



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO.**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLÁN.**

**“AUTOS ELÉCTRICOS Y SU IMPACTO  
AMBIENTAL”**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO INDUSTRIAL**

**PRESENTA**

**JORGE ALBA PATIÑO**

**ASESOR: ING. MARCOS BELISARIO GONZALEZ LORIA.**

**CUAUTITLÁN IZCALLI, EDO DE MÉXICO**

**2023**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## AGRADECIMIENTOS.

### **A MIS PADRES.**

A mis padres **Francisco Mayolo Alba Muciño** (†) y **María Guadalupe Patiño Bocanegra**, quienes, gracias a su trabajo duro, apoyo, llamadas de atención, regaños y educación pude seguir estudiando una carrera universitaria, formándome para un buen futuro como profesionista. Si a alguien le debo que todas metas y sueños de aquí al futuro, es a ustedes, porque me guiaron por el buen camino en momentos difíciles de nuestra vida y me enseñaron a nunca rendirme sin importa la dificultad que se presente. Vienen más cosas por delante y se las dedicare a ustedes dos siempre sin olvidar todo lo que me enseñaron. Gracias papá y mamá, los amo.

### **A MI ASESOR.**

Quiero darle mi agradecimiento total al **Ing. Marcos Belisario González Loria** por la excelente asesoría que me brindo al momento de que yo escribiera mi tesis, por su suma paciencia al momento de atenderme, por todas sus recomendaciones, porque en verdad cultivo la semilla de pasión e investigación al momento hacer mi trabajo, sobre todo porque se nota que al igual que yo es una persona sumamente apasionada por la investigación en los campos de la industria automotriz, energías renovables y nuevas tecnologías. Enserio gracias por todo profe.

### **A LA UNIVERSIDAD.**

Estoy sumamente agradecido del poder ser parte de la mejor escuela de México y que me diera la oportunidad de formarme desde el nivel media superior en el Colegio de

Ciencias y Humanidades plantel Vallejo, en donde no solo pasé los mejores años de mi vida, sino también de conocí a mis mejores amigos. Que me formara como profesionista en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, donde con conocimientos, experiencias y de la mano de excelentes profesores profesionales pude formarme como ingeniero industrial, entre todos los profesores me gustaría mencionar al Ing. Gabriel Vázquez Castillo quien fue mi jefe de servicio social y me preparo sobre los demás a cómo hacer frente a los retos venideros que el campo profesional tiene para los recién egresados. Gracias por todo Universidad Nacional Autónoma de México.

¡MUCHAS GRACIAS!

“POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU”

## Índice.

Introducción.....	1
Problemática. ....	3
Justificación.....	4
Objetivo General. ....	5
1.0 Breve historia de la evolución del automóvil.....	6
1.1 Definición del automóvil. ....	6
1.2 Autos a vapor.....	7
1.3 Autos de combustión interna por combustibles fósiles.....	12
1.3.1 Ciclo de 4 tiempos del motor combustión interna. ....	12
1.3.2 Diferencias entre los motores diésel y de gasolina. ....	13
1.3.3 Autos a Gasolina.....	15
1.3.4 Automóviles a Diésel. ....	19
1.4 Autos eléctricos.....	21
2. Fuentes de energía para generar movimiento en los automóviles. ....	44
2.1 Petróleo.....	44
2.1.1 Gasolina.....	53
2.1.2 Diesel.....	55
2.2 Agua.....	56
2.2.1 Ciclo del agua. ....	57
2.2.2 Vapor. ....	59
2.2.3 Hidrógeno. ....	61
2.3 Carbón. ....	66
2.4 Energías Renovables.....	71
2.4.1 Energía solar. ....	72
2.4.2 Energía geotérmica.....	77
2.5 Biocombustibles.....	84
2.5.1 Biodiésel. ....	85
2.5.2 Bioetanol.....	92
3. Análisis de los energéticos considerando el impacto ambiental propiciado por el automóvil. ....	99
3.1 Acuerdos internacionales para detener el calentamiento global. ....	99
3.1.1 Protocolo de Kioto.....	100

3.1.2 Acuerdo de Paris. ....	105
3.2 Carbón. ....	107
3.3 Petróleo.....	112
3.3.1 ¿Qué es el smog?.....	113
3.3.2 ¿Qué es la lluvia ácida?.....	113
3.3.3 Gasolina y Diesel. ....	114
3.4 Biocombustibles. ....	117
3.4.1 Biodiésel. ....	119
3.4.2 Bioetanol.....	121
3.5 Agua.....	122
3.5.1 Vapor de agua. ....	122
3.5.2 Hidrógeno. ....	123
3.5.2.1 Hidrógeno verde y su producción. ....	125
3.5.2.2 Planta de hidrógeno verde en Puertollano, España. ....	127
4. Baterías de Litio, Celdas de combustible y los Capacitores. ....	130
4.1 Baterías de Litio. ....	130
4.1.1 ¿Como se fabrica una batería de Litio? .....	134
4.1.2 Contaminación de las baterías de Litio. ....	136
4.2 Celdas combustible. ....	141
4.2.1 ¿Qué es una celda de combustible?.....	141
4.2.2 ¿Diferencias entre una celda de combustible y una batería? .....	142
4.2.3 Ventajas y desventajas de la celda de combustible ante las baterías. ....	143
4.2.4 Tipos de celdas de combustible en la industria automotriz. ....	144
4.2.4.1 Celdas de combustible de membrana de intercambio protónico (PEMFC).....	145
4.2.4.2 Celdas de combustible alcalina (AFC).....	147
4.2.4.3 Celda de combustible de ácido fosfórico (PAFC). ....	148
4.2.4.4 Celda de combustible de carbonatos fundidos (MCFC) .....	149
4.2.4.5 Celda de combustible de Oxido solido (SOFC). ....	151
4.2.4.6 Celda de combustible de Metanol directo (DMFC). ....	152
4.2.5. Componentes de un automóvil de celdas de combustible de hidrógeno. ....	155
4.3 Capacitores. ....	156
4.3.1 Supercapacitores. ....	159

5.0 Hidrógeno verde como combustible principal de la industria automotriz. ....	164
5.1 La importancia del desarrollo de los autos a hidrógeno a futuro para la industria automotriz. ....	164
5.1.1 ¿Cuántos insumos se requieren para obtener hidrógeno? .....	169
5.2 Desalinización del agua de mar. ....	180
5.3 Ionización del agua. ....	184
5.4 Desarrollo de obtención de Hidrógeno a través del aprovechamiento de la radiación solar en México. ....	185
5.5 Desarrollo de la obtención del Hidrógeno a través del aprovechamiento de la energía geotérmica en México. ....	193
5.6 Teoría del auto a celdas de combustible que genere su propio hidrógeno de manera autónoma. ....	199
Conclusiones. ....	207
Glosario de términos. ....	210
Bibliografía .....	214

## Introducción.

Los medios de transporte para la humanidad han sido de vital importancia a lo largo de la historia para el movimiento, traslado, recolección tanto de personas como recursos y mercancías. Por lo que el ser humano se ha visto en la necesidad de innovar y evolucionar constantemente en su forma de transportarse, entre todos los vehículos que hemos utilizado, quizás el más importante es el automóvil, debido que es el vehículo de uso diario con mayor utilización en el mundo.

En el presente trabajo hablaremos de la evolución del automóvil a través del tiempo, de las tecnologías y de los combustibles que existen hasta la actualidad para generar movimiento en ellos, esto con el fin de centrarnos en la importancia de las nuevas formas de energía que existen para el movimiento de los mismos teniendo como prioridad el cuidado y sustentabilidad del medio ambiente a futuro.

Primero repasaremos los combustibles fósiles derivados del petróleo que son la gasolina y diésel, también veremos el carbón que es el mayor combustible para la generación de electricidad a nivel mundial. En el caso de los combustibles limpios como los biocombustibles, nos centraremos en que tan limpios pueden llegar a ser y que tan factible es su producción a nivel mundial en términos de consumo de recursos como el agua y suelo para el medio ambiente, calificando si son una mejor solución permanente para el planeta y la industria en general.

Veremos las tecnologías del presente a futuro en los automóviles eléctricos, como lo son las celdas de combustible y las baterías de litio, se muestra cuales son las ventajas y desventajas de este tipo de tecnologías y si en verdad son una opción sostenible a futuro.

Hablaremos de los distintos acuerdos internacionales para detener el cambio climático propiciado por el calentamiento global; como lo es el acuerdo de Paris, en donde nuestro país participa. Veremos que herramientas y métodos puede utilizar México para cumplir con dicho tratado y como puede beneficiarse económicamente.

Me centrare en la importancia del hidrógeno como el combustible del futuro, se muestra él porque es una de las mejores opciones para el cuidado del medio ambiente, además de que también propondremos una hipótesis de un automóvil eléctrico autónomo de energía, esto con la generación del combustible a través del agua. Dando dos propuestas para la obtención del hidrógeno esto a través de energías renovables, que beneficiarían la economía de nuestro país e incentivará la participación de las energías limpias para empezar a dejar de lado el petróleo poco a poco, lo que volvería a nuestro país mayormente competitivo a futuro en temas de producción de energía sin necesidad de dañar al medio ambiente y con más ventanas de producción de otros recursos que requieran hidrógeno como materia prima para su producción.

## Problemática.

El uso diario del automóvil por parte de la humanidad en más de 100 años ha causado un fuerte deterioro a lo largo de todo el planeta, esto debido al uso de combustibles fósiles que ha sido perjudicial para el medio ambiente, por lo que en el presente trabajo se dará a conocer las mejores alternativas que los seres humanos tenemos para el futuro de la industria automotriz.

Debido a esto es importante hacer conciencia social de la obtención energética a través de las energías renovables, también porque países como el nuestro no puede estar dependiendo por siempre del petróleo. Tenemos recursos que son altamente eficientes en materia energética para ir supliendo de poco a poco los combustibles fósiles como lo son la energía solar y la energía geotérmica, que a su vez pueden ser aprovechados para la generación de nuevos combustibles para el movimiento de los automóviles, tal es el caso del hidrógeno, que en este presente trabajo mostrará por qué la producción de hidrógeno es tan importante en materia de sustentabilidad tanto económica, ambiental y tecnológica para la sociedad del presente y del futuro.

## Justificación.

El propósito de esta investigación es dar a conocer los distintos de combustibles que tiene el ser humano para generar movilidad día con día en los automóviles con el fin de que impacto ambiental tienen cada uno de estos en el planeta, esto completándolo con todos los conocimientos adquiridos durante mi formación académica en mi vida universitaria.

El automóvil es el vehículo terrestre de mayor uso por el hombre a nivel mundial, sin él mismo estaríamos muy limitados en temas de transporte, fabricación y obtención de recursos, por lo que encontrar o dar a conocer la mejor opción a futuro que tenemos para preservarlo es importante para el futuro no solo de la industria, sino del cuidado del medio ambiente y del desarrollo de la tecnología.

Esta información obtenida para este trabajo de tesis fue obtenida de distintas fuentes de información, tanto bibliográficas, digitales, como conocimientos adquiridos en materias como ingeniería ecológica, electrónica industrial, diseños de sistemas productivos, cadena de suministro entre otras, esto para hacer una mejor distribución de información contenida en este presente trabajo.

## Objetivo General.

Generar un análisis del impacto ambiental de los vehículos eléctricos de celdas de combustible propulsados por hidrógeno verde comparados con los combustibles de los vehículos convencionales como los que son propulsados por hidrocarburos, biocombustibles y contra los autos eléctricos propulsados por baterías de litio que obtienen su energía eléctrica a través de la quema de combustibles fósiles como el carbón.

## Objetivos particulares.

- Recopilación de información sobre los contaminantes y residuos generados por los combustibles más comunes que usa el ser humano para generar movimiento en los automóviles comparándolos en contra del hidrógeno verde.
- Comparativa de contaminación a través de cálculos matemáticos entre el hidrógeno verde generado con energías renovables provenientes de la energía solar y geotérmica en contra de las plantas termoeléctricas y hidrocarburos.
- Propuesta de la creación de plantas de hidrógeno verde en el territorio nacional para su producción en el uso de los automóviles a nivel mundial como combustible base en estos.
- Dar la propuesta al mercado de 3 tipos automóviles base al hidrógeno como su combustible principal, dos eléctricos a celdas de combustible, uno que utilice hidrógeno ya procesado, otro que pueda generar su propio hidrógeno a partir de agua salada ionizada y un último que sea de combustión interna que también utilice hidrógeno verde como combustible

## 1.0 Breve historia de la evolución del automóvil.

### 1.1 Definición del automóvil.

Antes de hablar de la historia del automóvil a través del tiempo, se explicara cuál es su definición, esto con el fin de poder explorar las alternativas de movilidad a futuro. Adicionalmente, para dar información más clara, completa sobre los inicios de los distintos tipos de automóviles a lo largo de la historia y saber cómo es que la tecnología ha evolucionado con ellos.

Según la Real Academia Española (RAE) podemos definir al automóvil como:

“Que se mueve por sí mismo. Dicho principalmente de los vehículos que pueden ser guiados para marchar por una vía ordinaria sin necesidad de carriles y llevan un motor, generalmente de combustión interna o eléctrico que los propulsa”

Es decir, es un vehículo que es capaz de desplazarse con su propia fuerza motriz, que puede ser operado de manera autónoma o manual, esto a través de un motor, ya sea de combustión interna, un motor de agua, o energía eléctrica. Siempre propulsado por un medio de energía, que pueden ser combustibles de medio natural (Biodiésel o vapor de agua), combustibles fósiles (Gasolina o Diésel) y/o electricidad.

Esta definición también es aplicable a vehículos terrestres como las motocicletas, sin embargo, nos centraremos únicamente en el automóvil, dado que es el vehículo terrestre con mayor número de presentaciones utilizado por el hombre y con mayor evolución a lo largo del tiempo.

## 1.2 Autos a vapor.

Muchos consideran que el automóvil fue una invención del ingeniero Carl Benz en el siglo XIX, esto cuando creó un vehículo que funcionaba con un motor de combustión interna, pero de esto hablaremos más adelante, el automóvil existe desde mucho tiempo antes y no necesitaba de energías fósiles para andar, ocupaba de un combustible más amigable para el medio ambiente, el cual es el agua en forma de vapor.

Los automóviles a vapor existen desde el siglo XVII, cuando Ferdinand Verbiest un misionero jesuita e inventor, creó un juguete a encargo del emperador de China Kanxi, el cual era una carreta de 5 ruedas que tenía una caldera esférica encima, una turbina en forma de rueda, y engranajes de 90° que propulsaba el mismo vehículo sin necesidad de ser jalado ni empujado por ningún animal o súbdito, cabe mencionar que la quinta rueda del vehículo tenía la función del volante. (Cucalón, 2021). A continuación, se muestra el auto en cuestión en la Fig.1.1.



Fig.1.1 Foto obtenida de [1]

No solamente fue el primer automóvil en ser creado, técnicamente fue el primer vehículo a vapor que se inventó. Sin embargo, era sumamente tosco y pesado, además de que no podía transportar a nadie, por lo que su invención fue dejada de lado y solo fue tomada como un simple juguete.

En el siglo XVIII, el ingeniero militar Nicolás-Joseph Cugnot utilizó el pesado motor de dos pistones diseñado por los ingenieros Thomas Newcomen y James Watt, era alimentado con una caldera de vapor de agua y fue montado sobre una carroza, para dar forma al primer automóvil que podría ser conducido por el hombre. Era un pesado tractor que tenía forma de triciclo que era utilizado para poder llevar artillera pesada de campo. (Britannica, 2022). En la Fig. 1.2 se muestra el tractor.



Fig. 1.2 Tractor de Nicolás-Joseph Cugnot. Foto obtenida de [2].

Cugnot fabricó dos de estos tractores, el primero en el año 1769 y el segundo 1770, para la creación de estos dos vehículos se basó en las notas del físico francés Denis Papin, todo a la suma de distintas tecnologías de la época. De estos dos tractores solo queda uno que está en el Conservatorio Nacional de Artes y Oficios de París, Francia.

Los problemas con ellos era el suministro constante de agua hacia la caldera, no podían recorrer grandes distancias y el mantenimiento de los mismos era bastante complicado, por lo que Cugnot nunca retomó el proyecto.

En el siglo XIX, en el año de 1875, en París, Francia, el ingeniero Amédée Bollee diseñó y fabricó L'Obéissant (El obediente), vehículo a vapor que ya empezaba a

parecerse a lo que podemos ver como un autobús, tenía la capacidad de llevar a bordo 12 personas y llegar a una velocidad de 40 km/h. Pesaba casi 5 toneladas, haciéndolo un vehículo demasiado pesado, tenía una caldera en la parte trasera, alimentando al motor que permitía toda la tracción del sistema motriz.

Logró recorrer los 230 km que separan la ciudad de Lemans a la ciudad de Paris en tan solo 18 horas, siendo el primer automóvil en recorrer Lemans, donde se lleva la competencia más importante del mundo automotriz, las 24 horas de Lemans. En la Fig.1.3 se muestra “L'Obéissante”.



Fig. 1.3 Imagen del “L'Obéissante”. Fotografía obtenida de [3].

El gran inconveniente de este vehículo, es que para la época era bastante grande y pesado, por lo que Bollee no logró vender ningún ejemplar de su invención, dado que la gente de la época, prefería transportes más pequeños y menos pesados, que no ocuparan tanto espacio, esto lo llevó a mejorar su producto dos años después.

En el año de 1878 Bollee presenta “La Mancelle”, haciéndolo más liviano que L'Obéissante, pesando tan solo 2750 kg, este ejemplar ya tenía la forma básica de los automóviles modernos, teniendo los asientos delanteros y equipo de manejo al frente

en el automóvil, además de que fue el primer auto en tener tracción trasera y suspensión independiente en las 4 ruedas. También fue el primer automóvil de producción en serie de la historia, vendiendo hasta 50 unidades. En la Fig.1.4 “La Mancelle”.



Fig. 1.4 Fotografía de “La Mancelle”. Imagen obtenida de [4].

Posteriormente, creó dos ejemplares más, “La Nouvelle” una versión mejorada de la “La Mancelle” y “La Rapide”, este último podía alcanzar una velocidad de 60 km/h, como dato curioso a este vehículo Bollee le agregó una campana para tocarla en los momentos de tráfico, siendo así la antecesora del claxon actual. Dejo de producir vehículos a vapor dado que en el año 1885 Carl Benz apareció con el primer automóvil de combustión interna, siendo más pequeño y liviano que sus autos de vapor, además cumplía de mejor manera las necesidades de la gente en aquella época.

Durante el siglo XIX a inicios del siglo XX hubo muchos autos de vapor, que al inicio eran dominantes en el mercado sobre los autos de combustión interna y eléctricos, sin embargo, los autos de combustibles fósiles se fueron posicionando en el mercado, dejando de lado los autos a vapor poco a poco.

El último auto a vapor del que se tiene conocimiento se desarrolló en 2007, viendo la luz en 2008, el British Steam Car Breaks, también conocido como Inspiration, fue diseñado por Glyne Bowsher y desarrollado por el equipo británico de Steam Car Challenge. Inspiration es un automóvil híbrido que tiene el récord mundial de velocidad para un vehículo de vapor terrestre, con una velocidad promedio de 225 km/h. Es el único automóvil que mezcla 3 tipos de tecnologías de desplazamiento para su movimiento, combustibles fósiles, baterías eléctricas y calderas para impulsarse a hiper velocidad. Fue un proyecto que nunca se retomó y fue guardado en el Museo Nacional del Motor en Beaulieu, Inglaterra. En la Fig.1.5 se muestra el automóvil.



Fig. 1.5 Fotografía de "Inspiration". Imagen obtenida de [5].

