</i>	40	42.1	-	1	25

(mg/kg), máximo.					
Cobre (mg/kg), máximo.	0.1	0.105	0.07	-	0.1
Sodio (mg/kg).	-	-	-	2	-
Hierro (mg/kg), máximo.	-	-	-	5	-
Acidez, masa % (mg/l), máxima.	0.007 (56)	0.0074 (58.9)	0.0038 (30)	0.0038 (30)	0.007
pHe/pH, máximo.	6.5–9.0	6.5-9.0		6.0-8.0	salió
Fósforo (mg/l), máximo.	-	-	-	-	0.5
Azufre (mg/kg), máximo.	30	5	-	-	10

(1) No especificado, pero puede ser calculado para los Estados Unidos (Alcoholes superiores = 1--´contenido de etanol-contenido de metanol-contenido de agua).

(2) Valores [] son calculados o estimados, pero no tienen límites especificados.

(3) Límite aplicado para el etanol no producido por fermentación a partir da caña de azúcar o aplicado al etanol contaminado con otros alcoholes.

(4) Aplicado para etanol importado.

(5) Los procedimientos son diferentes.

Fuente: recomendaciones de especificaciones técnicas para el etanol y sus mezclas (E6), y la infraestructura para su manejo en México (Pasa Duarte, 2010).

3.4.3 Definición de los vehículos

Para poder llevar a cabo la definición de los vehículos en el simulador se deben tomar en cuenta las dimensiones de los componentes de estos y teniendo los datos generales del vehículo, tales como: tipo de motor, potencia, dimensiones de las llantas, etc. Se ingresan a la interfaz gráfica del programa (Figura 21).

Análisis de emisiones de motores de combustión interna utilizando biocombustibles

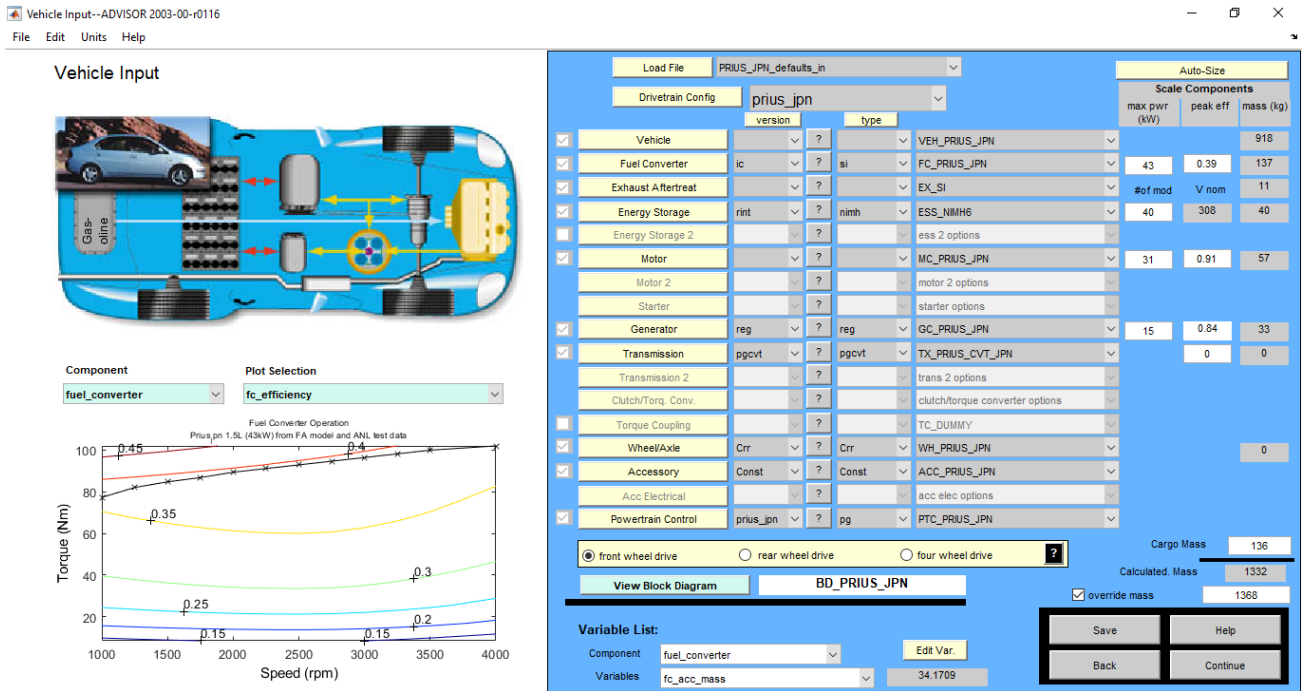


Figura 21. Ingreso del Toyota Prius a la interfaz gráfica del simulador.

Fuente: Advanced Vehicle Simulator (Departamento de energía de los Estados Unidos de América, 2013)

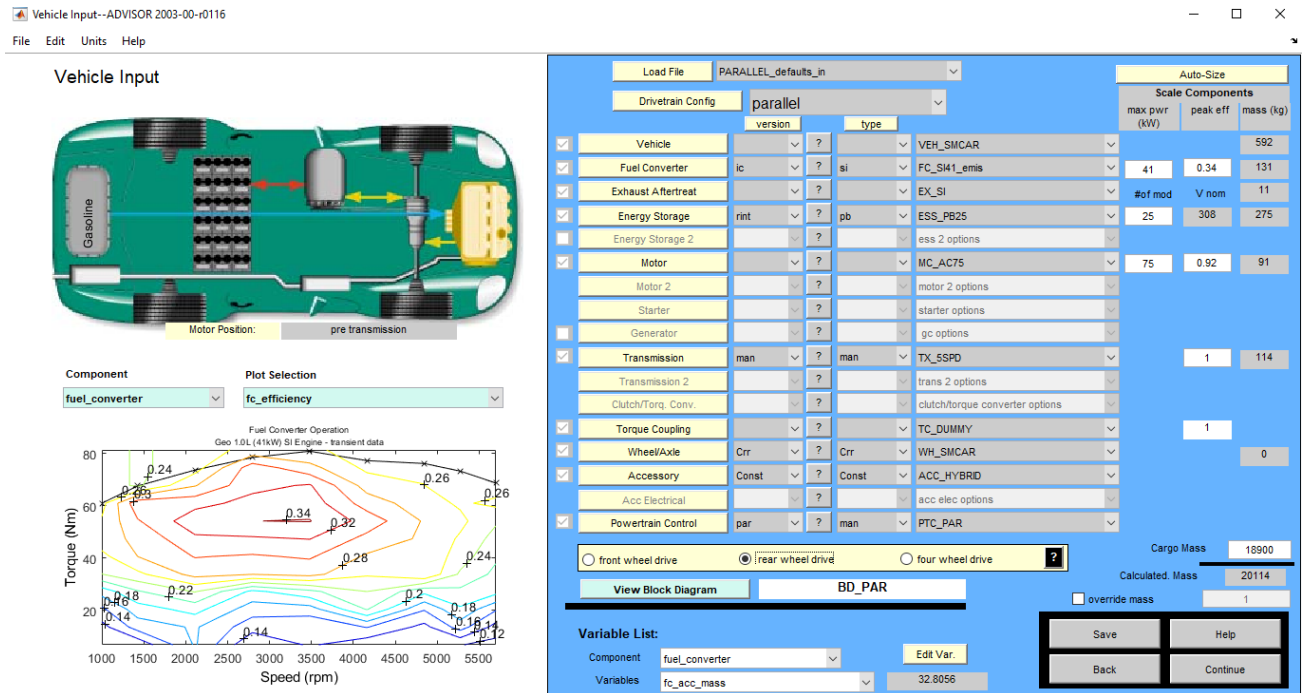


Figura 22. Ingreso de los datos a la interfaz gráfica del simulador.

Para poder definirlo se deben ingresar los datos del vehículo. Por ejemplo, si el vehículo en cuestión contiene un motor de combustión interna se debe especificar si éste es encendido por chispa (si) o si es encendido por compresión (ci). Por otro lado, si la transmisión es automática (auto) o bien, manual (man).

3.4.4 Introducción del ciclo de conducción

Ya definido el ciclo de conducción con los datos obtenidos, se procedió a hacer los cambios en los parámetros establecidos previamente. En este proceso se hicieron las modificaciones del ciclo de conducción incluido en la librería de Advisor®. Para esto se utilizó como base el ciclo predeterminado CYC_1015 y se ingresaron los datos del ciclo de conducción de la línea 1 del Metrobús nombrando dicho archivo como "CYC_Linea1MetroCDMX", al tener el archivo, se crea el archivo de tipo .m, el cual será elegido posteriormente en la interfaz de Advisor® (Figura 23).

Al tener los archivos creados, se colocan en la carpeta de Advisor® donde se encuentran los ciclos de conducción predeterminados para poder ser seleccionados desde la interfaz (Figura 24).

Análisis de emisiones de motores de combustión interna utilizando biocombustibles

Nombre	Fecha de modifica...	Tipo	Tamaño
CYC_HWFET	24/04/2013 02:50 ...	Microsoft Access ...	13 KB
CYC_HWFET_MTN.m	24/04/2013 02:50 ...	Archivo M	3 KB
CYC_IDLING.m	24/04/2013 02:50 ...	Archivo M	3 KB
CYC_IM240.m	24/04/2013 02:50 ...	Archivo M	3 KB
CYC_IM240	24/04/2013 02:50 ...	Microsoft Access ...	4 KB
cyc_india_hwy_sample.m	24/04/2013 02:50 ...	Archivo M	3 KB
CYC_INDIA_HWY_SAMPLE	24/04/2013 02:50 ...	Microsoft Access ...	14 KB
cyc_india_urban_sample.m	24/04/2013 02:50 ...	Archivo M	3 KB
CYC_INDIA_URBAN_SAMPLE	24/04/2013 02:50 ...	Microsoft Access ...	43 KB
CYC_INRETS.m	24/04/2013 02:50 ...	Archivo M	5 KB
CYC_INRETS	24/04/2013 02:50 ...	Microsoft Access ...	31 KB
CYC_INTERACTIVE.m	24/04/2013 02:50 ...	Archivo M	4 KB
CYC_L60MPH.m	24/04/2013 02:50 ...	Archivo M	3 KB
CYC_LA92.m	24/04/2013 02:50 ...	Archivo M	3 KB
CYC_LA92	24/04/2013 02:50 ...	Microsoft Access ...	23 KB
CYC_Linea1MetroCDMX.m	20/06/2019 12:55 ...	Archivo M	3 KB
CYC_Linea1MetroCDMX	20/06/2019 12:48 ...	Microsoft Access ...	41 KB
CYC_MANHATTAN.m	24/04/2013 02:50 ...	Archivo M	6 KB
CYC_MANHATTAN	24/04/2013 02:50 ...	Microsoft Access ...	18 KB
CYC_MEASURED_MASS1	24/04/2013 02:50 ...	Microsoft Access ...	1 KB
CYC_MXINBUS	10/12/2015 12:36 ...	Microsoft Access ...	4 KB
CYC_MXINBUS_MASS_VAR1.m	27/10/2015 09:25 a...	Archivo M	5 KB
CYC_MXINBUS_MASS1	28/10/2015 09:27 a...	Microsoft Access ...	4 KB
CYC_MXTHBUS	03/11/2015 11:09 a...	Microsoft Access ...	4 KB
CYC_MXTHBUS_MASS_VAR1.m	03/11/2015 11:37 a...	Archivo M	6 KB
CYC_MXTHBUS_MASS1	04/11/2015 08:04 a...	Microsoft Access ...	2 KB
CYC_MXTPBUS	28/10/2015 10:02 a...	Microsoft Access ...	4 KB
CYC_MXTPBUS_MASS_VAR1.m	28/10/2015 08:07 a...	Archivo M	5 KB

Figura 23. Ingreso del ciclo de conducción creado al simulador.