### **1.3 Autos de combustión interna por combustibles fósiles.**

Como hemos aprendido con los automóviles a vapor, es necesaria la investigación y notas previas de otras personas para el desarrollo de nuevos productos a futuro, tal es el caso de motor de 4 tiempos desarrollado por el ingeniero Nicolaus Otto en 1876 y el estudio del ciclo termodinámico de 4 tiempos de los motores de combustión interna del ingeniero Alphonse Beau de Rochas en 1861. Estos dos estudios sirvieron de base para que Carl Benz retomara sus notas y se guiara para el diseño e invención del primer automóvil a combustión interna propulsado por gasolina.

En 1893 el ingeniero Rudolf Diésel inventa y patenta el motor que actualmente lleva su apellido (el motor diésel), esto cuando trabajaba en la compañía MAN (Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg), buscando un motor de alto rendimiento para transportes de carga pesada. En el año de 1900, presenta su motor en la exposición mundial de Paris, Francia, usando como combustible aceite de cacahuete.

#### **1.3.1 Ciclo de 4 tiempos del motor combustión interna.**

Antes de hablar de la historia de los automóviles de combustión interna propulsados por combustibles fósiles, primero explicaremos el estudio de 4 tiempos de un motor de combustión interna y la diferencia de los dos principales combustibles fósiles más usados en el mundo, el diésel y la gasolina.

El estudio de 4 tiempos (4t) de un motor de combustión interna consiste en los siguientes pasos:

- 1) Admisión: Se produce cuando los pistones de un motor descienden con las válvulas de admisión abiertas y válvulas de escape cerradas dejando ingresar dentro de los cilindros aire fresco y combustible.

- 2) **Compresión:** Suben los pistones con las válvulas cerradas, comprimiendo la mezcla de aire y combustible, los pistones llegan a su punto muerto superior, se genera el encendido mediante una chispa eléctrica.
- 3) **Expansión:** Se genera el movimiento descendente del pistón mediante la explosión que libera energía aprovechándola por el motor.
- 4) **Escape:** Con la inercia del cigüeñal se abre la válvula de escape y se mantiene cerrada la de admisión, los pistones suben y expulsan los gases al exterior. Terminando este último paso, se repite el ciclo, teniendo así el movimiento en el motor de los automóviles

En la Fig.1.6 se muestra una imagen de los 4 tiempos de un motor de combustión interna:

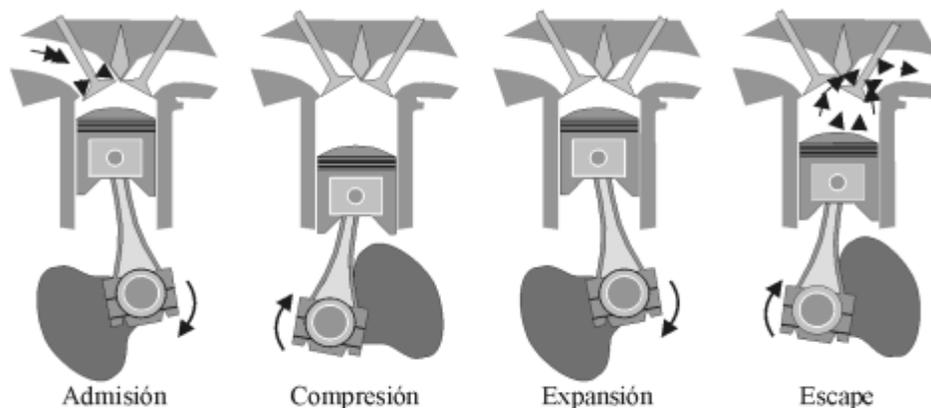


Fig.1.6. Ciclo de 4 tiempos de los motores de combustión interna. Imagen obtenida de [6].

### 1.3.2 Diferencias entre los motores diésel y de gasolina.

La diferencia radica en que los motores a gasolina necesitan de un agente (como las bujías) que permitan el fin de los dos últimos ciclos del motor, dado que no generan una compresión tan fuerte que permita la combustión por sí sola, caso contrario a los motores diésel que no necesitan de una chispa, sino que es suficiente con la mezcla de aire y diésel, provocando una mayor temperatura y compresión, que termina

denotando una combustión por sí sola sin la necesidad de un tercer agente que impulse al ciclo. En la Fig. 1.7 muestra una imagen de lo ya comentado.

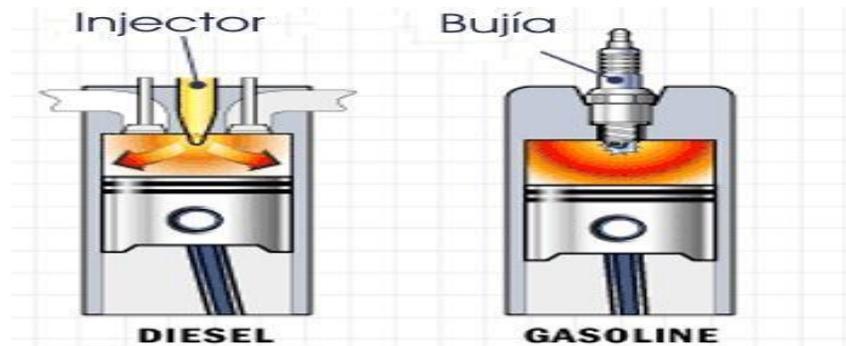


Fig. 1.7. Imagen ilustrativa de la diferencia de combustión entre un motor diésel y un motor a gasolina. Ilustración obtenida de [7].

Hablando meramente de combustibles la diferencia radica en que la gasolina es más volátil y altamente inflamable, mientras que el diésel, es más denso y aceitoso, por lo que necesita ser calentado previamente para producir una combustión que genere movimiento en el motor.

Dado que el diésel necesita un mayor punto de temperatura que la gasolina, es un mayor contaminante para el medio ambiente. Sin embargo, los motores que funcionan con diésel presentan ventajas a los motores a gasolina, como tener un mejor rendimiento de combustible, debido a lo ya explicado a la mayor compresión que se presenta en ellos, esto permite que se dé mejores resultados en recorridos de largas distancias gastando menos combustible que la gasolina.

Sin embargo, el motivo por el que la mayoría del mercado automotriz desde el siglo pasado es dominado por los autos a gasolina, es porque desde sus inicios no requerían ser calentados con tanto tiempo de anticipación como los autos a diésel, cumpliendo mejor con las necesidades de la gente de la época, por esto la mayoría de los consumidores preferían comprarse un auto a gasolina que un auto a diésel. Esto ocasionó que del siglo XIX al siglo XX, los ingenieros e investigadores se centrarían

más en el desarrollo de automóviles a gasolina que a diésel por la demanda histórica que tenía la gasolina desde ese periodo de tiempo hasta la actualidad.

### 1.3.3 Autos a Gasolina.

En el año de 1878 Carl Benz empezó desarrollando un motor de combustión interna a base de gasolina de dos tiempos, mejorándolo a uno de cuatro tiempos, siendo patentando en el año de 1885 y un año después dicho motor lo montó en una carroza de tres ruedas, dando el nacimiento del primer automóvil propulsado a gasolina, nombrándolo como “Benz Patent-Motorwagen” (Coche a motor patentado Benz). En la Fig.1.8, una fotografía de dicho vehículo.



Fig. 1.8 Carl Benz sentado en su vehículo en el año de 1925. Fotografía obtenida de [8].

A pesar de su revolucionario invento, nadie quería comprar el vehículo, dado que la gente desconfiaba que pudiera dar largos recorridos, entonces en el año de 1888 la esposa de Benz, Bertha, hizo un recorrido de más de 100 km para ir a visitar a su

madre, demostrando que el vehículo podría cumplir con el objetivo de desplazarse a grandes distancias, teniendo éxito en su misión.

Con esto quedó demostrado que el vehículo podría cumplir con el uso y necesidades de la gente como vehículo de transporte, sirviendo como buena publicidad para incentivar su venta. Para el año de 1899 ya tenía una producción en serie de 572 automóviles, dejando por completo en el olvido otras alternativas de transporte como el vapor y otras que veremos más adelante como los autos eléctricos.

Sin embargo, antes de la invención de Benz en el año de 1885, los ingenieros Wilhelm Maybach y Gottlieb Daimler ya habían desarrollado también un motor de 4 tiempos de un solo cilindro que ya contaba con carburador, lo montaron en una bicicleta, dando nacimiento a lo que podría ser la primera motocicleta de la historia, el nombre del motor era “El motor del reloj del abuelo”. Inspirados con el nacimiento del Benz Patent-Motorwagen. En el año de 1889 lanzan su primer automóvil que a diferencia del de Benz retoma el trabajo de Bollee con 4 ruedas y dos cabinas, una para el conductor y otra para pasajeros traseros. En la Fig. 1.9 una fotografía del automóvil de Maybach y Daimler



Fig.1.9 Gottlieb Daimler sentado en la parte de atrás del vehículo que desarrolló en conjunto a Maybach. Imagen obtenida de [9].

Un año después ambos fundan la compañía “Daimler Motoren Gesellschaft” (DMG), dicha compañía terminó fusionándose con la compañía de Benz en el año de 1929, naciendo así la prestigiosa marca de automóviles Mercedes-Benz.

Sin embargo, la persona encargada de terminar de darle el puesto que tiene hoy en día al automóvil como el vehículo de uso diario para el transporte no fue otra persona que Henry Ford. Fred Reden había desarrollado vehículos a vapor que ayudarían en la industria agrícola, y en el año 1872 Ford conoció uno de estos, quedando maravillado con la industria del automotor.

En el año de 1893 entra a trabajar en la compañía Edison, donde fue ascendido al puesto de jefe de planta, en donde inspirado por los autos de Benz, Daimler y Maybach comenzó a desarrollar motores a gasolina, en el año de 1896 vio la luz su primer cuatriciclo propulsado a gasolina. Un simpático automóvil con apenas espacio para 2 personas, en la Fig. 1.10 se muestra una foto del mismo.



Fig.1.10. El cuatriciclo de Ford, donde Henry Ford está sentado con su esposa.

Fotografía obtenida de [10].

Después de esto, Henry Ford decide salir de la compañía de Edison y fundar sus propias compañías orientadas al mundo automotriz, en la primera Henry Ford Company, donde sale por diferencias con sus accionistas y luego en el año de 1903

funda Ford Motor Company junto a los hermanos John y Horace Dodge. Con esta transformó el automóvil como producto artesanal que sólo se fabricaba en modestos talleres y con precios excesivamente caros para la gente de clase acomodada, a productos de fabricación en serie masiva que empezaron a desarrollarse en fábricas de mayor escala y con precios más modestos para la clase obrera trabajadora, adoptando el sistema de producción en serie del ingeniero Frederick Taylor.

Henry Ford retoma el concepto de automóvil para familias con “La Mancelle” de Bollee y crea el Ford modelo T, de este automóvil se crean todos los segmentos del automóvil actual (familiares, de trabajo y deportivos), debido a que Ford lo fue modificando por las necesidades del mercado, primero adaptándole una caja de carga, convirtiéndolo en el primer Pick Up de la historia, posteriormente lo hizo más liviano creando distintos autos de carreras, naciendo la diferenciación entre autos de una misma marca y dando inicio a los distintos tipos de categorías y modelos de los automóviles. En la Fig. 1.11 se muestra una fotografía del modelo T de Ford.



Fig.1.11. Fotografía del Ford Modelo T recién salido de la línea de producción.

Fotografía obtenida de [11].

### 1.3.4 Automóviles a Diésel.

En el año de 1923, Mercedes Benz presentó el primer automóvil propulsado a diésel de la historia, con un motor OB2. Era un invento revolucionario para la época, dado que a comparación de un motor de gasolina tenía una eficiencia en ahorro del 86% de combustible. Dicho vehículo (al igual que el Ford T) se derivaron varios modelos de camiones de carga y trabajo.

En las Fig.1.12 y Fig. 1.13, se mostrarán dos imágenes de distintas presentaciones del camión de Mercedes Benz, en la primera de estas presento como se veía al inicio y en la segunda se muestra cómo se adaptó a otro tipo de camión de carga.

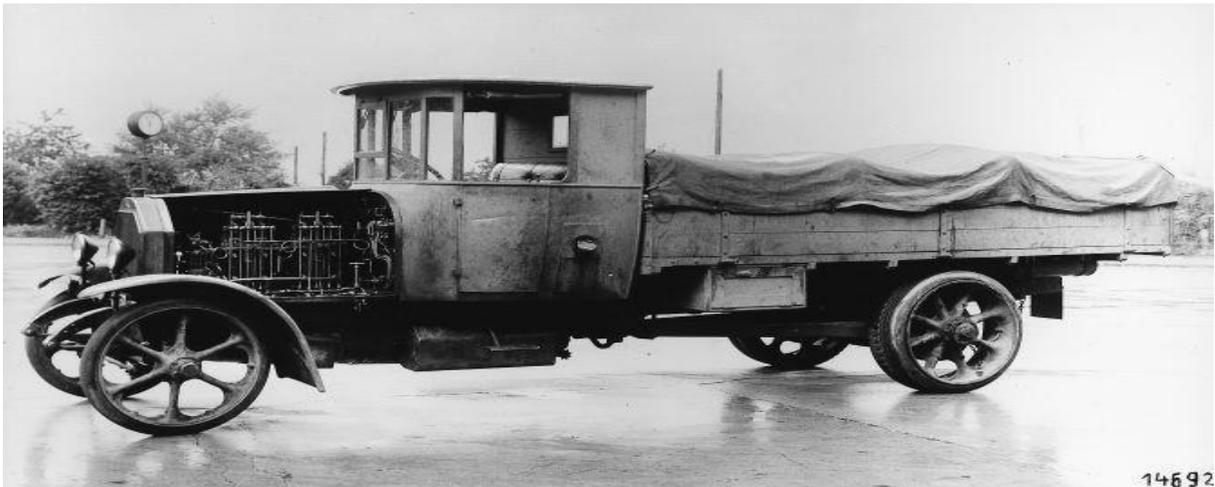


Fig.1.12. Fotografía del primer camión Diesel de la historia. Fotografía obtenida de [12].

En 1933 Mercedes-Benz sigue con la innovación de los automóviles diésel, ahora presentando un modelo de uso particular “El Mercedes Benz 260 D”, sin embargo, no era la única compañía que buscaba apostar por motores diésel, compañías rivales como Hanomag presentaba su "Hanomag Rekord" y la compañía francesa Citroen el “Citroen 7U”, pero ninguno de estos dos tuvo éxito como si lo tuvo el auto de Mercedes-Ben. En la Fig. 1.14 se mostrará una fotografía del “El Mercedes Benz 260 D”.



Fig.1.13 Fotografía del camión de Mercedes Benz en otra presentación de trabajo.  
Fotografía obtenida de [13].



Fig.1.14. Fotografía de “El Mercedes Benz 260 D”. Fotografía obtenida de [14].

Fue durante la segunda guerra mundial cuando hubo un mayor avance en los motores diésel, debido a los distintos tipos de vehículos de carga pesada que había para la época. Mercedes-Benz junto a otras compañías como Peugeot, Renault, Volkswagen,

etcétera; retomaron el automóvil diésel de uso particular en distintos tipos de modelos, los cuales han ido evolucionando y estando presentes en el mercado hasta la actualidad.

#### **1.4 Autos eléctricos.**

En la actualidad la mayoría de la gente considera que los automóviles eléctricos son invención tecnológica del presente siglo, sin embargo, esto no es así, antes de los ingenieros ya mencionados en este escrito como Bollee, Benz, Maybach y Daimler, ya se empezaba con el desarrollo de vehículos propulsados a electricidad.

En el año de 1837, el Ing. Robert Davison demostró que un vehículo era capaz de andar con electricidad, esto al presentar una locomotora que funcionaba con una batería de hierro-zinc no recargable. Aunque no era muy funcional y era bastante inadecuado para ser un vehículo de carga, sus notas sirvieron de estudio para que en el año de 1881 el Ing. Gustave Pierre Trouve diseñara y fabricara el primer automóvil eléctrico de la historia.

Era un triciclo que funcionaba con una batería de Plomo-Ácido, que iba conectada a dos motores tipo Siemens, que propulsaban una gran rueda a través de dos cadenas, (este mismo tipo de mecanismo también lo usó en un bote teniendo éxito en ambas partes). Así mismo inspirados en su trabajo un año después los ingenieros ingleses William Ayrton y John Perry diseñaron y desarrollaron su propia versión del triciclo de Trouve, usando 10 baterías de Plomo-Ácido que también iban conectadas a un motor eléctrico de corriente continua. El automóvil podía llegar a una velocidad de 14 km/h, además fue el primer vehículo de la historia en contar con iluminación eléctrica. En la Fig. 1.15, se mostrará una imagen del automóvil de Ayrton y Perry.



Fig.1.15 Triciclo eléctrico de Ayrton y Perry. Imagen obtenida de [15].

El automóvil de Ayrton y Perry se vio frenado en su desarrollo porque en esos años en Inglaterra había una ley llamada “La ley de Bandera Roja”, también conocida como la ley de locomotización de 1865, la cual buscaba frenar lo que se consideraba el exceso de velocidad por el uso de transportes a vapor y la consiguiente perturbación a los caballos. El vehículo, aunque no era a vapor, si incumplía con el índice de velocidad por lo que la ley igual se impuso ante ellos.

El concepto de automóvil eléctrico siguió siendo desarrollado en Estados Unidos por los inventores George E. Cabot y Charles Holtzer, cuando en el año de 1895 su compañía "Holtzer-Cabot", desarrolló un automóvil eléctrico de 4 plazas que podía recorrer 26 km/h, siendo el primer automóvil eléctrico en la historia de dicho país y además el primer automóvil en pertenecer a un proyecto de taxis en el mundo.

El vehículo constaba de 44 baterías de Plomo-Ácido que iban conectadas a dos motores de  $\frac{1}{2}$  caballos de fuerza proporcionando 88V, tenía una endeble dirección en las ruedas traseras y afirmaba un alcance máximo de 48km/h. El problema con dicho automóvil es que la gente lo veía como una simple moda pasajera sin valor a futuro, entonces por la muy poca demanda que tenían estos automóviles, “Holtzer-Cabot” dejó de producirlos.

Sin embargo, en el año de 1894 los ingenieros Henry G. Morris y Pedro G. Salom querían demostrarle al mundo que los automóviles eléctricos no eran un producto de moda pasajera, sino el futuro de la industria del automotor. Es así como presentan el “Electrobat”, un pequeño tranvía que ya no necesitaba de rieles para andar y que solo podía ir de frente, estaba conectado a 50 baterías de Plomo-Ácido, era lento, tosco, pesado y solo podía andar por un limitado tiempo, por lo que Morris y Salom deciden mejorar su vehículo al “Electrobat II”, con él mismo también fundan su compañía “Morris & Salom Electric Carriage and Wagon Company”, con la que el automóvil entró en producción en serie.

El “Electrobat II” era más ligero, sustituía las ruedas de acero por neumáticos, era tracción trasera y tenía dos motores de 1.5 caballos de fuerza (1.1 kW) que los impulsaban 25 millas (40 km) por carga a 20 mph (32 km/h). En el año de 1895 inscribieron al vehículo a una competencia de velocidad, donde no le fue muy bien, pasando a ser mala publicidad para el producto y por lo que decidieron no seguir en el desarrollo de vehículos eléctricos acompañado del creciente empuje que tenían los automóviles a combustión interna. En la Fig.1.16 una fotografía del “Electrobat II”.