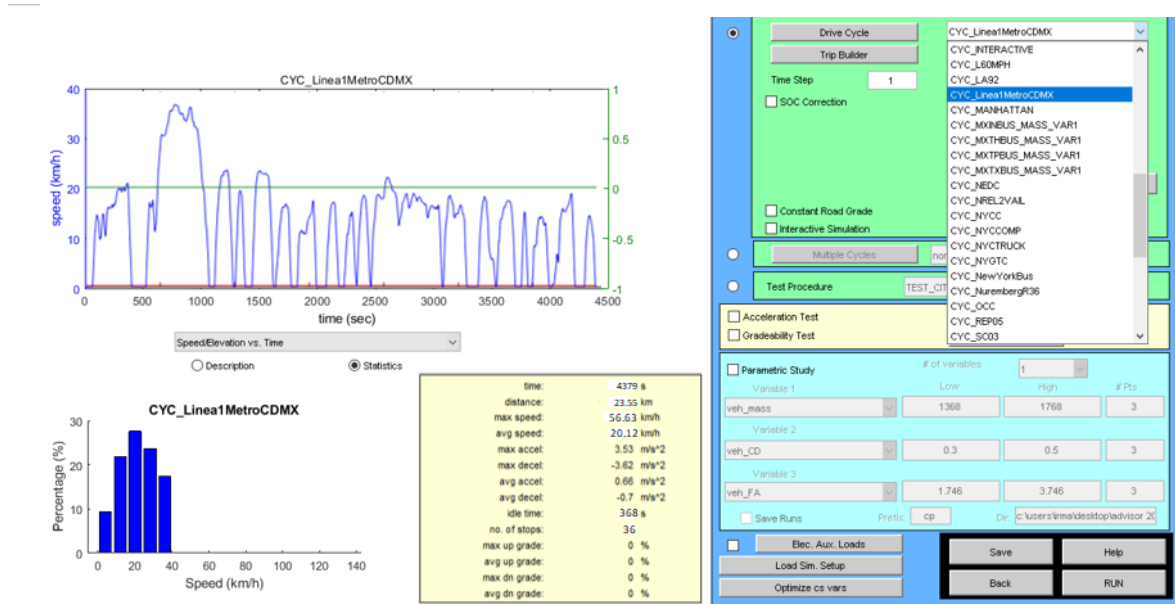


Figura 24. Cambios de parámetros en la interfaz gráfica del simulador.

Al tener seleccionado el ciclo de conducción y los vehículos caracterizados, se modificaron las características del combustible, por medio de Notepad++ (Figura 25). Los parámetros modificables para los distintos tipos de combustible fueron la densidad y el poder calorífico inferior.

```

459 fc_base_mass=588; % (kg), mass of the engine block and head (base engine) from cat specs
460 fc_acc_mass=0.8*fc_max_pwr; % kg engine accy's, electric, cntrl's - assumes mass penalty of 0.8 kg/kW (from OTA report)
461 fc_fuel_mass=0.6*fc_max_pwr; % kg mass of fuel and fuel tank
462 fc_mass=fc_base_mass+fc_acc_mass+fc_fuel_mass; % kg total engine/fuel system mass
463 fc_ext_sarea=0.5*(fc_max_pwr/100)^0.67; % m^2 exterior surface area of engine
464
465
466 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
467 % OTHER DATA
468 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
469 fc_fuel_den=884; % (g/l), density of the fuel
470 fc_fuel_lhv=49749; % (J/g), lower heating value of the fuel
471
472 fc_tstat=96; % C engine coolant thermostat set temperature (typically 95 +/- 5 C)
473 fc_cp=500; % J/kgK ave cp of engine (iron=500, Al or Mg = 1000)
474 fc_h_cp=500; % J/kgK ave cp of hood & engine compartment (iron=500, Al or Mg = 1000)
475 fc_hood_sarea=1.5; % m^2 surface area of hood/eng compt.
476 fc_emissv=8; % emissivity of engine ext surface/hood int surface
477 fc_hood_emissv=9; % emissivity hood ext
478 fc_hAIR_flow=0; % kg/s heater air flow rate (140 cfm=0.07)
479 fc_c1h_eff=7; % -- ave cabin heater HX eff (based on air side)
480 fc_c1h_th_cond=500; % W/K conductance btwn engine cyl & int
481 fc_l2x_th_cond=500; % W/K conductance btwn engine int & ext
482 fc_h2x_th_cond=10; % W/K conductance btwn engine & engine compartment
483
484 % calculate "predicted" exh gas flow rate and engine-out (EO) temp
485 fc_ex_pwr_frac=[0.40 0.30]; % -- frac of waste heat that goes to exhaust as func of engine speed
486 fc_exflow_map=fc_fuel_map*(1+14.5); % g/s ex gas flow map: for SI engines, exflow=(fuel use)*(1 + (stoic A/F ratio))
487 fc_waste_pwr_map=fc_fuel_map*fc_fuel_lhv - T.*w; % W tot FC waste heat = (fuel pwr) - (mech out pwr)
488 spd=fc_map_spd;
489 fc_ex_pwr_map=zeros(size(fc_waste_pwr_map)); % W initialize size of ex pwr map
490 for i=1:length(spd)
491 fc_ex_pwr_map(i,:)=fc_waste_pwr_map(i,:)*interp([min(spd) max(spd)],fc_ex_pwr_frac,spd(i)); % W trq-spd map of waste heat to exh
492 end
493 fc_extmp_map=fc_ex_pwr_map./(fc_exflow_map*1089/1000) + 20; % W EO ex gas temp = Q/(MF*cp) + Tamb (assumes engine tested -20 C)
494
495 %the following variable is not used directlv in modellino and should always be equal to one
    
```

Figura 25. Cambios de parámetros en la interfaz gráfica del simulador.

Capítulo 4

Resultados

Al haber ingresado todas las variables que se necesitaban para llevar a cabo el proceso de simulación, se procedió a ejecutar el mismo, para los cuatro casos en los que se localizó el escenario de comparación los cuales fueron: el vehículo Volvo 7700 híbrido utilizando biodiésel y diésel fósil en la ruta 1 del Metrobús, y el Toyota Prius utilizando bioetanol y etanol para la misma ruta. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

4.1 Caso 1: Toyota Prius utilizando gasolina

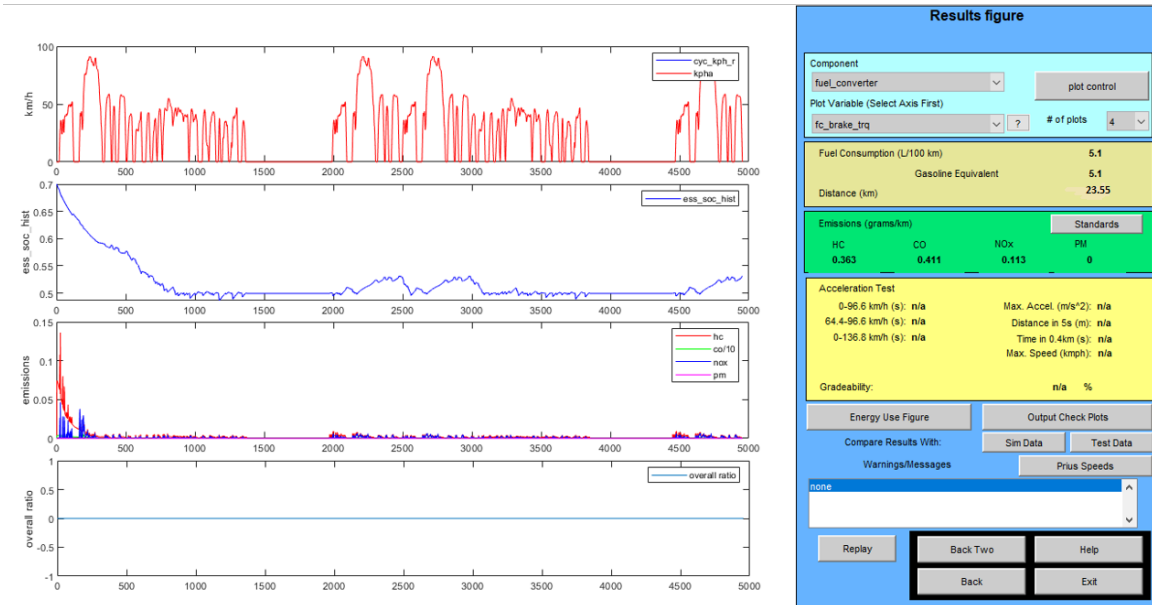


Figura 26. Gráfica de comportamiento del Toyota Prius utilizando gasolina (caso 1).

Análisis de emisiones de motores de combustión interna utilizando biocombustibles

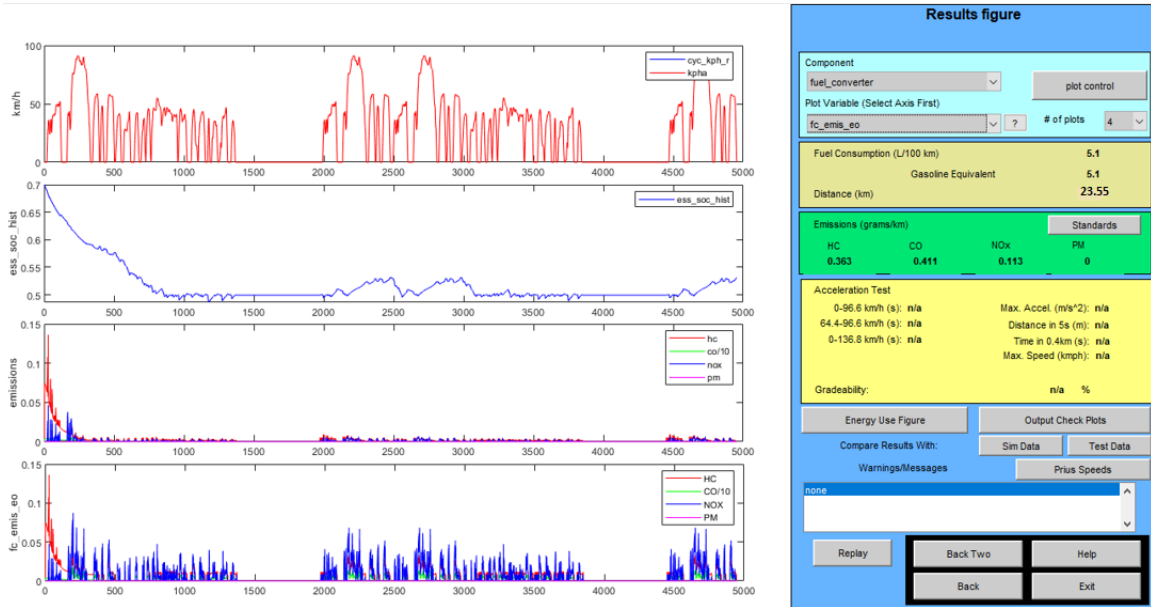


Figura 27. Tasa de emisión de contaminantes del caso 1.