En el 1896 el Ing. G. Julien diseñó un automóvil eléctrico de uso personal para la reina de España, estaba montado sobre una carroza de la compañía “Thruppp & Marbeley de Londres”. El automóvil tenía dirección delantera y era propulsado por una batería primaria que pesaba 90 kg. Contaba con iluminación eléctrica mediante lámparas incandescentes y también usó una placa de Zinc en un electrodo del mismo material para conectar la batería, esto sentó las bases de la forma de conectar las baterías de Zinc actuales, lo que se consideraba un avance tecnológico para la época

Ese mismo año Walter Bersey construyó en Londres, Inglaterra, un auto eléctrico que utilizaba baterías secas intercambiables. Utilizaba dos motores que impulsaban cada una de las ruedas traseras a través de una cadena, tenía espacio para dos personas alcanzando una velocidad de 19 km/h y un alcance de 56 km de recorrido máximo.



Fig.1.16 Electrobat II. Imagen obtenida de [16].

Este vehículo destacó por el uso de frenado eléctrico regenerativo (FEG) por primera vez en la historia en un automóvil eléctrico. Este método consiste en hacer uso de la propiedad de un motor de accionamiento eléctrico para actuar como un generador que carga la batería cuando las ruedas del vehículo lo sobrecargan mecánicamente. Esta recarga el generador del motor eléctrico lo suficiente como para proporcionar un mayor sistema de frenado y al mismo tiempo aumenta la energía almacenada en la batería del automóvil en un 10%, naciendo así las primeras baterías recargables de la historia.

En 1897 se retira la ley “La ley de Bandera Roja” en Inglaterra, con lo que el desarrollo de automóviles eléctricos en dicho país floreció, los taxis eléctricos se extendieron de Nueva York a Londres, de modo que en el mismo año ya había 13 taxis alquilados en Estados Unidos y 15 en Inglaterra.

Los taxis ingleses eran gestionados por la compañía estadounidense “American Electric Vehicle Company”, con el vehículo “Victoria Hansom Cab”, que fue diseñado y desarrollado por el Ing. Clinton E. Woods, este vehículo se empezaba a parecer a los automóviles modernos, dejando de ser una simple carroza con baterías y además tenía un alcance de 48 km/h. Sin embargo, al igual que los taxis de "Holtzer-Cabot", desaparecieron por el crecimiento de la población de autos de combustión interna a nivel mundial. En la Fig. 1.17 una fotografía del Victoria Hansom Cab.



Fig.1.17. Fotografía del Victoria Hansom Cab. Imagen obtenida de [17].

En inicios del siglo XX se empezó con la verdadera pelea decisiva en el mercado a nivel mundial por qué tipo de automóvil se quedaría a dominar el presente siglo, esto entre los automóviles a vapor, gasolina y electricidad. En Estados Unidos, aunque parezca difícil de creer por lo anterior comentado, la gran mayoría del parque vehicular era a vapor con 1684 unidades, seguidas de los automóviles eléctricos con 1575 unidades y 963 unidades eran automóviles a gasolina.

La razón por la que los automóviles a vapor eran mayormente consumidos sobre los eléctricos y a gasolina en América, se debía a dos factores; el primero es que en el continente americano hay una mayor concentración de agua que en el europeo, por lo que alimentar a las grandes calderas para mover a los vehículos no era un inconveniente. Segundo por la cultura de la gente en el continente sobre la preferencia de vehículos grandes y robustos, a diferencia de los europeos que prefieren autos más pequeños y estilizados.

Sin embargo, la razón por la que los automóviles eléctricos le seguían muy de cerca en ese tiempo el automóvil más rápido del mundo era eléctrico, lo que se convertía en

buena publicidad para dicho mercado. Dicho automóvil era el “Jamais Content”, fue diseñado por el Ing. Camile Jenatzy, diseñó y fabricó el vehículo en Francia únicamente para las carreras

El automóvil tenía un diseño parecido al de un cohete, que le daba un cuerpo aerodinámico, su carrocería estaba hecha de una aleación de aluminio con tungsteno, tenía ruedas de acero y como dato curioso fue de los primeros automóviles en usar las llantas de la compañía Michelin. En 1899 el automóvil de Jenatzy batió el récord mundial de velocidad en Francia, logrando una velocidad de 98 km/h.

Este récord tardó 3 años en ser superado y fue por un auto a gasolina, esta fue una de las razones por la que los automóviles a gasolina desplazaron a los autos eléctricos y a vapor en el gusto de los americanos. En la Fig. 1.18 una fotografía del auto de Jenatzy.



Fig.1.18 “Jamais Content” con Camile Jenatzy conduciéndolo. Imagen obtenida de [18].

En 1898 Fernindan Porsche diseña y fabrica el primer automóvil híbrido de la historia, el “Lohner Porsche”, iba tanto propulsado a gasolina como electricidad, contaba con un motor de combustión interna con cuatro motores eléctricos (aunque en algunos

modelos solo contaban con 2), pesaba 4 toneladas y tenía una batería de 270 W/h. En la Fig.1.19 una fotografía del “Lohner Porsche”.

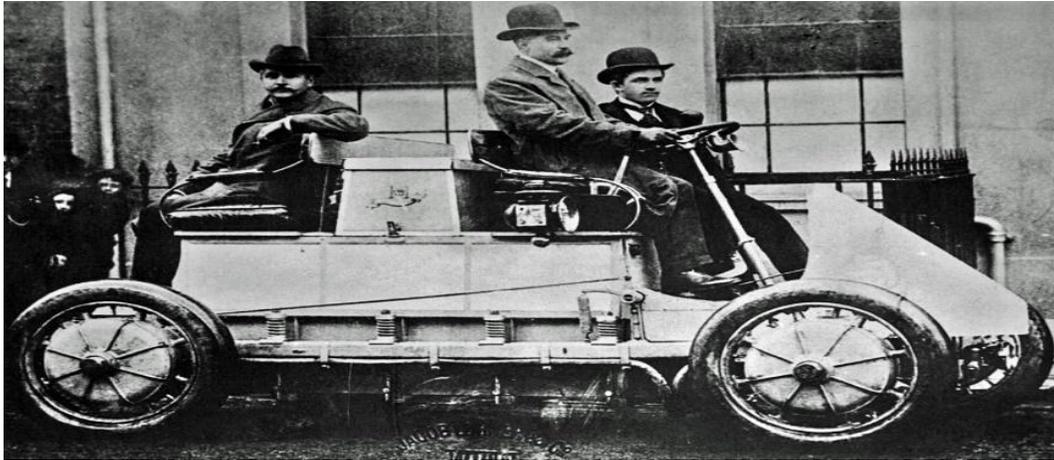


Fig.1.19. Fotografía de Fernindan Porshe en el “Lohner Porsche”, junto a sus colegas. Fotografía obtenida de [19].

Del año 1900 al año 1912 se conoce como la edad dorada de los automóviles eléctricos, esto empezó con la pelea definitiva en el mercado contra los automóviles a gasolina que igualmente empezaban con un rápido desarrollo. En este periodo de tiempo, la “Compañía de Vehículos Eléctricos Kriéger” del ingeniero frances Louis Antoine Kriéger, desarrolla el “Brougham”, un distinguido automóvil eléctrico que era uno de los pilares de la industria eléctrica automotriz.

El Brougham constaba de dos motores eléctricos Postel-Vinay que accionaban las ruedas delanteras, con un desplazamiento máximo de 80 km, teniendo hasta siete velocidades y marcha trasera. Pesaba unas dos toneladas con una velocidad máxima entre 29 a 32 km/h. Como dato curioso fue uno de los primeros automóviles en tener el título de “limusina”, dado que era uno de los automóviles favoritos de la aristocracia europea. En la Fig. 1.20 una fotografía del “Brougham”.



Fig.1.20. Fotografía del Brougham, Imagen obtenida de [20].

Dos años más tarde lanza una versión mejorada de dicho vehículo, el “Landaulette” y posteriormente una tercera con el nombre de “Electrolette”, coincidía con los modelos anteriores en ofrecer dos plazas y en moverse mediante dos motores, en esta ocasión tenían una potencia de tres caballos. Sus baterías Fulmen iban bajo la carrocería. Su autonomía era de 104 km con una única carga y alcanzaba unas velocidades de entre 19 y 24 km/h. Adicionalmente a estos 3 automóviles eléctricos, la compañía también saca un automóvil híbrido, el “Kriéger-Brasier”. En la Fig. 1.21 una fotografía de dicho vehículo.

En América al igual que en Europa también se fundaban nuevas compañías automotrices, una de ellas fue “Compañía Automovilística Eléctrica Anderson”, presentando su modelo “Detroit eléctricos” en 1907. Necesitaba de 17 baterías de Níquel, y tenía un peso de una tonelada, podía llegar a recorrer hasta 34 km/h. En la Fig. 1.22 una fotografía de dicho vehículo.

Aunque ambas compañías empezaron a tener propuestas interesantes para el mercado automotriz, la gente comenzó poco a poco a desplazar a los automóviles eléctricos, dado que marcas como Ford Motor Company, Dodge y Mercedes Benz, empezaron a acaparar el mercado, mostrando más propuestas de automóviles y

mayor diversidad en la industria, lo que terminó desplazando a ambas compañías, Krieger dejó de producir automóviles eléctricos en 1909 dado que Mercedes Benz en Europa dominaba el mercado, lo mismo con el mercado americano siendo dominado por Ford, dejando de producir automóviles eléctricos hasta 1939 esto por el inicio de la segunda guerra mundial.



Fig.1.21. Fotografía del Krieger-Brasier". Fotografía obtenida de [21].



Fig.1.22. Fotografía del "Detroit eléctricos". Fotografía obtenida de [22].

La razón principal era y es que los automóviles eléctricos siempre han sido más caros que los automóviles a combustión interna. Un ejemplo es que un Detroit Eléctico costaba no menos de 1750 dólares, mientras que un Ford modelo T costaba menos de una tercera parte con 550 dólares. Y en la actualidad un Tesla Model 3 cuesta 55,758.28 dólares, mientras que un Ford Fusión cuesta 27,605.84 dólares.

Otra de las razones por la que la edad dorada del automóvil eléctrico acabó, fue debido a la primera guerra mundial, en ese tiempo necesitaban vehículos que tuvieran un mayor alcance y pudieran cargar de más peso, cosa que todavía no podían hacer los automóviles eléctricos por el alcance de las baterías de aquel entonces.

Como en el caso de los automóviles de combustión interna, que van de la mano con la evolución de los motores, los autos eléctricos van de la mano con el desarrollo de las baterías eléctricas y de las celdas de combustible, a inicios de siglo aunque ya estaban los automóviles mencionados, aún no podían competir en contra del alcance de los automóviles a gasolina y porque las baterías siempre han sido más caras que los motores de combustión interna y que la misma gasolina, esto presente hasta el día de hoy.

De 1925 a 1960 se le conoce como la edad oscura de los automóviles eléctricos, dado que la mayoría de compañías que fabricaban autos eléctricos cerraron o quedaron en bancarota. Si no fuera porque en países como Inglaterra en las décadas de 1940 a 1950, se estableció el uso de automóviles eléctricos para la entrega de leche, los autos eléctricos hubiera desaparecido por completo, aunque esto sirvió de mala publicidad, dado que la gente comenzó a ver a los autos eléctricos como simples camiones repartidores de leche.

En 1941 Peugeot presenta el "Peugeot VLV" (Light City Vehicle), estaba equipado con un motor eléctrico de 2 CV de potencia montado en la parte trasera, que le permitía alcanzar una velocidad máxima de 32 km/h. Se alimentaba de un paquete de baterías de Níquel-Cadmio que se situaban bajo el cofre del automóvil, que le proporcionaba una autonomía máxima de unos 80 km. La razón del poco éxito de este automóvil, fue

la salida al mercado de este durante la segunda guerra mundial, los alemanes ocuparon Francia y la marca Peugeot que es de dicho país terminó sufriendo los estragos de los nazis, por lo que cuando terminó el conflicto armado la compañía sufrió problemas económicos a causa de la guerra y para recuperarse lo más pronto posible sabían que la mejor opción no era comercializar automóviles eléctricos sino de combustión interna. En la Fig. 1.23 una fotografía del “Peugeot VLV”.



Fig.1.23. Fotografía del “Peugeot VLV” mostrando sus baterías. Fotografía obtenida del [23].

En 1960 apareció un nuevo interés por los automóviles eléctricos, esto porque la contaminación de los automóviles a combustión interna empezó a notarse, generando una preocupación en la gente. Uno de los automóviles que empezó con esta nueva ola fue el “Henney Kilowatt”, construido sobre la carrocería del “The Renault Dauphine” de la compañía Renault, constaba de 18 baterías de 2 volts, conectado a 4 motores eléctricos, con un alcance de hasta 105 km y con un peso de menos de una tonelada.

En la Fig. 1.24 una fotografía de dicho vehículo.

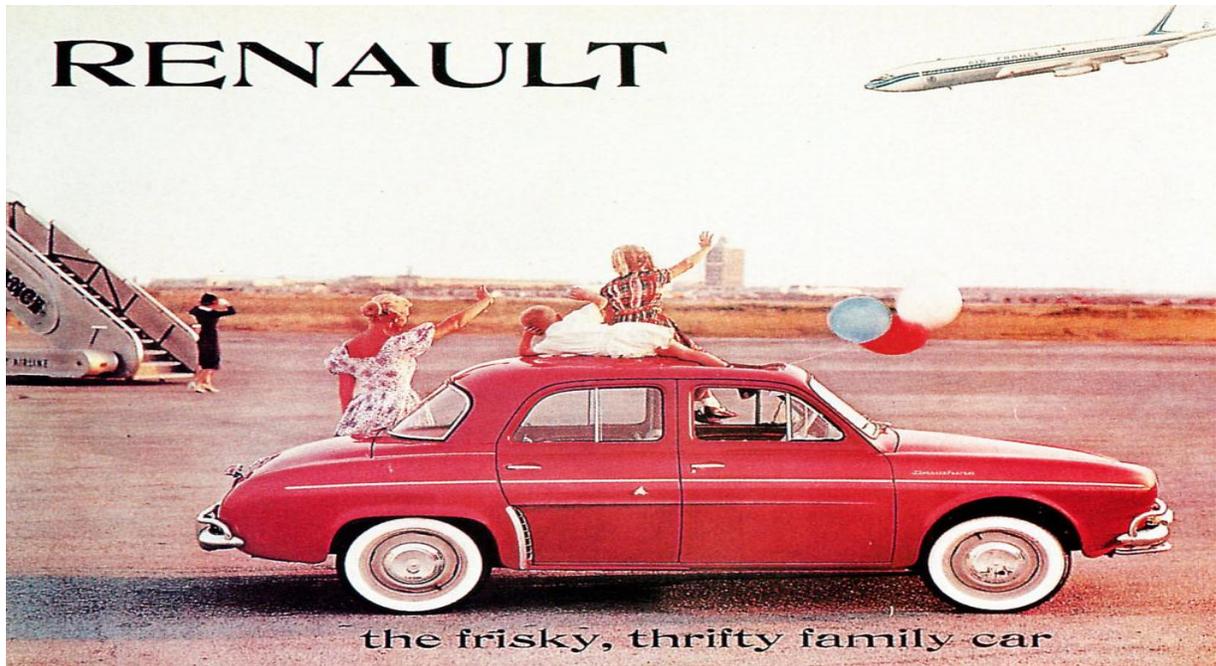


Fig.1.24. Fotografía del The Renault Dauphine. Fotografía obtenida de [24].

En Inglaterra comenzó también un nuevo empuje a los automóviles eléctricos, en el año de 1966, aparece el “Enfield 8000”, tenía un motor CC de 6 kW, conectando un circuito mixto de baterías en serie y paralelo, consiguiendo 12, 24 y 48V. El peso del vehículo era de 975 kg y tenía una velocidad máxima de 64 km/h y un alcance de 90 km. Este automóvil sentó las bases para la mayoría de los automóviles eléctricos modernos. En la Fig.1.25 una fotografía del “Enfield 8000”.

En 1967 es GM quien da el paso más importante quizás para el futuro de la industria eléctrica automotriz, cuando presenta la “Electrovan” el primer automóvil eléctrico propulsado por hidrógeno como combustible y celdas de combustible reemplazando las baterías eléctricas. Esto amplió el panorama de los automóviles eléctricos, dio una visión de campo a futuro del hidrógeno como nuevo combustible para la humanidad. Más adelante nos centraremos en la importancia del hidrógeno y las celdas de combustible para la industria automotriz a futuro.



Fig.1.25. Fotografía del “Enfield 8000”. Imagen obtenida de [25].

Funcionaba con 2 tanques de gas, uno con hidrógeno líquido y el otro con oxígeno líquido, estos dos iban hacia las celdas de combustible produciendo la electrólisis, dando como resultado agua y electricidad, la que terminaba viajando a dos motores eléctricos obteniendo el movimiento en el vehículo. Tenía una autonomía de movimiento de 200 km y podía alcanzar una velocidad máxima de 100 km/h.

El problema con este vehículo, es el mismo que siguen teniendo hasta el día de hoy los automóviles propulsados por hidrógeno con celdas de combustible, los tanques de combustible ocupan demasiado espacio dejando prácticamente sin espacio lugares como las cajuelas o asiento traseros. Lo que los hace en muchos casos indeseables para la mayoría de las personas, viéndose un poco imprácticos en comparación con su competencia los vehículos a gasolina, diésel o en el mismo campo de la electricidad, los carros a baterías con sus amplios espacios para llevar cosas y transportar personas. En las Fig. 1.26, 1.27 y 1.28 se muestra unas fotografías e imágenes de dicho vehículo.

En 1967 viendo una oportunidad de crecimiento en el mercado británico Ford presenta el Ford Comuta Electric Car. El vehículo funcionaba con cuatro baterías de plomo de 12 V y dos motores eléctricos, el automóvil tenía un alcance de 60 km a una velocidad de 40 km/h y era capaz de alcanzar una velocidad máxima de 60 km/h. Solo se produjeron unos pocos Ford Comuta, ya que el vehículo era un experimento, pero en el estudio de mercado que se le realizó, sus estudios en el mercado inglés no fueron

muy favorables por lo que Ford decidió no seguir con el proyecto del vehículo, pero sí con los autos eléctricos. En la Fig.1.29 una fotografía del Ford Comuta.



Fig.1.26. Fotografía del “Electrovan” siendo conducido por carretera. Fotografía obtenida de [26].

Como ya hemos mencionado Ford y GM, empezaron a invertir en investigación y desarrollo de automóviles eléctricos, además de ellos en la década de los 70, se le unieron más marcas automotrices, pero el desarrollo de autos eléctricos se vio truncada una vez más por temas de rendimiento, el ciclo de vida de las baterías, y el poco espacio que ofrecían los autos a hidrógeno.

Sin embargo, en la década de 1970 se empezó con el desarrollo de las baterías de litio, esto fue importante para el futuro de la industria automotriz, dado que la mayoría de los automóviles eléctricos de hoy en día tienen este tipo de baterías.

En 1996 GM vuelve al juego con el “General Motors EV1”, el que es considerado como el padre de todos los automóviles eléctricos modernos, teniendo dos versiones, el GEN I y el GEN II. Contaban con un motor eléctrico capaz de entregar cerca de 97 kW, baterías de plomo y ácido para el modelo GEN I, y de níquel-metal hidruro para el GEN

II. Las baterías de plomo y ácido pesaban hasta 500 kg. Fue el primer automóvil en contar con dos distintos tipos de baterías para sus respectivos modelos y además también con este mismo se demostró que los autos eléctricos ya podían empezar a competir de manera formal contra los de combustión tanto en autonomía como en alcance.