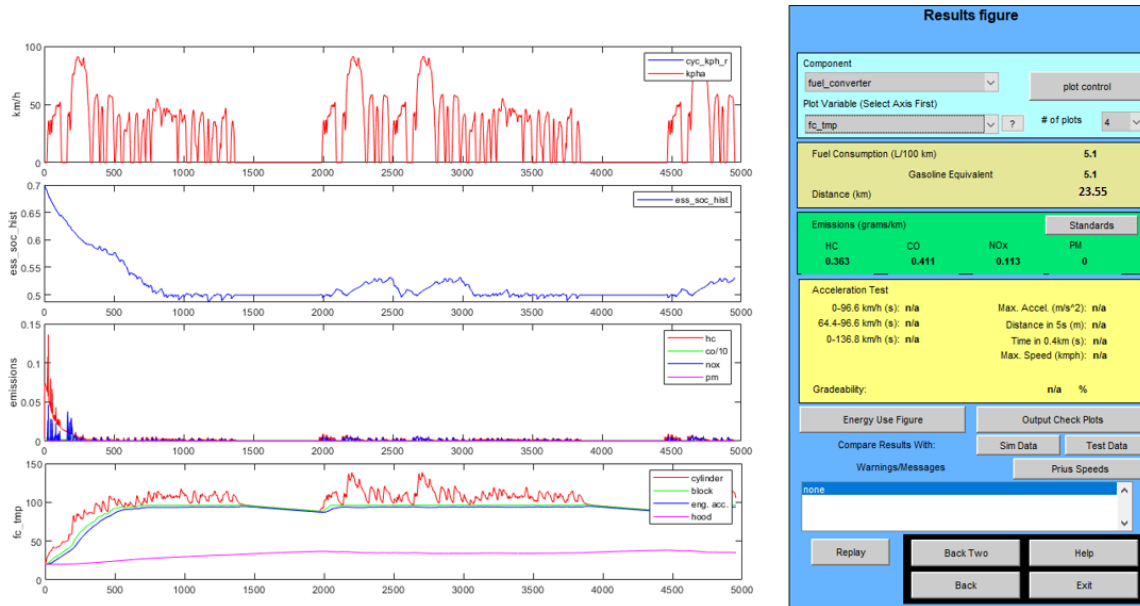


figura 28. Temperaturas de los componentes del caso 1.

Análisis de emisiones de motores de combustión interna utilizando biocombustibles

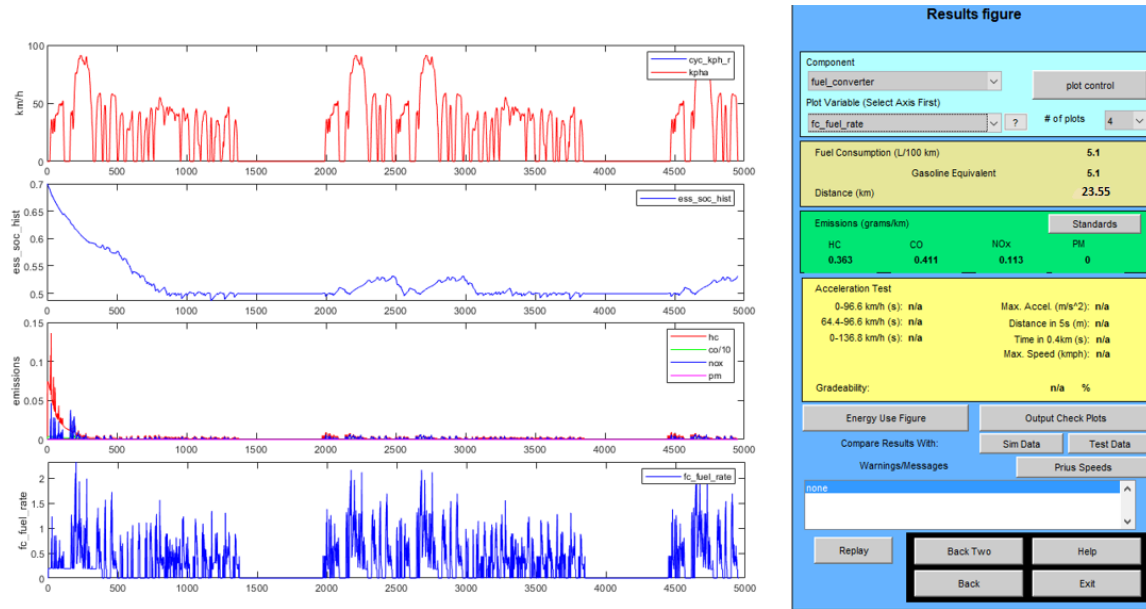


figura 29. Tasa de consumo de combustible del caso 1.

4.2 Caso 2: Toyota Prius utilizando bioetanol

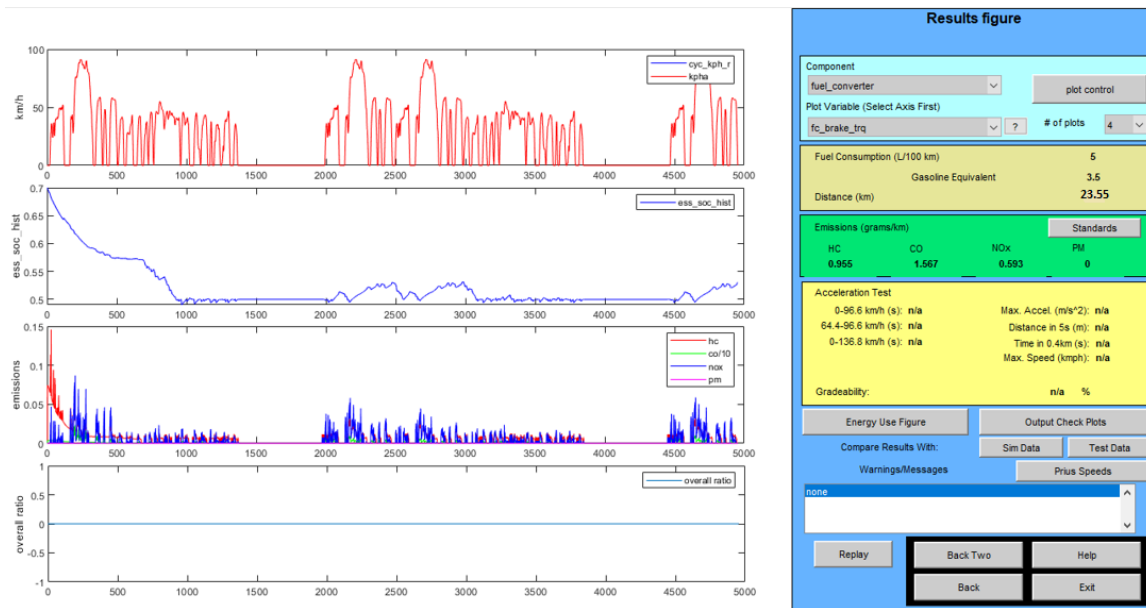


figura 30. Gráfica de comportamiento del Toyota Prius utilizando bioetanol (caso 2).

Análisis de emisiones de motores de combustión interna utilizando biocombustibles

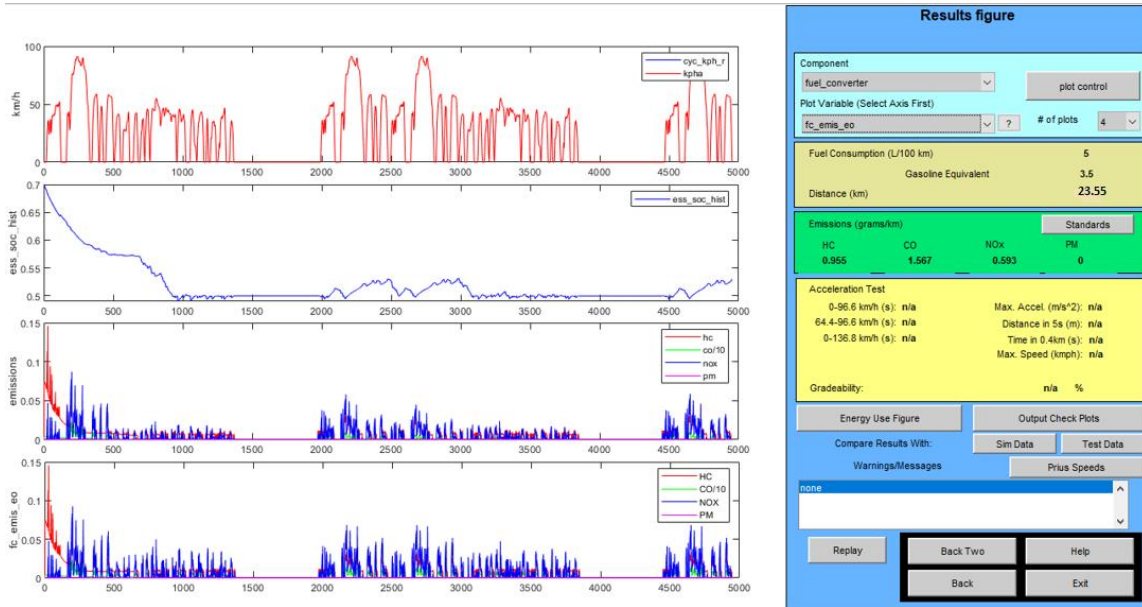


figura 31. Tasa de emisión de contaminantes del caso 2.

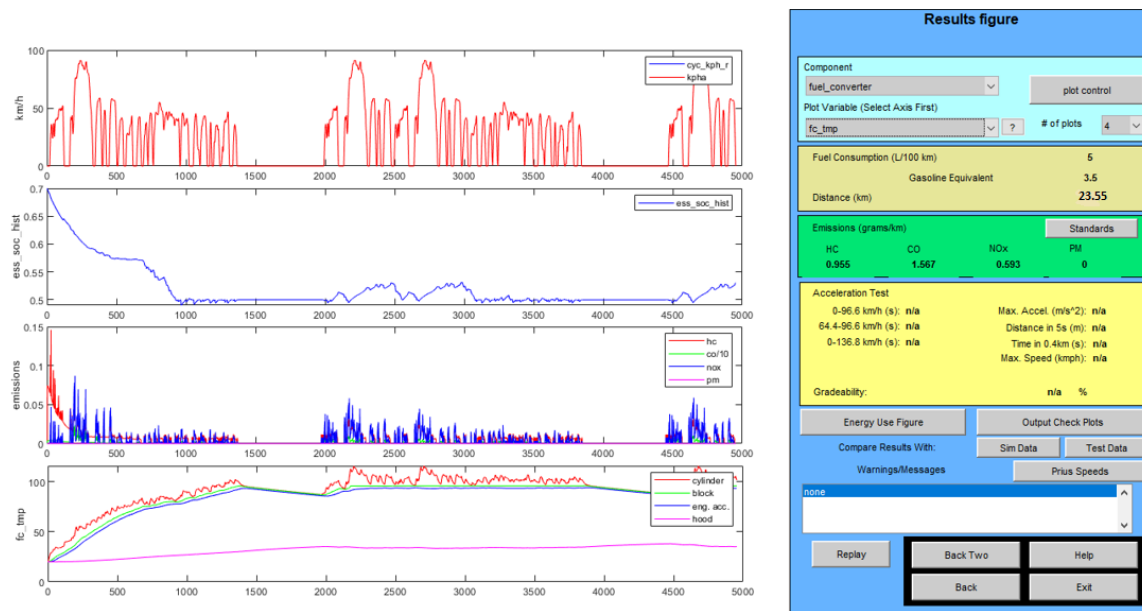


figura 32. Temperaturas de los componentes del caso 2.