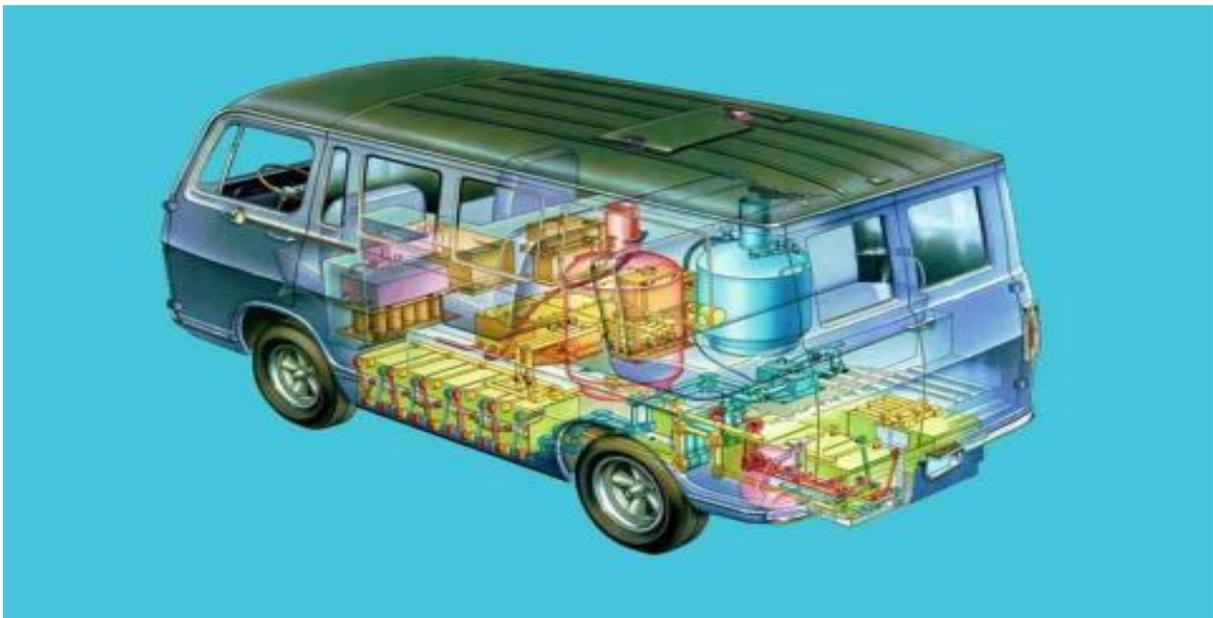


Fig.1.27 Imagen conceptual de la composición del "Electrovan". Imagen obtenida de [27].

Además de que rediseñó la forma del chasis de los automóviles eléctricos, haciéndolo de aluminio para ser más ligero e innovando la forma de conectar las baterías a los motores eléctricos sin sacrificar espacio para el consumidor del vehículo. En las siguientes Fig. 1.30 y 1.31 fotografías se muestra al "General Motors EV1" y como era la repartición de su motorización.

Sin embargo, las verdaderas compañías que siguen con el futuro de la industria eléctrica automotriz con los automóviles de celdas de combustible propulsados a hidrógeno son Toyota, Honda, una nueva compañía llamada NanoFlowcell en conjunto con la marca automotriz de Koenigsegg y otras varias compañías más que veremos más adelante.

Dependiendo el modelo, podía ofrecer una autonomía de entre 130 y 225 km, pudiendo cargar el 80% de su batería en 3 horas, o completamente durante toda la noche. Este coche podía hacer el 0 a 100 km/h en sólo nueve segundos. El problema con este producto no era el auto en sí, sino la forma en que GM lo vendió al público, que fue a través de arrendamientos muy poco flexibles, lo que provocó que no fuera muy fácil hacerse con uno de ellos.

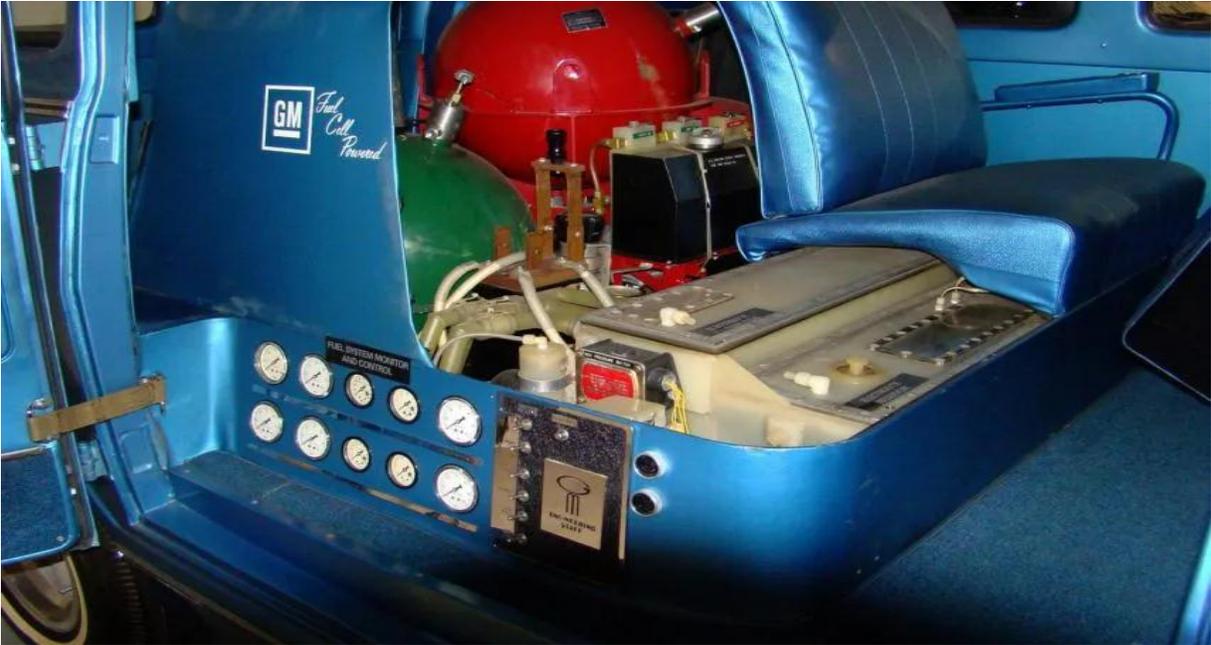


Fig.1.28 Fotografía de los asientos delanteros del “Electrovan”. Imagen obtenida de [28].

De este modelo nació la línea Volt de Chevrolet, la cual es una compañía perteneciente de GM, del chasis de este vehículo compañías como Toyota y Nissan se inspiraron para fabricar autos como el “Prius” y el “Nissan Leaf”, además, fue la inspiración para que naciera la que es considera hasta el momento la marca más importante hasta el momento de los automóviles eléctricos de la actualidad; Tesla.



Fig.1.29. Fotografía del Ford Comuta en las calles de Londres. Fotografía obtenida de [29].



Fig.1.30. Fotografía del “General Motors EV1”. Fotografía obtenida de [30].

En 2003 nace la compañía que cambiaría el juego, “Tesla Motors Inc”, y en 2010 comienza con su propuesta de automóviles eléctricos eficientes superiores a los automóviles a gasolina y diésel. Mostrando automóviles sumamente rápidos y eficientes como el Tesla Model X, Tesla Model S, Tesla Roadster y el Cybertruck.

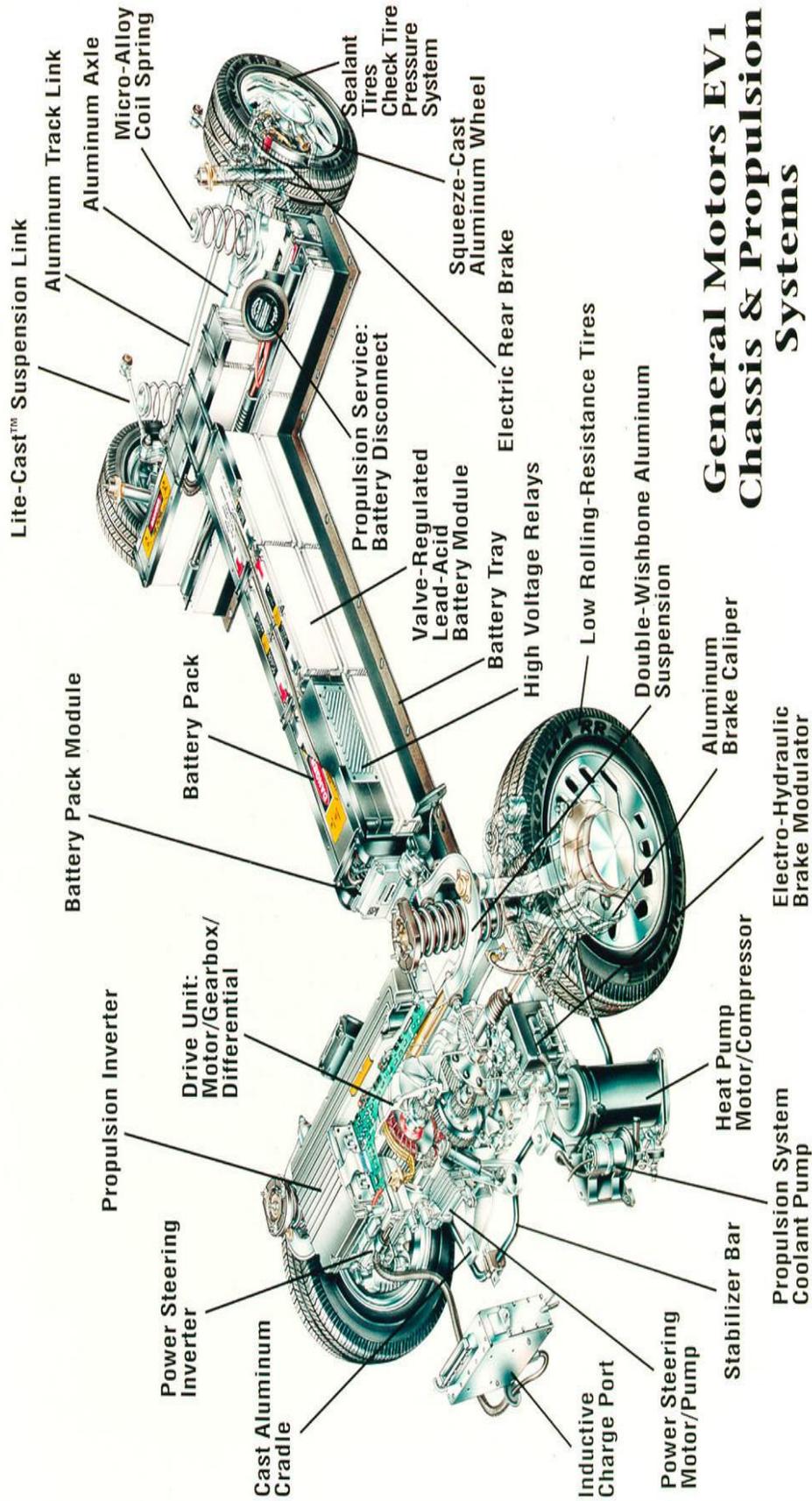


Fig.1.31. Imagen del chasis del EV1, y del cómo estaba conformada su motorización. fotografía obtenida [31].

Este último ya ha demostrado ser un Pick Up con mayores fortalezas en eficiencia, como carga, arranque, torque y potencia, teniendo una eficiencia de 800 km de autonomía, un 0 a 100 km/h en 2.9 segundos Pudiendo cargar más de más de 3 toneladas de peso, más del doble de lo que puede llevar una Ford F-150 que es del mismo segmento.

Demostrando que los automóviles eléctricos comienzan con propuestas más eficientes y “limpias” que los autos a combustión interna. Demostrando que falta poco para que los camiones eléctricos superen a los camiones a gasolina y Diésel. Esto implementando baterías de Litio como opción a futuro dentro de la historia del automóvil y queriendo reemplazar a los combustibles fósiles como el combustible del futuro. En la Fig.1.32 una foto de dicho vehículo.



Fig.1.32. Fotografía del Tesla Cybertruck. Fotografía obtenida de [32].

Toyota tiene en el mercado el Toyota Mirai. Demostrando ya una mayor eficiencia que los autos de Tesla y los autos a combustión interna. Dejando también cero emisiones de gases de efecto invernadero sobre el planeta (GEI). El hidrógeno se quema para generar energía que se almacena en la batería la cual posteriormente se encarga de alimentar al motor eléctrico que pone en movimiento al automóvil.

El motor eléctrico genera una potencia de salida de 182 caballos y 300 Nm de par motor. La batería de iones de litio va ubicada en la parte trasera y dispone de 1.24 kW

de capacidad. El hidrógeno se acumula en tres depósitos repartidos por la parte inferior del coche. Este automóvil utiliza un promedio de 330 celdas de combustible.

Tienen una capacidad de 5,6 kg. Una vez llenados el peso total de los depósitos es de 100 kg. La autonomía del Mirai es de 650 km. En las Fig. 1.33 y 1.34 unas fotografías del Toyota Mirai y de su chasis.



Fig.1.33. Fotografía del Toyota Mirai. Fotografía obtenida de [33].

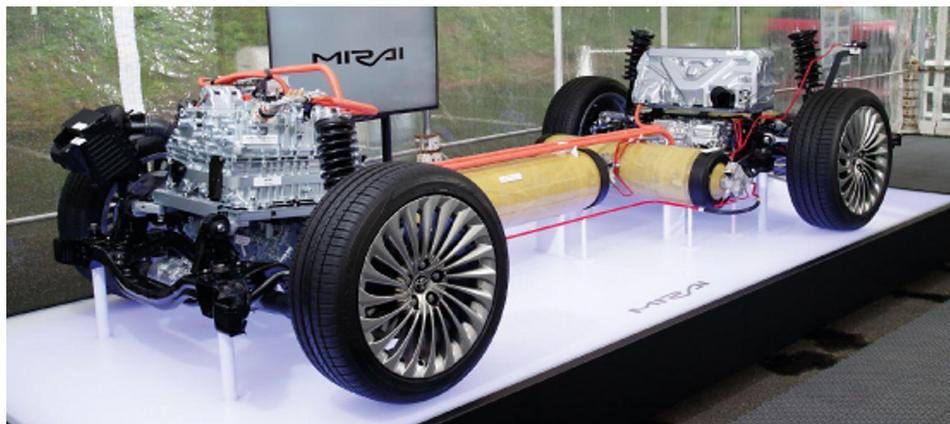


Fig.1.34. Fotografía de la plataforma GA-L del Toyota Mirai. Fotografía obtenida de [34].

Por su parte Honda planea lanzar para 2024 una versión a hidrógeno de su vehículo más vendido, el Honda CR-V en Estados Unidos. Empleando los mismos mecanismos que usa Toyota para su futuro vehículo.

Pero quizás quien está haciendo el paso más importante a futuro para la industria automotriz, es la compañía NanoFlowcell en conjunto con la marca automotriz de Koenigsegg, que han sacado el primer automóvil de celdas combustible que utiliza como combustible agua salada. Se trata del deportivo eléctrico “Quant e-Sportlimousine”, puede alcanzar una velocidad máxima de 380 km y una autonomía de 600 km.

Obtiene el hidrógeno de la misma agua salada y la transforma en energía eléctrica, esto gracias a 2 tanques de combustible de 200 L. De forma que, para suministrar energía al sistema, se hacen circular los electrolitos líquidos junto con las sales del agua de mar a través de dos celdas separadas por una membrana, de cuyo contacto se genera un proceso de oxidación-reducción que produce electricidad de forma instantánea.

Esto apoya de manera significativa al medio ambiente, con un consumo promedio entre 20 a 30 kW por cada 100 km. Esto teniendo en cuenta que 7.5 kW es equivalente a un litro de gasolina, quiere decir que, para ser un deportivo es altamente ahorrativo a comparación de los autos a gasolina y cero dañino para el medio ambiente. En la Fig. 1.35 y 1.36 se mostrarán dos imágenes del “Quant e-Sportlimousine”.



Fig.1.35. Fotografía del “Quant e-Sportlimousine”. Fotografía obtenida de [35].



Fig.1.36. Fotografía del “Quant e-Sportlimousine” sin armadura. Fotografía obtenida [36].

En 2011 se funda la compañía Hyperion es una empresa con sede en el Condado de Orange (California, EEUU), dedicada al desarrollo de tecnologías para el sector de la automoción, aeroespacial y energético basándose para todas ellas en el hidrógeno.

En 2023 sale a la venta formalmente su primer automóvil a la venta el Hyperion XP-1, un Hyper deportivo que funciona a través de celdas de combustible, las especificaciones tienen un futuro prometedor y son las siguientes; más de 1.600 km de autonomía, un peso de poco más de 1.000 kg, la capacidad para acelerar de 0 a 100 km/h en 2,2 segundos y una velocidad máxima de 356 km/h. Como dato curioso ocupa tecnología de la NASA. En la Fig. 1.37 y 1.38 fotografías de dicho vehículo.



Fig.1.37. Fotografía del Hyperion XP-1. Imagen obtenida de [37].



Fig.1.38. Fotografía de los tubos de escape del Hyperion XP-1 produciendo llamas de hidrógeno azules que posteriormente se transforman en agua. Imagen obtenida de [38].

## 2. Fuentes de energía para generar movimiento en los automóviles.

### 2.1 Petróleo.

La palabra “petróleo” viene del latín *petra* que significa piedra, y *óleum* que significa aceite, es decir, su traducción sería “aceite de piedra”, se origina de la combinación de distintas materias de origen fósil, que a través del tiempo se han ido descomponiendo por procesos químicos y biológicos, a compuestos principalmente formados de hidrógeno y carbono que son llamados hidrocarburos. En la Fig. 2.1, se mostrará una tabla de la composición del petróleo.

<b>Carbono</b>	<b>83 - 86%</b>
<b>Hidrógeno</b>	<b>11 - 13%</b>
<b>Otros (Nitrógeno, Oxígeno, Azufre, metales)</b>	<b>1 - 6%</b>

Fig. 2.1. Composición del petróleo. Tabla obtenida de [39]

Es considerado el recurso no renovable más importante para la humanidad, dado que, para satisfacer la demanda energética diaria de la mayoría de los vehículos a nivel mundial, se utiliza este mismo para obtener la mayoría de los combustibles fósiles ya mencionados. Aunque cabe aclarar que también se obtienen otros recursos que también son utilizados por el hombre para la industria automotriz como para otro tipo de industrias tal es el caso de los distintos tipos de aceites y grasas lubricantes. También se utiliza el petróleo para la cogeneración de energía eléctrica a nivel mundial, ya sea para usos domésticos o industriales.

Para su extracción previamente debe hacerse estudios geológicos y geofísicos, esto con el objetivo de saber si las zonas a explorar presentan características apropiadas que muestren contener petróleo. El método de extracción actual es el método de rotación, consiste en un sistema de tubos acoplados unos a continuación de otros, que impulsados por un motor van girando y perforando hacia abajo. En el extremo se halla

una broca o trépano con dientes que rompen la roca, cuchillas que la separan y diamantes que la perforan, dependiendo del tipo de terreno. Además, existe un sistema de polea móvil del que se suspende el conjunto de los tubos que impide que todo el peso de los tubos de los pozos (tienen profundidades de centenares de metros) recaiga sobre la broca.

En la Fig. 2.2 se mostrará una imagen de la extracción del petróleo.

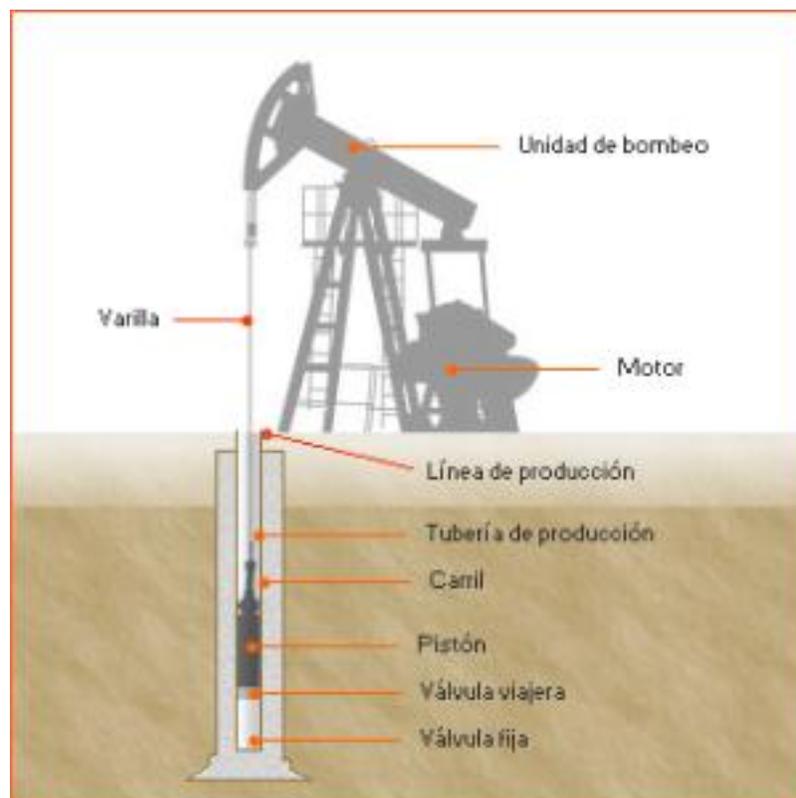


Fig. 2.2. Imagen ilustrativa del método de rotación. Imagen obtenida de [40]

El petróleo debe pasar por un proceso de refinación para conseguir los combustibles como la gasolina y el diésel, se calienta a altas temperaturas, esto a través de una tubería directo a un horno, separando el crudo en distintos procesos llamados fracciones comerciales, siendo las siguientes:

- Fracciones ligeras: Están representadas por hidrocarburos de cadena corta (productos gaseosos), son los gases como el propano, butano y la nafta.

- Fracciones intermedias: Hidrocarburos de cadena media (productos líquidos), son las gasolinas, gasoil y aceites lubricantes.
- Fracciones pesadas: Productos de largas cadenas de carbono (productos sólidos y semisólidos), como lo es el asfalto y el gasoil pesado.

En la Fig. 2.3 se muestra el proceso de refinación del petróleo y como se obtienen los diferentes productos a distintas temperaturas del mismo.

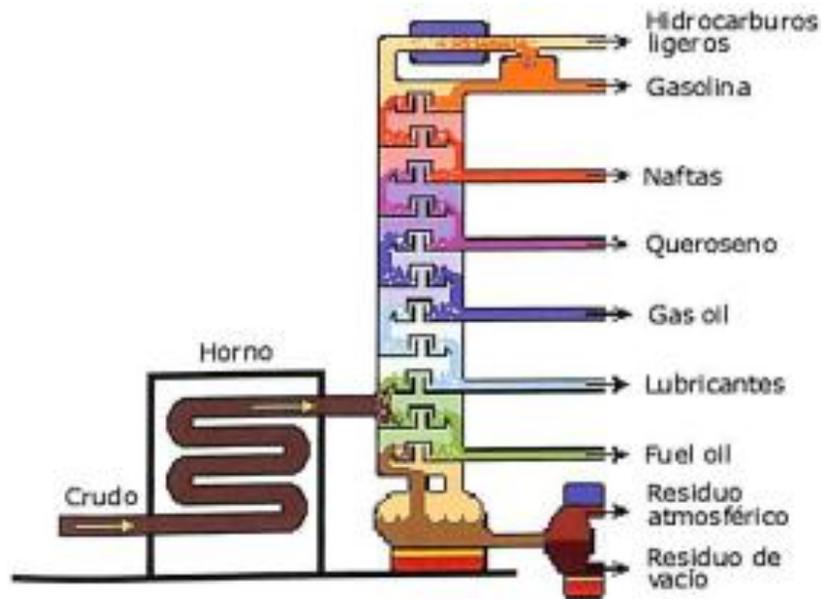


Fig. 2.3 Proceso de refinación del petróleo y sus productos resultantes. Imagen obtenida de [41]

Los principales recursos que obtenemos del petróleo son los mostrados en la Fig.2.4.

<b>Gases del petróleo</b> .....	butano y propano
<b>Gasolinas</b> .....	para automóviles (95 y 98 octanos, sin plomo)
<b>Combustibles para aviones</b> .....	querosenos, combustibles de alto octanaje
<b>Gasóleos</b> .....	para la calefacción, automóviles
<b>Fuelóleos</b> .....	combustibles para la industria, para buques
<b>Lubricantes</b> .....	aceites y grasas para motores, etc.
<b>Asfaltos</b> .....	para carreteras, pistas deportivas, etc.
<b>Aditivos</b> .....	para mejorar los lubricantes y combustibles

Fig. 2.4. Principales recursos y funciones que se obtienen del petróleo. Tabla obtenida de [42]

Debido al crecimiento de la industria del transporte a nivel mundial, entre ellas principalmente la automotriz, la demanda del petróleo cada año es mayor, la necesidad del ser humano de tener un medio eficaz para llevar distintos tipos de materias primas por el mundo y transportarse así mismo, todo esto dependiendo de la necesidad que se le presenten.

La forma de medir el petróleo a nivel mundial es en barriles, un barril tiene una capacidad en la actualidad hasta de los 159 litros. Desde el 2006 la demanda diaria de petróleo era de 85.3 millones de barriles diarios y en el presente año 2023 se estima que la producción diaria del mismo a nivel mundial, no sea menor de 101.58 millones de barriles, lo que vendría siendo 16, 151, 220,000 (dieciséis mil ciento cincuenta y un millones doscientos veinte mil) litros de petróleo crudo. En la Fig. 2.5 se mostrará un gráfico del crecimiento de la demanda diaria desde el 2006 hasta el año 2023.

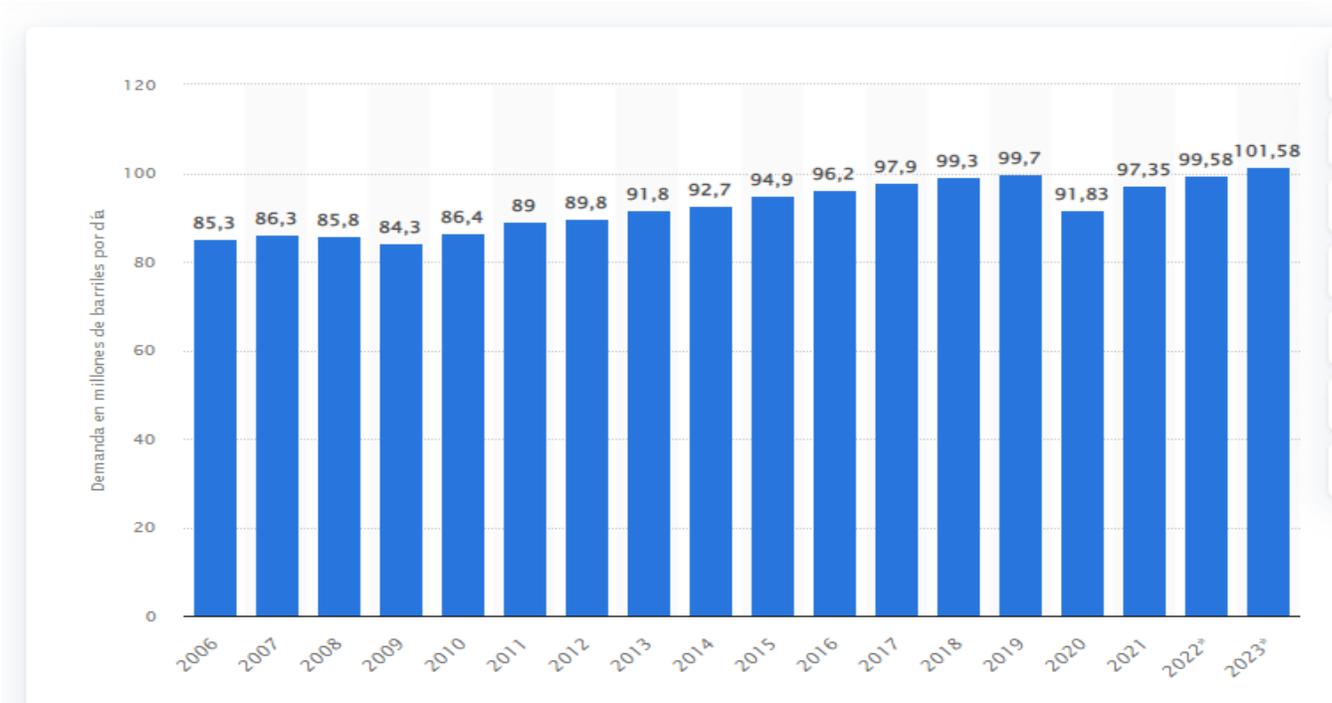


Fig. 2.5 Gráfico de la demanda diaria en millones de barril crudo de petróleo a nivel mundial. Imagen obtenida de[43]

Como podemos observar cada año la demanda de petróleo en la mayoría de los casos casi siempre es dos a tres millones, esto debido a distintos factores como el crecimiento del parque vehicular y consumo de todos los derivados de este en las

distintas industrias. En la Fig.2.6 se muestra la distribución de productos que se pueden obtener de un barril de crudo de petróleo.



Fig. 2.6. Distribución aproximada de los productos que se pueden obtener del barril de crudo. Imagen obtenida de [44].

En la Fig.2.7 elaborada en 2019, se muestra una estimación sobre los principales países con mayores reservas en barriles de petróleo a nivel mundial. Los mayores productores de petróleo a nivel mundial desde el año 2022 hasta el 2023, son los mostrados en la Fig.2.8 Los países que más consumen petróleo a nivel mundial son los de la Fig.2.9.

Como podemos observar en las Fig. 2.2 y 2.3, nuestro país, México, ya no se encuentra ni siquiera en el top 10 países con mayores reservas de petróleo ni en los que más producen a nivel mundial. Se estima que las reservas nacionales por mucho tendrán 21 años de petróleo en crudo. Lo que tarde o temprano terminará siendo un duro golpe a nuestra economía nacional. En la Fig.2.11 se muestra la producción diaria de barriles en crudo de petróleo que ha tenido nuestro país desde el año 2016 hasta el año 2023. En la Fig.2.10 se muestra una gráfica de cómo han decaído las reservas de petróleo en nuestro país desde el año 2010 hasta el año 2022.

## Países con las mayores reservas de petróleo del mundo

Posición	País	Barriles de crudo (en miles de millones)
1	Venezuela	300,9
2	Arabia Saudita	266,5
3	Canadá	169,7
4	Irán	158,4
5	Irak	142,5
6	Kuwait	101,5
7	Emiratos Árabes Unidos	97,8
8	Rusia	80
9	Libia	48,4
10	Nigeria	37,1
11	Estados Unidos	36,5
12	Kazajistán	30
13	China	25,6
14	Qatar	25,2
15	Brasil	12,7

Fig. 2.7. Países con las mayores reservas de petróleo a nivel mundial. Imagen obtenida de [45].

País	Millones de barriles por día	Porcentaje del total mundial
 Estados Unidos	18,88	20%
 Arabia Saudita	10,84	11%
 Rusia	10,78	11%
 Canadá	5,54	6%
 China	4,99	5%
 Iraq	4,15	4%
 Emiratos Árabes Unidos	3,79	4%
 Brasil	3,69	4%
 Irán	3,46	4%
 Kuwait	2,72	3%
Total del top 10	68,82	72%
 Total mundial	95,57	

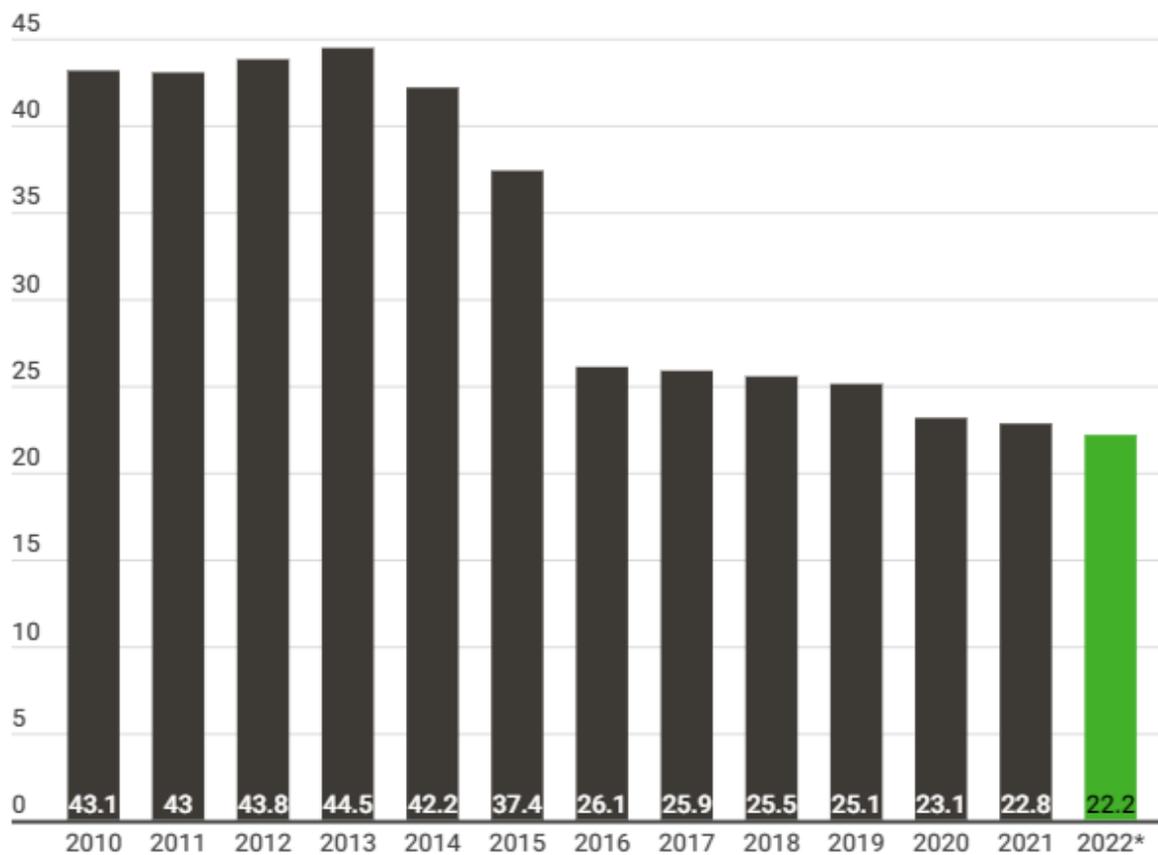
El informe incluye petróleo crudo, líquidos derivados y biocombustibles.

Fig. 2.8. Países con una mayor producción diaria de petróleo en barril del año 2022.

Imagen obtenida [46].

País	Millones de barriles por día	Porcentaje del total mundial
 Estados Unidos	20,54	20%
 China	14,01	14%
 India	4,92	5%
 Japón	3,74	4%
 Rusia	3,70	4%
 Arabia Saudita	3,18	3%
 Brasil	3,14	3%
 Canadá	2,63	3%
 Corea de Sur	2,60	3%
 Alemania	2,35	2%
Total del top 10	60,81	61%
 Total mundial	100,23	

Fig. 2.9. Países con mayor consumo y demanda de petróleo a nivel mundial. Imagen obtenida [47].

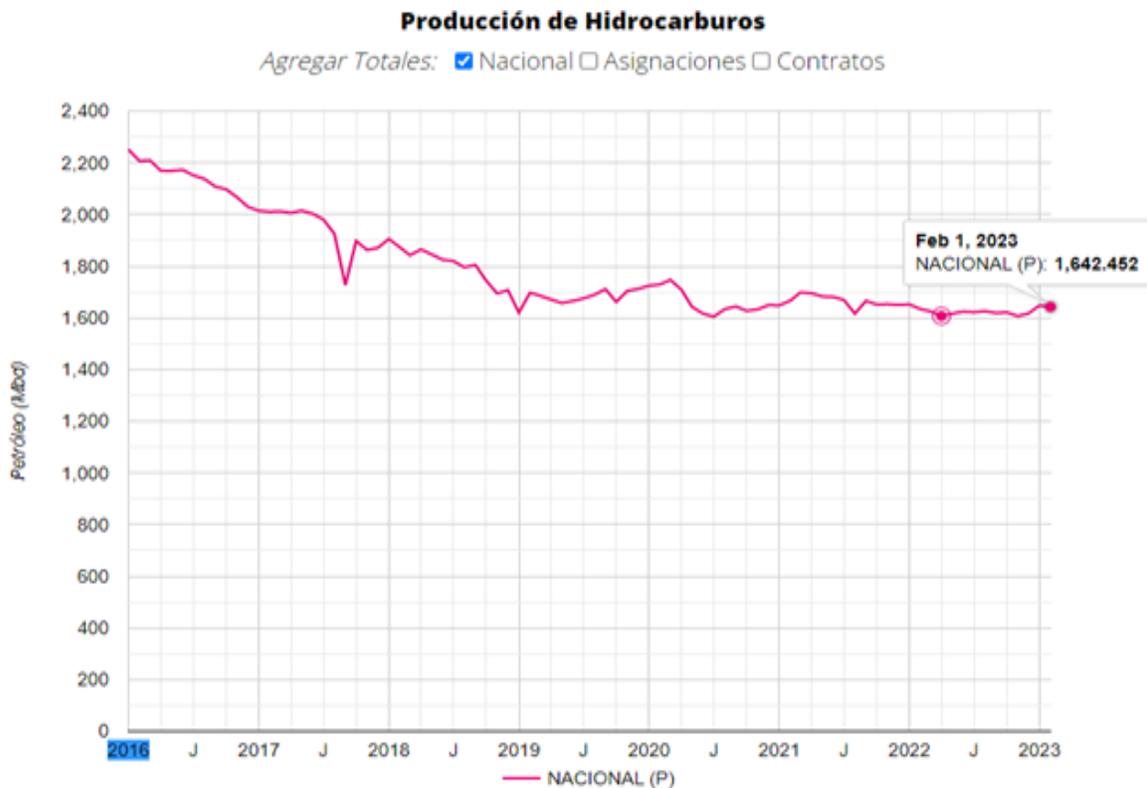


Fuente: CNH

\*Al 1 de enero de 2022

*Cifras en miles de millones de barriles de petróleo crudo equivalente*

Fig. 2.10. Decaimiento de las reservas a futuro de barriles de petróleo en México desde el 2010 al 2022. Grafica obtenida de [48].



Notas: Petróleo (P)

Fig. 2.11. Decrecimiento de la producción diaria de hidrocarburos en México desde el 2016 hasta inicios del 2023. Imagen obtenida del [49].

### 2.1.1 Gasolina.

Como ya habíamos observado en la Fig. 2.5 la gasolina (también llamada nafta ó bencina) es el producto derivado del petróleo con mayor consumo a nivel mundial referente a hidrocarburos. Se utiliza principalmente para alimentar a los motores de combustión interna, y existen distintos tipos de gasolinas, las cuales se clasifican según su nivel de octanaje.

El octanaje es una medida que mide la capacidad de resistencia que tiene la detonación de la gasolina, esto durante el proceso de combustión en los cilindros de los motores de combustión interna. A mayor octanaje, mayor compresión habrá en el

motor y mejor rendimiento de combustible habrá en el vehículo y, a menor octanaje habrá una menor compresión.