Análisis de emisiones de motores de combustión interna utilizando biocombustibles

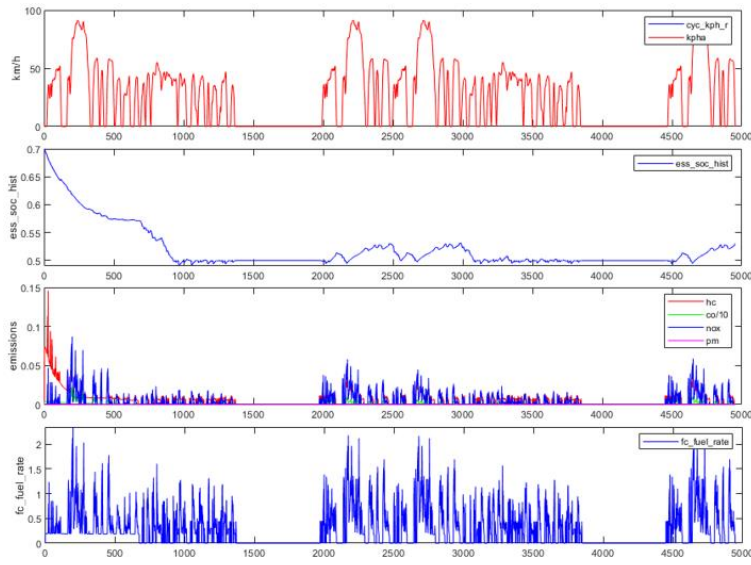


figura 33. Tasa de consumo de combustible del caso 2.

4.3 Caso 3: Volvo 7700 híbrido utilizando diésel

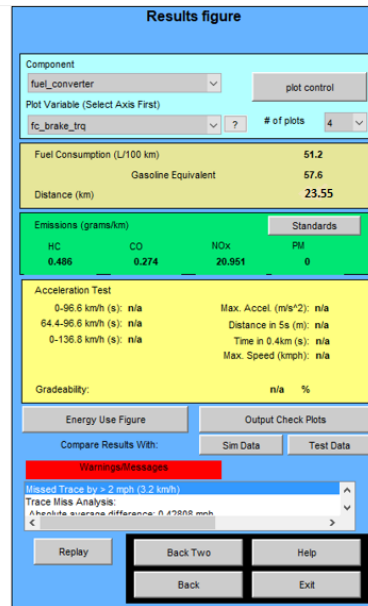
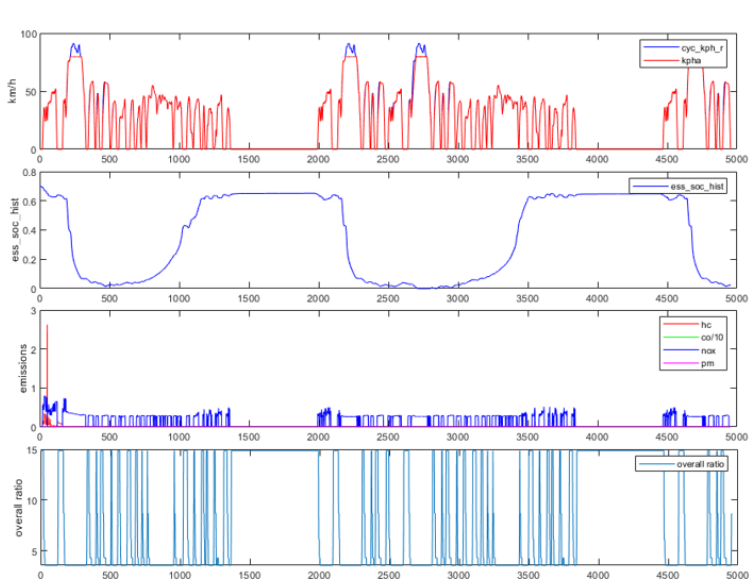


figura 34. Gráfica de comportamiento del Volvo 7700 híbrido utilizando diésel (caso 3).

Análisis de emisiones de motores de combustión interna utilizando biocombustibles

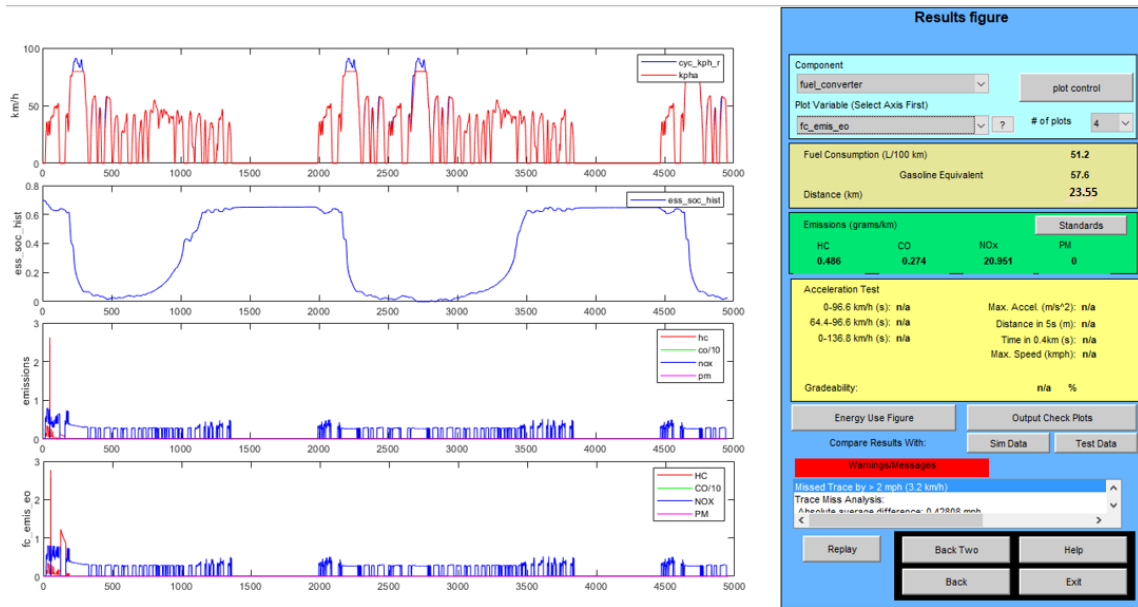


figura 35. Tasa de emisión de contaminantes del caso 3.

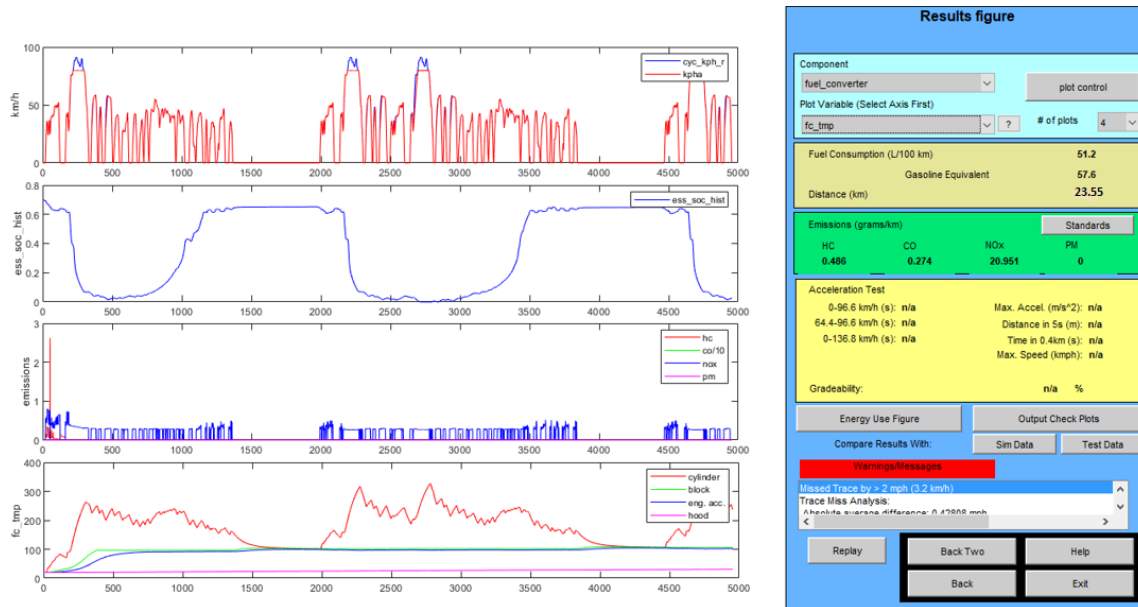


figura 36. Temperaturas de los componentes del caso 3.

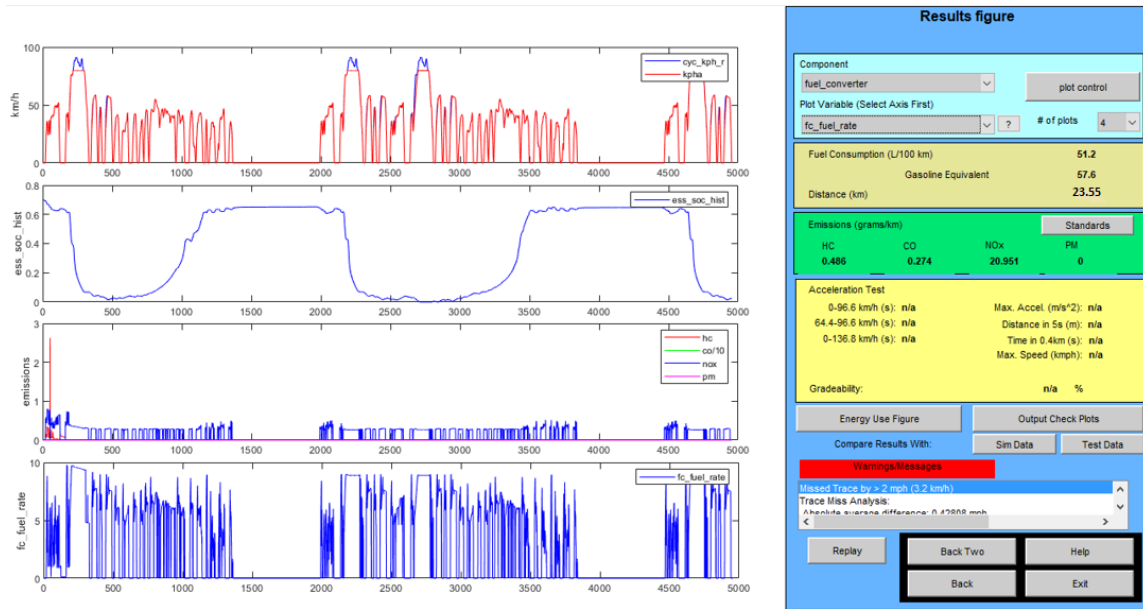


figura 37. Tasa de consumo de combustible del caso 3.