La clasificación de gasolina según su nivel de octanaje es el siguiente:

- Gasolina de 87 octanos: Es la gasolina es más explosiva y una de las más usadas en México. Es la que llamamos gasolina Magna.
- Gasolina de 93 octanos: Poco menos explosiva y la segunda más usada en nuestro país. Es la que llamamos Premium.
- Gasolina de 95 octanos: Es la gasolina con el mínimo octanaje permitido en Europa. Se utiliza en la gran mayoría de automóviles en el resto del mundo, y entre sus características se encuentra la menor densidad respecto a otros tipos de gasolina.
- Gasolina de 98 octanos: La gasolina 98 octanos ofrece mayores prestaciones que su compañera de 95 octanos, porque está pensada para vehículos de mayor cilindrada y potencia.
- Gasolina de 100 octanos: Gasolina para la alta competición y coches de alta gama y súper deportivos. También es la gasolina que se utiliza como combustible de aviones, ya que estos necesitan de gran potencia para su arranque, despegue y funcionamiento durante el vuelo.

Una cosa importante a destacar de las gasolinas, es que los motores de los automóviles deben de estar bien diseñados y desarrollados para soportar el octanaje que recibirá del tipo de gasolina en cuestión, esto para no sufrir averías ni daños durante su funcionamiento. Esto para garantizar un correcto uso y una mejor calidad de vida al motor durante su uso a lo largo de los años.

Sin embargo, también existen gasolinas a las que se les agrega adictivos para tener una mayor calidad de ahorro en combustible en los vehículos

En la Fig.2.12 se muestran las principales características de las gasolinas.

Densidad	0.720 kg/l
Energía desarrollada	34.8 Megajulios
Octanaje	95/98
Catalizador	Romper Óxidos
Sin Plomo	Menos contaminación

Fig. 2.12. Características principales de las gasolinas. Imagen obtenida de [50].

### 2.1.2 Diésel.

El diésel (cuyo verdadero nombre es gasoil) es una mezcla de hidrocarburos, destilado directamente del petróleo a una temperatura entre 250 °C a 350 °C y el segundo combustible con mayor consumo proveniente de los hidrocarburos a nivel mundial. Se utiliza principalmente para camiones en la industria automotriz, en maquinaria pesada en la industria de la construcción y motores de maquinarias industriales.

Se distinguen dos tipos de gasoil en el mundo:

- Petrodiésel: Este es el derivado del petróleo y de mayor uso a nivel mundial.
- Biodiésel: Este obtenido directamente de los aceites vegetales.

Del biodiésel hablaremos más adelante cuando toquemos el tema de los biocombustibles.

Los principales componentes del gasoil son hidrocarburos alcanos, como son el metano y el octano, más otros hidrocarburos que tienen más de 20 a 40 átomos de carbono a temperatura ambiente. En la Fig. 2.13 se muestra las principales características del gasoil.

Color.	Blanco-Verdoso.
Densidad.	0.85Kg/l.
Composición.	Parafinas (hidrocarburos de 1 a 40 carbonos).
Rendimiento energético.	18-28 por ciento más que la gasolina.
Impurezas y residuos.	Azufre, óxido nítrico, anhídrico carbónico.

Fig. 2.13. Características principales del diésel (gasoil). Imagen obtenida de [51].

Como se mencionó previamente una de las ventajas del gasoil ante la nafta, es que tiene un mayor rendimiento de uso y que también es más fácil de refinar, sin embargo, también es un mayor contaminante del medio ambiente, por lo ya explicado que necesita un mayor punto de temperatura para funcionar y porque posee un mayor porcentaje de impurezas como el azufre, monóxido de carbono y los óxidos nítricos, motivo por el cual es más dañino la ecología.

## 2.2 Agua.

El agua es el líquido más abundante sobre nuestro planeta, siendo conformado por casi  $\frac{3}{4}$  partes del mismo. Es un compuesto químico con dos átomos de hidrógeno y un átomo de oxígeno ( $H_2O$ ) y se puede encontrar en estado sólido (hielo), gaseoso (vapor) y líquido (agua). Las propiedades físicas y químicas del agua son muy importantes para la supervivencia de los ecosistemas, esto incluye todas las especies vegetales y animales del mundo.

El agua es el recurso natural más importante para la vida en el planeta, no hay un solo producto que no necesite agua para su producción a nivel industrial. A esto también

se le suman otros tipos de industria como lo es la agrícola, donde solamente en México el 70% del agua del país va a esta según Conagua.

### **2.2.1 Ciclo del agua.**

El agua es un recurso renovable que se recupera de manera natural en nuestro planeta infinita cantidad de veces, esto gracias al ciclo del agua (también llamado ciclo hidrológico). Este sucede cuando el calor del sol calienta el agua en los océanos, ríos o lagos y la convierte en vapor, este termina entrando a la atmosfera, lo que le da un enfriamiento, que termina condensándose en forma de nubes, terminan juntándose entre sí y son transportadas por el viento de nuestro planeta, llevando con ellas el agua y liberándolas en forma de lluvia terminando así el ciclo.

Este ciclo se compone de 5 partes, los cuales son los siguientes:

- **Evaporación:** Sucede cuando el sol transmite energía al agua y provoca en ciertas moléculas la suficiente energía cinética para que se propulsen fuera del medio líquido y estas puedan llegar a la atmosfera. Además de la radiación solar, otros factores clave para la evaporación son la temperatura, la humedad y la velocidad del viento.
- **Transpiración:** Se trata del vapor expulsado por las plantas a través de los microporos conocidos como estomas.
- **Condensación:** Es lo contrario a la evaporación, transformando el agua de su estado gaseoso a líquido. Inicia cuando se supera la cantidad máxima de vapor de agua mezclado con un volumen de aire a cierta temperatura, normalmente se produce por el enfriamiento o la mezcla de dicho volumen con otros volúmenes de aire.
- **Precipitación:** El agua en estado líquido se condensa por saturación y cae por efecto de la gravedad a la superficie terrestre (lluvia). Su destino se divide en cuatro: una determinada cantidad vuelve a la atmósfera por evaporación, otra

es interceptada y de nuevo evaporada por la superficie de las hojas, o bien se infiltra en el suelo o fluye como escorrentía hacia los mares.

- Escorrentía: Es la reserva total de toda el agua que circula sobre la superficie (la fluvial, fundamentalmente), pero también de toda la que circula bajo la superficie terrestre por los canales subterráneos. Al verterse finalmente en los océanos, se reinicia el ciclo del agua.

En la Fig.2.14, se muestra una imagen del ciclo del agua, mostrando lo anteriormente explicado.

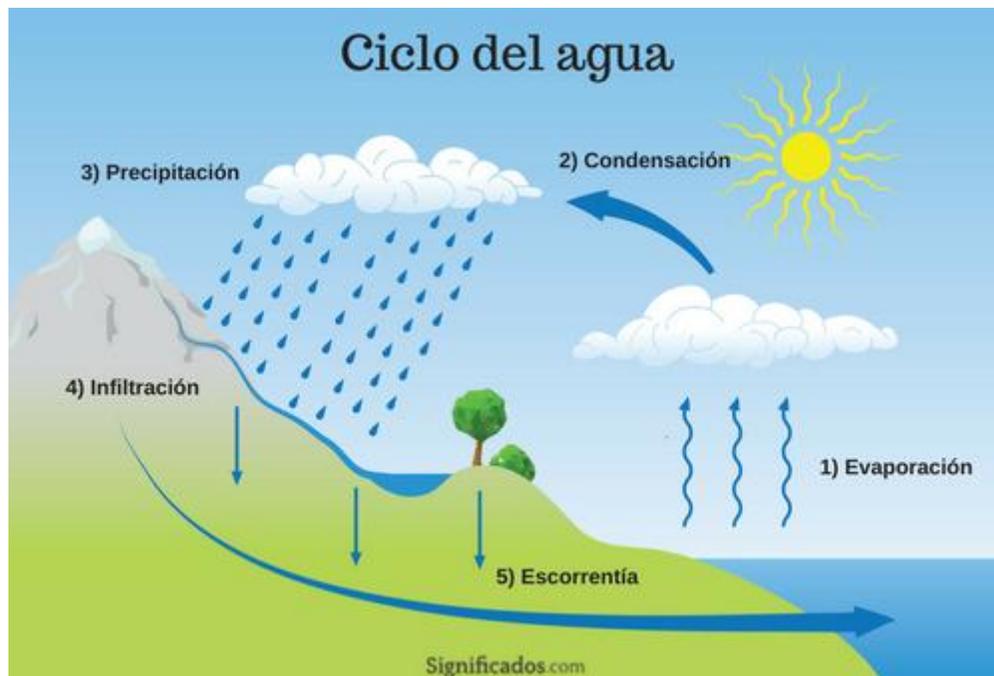


Fig. 2.14. Explicación gráfica del ciclo del agua. Imagen obtenida de [52].

El ciclo del agua es quizás junto al ciclo del carbono, el ciclo más importante para el planeta, dado que es de suma importancia para la generación de alimentos, energía y otros servicios que nos brinda la naturaleza. Adicionalmente es el regulador del clima, siendo receptor y transmisor del cambio que originan las sequías e inundaciones causadas por el cambio climático, las cuales son junto a la deforestación, la contaminación, la creación de suelos áridos y el crecimiento urbano son amenazas

para dicho ciclo, que lo termina transformando de un ciclo infinito a uno finito, lo que es un peligro para todas las especies vivas de nuestro planeta.

La intromisión del ser humano en el medio ambiente, termina degenerando el agua obtenida por el ciclo hidrológico en aguas del tipo residual, negras y grises. También modificando el mismo, generando la famosa lluvia ácida que termina deforestando selvas y bosques, de esta misma hablaremos más adelante.

Sin embargo, no todo es malo, dado que hay medios por los que el ser humano puede obtener energía sin dañar al medio ambiente y respetando al ciclo del agua, esto a través de las energías renovables, haciendo así que el ciclo no se vuelva finito y regrese a su estándar de infinito.

### **2.2.2 Vapor.**

Anteriormente mencionado el vapor es la forma gaseosa del agua, aunque esta forma no es exclusiva de este compuesto químico ya que cualquier elemento y compuesto pueden también acceder a ella, nos centraremos únicamente al vapor de agua para la generación de movimiento.

Como mencione los vehículos de Bollee, el vapor de agua puede lograr la suficiente energía para generar el movimiento de automóviles a grandes distancias. Tal vez no tenga la misma potencia que los combustibles fósiles, sin embargo, presenta ventajas, como que es más fácil conseguir agua que extraer petróleo, también es más barata, dado que no se necesitan de procesos complejos para su obtención, además de que para calentar agua no se necesitan de altas temperaturas que superen los 100 °C, como si lo es el caso del petróleo el cual se tiene que calentar a temperaturas de 150 °C que, para conseguir la gasolina, o entre 250 °C a 300 °C. para conseguir diésel, lo que lo hace bastante amigable para el medio ambiente.

El problema del vapor es que necesita un reactivo para funcionar, que puede ser carbón, gas, etc., por lo que, aunque por sí solo no genera emisiones de  $CO_2$ , pero indirectamente si lo termina generando esto por el tipo de reactivo que se termine utilizando para conseguirlo, pero no genera grandes cantidades de contaminantes como si lo hacen los combustibles fósiles.

El vapor tiene varios usos para el ser humano, entre usos domésticos, a usos industriales, como la cogeneración de energía eléctrica utilizando una turbina para esto. Utilizando este mecanismo fusionado con la unión de un cogenerador eléctrico en compañía de un reactivo que sirva como combustible (plutonio, energía geotérmica, gas natural, carbón, etc.), en las que se calienta constantemente agua hasta hacerla hervir y el vapor resultante termina por expandirse, movilizandolas turbinas, generando el trabajo necesario para producir electricidad en el cogenerador.

En la Fig.2.15, se muestra una imagen del funcionamiento de una turbina propulsada a vapor conforme lo anteriormente explicado.

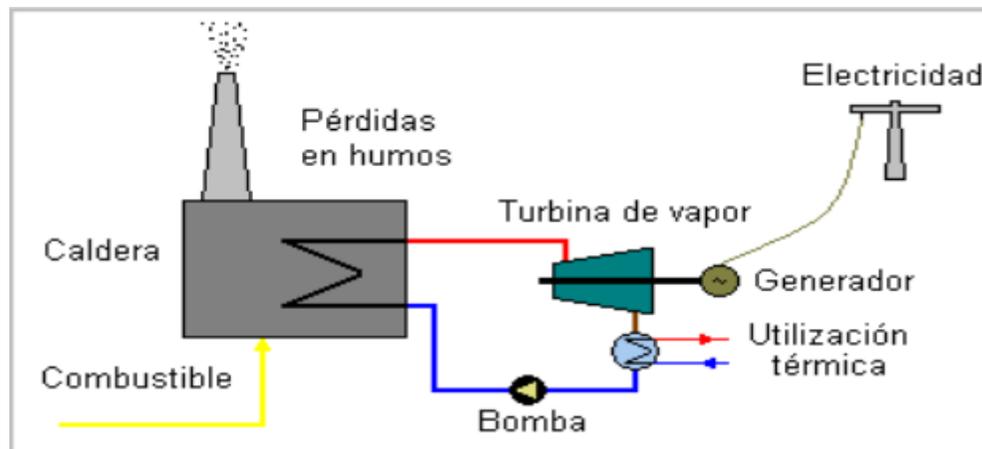


Fig. 2.15. Diagrama del funcionamiento de una turbina de vapor de agua. Imagen obtenida de [53].

La forma en que funcionaban los automóviles a vapor era la misma en la que funcionaban las locomotoras de aquel entonces, esto con el principio del ciclo Rankine, que consiste en calentar agua en una caldera hasta evaporarla y elevar la presión del vapor. Éste es llevado a una turbina donde produce energía cinética a costa de perder

presión. Su camino continúa hacia un condensador donde el vapor restante cambia a estado líquido para poder entrar a una bomba que le subirá la presión para nuevamente poder introducirlo a la caldera. Esto se aplicaba en locomotoras y automóviles, utilizando un cilindro de doble efecto con un sistema provisto de una pieza desplazable llamada corredera cuya función era enviar el vapor de agua a un pistón de la maquinaria, que terminaba generando el movimiento en el sistema motriz del vehículo.

En la Fig. 2.16, se mostrará una imagen del principio del ciclo Rankine en una locomotora.

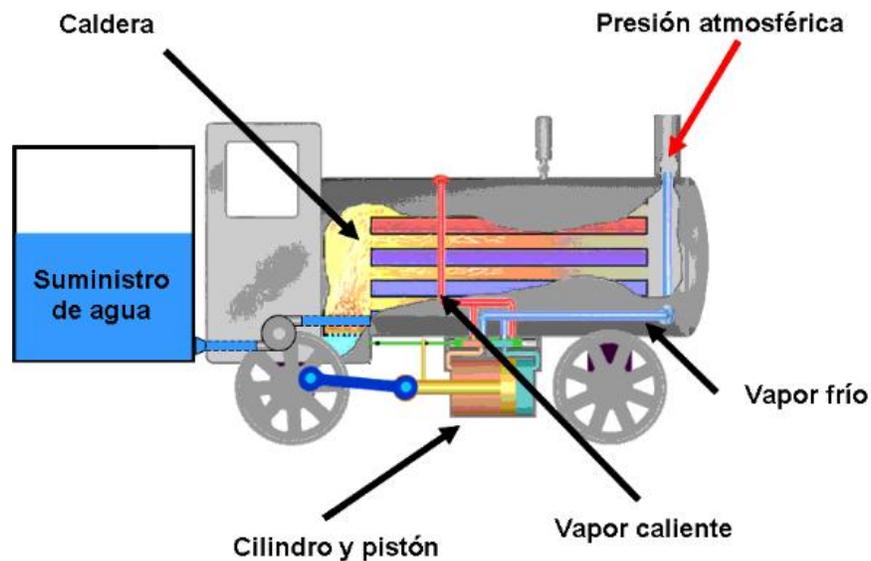


Fig. 2.16. Ciclo Rankine en locomotoras. Imagen obtenida de [54].

### 2.2.3 Hidrógeno.

El elemento con mayor abundancia en el universo es el hidrógeno, simplemente el 75% de la materia del universo se constituye de este mismo. El hidrógeno tiene como símbolo la letra H, su número atómico es 1, curiosamente su nombre viene del latín hydrogenium, que se traduciría literalmente como generador de agua y si hablamos de agua, como ya había comentado, el 70% de la superficie del planeta es agua. Además,

es un gas muy inflamable. Los compuestos más abundantes de hidrógeno sobre nuestro planeta son los siguientes:

- El agua ( $H_2O$ ).
- El gas metano ( $CH_4$ ).
- Hidrocarburos.

Las características energéticas del hidrógeno son muy interesantes para el ser humano, dado que poseen grandes posibilidades de generación de energética y son las siguientes:

- Fusión: El hidrógeno que se encuentra en el centro de las estrellas, se combina entre sí, teniendo como resultado la producción de Helio y un gran desprendimiento de energía.
- En peso: El hidrógeno en peso tiene un alto contenido energético, el triple que el contenido energético que tiene la gasolina.
- En volumen: El hidrógeno en forma de gas tiene un contenido energético muy bajo, cuatro veces menor al de la gasolina.

En la Fig.2.17 se tiene una comparativa del hidrógeno en contra de los hidrocarburos.

En la actualidad aun no es muy utilizado en su máximo potencial, esto debido al lento desarrollo de tecnología que se involucra con él, sin embargo, es considerado el combustible del futuro y el ser humano empieza a utilizarlo poco a poco, esto con la fusión nuclear y con las ya mencionadas pilas de combustible que son aplicadas a la industria automotriz.

Como combustible es utilizado en los transbordadores espaciales, debido a que se mezcla con el oxígeno este termina explotando y ardiendo, pero sus llamas son prácticamente invisibles para ojo humano (aunque ya hay llamas que son un poco más visibles como las del Hyperion XP-1 y como había comentado, este auto ya usa

tecnología de la NASA), el sub producto de este combustible es agua, la cual termina siendo parte de las provisiones de los astronautas en el espacio.

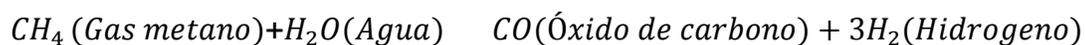
Comparativa entre el hidrógeno, la gasolina, el gasóleo y el gas metano.
1 kg de hidrógeno equivale a 2.78 Kg de gasolina, a 2.80 Kg de gasóleo y a unos 3 Kg de gas natural.
1 litro de hidrógeno equivale 0.268 de gasolina y a 0.236 litros de gasóleo.
1 litro de hidrógeno (a 350 bar) equivale a 0.10 litros de gasolina, a 0.09 litros de gasóleo y a unos 0.3 de gas natural (a 350 bar)

Fig.2.17. Comparativa entre el hidrógeno en contra de la gasolina, diésel y gas natural. Tabla obtenida de [55].

Obtener hidrógeno es un poco complicado, como se ha mencionado en la tierra solo se encuentra en forma de gases en la atmosfera o en compuestos químicos en la superficie terrestre como los hidrocarburos, la materia orgánica y el agua. Este último es el medio más amplio en nuestro planeta para la obtención de dicho recurso.

Los procesos de obtención del hidrógeno a través de agua son los siguientes:

- Reformado con vapor o gasificación: Es el proceso más común para la obtención de dicho elemento. Consiste en un proceso termoquímico que requiere de altas temperaturas entre los 700°C a los 1,100°C, donde usando agua y gas metano se da la siguiente reacción química:



Se calienta el vapor de agua utilizando el gas natural, esto disociando el carbono del gas natural eliminando las impurezas de este mismo y dejando como resultado el hidrógeno puro obtenido del vapor del agua. El inconveniente

con este método es el uso de gas metano, que como ya sabemos es un combustible fósil y termina desprendiendo gases de efecto invernadero a la atmosfera cuando se quema, contaminando así en el proceso de obtención del hidrógeno.

- **Electrólisis:** Es la separación electrolítica de los elementos que constituyen al agua (Oxígeno e Hidrógeno). Para obtener un kilo de hidrógeno se necesitan entre 50 a 60 kW por kilo. Actualmente, existen los siguientes métodos de electrólisis para la obtención de hidrógeno:
  - **Electrólisis alcalina:** Utilizando un electrolito como el Hidróxido de Potasio (KOH ) o Hidróxido de Sodio (NaOH) con agua, se produce hidrógeno esto en una celda de combustible que consta de un ánodo, un cátodo y una membrana, aplicando una corriente eléctrica en la celda, que termina generando que los iones de hidróxido se muevan a través del electrolito desde el cátodo hasta el ánodo de cada célula, generándose burbujas de gas de hidrógeno en el lado del cátodo del electrolizador y de gas de oxígeno en el ánodo. Llevan utilizándose más de 100 años y no requieren metales nobles como catalizador; sin embargo, son equipos voluminosos que obtienen hidrógeno de pureza media y que no son muy flexibles en su operación. Lo que lo termina haciendo un método muy costoso para su elaboración.
  - **Electrolisis por membrana de intercambio de protones (PEM):** Se utiliza una membrana de intercambio de protones y un electrolito polimérico sólido. Se aplica corriente a una celda de combustible, donde el agua se divide en hidrógeno y oxígeno, los protones del hidrógeno pasan a través de la membrana para formar gas de hidrógeno en el lado del cátodo. Son los más populares porque producen hidrógeno de alta pureza y son fáciles de refrigerar. Es uno de los métodos más adecuados en acoplarse a las energías renovables, dado que es compacto y se obtiene hidrógeno de alta pureza. El problema con esto es que se usan materiales caros como lo es el titanio, ya que es un elemento difícil de extraer del medio ambiente y por lo mismo de poco abastecimiento.

- **Electrolizador de Óxido Sólido (SOE):** Consiste en utilizar materiales cerámicos en estado sólido, en donde se somete a los iones de oxígeno ( $O_2^-$ ) que están cargados negativamente a temperaturas entre  $700^\circ C$  y  $800^\circ C$ , generando y obteniendo hidrógeno de una forma ligeramente diferente. El vapor del cátodo se combina con los electrones del circuito externo que termina formando hidrógeno en forma de gas y iones de oxígeno cargados negativamente.

Los iones de oxígeno atraviesan la membrana cerámica y reaccionan en el ánodo para formar oxígeno en forma de gas y generando así electrones para el circuito externo. Las ventajas de esta tecnología es que combina un alto rendimiento térmico y energético, además de producir bajas emisiones de gases invernaderos a un coste relativamente bajo. La desventaja es que, debido a las elevadas temperaturas y a la potencia necesaria para funcionar, el tiempo de trabajo es sumamente lento y largo en espera, por lo mismo este método aún está en etapa de experimentación e investigación.

- **Síntesis biológica:** Esto ocurre cuando ciertos microorganismos de metabolismo anaeróbico (aquellos que se desarrollan sin necesidad del oxígeno) consumen alimentos orgánicos que terminan descomponiéndose en su digestión, dando como resultado hidrógeno en forma de gas. Esto debido a que poseen enzimas llamadas hidrogenasas, que tienen las propiedades de catalizar los compuestos orgánicos.

Como se ha mostrado las formas de electrolisis para conseguir hidrógeno son bastante viables a futuro, sin embargo, son procesos bastante caros de generar, esto por los materiales que requieren para funcionar. Además de que algunos métodos de electrólisis aún están en etapa de investigación, más adelante tendremos una propuesta de la generación de hidrógeno por medio de la electrólisis acompañado con energías renovables.

### 2.3 Carbón.

El carbón, es una roca formada de carbono como base principal con otros elementos, que pueden ser; carbono, azufre, zinc, hierro, etc. Se genera en zonas ricas en agua con restos de materia vegetal (Hojas, madera, plantas, etc.), los cuales quedaron enterrados con la mezcla de bacterias anaerobias y el constante flujo de agua, transformándose con el paso del tiempo por procesos de compresión y cambios de temperatura a lo que conocemos como carbón. Este proceso se le llama carbonificación, cuanto más tiempo haya durado este, mayor cantidad de carbono y poder calorífico tendrá el carbón resultante.

En la Fig. 2.18 se mostrará una imagen de la transformación de materias vegetales a carbón.

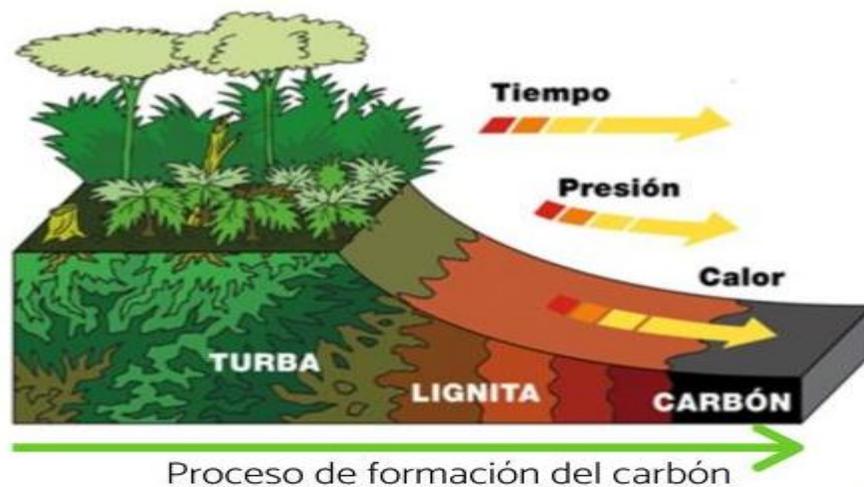


Fig.2.18. Proceso de carbonificación en la naturaleza. Imagen obtenida de [56]

El carbón es el segundo combustible fósil de mayor utilización en el mundo, produciendo un 25% de energía a nivel mundial solo por detrás del petróleo que genera el 40% de energía. En el caso de la energía eléctrica, es el combustible de mayor uso para la generación de esta misma (con un 38% a nivel mundial). También se utiliza en la industria siderúrgica, para fundir metales o simplemente calentarlos, esto para obtener distintos tipos de aleaciones o compuestos químicos y en otras industrias como la cementera, química, farmacéutica, etc.

La clasificación del carbón toma los siguientes puntos:

- Contenido en carbono.
- Poder calórico
- Contenido en humedad
- Contenido en materias volátiles.

El carbón se cataloga en los siguientes grupos:

- Turba: Es el carbón que se forma de los restos vegetales en zonas húmedas con ambiente de poco oxígeno. Es el de menor contenido de carbono y por lo mismo tiene menor poder calorífico.
- Grafito: Es el de mayor contenido de carbono, poseyendo un 98% de este en su estructura molecular. Sin embargo, es difícil de conseguir combustión con él, por lo que se utiliza para otras cosas como la elaboración de lapiceros o la fabricación de materiales más resistentes como el grafeno o carbino.
- Antracita: Es el segundo con mayor contenido de carbono, poseyendo un 95% en su estructura molecular. Tiene un gran poder calorífico y de todos los carbones es el que tiene menor contenido de volatibilidad. El inicio de su combustión es complicado, cuando comienza a arder produce una llama azul que no genera mucho humo.
- Lignito: Es la siguiente etapa previa que tiene la turba para transformarse en carbón en forma de combustible.
- Bituminosos: Sus características principales, es que suele ser duro y que contiene betún (mezcla de hidrocarburos que tiene propiedades aglomerantes), contiene entre un 60 y un 80% de carbono, siendo el resto agua, aire, hidrógeno y azufre. Es el carbón con mayor uso en las industrias siderúrgicas y metal mecánica, debido a su excelente poder calorífico.
- Carbón vegetal: Se obtiene al calentar madera u otros residuos vegetales (fibra de coco, tallos de vegetales, etc.), apartando toda el agua dentro de ellos, hasta quedar de un color completamente negro. Es el carbón con mayor utilización en

el mundo, dado que se ocupa para todo tipo de industrias, para la filtración de agua y distintos tipos de procesos químicos, esto gracias a que es fácil de hacer combustión con él.

Dependiendo del nivel de humedad y del contenido de carbono que este posea, se destinará al tipo de uso que mejor se adapte conforme sus propiedades físicas y químicas. Esto se muestra en la Fig.2.19

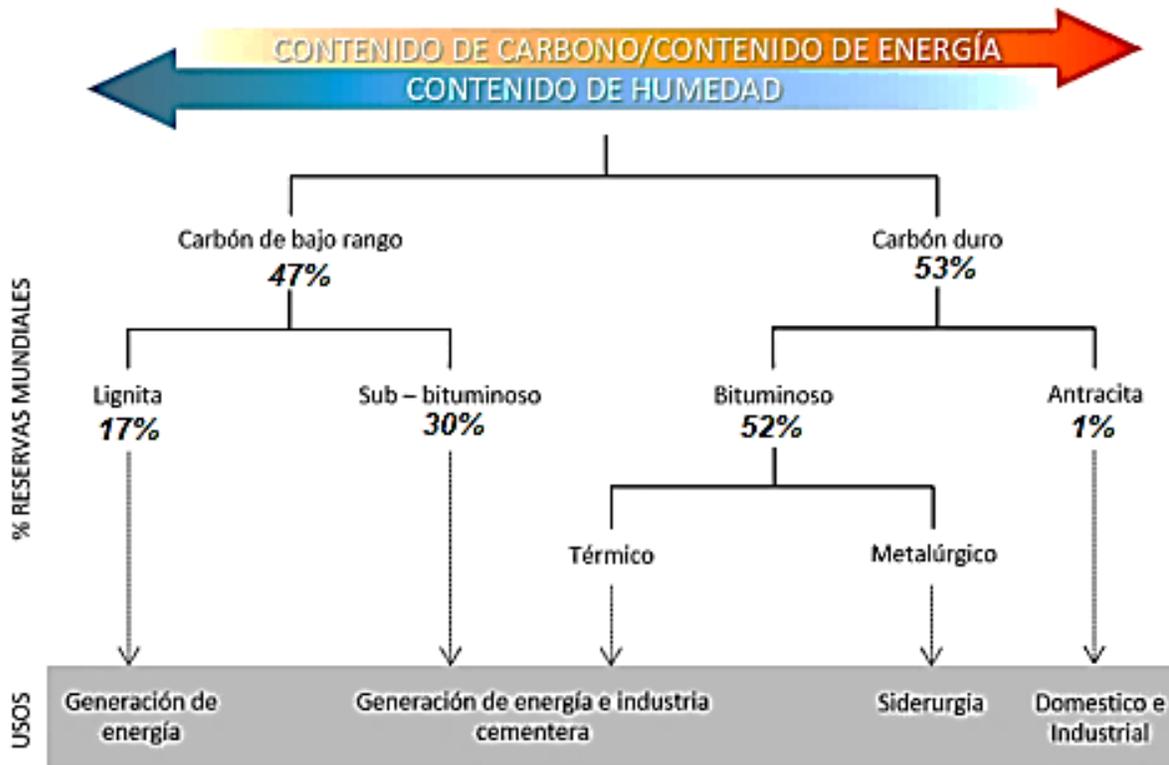


Fig.2.19. Uso del carbón en base a su contenido de carbono y humedad. Imagen obtenida de [57]

En la Fig.2.20 una proyección de la producción del carbón a 2024 con los principales productores de este mismo material. En 2007 se tenía previsto que a nivel mundial quedaban 147 años de reservas de carbón, si tomamos en cuenta que ya han pasado 17 años desde entonces sólo nos quedan 130 años, por lo que no podemos seguir con el mismo material como combustible a futuro. En la Fig.2.21 se muestran las reservas estimadas de carbón a nivel mundial desde el 2007.

PROYECCIONES DE PRODUCCIÓN DE CARBÓN A 2024

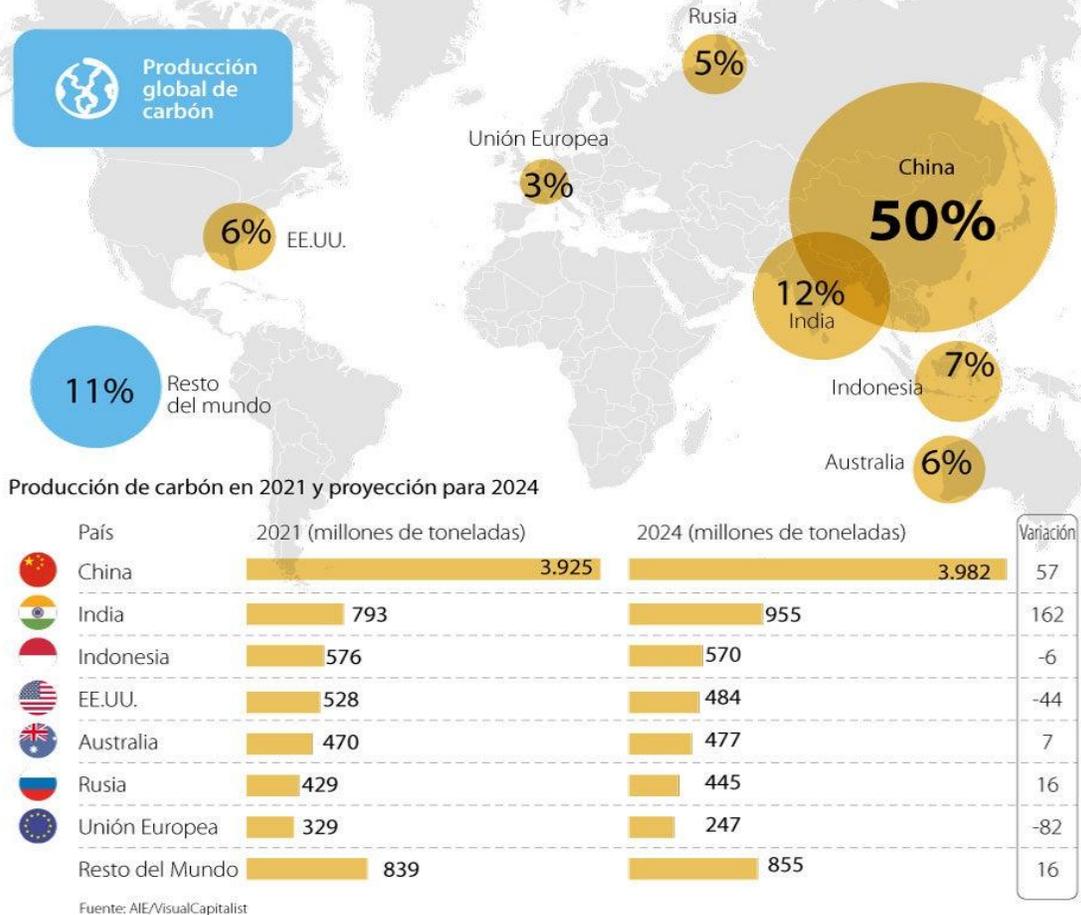
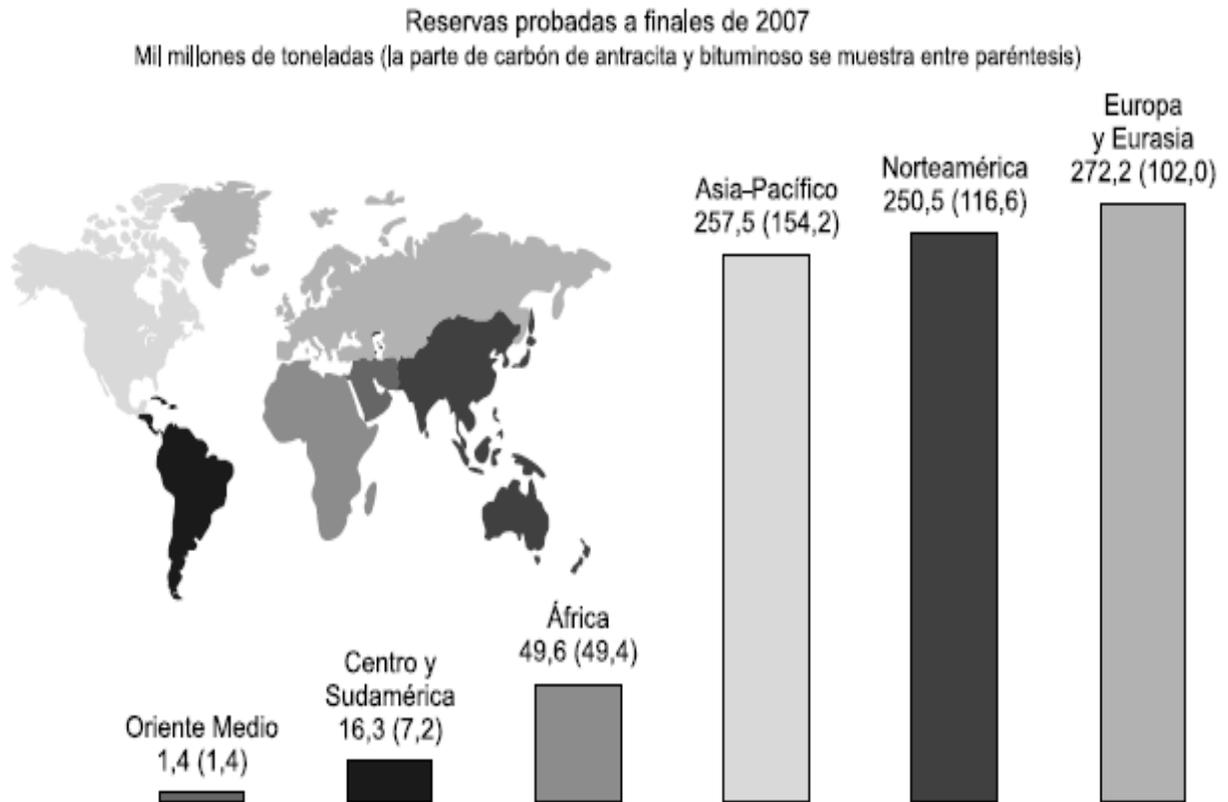


Fig.2.20. Países con mayor producción de carbón en el mundo hacia el 2024. Imagen obtenida de [58]

Como se observa en la gráfica si ponemos atención parte de los países con mayores reservas de carbón son los países con mayor poder económico a nivel mundial. Los países con mayores reservas de carbón a nivel mundial desde el 2020 se muestran en la Fig.2.22



**Figura 2.15. Reservas de carbón.**

Fig.2.21 Reservas de carbón a nivel mundial aprobadas en el 2007. Imagen obtenida de [59]