4.4 Caso 4: Volvo 7700 utilizando biodiésel

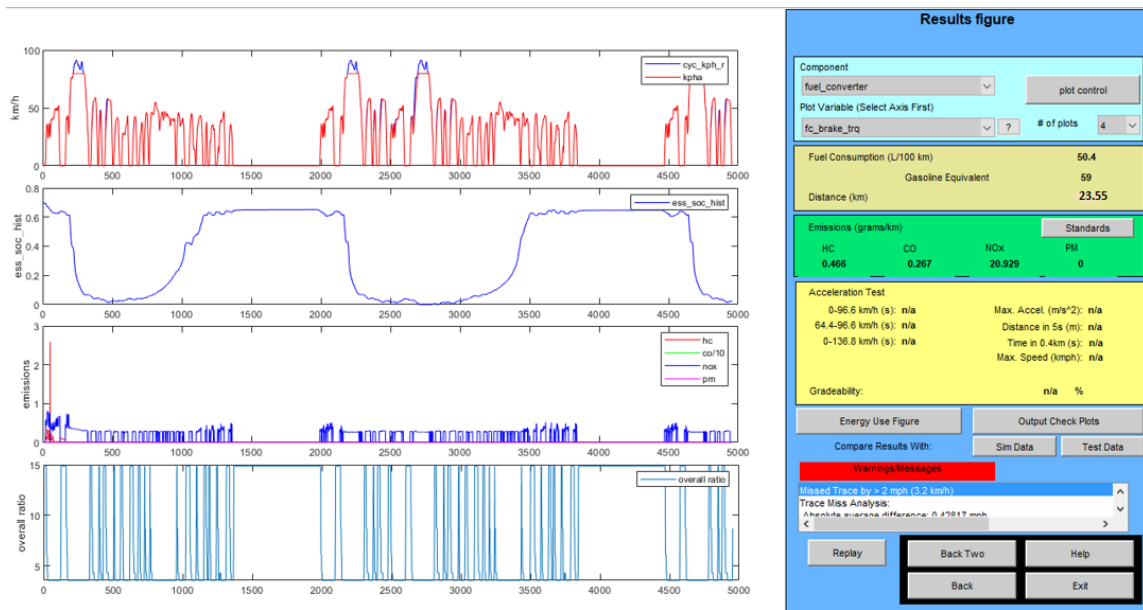


figura 38. Gráfica de comportamiento del Volvo 7700 híbrido utilizando biodiésel (caso 4).

Análisis de emisiones de motores de combustión interna utilizando biocombustibles

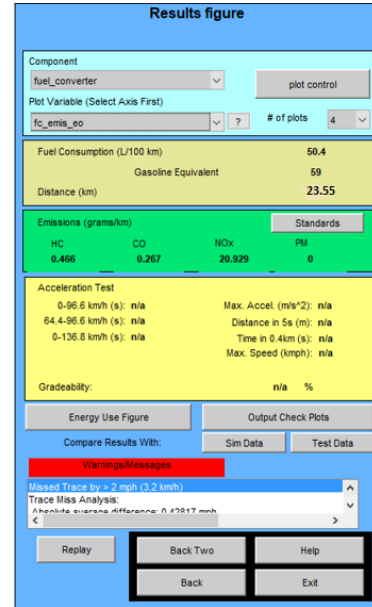
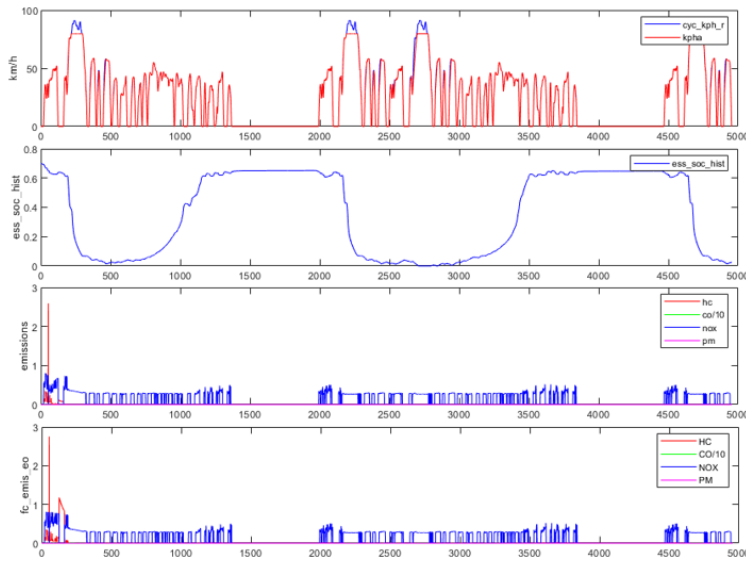


figura 39. Tasa de emisión de contaminantes del caso 4.

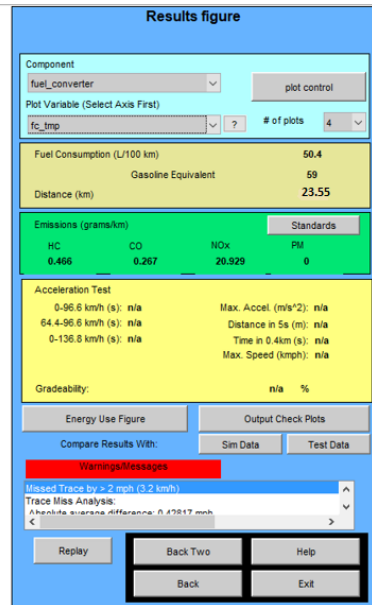
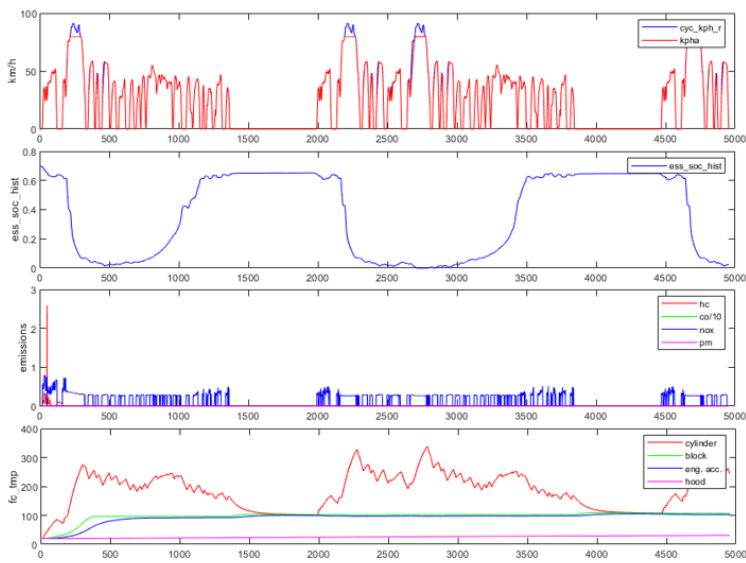


Figura 40. Temperaturas de los componentes del caso 4.

Análisis de emisiones de motores de combustión interna utilizando biocombustibles

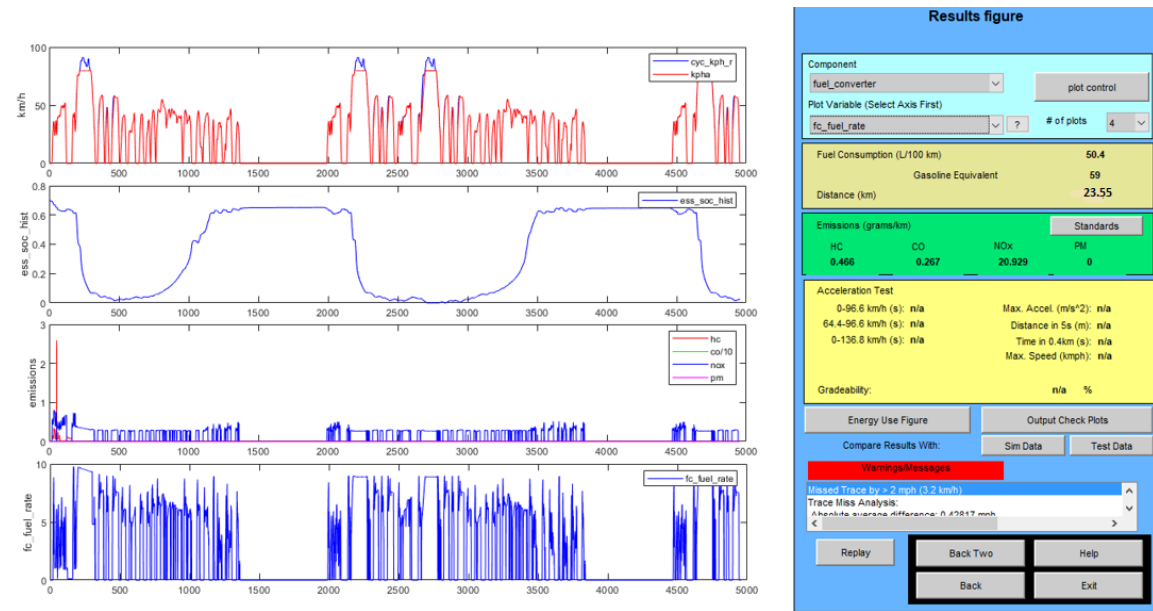


figura 41. Tasa de consumo de combustible del caso 4.

Conclusiones

Los resultados muestran tendencias notables en el uso de biocombustibles comparado con el de combustibles convencionales. Las condiciones en las que se llevaron a cabo las simulaciones fueron las mismas (terreno, ciclo de conducción y ruta).

El en primer caso se utilizó como combustible gasolina para alimenta al modelo Prius de Toyota®, los resultados muestran que los consumos no fueron los mismos pero la diferencia entre ambos fue mínima, sin embargo, la emisión de contaminantes cambió considerablemente, aumentando en casi cinco veces las emisiones de NOx, de un valor de 0.113 g/km en el caso de la gasolina a 0.593 g/km para el caso del bioetanol, lo que es normal para la naturaleza del biocombustible.

Por otra parte, la emisión de CO se pronosticaba ser menor para el caso del bioetanol, pero se observó un aumento en la emisión de este contaminante, pasando de 0.411 g/km por parte de la gasolina hasta 1.567 g/km por parte del biocombustible, lo que representa un incremento del 381%, este resultado es considerable tomando en cuenta las consecuencias que tiene a la salud humana la exposición a este contaminante.

En el caso de la emisión de hidrocarburos (combustible sin quemar y vapores de aceite) o HC, también se tuvo un incremento del 263% pasando de la emisión de 0.363 g/km por la gasolina hasta 0.955 g/km por el bioetanol.

Se observó que el desempeño del vehículo para ambos casos cumplió con las características del ciclo de conducción, es decir, no hubo un desfase entre la velocidad estipulada con la distancia requerida utilizando cualquiera de los dos combustibles.

En las temperaturas alcanzadas por parte de los componentes del vehículo tales como el bloque, los accesorios del motor, los cilindros y el cofre, fueron más altas para el caso del vehículo utilizando gasolina, disminuyendo casi 20°C en promedio utilizando bioetanol para todos los componentes.

El consumo de combustible tuvo una diferencia mínima comparando ambos casos, en el primero (gasolina) la tasa de consumo fue de 5.1 L/100 km y en el segundo (bioetanol) fue de 5.0 L/100 km.

En el caso del modelo 7700 híbrido de Volvo se obtuvo una tasa de 51.2 L/100 km utilizando diésel fósil y una de 50.4 L/100 km para el caso del biodiésel.

Las emisiones contaminantes fueron menores utilizando biodiésel puro, obteniendo una tasa de emisión de NO_x de 20.929 g/km, en el caso del diésel fósil se tuvo una tasa de 20.951 g/km.

Para las emisiones de CO, en el primer caso (biodiésel), se obtuvo una tasa de 0.267 g/km, menor comparado con la del segundo caso (diésel fósil), la cual fue de 0.274 g/km, lo cual representó una disminución del 2.55%.

Las emisiones de HC utilizando biodiésel fueron de 0.466%, comparando esta tasa de emisión con la del diésel fósil que fue de 0.486%, se tuvo una disminución del 4.11%.

Los comportamientos de carga de la batería para el accionamiento del motor eléctrico fueron muy parecidos.

Se observa un desfase en el rendimiento del vehículo comparado con el ciclo de conducción, tomando en cuenta de que el vehículo que circula en la línea uno del Metrobús tiene características diferentes al modelo 7700 híbrido, se puede asociar ese comportamiento a esta situación, ya que en ambos casos se tuvo un comportamiento similar.

La variación de las temperaturas del motor y sus componentes no fue evidente, siendo prácticamente las mismas.

Los resultados en ambos casos tienen particularidades. En el caso del modelo Prius de Toyota®, los resultados esperados eran distintos a los obtenidos, con la revisión literaria e investigación de trabajos relacionados, se tienen tendencias que no se cumplen, tales como el consumo de combustible, el cual se pronosticaba como menor en el caso de la gasolina, así como la reducción de emisiones contaminantes

a excepción de los NOx, por el contrario, se tuvieron incrementos en los contaminantes criterio que se tomaron en cuenta, obteniendo resultados no pronosticados.

En el caso del modelo 7700 híbrido, los resultados fueron los esperados, sin embargo, la tendencia a pesar de ser cumplida no fue evidente como se pronosticaba, teniendo disminución en la emisión de contaminantes y aumento en el consumo de combustible utilizando biodiésel.

Tomando en cuenta que el software utilizado (ADVISOR) es un modelo semi-empírico, éste utiliza mapas de búsqueda en lugar de simulaciones físicas puras de motores y similares. Estos mapas tienen la ventaja de ser muy rápidos, la desventaja es que, para caracterizar un modelo, se tienen que crear estos mapas a partir de experimentación física. La recomendación que se hace por parte de los desarrolladores del programa es hacer el cambio de las características del combustible, sin embargo, la eficiencia de los mapas no será la correcta. Por lo tanto, para poder desarrollar una simulación exacta de los vehículos bajo ciertas condiciones, tales como las del sistema Metrobús, se recomienda introducir un mapa creado a partir de experimentación en dichas condiciones para poder llevar a cabo la simulación de una manera precisa y tener valores confiables.

El presente trabajo busca ser un antecedente de dicha aplicación, para que en un modelo en específico se hagan los mapas correspondientes y las simulaciones posteriores sean valores que cumplan con las tendencias establecidas.

Bibliografía

- Adler, J. (2013). Why fire makes us human . *Smithsonian magazine*.
- Aldhaidhawi, M., Chiriac, R., & Badescu, V. (2017). Ignition delay, combustion and emission characteristics of Diesel engine fueled with rapeseed biodiesel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 178-186.
- Álvarez Maciel, C. (2009). Biocombustibles: desarrollo histórico-tecnológico, mercados actuales y comercio internacional. *Economía informa*, 73-74.
- Anderson, B. (3 de Septiembre de 2018). *Milenio*. Obtenido de <https://www.milenio.com/opinion/barbara-anderson/nada-personal-solo-negocios/mexico-el-tercer-mayor-comprador-de-prius-del-mundo>
- Asamblea legislativa del Distrito Federal. (13 de Enero de 2000). Ley Ambiental de protección a la Tierra en el Distrito Federal . *Gaceta Oficial del Distrito Federal* , págs. 4-5.
- Atabani, A., Silitonga, A., Arjum Badruddin, I., Mahlia, T., Masjuki, H., & Mekhilef, S. (2012). A comprehensive review on biodiesel as an alternative energy resource and its characteristics . *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2070-2093.
- Bárceñas, M. (15 de Enero de 2019). *UNAM*. Obtenido de http://www.dcb.unam.mx/cerafin/bancorec/ejenlinea/C_Otto_MBE.pdf
- Brusco, A. (2004). El PNUMA y el Derecho Ambiental . *Programa de Regional de Capacitación en Derecho y Políticas Ambientales* (pág. 6) . : PNUMA, ONU .
- Buelna Quijada, G. (1995). *Propuesta de diseño y construcción de un sistema de lavado y purificado de gases de combustión, en planta piloto; método de absorción-adsorción*. Hermosillo : Universidad de Sonora.
- Can, Ö. (2014). Combustion characteristics, performance and exhaust emissions of a diesel engine fueled with a waste cooking oil biodiesel mixture. *Energy Conversion and Management*, 676-686.
- Can, O., Oztürk, E., & Serdar Yücesu, H. (2017). Combustion and exhaust emissions of canola biodiesel blends in a single cylinder DI diesel engine. *Renewable Energy*, 73-82.
- Can, Ö., Oztürk, E., & Serdar Yücesu, H. (2017). Combustion and exhaust emissions of canola biodiesel blends in a single cylinder DI diesel engine. *Renewable Energy*, 73-82.
- Cardona Vallarta, D. E. (2018). *Optimización a escala piloto de un proceso de transesterificación de aceite comestible residual para la obtención sustentable de biodiésel*. Ciudad de México.
- Cardona, A., & Ariel, C. (2009). Perspectivas de la producción de biocombustibles en Colombia: contextos latinoamericano y mundial . *Revista de ingeniería*, 109-120.
- Çengel, Y., & Boles, M. A. (2012). *Termodinámica*. Ciudad de México: McGraw Hill.

- Cerutti, C. G. (2011). *La bioenergía en México, situación actual y perspectivas*. Ciudad de México: Red mexicana de bioenergía.
- Checa Artasu, M. M. (2016). Las áreas verdes en la Ciudad de México. Las diversas escalas de una geografía urbana . *Revista bibliográfica de geografía y ciencias sociales* .
- Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía. (2017). *CONUEE*. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/187220/vehiculohibrido_1_260117.pdf
- Consejería de Economía, Innovación y Ciencia. (23 de enero de 2019). *Agencia Andaluza de Energía* . Obtenido de https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/sites/default/files/documentos/aplicaciones_de_los_biocarburos_0.pdf
- Crónica ambiental. (2015). Historia ambiental de México. *Crónica ambiental*.
- Departamento de energía de los Estados Unidos de América. (24 de Abril de 2013). Advanced Vehicle Simulator. Estados Unidos .
- DiLaura, D. (2008). A Brief History of Lighting . *The Optical Society*.
- Domiwebs. (18 de Julio de 2018). *Tratado de Libre Comercio de América del Norte*. Obtenido de <http://www.tlcan.com.mx/ventajas-del-tlcan.html>
- Echeverría Álvarez, L. (1976). *Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental Originada por la Emisión de Ruidos*. Ciudad de México: Diario Oficial de la Federación.
- EcuRed. (21 de Diciembre de 2016). *EcuRed, conocimiento con todos y para todos* . Obtenido de https://www.ecured.cu/Ley_de_conservaci%C3%B3n_de_la_energ%C3%ADa
- Educar Chile. (2 de Junio de 2018). *Aprende con energía* . Obtenido de <http://www.aprendeconenergia.cl/unidades-de-la-energia/>
- Ehsani, M., Gao, Y., & Longo, S. E. (2018). *Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles* . Boca Ratón : CRC Press.
- El-Seesy, A. I., Abdel-Rahman, A. K., Bady, M., & S., O. (2017). Performance, combustion, and emission characteristics of a diesel engine fueled by biodiesel-diesel mixtures with multi-walled carbon nanotubes additives. *Energy Conversion and Management*, 373-393.
- Energía nuclear. (25 de Noviembre de 2016). *Energía Nuclear.net*. Obtenido de <https://energia-nuclear.net/definiciones/energia.html>
- Fernández, J. (13 de Enero de 2019). *Primera Ley de la Termodinámica*. Obtenido de FISICALAB: <https://www.fisicalab.com/apartado/primer-principio-termo#contenidos>
- Fundación mi parque. (5 de Marzo de 2012). *Fundación mi parque*. Obtenido de <https://www.miparque.cl/la-gran-diferencia-de-m2-de-areas-verde-por-persona-en-latinoamerica/>

- Gaviria Ríos, J., Mora Guzmán, J., & Agudelo, J. (2002). Historia de los motores de combustión interna. *Revista facultad de ingeniería*, 66-78.
- Hurtado Torres, V. (2016). *Estudio de la contaminación ambiental de la ciudad de México mediante los modelos redes neuronales artificiales y algoritmos genéticos*. Ciudad de México.
- Iniesta Burgos, J., & García Fernández, P. A. (2002). *La energía. El recorrido de de la energía*. Madrid: Madrid innova.
- Instituto Argentino de Energía. (16 de Enero de 2019). *IAE*. Obtenido de <http://www.iae.org.ar/archivos/educ1204.pdf>
- Lede, S. (s.f.). *Los biocombustibles*. Obtenido de ArgenBio: <http://www.argenbio.org/adc/uploads/pdf/biocombustibles.pdf>
- M. Wood, B., Kirwan, K., Maggs, S., Meredith, J., & R. Coles, S. (2015). Study of combustion performance of biodiesel for potential. *Journal of cleaner production*, 167-173.
- Martín Blas, T., & Gómez, L. (15 de Enero de 2019). *Universidad Politécnica de Madrid*. Obtenido de <http://www2.montes.upm.es/dptos/digfa/cfísica/termo2p/otto.html>
- Martínez de Vedia, R. (1989). *Teoría de los motores térmicos, dinámica de gases*. Buenos Aires: Alsina.
- Martínez Villegas, A. (2007). *Motores de combustión interna*. Sant Celoni: Treball de recerca.
- Martínez, J. (2016). *Autos Híbridos*. Madrid: TAI 2.
- Medina Ramírez, I. E., Chávez Vela, N. A., & Jáuregui Rincón, J. (2012). Biodiesel, un combustible renovable. *Investigación y ciencia*, 62-70.
- Meixueiro Nájera, G. (28 de Agosto de 2006). *Medio ambiente*. Obtenido de www.diputados.gob.mx/cesop/
- Metrobús. (2019). *Gobierno de la Ciudad de México*. Obtenido de Metrobús : <https://www.metrobus.cdmx.gob.mx/dependencia/acerca-de>
- Meza Aguilar, M. d., & Moncada Maya, J. O. (2010). Las áreas verdes de la Ciudad de México. Un reto actual. *Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*.
- Micheli, J. (2000). Política ambiental en el sexenio 1994-2000. *El cotidiano*, 14.
- Molina, S. (29 de Enero de 2008). *porcinos.blogspot.com*. Obtenido de http://porcinos.blogspot.com/2006/01/historia-del-bio-gas_113857323502124249.html
- Organización de las Naciones Unidas. (2018 de Julio de 18). *UN*. Obtenido de <https://www.un.org/ruleoflaw/es/un-and-the-rule-of-law/united-nations-environment-programme/>
- Organización de los Estados Americanos. (18 de Julio de 2018). *Sistema de Información sobre Comercio Exterior*. Obtenido de http://www.sice.oas.org/Trade/nafta_s/ambien1.asp

- Orozco Segovia, A. D. (6 de Octubre de 2014). Muros verdes: creatividad y experimentación biológica. (J. Marínez Sánchez, Entrevistador)
- Paredes, J., Martínez, F., Vázquez, R., & Romero, R. (2018). Analysis of pollutant emissions in a diesel engine using biodiesel as fuel. *6 ISEBE*, (pág. 11). Ciudad Obregón.
- Pasa Duarte, V. M. (Marzo de 2010). Recomendaciones de especificaciones técnicas para el etanol y sus mezclas (E6) y la infraestructura para su manejo en México. Ciudad de México, Ciudad de México, México.
- Pawlak, W. (1984). *Funcionamiento de motores de combustión interna*. Linares : Editorial de la Universidad Autónoma de Nuevo León .
- Pemex . (2010). *Desafío ecológico*. Monterrey: Agencia Promotora de Publicaciones.
- PEMEX. (2 de Junio de 2018). *Secretaría de energía* . Obtenido de sie.energia.gob.mx/docs/glosario_hc_es.pdf
- Pérez Calderón, J. (2010). La política ambiental en México: Gestión e instrumentos económicos. *El cotidiano*, 91-97.
- Pérez Campuzano, E., & Valderrábano Almegua, M. d. (2011). *Medio ambiente, sociedad y políticas ambientales en el México contemporáneo*. Ciudad de México: Políticas Públicas Serie.
- Planck, M. (1917). *Treatise oh Thermodynamics* . Berlín: Dover Publications, Inc.
- Portal Caña. (25 de Abril de 2018). *Portal Caña*. Obtenido de <https://www.portalcania.com.ar/noticia/brasil-la-produccion-de-etanol-aumento-en-la-zafra-2017-2018/>
- Presidencia de la República. (11 de Enero de 1982). Ley federal de protección al ambiente. Ciudad de México, México: Diario oficial de la federación.
- Rafael, M., & Andrés, H. (2014). *Caracterización de un motor de combustión interna con dos tipos de combustible*. Sanfadilla: Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
- Ramos, D., Díaz, M., & Villar, M. (2016). Biocombustibles. *Universidad Nacional del Sur - Conicet*, 69-73.
- Real Academia Española. (12 de enero de 2019). Diccionario de la lengua española. Madrid, España.
- Red Mexicana de Bioenergía. (5 de Septiembre de 2018). *Red Mexicana de Bioenergía*. Obtenido de <http://rembio.org.mx/areas-tematicas/biogas/>
- REN 21. (2019). *Renewables 2019 global status report*. Paris: REN 21.
- Renewable Fuels Association . (s.f.). *enewable Fuels Association* . Obtenido de <https://ethanolrfa.org/issues/exports-and-trade/>
- Rothkopf, G. (2007). *A blueprint for green energy in the Americas*. IADB.

- Salinas Callejas, E., & Gasca Quesada, V. (2009). Los biocombustibles . *El Cotidiano* , 75-82.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (31 de Mayo de 2017). *Secretaría de gobernación* . Obtenido de Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación: <https://www.gob.mx/sagarpa/articulos/biogas-energia-natural?idiom=es>
- Secretaría de energía - República de Argentina . (2003). *Conceptos sobre energía* . Secretaría de energía de la República de Argentina.
- Secretaría del Medio Ambiente. (2003). *Inventario General de Áreas Verdes del Distrito Federal*. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Secretaría del Medio Ambiente. (4 de Agosto de 2018). Historia del monitoreo de la calidad del aire en la Ciudad de México. Ciudad de México, México.
- SourceForge. (15 de Marzo de 2019). *SOURCEFORGE*. Obtenido de <https://sourceforge.net/projects/adv-vehicle-sim/>
- Torres Rivas, D. (2005). *Planeación, espacios verdes y sustentabilidad en el distrito federal* . Ciudad de México : Universidad Autónoma Metropolitana.
- Toyota motors corporation. (2004). *Toyota Prius Modelo de 2004 2a generación, guía de respuesta ante emergencias*. Toyota motor coroporation.
- Valdés Rodríguez, O. A., & Palacios-Wassenaar, O. M. (2016). Evaluación actual de plantaciones para biocombustibles: perspectivas y retos para México. *Research gate*, 33-41.
- Volvo buses. (2015). *Autobuses híbridos, movilidad y ambiente ahora en paralelo*. Tultitlán: Volvo.

Glosario

- BTEX: Acrónimo que tiene como significado benceno, tolueno, etilbenceno y xileno.
- LADF: Ley ambiental del Distrito Federal.
- LFPCCA: Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental.
- Máquina térmica: Dispositivo cuyo principio de funcionamiento se basa en un ciclo termodinámico, realizando una cierta cantidad de trabajo transfiriendo calor de un cuerpo con alta temperatura a otro con baja temperatura.
- Motor de combustión interna: Dispositivo que funciona mediante la liberación de energía que se logra en su interior por medio de la explosión de un combustible.
- Motor híbrido: Es aquel que tiene la combinación de dos o más propulsores, para generar movimiento.
- OMS: Organización Mundial de la Salud.
- ONU: Organización de las Naciones Unidas.
- PNUD: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.
- PST: Partículas Suspendidas Totales.
- RAMA: Red Automática de Monitoreo Atmosférico.
- REDDA: Red de Depósito Atmosférico.
- REDMA: Red Manual de Monitoreo Atmosférico.
- REDMET: Red de Meteorología y Radiación Solar.

- REDPANAIRE: Red Panamericana de Muestreo Normalizado de la contaminación del aire.
- SEDUE: Secretaria de Desarrollo Urbano y Ecología.
- SIMAT: Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México.
- SMA: Secretaria del Medio Ambiente.
- SSA: Secretaria de Seguridad y Asistencia.
- SSP: Secretaria de Seguridad Pública.
- ZMVM: Zona Metropolitana del Valle de México

Anexos

Anexo 1

Especificaciones del modelo 7700 híbrido de Volvo®

Las ciudades mexicanas se unen a la onda verde de ultra-salvador del mundo que ya utilizan autobuses híbridos Volvo.



Autobus BSL híbrido en Londres

VOLVO 7700 HÍBRIDO:

Longitud: 12 m.
Altura: 3,20 m.
Ancho: 2,55 m.
Accesor: Piso bajo.
Distancia entre ejes: 5,95 m.
Peso bruto vehicular: 18,000 Kg.
Suspensión: Suspensión neumática electrónica.
Dirección: Dirección de alimentación eléctrica.
Compresor de aire: Compresor eléctrico rotatorio.
Frenos: Frenos de disco EBS.
Número de puertas: 3 en costado derecho.
Altura de entradas: 25, 27, 27 cm.
Capacidad de pasajeros: 95 personas.
Sistema híbrido: Híbrido en paralelo Volvo ISAM.
Motor diesel: Volvo D5E.
Potencia/ Par motor Diesel: 210hp/800Nm.
Potencia/ Par motor eléctrico: 160hp/800Nm.
Caja de cambios: Sistema de cambio automático Volvo I-Shift.



7700 HYBRID



Volvo Autobuses

Lago de Guadalupe 2881 Fracc. Industrial Cartagena, Tullá, Estado de México 54600
Tel. +52 (55) 5060-3100 01 800 88 VOLVO(868980) Fax. +52 (55) 5060-3178
servicioalcliente@volvo.com

GreenEFFICIENCY

DESCUBRE EL NUEVO VOLVO 7700 HÍBRIDO



MÁXIMAS VENTAJAS PARA EL ENTORNO URBANO.

La tecnología híbrida para autobuses Volvo recicla la energía generada por los frenos en las frecuentes paradas del tránsito urbano. En vez de perderse en forma de calor, esta energía se utiliza para propulsar el autobús. De esta forma, el consumo de combustible se reduce hasta en un 30% y las emisiones contaminantes caen en 40-50%. Además, el arranque se silencia debido al uso del motor eléctrico en el inicio.

Elija la solución híbrida en I-Charge de Volvo.

La solución híbrida desarrollada por Volvo es revolucionaria. Se trata de un híbrido en paralelo, lo que significa que el autobús tiene un motor diésel y otro eléctrico que funcionan de forma independiente. El motor eléctrico se utiliza para arrancar el autobús y acelerarlo hasta una velocidad de 20 Km/h, y hace las veces de motor y generador. El motor diésel se activa a velocidades mayores. Cada vez que se accionan los frenos, esta energía se utiliza para cargar las baterías. El motor eléctrico proporciona un par mismo desde el arranque, lo que resulta en excelentes aceleración y facilidad de conducción.

Reducción del consumo de combustible hasta en un 30%.

El sistema híbrido de Volvo realmente ahorra energía. De hecho, Volvo Buses ha conseguido el resultado oficial de la Agencia Sueca de Energía para su desarrollo. El sistema híbrido reduce considerablemente el consumo de combustible y, por consiguiente, reduce los costos de operación. Esto no solo se debe al uso de energía reciclada para propulsar el autobús, la gran potencia del motor eléctrico también hace posible la instalación de un motor diésel más pequeño y económico. Asimismo, componentes auxiliares del motor reducen su tamaño y peso.

Reducción de las emisiones hasta en un 50%.

El Volvo 7700 Híbrido cuenta con un nivel bajo de emisiones de combustible con una elevada capacidad de arranque. Cuando el autobús se detiene, el motor diésel para automáticamente y se activa la energía eléctrica, eliminando emisiones en ralentí. El motor diésel no se activa de nuevo hasta que el autobús toma velocidad, lo que reduce considerablemente las emisiones de CO₂, NOx y partículas en 40-50%. El Volvo 7700 Híbrido tiene como opción un filtro que reduce en un 80% adicional las partículas pesadas. Como ventaja ambiental añadida, el nivel general de ruido provocado por el motor es de alrededor de 44dB.

Garantía de productividad.

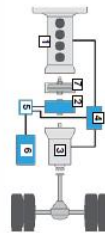
El Volvo 7700 Híbrido es un auténtico vehículo para transporte de personas con un alto nivel de comodidad y seguridad. Con capacidad para 90-100 pasajeros, el 7700 Híbrido cuenta con un pasillo central amplio, configuración de piso bajo y amplias puertas dobles para un rápido y cómodo flujo de pasajeros. Es un autobús integral, con carrocería de acero de alta resistencia en un chasis Volvo. Los ejes disponen de frenos de disco controlados electrónicamente, sistema EBS, que incluye ABS y ASR, lo que ofrece un frenado más rápido y en corta distancia.



OPTE POR LA TECNOLOGÍA HÍBRIDA FIABLE Y EFICAZ.

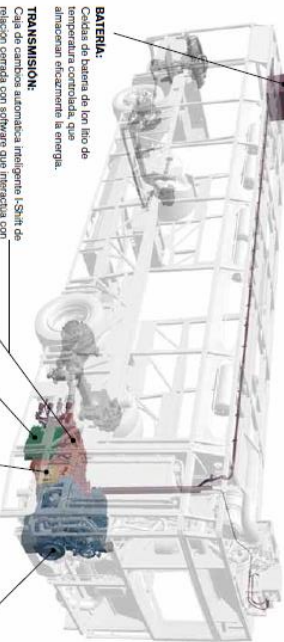
I-Charge se al nombre del sistema híbrido desarrollado por Volvo. I-Charge ofrece fiabilidad y eficacia superiores por varios motivos:

- Sistema híbrido en paralelo que usa el motor eléctrico y motor diésel de forma independiente o al mismo tiempo, según la ruta Volvo eligiendo en perfecta armonía.
- Seguridad superior con equipamiento que protege a Volvo eligiendo en perfecta armonía.
- Motor eléctrico optimizado para el sistema de tracción.



Principales componentes de Volvo I-Charge.

1. Motor eléctrico.
2. Motor/generador eléctrico.
3. Caja de cambios.
4. Unidad de gestión del sistema de transmisión (PMU).
5. Convertidor de energía CC/CC 600V/24V.
6. Baterías.
7. Eje trasero.



BATERÍA:
Recibe un sistema de un tipo de tecnología de baterías que almacenan eficazmente la energía.

TRANSMISIÓN:

Caja de cambios automática inteligente IShift de relación continua con software que maneja con precisión el tráfico urbano e interurbano, ofreciendo un consumo de combustible óptimo.

MOTOR/GENERADOR ELÉCTRICO:

ISSEW Motor Alternador de Arranque Integrado es un motor eléctrico que maneja con precisión el tráfico urbano e interurbano, ofreciendo un consumo de combustible óptimo.

CONVERTIDOR DE ENERGÍA CC/CC:

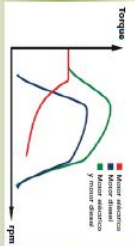
Convertidor de 600V/24V 7.5 Kw.

MOTOR DIESEL:
Motor diésel Volvo D5E de 4 cilindros y 5 litros con bajo consumo de combustible. Instalado verticalmente en la segunda travesera izquierda, como el resto de la gama Volvo 7700.

SISTEMA DE GESTIÓN DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN (PMU):
El cerebro del sistema es el módulo de control electrónico que regula la activación de los componentes de la energía eléctrica y la selección de la energía de tracción y el cambio de marchas y la recarga de la batería.

Mayor capacidad que los autobuses urbanos convencionales.

El motor diésel arranca cuando el autobús alcanza una determinada velocidad propulsado por el motor eléctrico. Lee dos fuentes de energía funcionan después de la parada, el motor eléctrico proporciona la potencia de tracción a más revoluciones del motor diésel.



Anexo 2

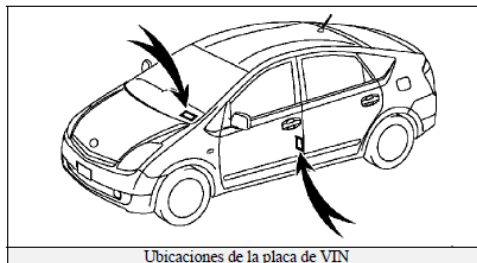
Especificaciones del modelo Prius de Toyota®

Identificación del Prius

El Prius de 2004 es un hatchback de 5 puertas. Las ilustraciones del exterior, del interior y del compartimiento del motor proporcionadas sirven para ayudar a su identificación.

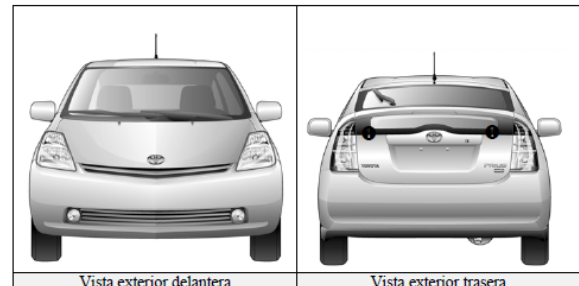
El número de identificación del vehículo con 17 caracteres alfanuméricos se encuentra en el cubretablero del parabrisas delantero y en el montante de la puerta del conductor.

Ejemplo de VIN: JTDKB20U840020208
(El modelo Prius se identifica mediante los primeros 6 caracteres alfanuméricos: JTDKB2)



Exterior

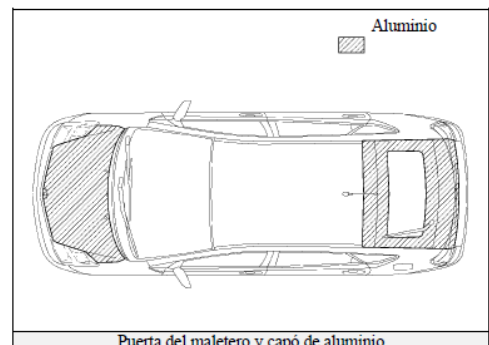
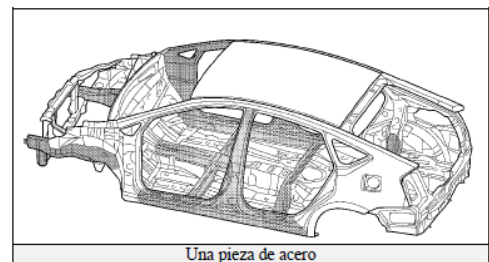
- 1 TOYOTA PRIUS en la puerta del maletero.
- 2 Tapa del depósito de combustible situada en el panel posterior lateral del lado del conductor.



Ubicación y descripción de los componentes del sistema Hybrid Synergy Drive (continuación)

Especificaciones clave:

Motor de gasolina: Motor de aleación de aluminio de 1,5 litros y 76 cv
 Motor eléctrico: 67 cv, motor de imanes permanentes
 Transmisión: Solo automática
 Batería HV: Batería de NiMH sellada de 201 V
 Peso en vacío: 2.890 lb
 Depósito de combustible: 11,9 galones
 Millas por galón: 60/51 mpg (ciudad/carretera)
 Litros/100 km: 4,0/4,2 L/100 km (ciudad/carretera)
 Material del bastidor: Una pieza de acero
 Material de la carrocería: Paneles de acero excepto en la puerta del maletero y en el capó, que se ha utilizado aluminio.



Anexo 3

Hoja de datos de seguridad del Pemex diesel



PEMEX DIESEL
 Núm. Versión: 6
 NOM-018-STPS-2000

Hoja de Datos de Seguridad

SECCIÓN I. DATOS GENERALES

HDSS: PR-301/2010

PEMEX DIESEL



No. ONU¹: 1202

No. CAS²: 68476-34-6

FECHA ELAB: 30/10/1998

REVISIÓN: 6

FECHA REV: 23/11/2016

FABRICANTE	EN CASO DE EMERGENCIA LLAMAR:
PEMEX: Av. Marina Nacional No. 329 C-3, colonia Verónica Anzures, Delegación Miguel Hidalgo, México, Ciudad de México, C. P. 11300. Teléfonos: (0155) - 19449365 y 19448895 (Horario de oficina).	SETIQ³: ■ 01800 – 0021400, sin costo las 24 horas. ■ (0155) – 55591588, Cd. de México, las 24 horas.
ASISTENCIA TÉCNICA: Teléfonos: (0155) – 19448164 (Horario de oficina).	CENACOM⁴: ■ 01800 – 0041300, sin costo las 24 horas. ■ (0155) – 51280000, ext. 11470 a 11476, Cd. de México, las 24 horas.
CONSULTA HOJAS DE DATOS DE SEGURIDAD: Teléfonos: (0155) – 19448628 y 19448041 (Horario de oficina).	COATEA⁵: ■ 01800 – 7104943, sin costo las 24 horas. ■ (0155) – 54496391 y 26152045 Cd. de México, las 24 horas.
	CCAE⁶: ■ (0155) - 9686 6520 ■ Correo electrónico: ccae@pemex.com

SECCIÓN II. DATOS GENERALES DEL PRODUCTO

Nombre químico: ND	Estado físico: Líquido
Nombre comercial: Diesel	Clase de Riesgo de transporte SCT ⁷ : Clase 3, "Líquidos inflamables"
Familia química: ND	No. Guía de Respuesta GRE ⁸ : 128
Sinónimos: Pemex Diesel	
Descripción general del producto: No disponible.	



Hoja de Datos de Seguridad

SECCIÓN III. IDENTIFICACIÓN DE COMPONENTES

COMPONENTE	% VOL.	NÚMERO ONU ¹	NÚMERO CAS ²	PPT ⁹ (mg/m ³)	CT ¹⁰ (ppm)	P ¹¹ (ppm)	IPVS ¹² (ppm)	GRADO DE RIESGO NFPA ¹³			
								S ¹⁴	I ¹⁵	R ¹⁶	E ¹⁷
Diesel	100%	1202	68476-34-6	100	ND	ND	ND	1	2	0	ND
Aromáticos	35% máx.	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Azufre	500 mg/kg	1350	7704-34-9	ND	ND	ND	ND	2	1	0	ND

SECCIÓN IV. PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

Temperatura de ebullición (°C): ND	Color: (2.5 máximo) ASTM-D 1500 ^B
Temperatura de fusión (°C): ND	Olor: Característico a hidrocarburo
Temperatura de inflamación (°C): 45 (mínimo) (ASTM-D 93) ^B	Velocidad de evaporación: ND
Temperatura de auto ignición (°C): 254 - 285°C ^A	Solubilidad en agua @ 20°C (g/100 ml): 0.0005 ^A
Densidad (g/m ³): 0.87 – 0.95 ^A	Presión de vapor (kPa): ND
pH: (IV.6) ND	% de volatilidad: NA
Peso molecular: ND	Límites de explosividad inferior-superior: 0.6 - 6.5 ^A
Estado físico: Líquido	Viscosidad cinemática @ 40°C (mm ² /s): 1.9 - 4.1 ^B

SECCIÓN V. RIESGOS DE FUEGO Y EXPLOSIÓN

Medio de extinción:

- Fuegos pequeños: Utilizar agua en forma de rocío o niebla, polvo químico seco, bióxido de carbono o espuma química.
- Fuegos grandes: Utilizar agua en forma de rocío o niebla, no usar chorro de agua directa, usar espuma química.

Equipo de protección personal para el combate de incendios:

- El personal que combate incendios de esta sustancia en espacios confinados, debe emplear equipo de respiración autónomo y traje para bombero profesional completo; el uso de este último proporciona solamente protección limitada.

Procedimiento y precauciones especiales durante el combate de incendios:

- Utilizar agua en forma de rocío para enfriar contenedores y estructuras expuestas y para proteger al personal que intenta eliminar la fuga.

Anexo 4

Normas oficiales mexicanas de calidad del aire ambiente

Contaminante	Dato utilizado para la evaluación	Exposición	Frecuencia tolerada	Valor límite del indicador con el que se evalúa	Norma oficial mexicana
Partículas PM ₁₀	Promedio 24 horas	Aguda	No se permite	75 µg/m ³ Máximo	NOM-025-SSA1-2014
		Crónica	- -	40 µg/m ³ Promedio anual	
Partículas PM _{2.5}	Promedio 24 horas	Aguda	No se permite	45 µg/m ³ Máximo	
		Crónica	- -	12 µg/m ³ Promedio anual	
Ozono (O ₃)	Dato horario	Aguda	No se permite	0.095 ppm Máximo	NOM-020-SSA1-2014
	Promedio móvil de 8 horas		No se permite	0.070 ppm Máximo	
Dióxido de azufre (SO ₂)	Promedio de 8 horas	Aguda	1 vez al año	0.200 ppm Segundo máximo	NOM-022-SSA1-2010
	Promedio de 24 horas	Aguda	No se permite	0.110 ppm Máximo	
	Dato horario	Crónico	- -	0.025 ppm Promedio anual	
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	Dato horario	Aguda	1 vez al año	0.210 ppm Segundo máximo	NOM-023-SSA1-1993
Monóxido de carbono (CO)	Promedio móvil de 8 hora	Aguda	1 vez al año	11 ppm segundo máximo	NOM-021-SSA1-1993
Plomo (Pb)	Promedio aritmético de tres meses	Crónica	No se permite	1.5 µg/m ³	NOM-026-SSA-1993