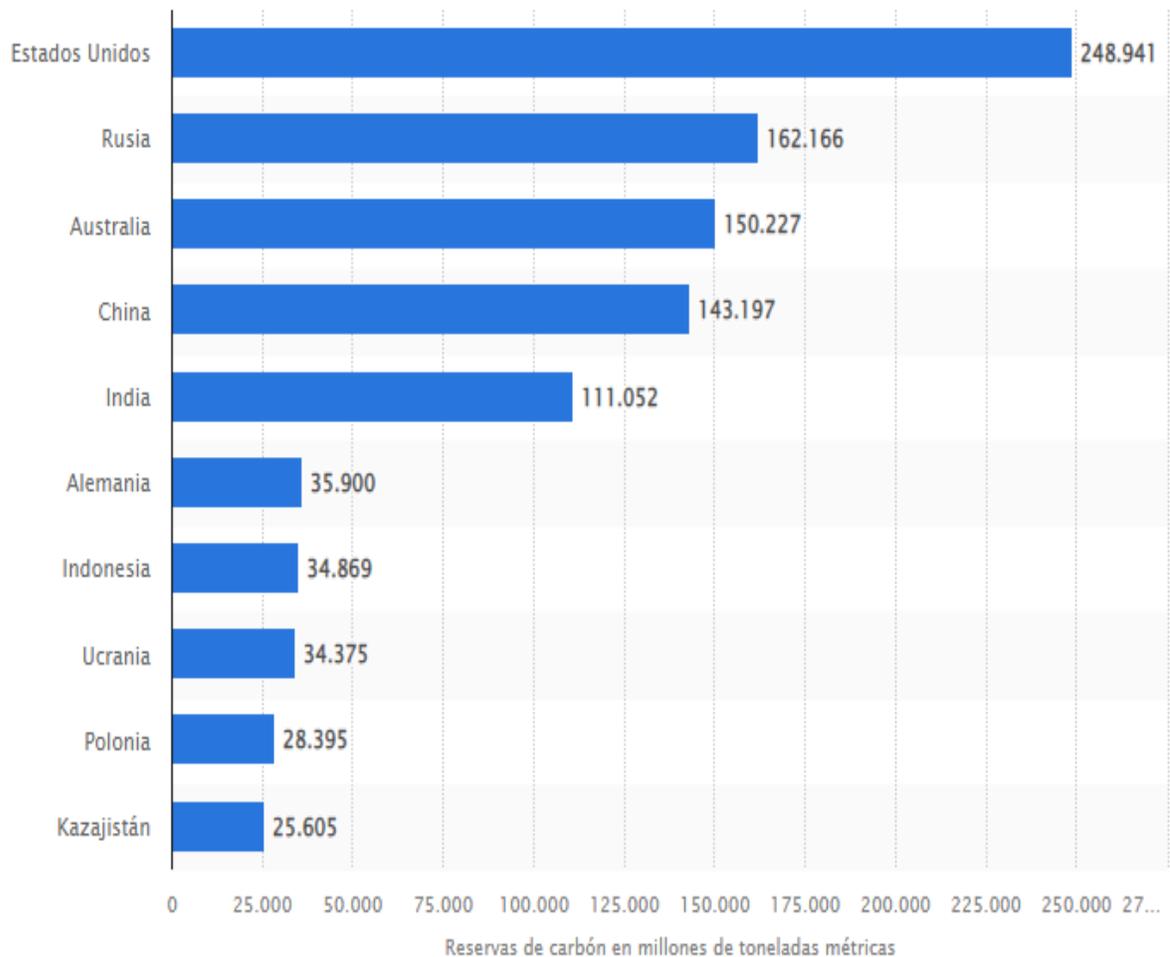


Fig. 2.22 Países con las mayores reservas de carbón en toneladas métricas desde el año 2020. Gráfica obtenida [60]

## 2.4 Energías Renovables.

Las energías renovables son fuentes limpias e inagotables de recursos energéticos de origen natural, en su mayoría no emiten gases contaminantes al medio ambiente (como  $CO_2$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$ ) y si lo hacen es en una cantidad muy baja a comparación de los combustibles fósiles. Además, no generan residuos peligrosos para el medio ambiente y los seres vivos.

Otra de las ventajas de las energías renovables sobre los combustibles fósiles es que pueden emplearse de manera ilimitada debido a las siguientes dos razones:

- Su suministro es prácticamente inagotable y ampliamente abundante.
- Los recursos que se utilizan para obtener esas energías se pueden renovar infinitamente (como el agua respetando el ciclo del agua, o los rayos del sol), caracterizándose por tener un bajo impacto ambiental.

Las energías renovables son la energía solar, geotérmica, eólica, hidráulica y biomasa, en este apartado solo nos centraremos en las primeras dos.

#### **2.4.1 Energía solar.**

La energía solar es aquella que proviene del sol mediante la luz reflejada de los rayos solares que llegan a nuestro planeta, pudiéndolos captar en manera de luz visible, luz infrarroja y luz ultravioleta. Se trata de una energía renovable que para el ser humano que es infinita, limpia y amigable con el medio ambiente, dado que no genera contaminantes que dañen ni alteren a nuestro planeta.

La forma de aprovechamiento de la energía solar se divide en dos formas, de forma térmica y fotovoltaica. La forma térmica consiste en calentar fluidos (agua, aire, etc.) a través del aprovechamiento de los rayos solares en artefactos, como los calentadores solares o estufas solares.

Sin embargo, la mejor manera para aprovechar la energía solar es a través de la forma fotovoltaica, donde aprovechando la radiación solar que es absorbida por paneles solares, termina siendo dirigida a un circuito conformado por dos secciones de materiales semiconductores, una positiva (P = Positiva) y otra negativa (N = Negativo), donde los fotones (cosa de la que está hecha la luz) sufre un proceso de

transformación electrostática, terminando por generar movimiento de electrones, dando como resultado electricidad.

A esto se le llama efecto fotoeléctrico (también llamado efecto fotovoltaico) y producido gracias a las llamadas células solares, varias de estas conforman un panel solar. En la Fig. 2.23 se muestra el funcionamiento del efecto fotoeléctrico en un panel solar.

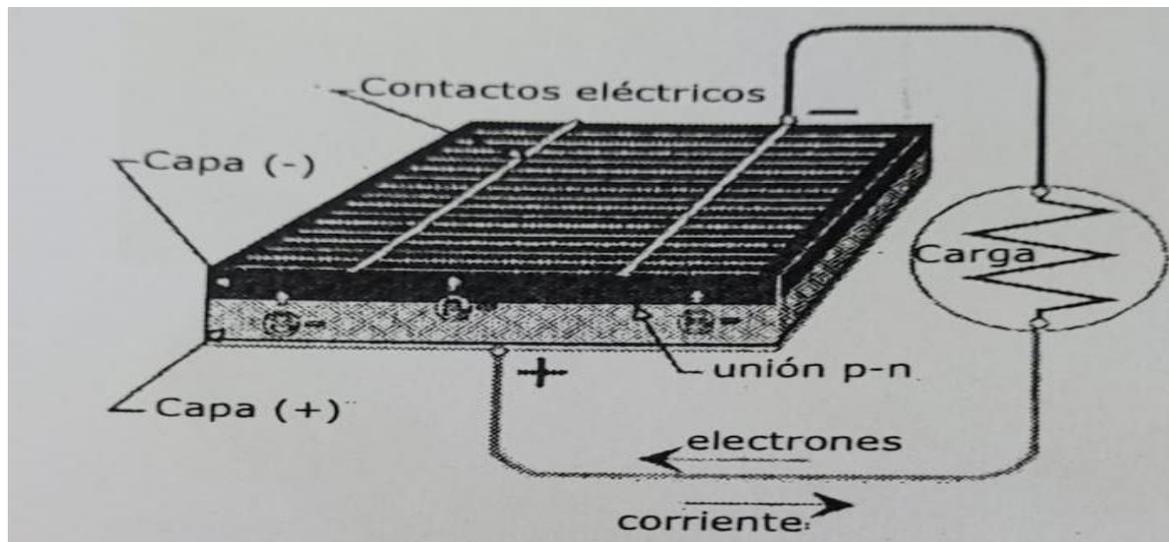


Fig. 2.23 Efecto fotoeléctrico en un panel solar. Imagen obtenida [61]

Los paneles solares en promedio tienen una potencia de 200 W a 500 W, aunque también existen células que tienen mayores y menores potencias, depende de la potencia instalada por el número de horas solares, por el porcentaje de capacidad instalada que tengan, serán los kWh que producirán al día.

Como ya había comentado la unión de varias células solares conforman un panel solar, el voltaje obtenido dependerá del diseño, materiales de los que este hecho y la corriente eléctrica dependerán de la posición en que se encuentre el panel y la luz que absorba en el momento específico del día.

El rendimiento de las células solares es la relación de la energía eléctrica producida por la misma y la radiación solar incidente. Los materiales más usados en el mercado para transformar la luz solar en electricidad en las células solares son los siguientes:

- Cristal de silicio (Si)
- Silicio amorfo (a-Si)
- Telurio de cadmio (CdTe)
- Diseleniuro indico de cobre ( $CuInSe_2$ )
- Arseniuro de galio (GaAs)

Los tipos de paneles solares se dividen en monocristalino y policristalino, la diferencia radica en el modo de fabricación y su nivel de pureza de silicio, esto se resume en el rendimiento del autoconsumo de los paneles solares. A continuación, explicaré las características de cada uno.

- Paneles monocristalinos: Se fabrican de bloques cilíndricos de silicio, cortando los lados del cilindro, dejando una forma rectangular y con las esquinas se hacen bordes redondeados. Estos paneles tienen una pureza en silicio muy elevada, lo que provoca que la generación de energía de cada celda sea muy alta, aproximadamente un 25% de utilidad y su tiempo de vida es prolongado con unos 25 a 50 años de vida útil. El contra es que su proceso de fabricación es lento y costoso en términos energéticos. Son de color verde en su gran mayoría.
- Paneles policristalinos: Su fabricación es más rápida y económica que los paneles monocristalinos, dado que se utiliza menos silicio para fabricarlos, también tienen una calidad de vida de menor de 25 años. También tienen una eficiencia menor de producción de energía entre el 15% al 17%. Su color característico es el azul

En la Fig.2.24 se muestra un panel monocristalino y un policristalino.

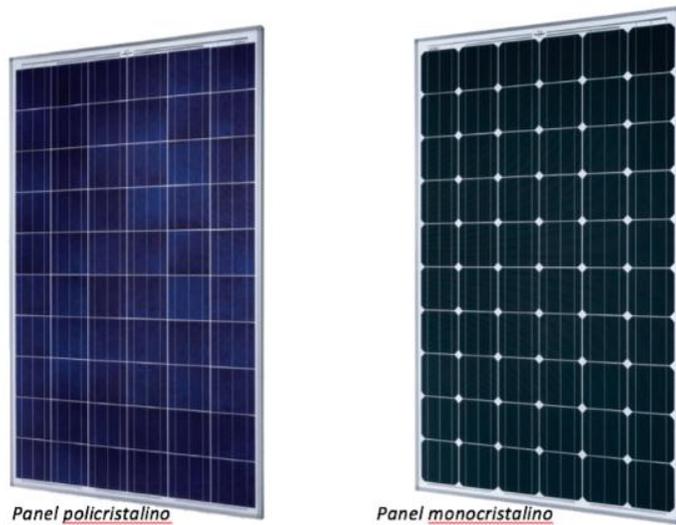


Fig. 2.24. Panel policristalino y panel monocristalino. Imagen obtenida [62]

El rendimiento de los paneles solares se mide con la unidad de watt – pic (Wp), que representa la potencia que puede suministrar un panel o célula, cuando se somete a una radiación solar de  $1000 \text{ W}/\text{m}^2$  a una temperatura de  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ . Es necesario desde un punto de vista del mantenimiento, limpiar una o dos veces al año los paneles solares, para evitar que el polvo acumulado impida el paso de luz dentro ellos y disminuya su producción de energía.

El único inconveniente es el indirecto impacto ambiental que viene con la fabricación de los paneles solares, dado que algunos materiales de los que están hechos (como el cadmio y la plata) y las partículas que liberan al exterior ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}_2$  etc.) son tóxicos para el medio ambiente. Sin embargo, su fabricación sigue compensando si se compara con la contaminación que generan los combustibles fósiles en el día con día.

En la Fig.2.25 tenemos el impacto ambiental de la energía fotovoltaica en promedio por panel solar, esto tomando en cuenta el tamaño y la cantidad de energía que se necesita para fabricarlo. La energía solar es una gran alternativa para muchos países a nivel mundial, dado que aquellos que poseen un gran nivel de radiación solar, pueden gozar de energía limpia y renovable de manera infinita sin repercusiones. En la Fig.2.26 los países con mayor potencial fotovoltaico medido en  $\text{kW}/\text{m}^2$ .

Parámetro	Valor (kWp)	Valor (kg/TJ)
$CO_2(kg/TJ)$	0	0
$SO_2(kg/TJ)$	0	0
$NO_x(kg/TJ)$	0	0
Partículas ( $kg/TJ$ )	0	0
$VOC_s(kg/TJ)$	0	0
En la construcción $CO_2(kg/TJ)$	432-2138	4000-20000
En la construcción $SO_2(kg/TJ)$	5,47-6,76	75-95
En la construcción $NO_x(kg/TJ)$	4,52-6,07	61-83

Fig. 2.25. Tabla del impacto ambiental de la energía fotovoltaica. Tabla obtenida de [63]

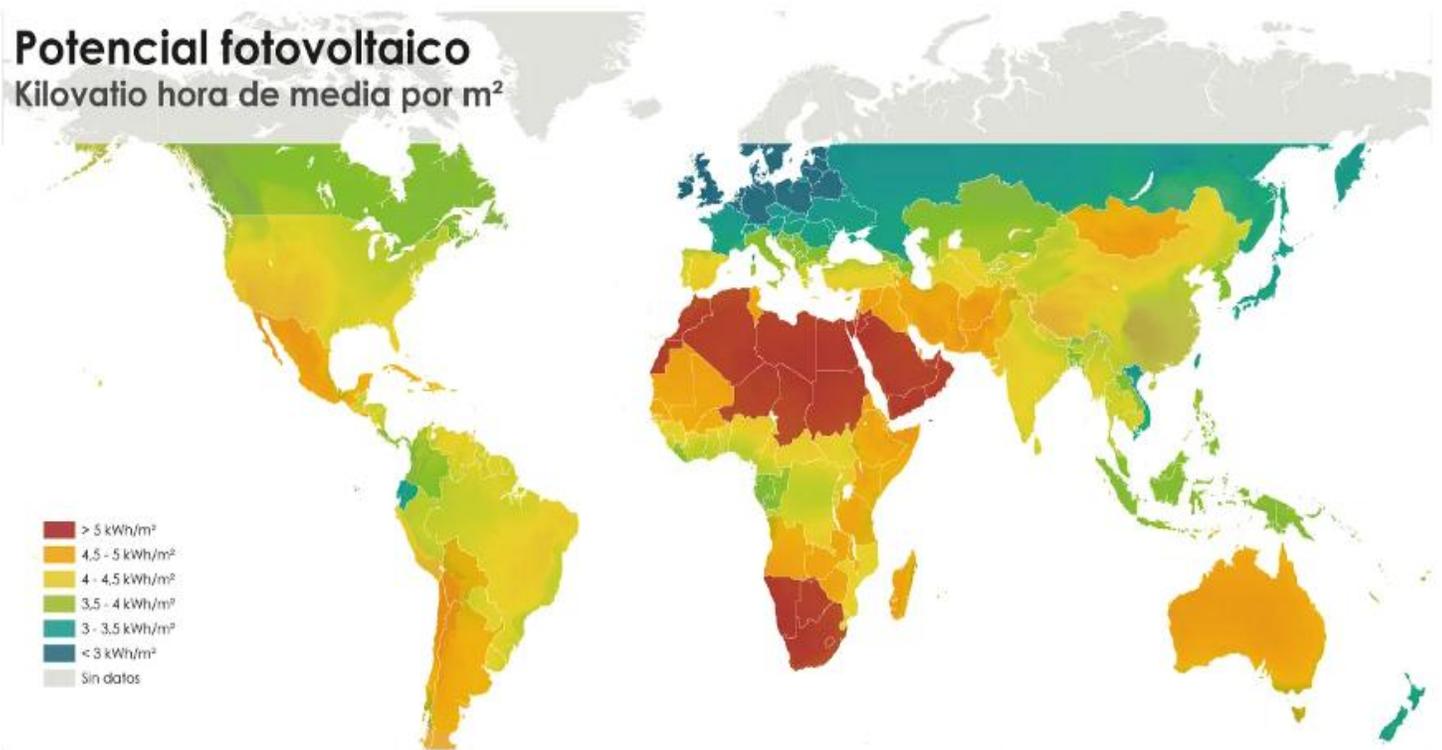


Fig. 2.26. Potencial fotovoltaico en  $kWh/m^2$ . Imagen obtenida de [64]

Los datos de contaminación de la Fig.2.27 de un panel de energía solar tienen la ventaja de ser compensados normalmente en sus primeros 3 a 5 años de vida, esto si el panel es policristalino, si es monocristalino es de 5 a 10 años, es decir que si un

panel genera 1314 kg de CO<sub>2</sub> , esto se divide en los primeros 5 a 3 años si es del primer tipo, suponiendo que es en 3 años donde termina de contaminar por su proceso de producción, por año obtendríamos 438 kg de CO<sub>2</sub> para que al tercer año sean los 1314 de CO<sub>2</sub>, lo que termina de pagar su deuda de contaminación para que en sus últimos 22 años de vida promedio solo produzca energía limpia sin repercusiones ecológicas.

Como podemos observar nuestro país, cuenta con un buen nivel de potencial fotovoltaico, estados como Baja California Norte, Baja California Sur, Chihuahua, Sonora, Nuevo León, Tamaulipas, y Zacatecas, tienen abundante radiación solar.

Nuestro país cuenta con 17 regiones en estudio de la radiación solar estudiadas por la UNAM, en estados como la CDMX, Coahuila, Michoacán; Ciudad Cuauhtémoc, Chihuahua; Ejido Venecia, Gómez Palacio, Durango; Guerrero Negro, Baja California Sur; Ixmiquilpan, Hidalgo, José María Morelos, en Morelos, Nuevo Laredo, Tamaulipas, Selegua, Frontera Comala, Chiapas; Tepic, Nayarit; Quintana Roo; Zacatecas, Zacatecas y Hermosillo, Sonora. En estos lugares se hace la investigación de la radiación solar para su uso en las energías renovables.

Otros estados como Oaxaca, Veracruz, Yucatán, Colima y Jalisco también tienen potencial energético, lo único que juega en contra como en otros estados son las temporadas o estaciones de tiempo. Sin embargo, también presentan un potencial energético fuerte como los primeros mencionados.

#### **2.4.2 Energía geotérmica**

La energía geotérmica es la que se obtiene del calor generado en el núcleo de la tierra, de manera natural es la responsable del magma, de los vapores de los geiseres y del agua caliente en las famosas aguas termales. La temperatura interna del planeta tiene un estimado de 6000 °C a 7000 °C en la profundidad total, pero a menores profundidades entre los 3 a 5 KM está disminuyendo de 1200 °C a 650 °C. En el planeta,

a medida que nos adentramos en la corteza terrestre, la temperatura suele aumentar aproximadamente 3 °C cada 100 metros.

Algo importante a recalcar es que la estructura interna de la tierra se divide en dos modelos: el modelo geoquímico; este considera la composición química de las capas del planeta (corteza, manto y núcleo). El modelo dinámico; considera el estado físico de las capas con sus propiedades mecánicas ante las presiones y temperaturas a las que se encuentran. Resumidamente estos clasifican la estructura de la Tierra desde la superficie hasta el centro, en función de su composición química, rigidez y plasticidad.

En la Fig. 2.27 se muestra el cómo se dividen ambos modelos en la estructura interna de la tierra. Para la existencia de un yacimiento de energía geotérmica deben de cumplirse estos cuatro factores:

- Presencia de una fuente de calor: Esta fuente, generalmente, está constituida por un cuerpo de magma situado a una profundidad razonable, desde el cual se trasmite el calor a las rocas circundantes. (José Antonio Carta González, 2009, pág. 533)
- Presencia de agua: El yacimiento debe ser susceptible de ser recorrido por una corriente de agua. Esta agua puede haberse infiltrado en el subsuelo a través de fracturas o rocas permeables, hasta alcanzar la profundidad necesaria para ser calentada por la fuente de calor. También es posible que el agua sea inyectada por el hombre artificialmente desde la superficie. Desde hace bastante tiempo la reinyección de agua ha sido empleada en diversas partes del mundo como una manera de reducir el impacto ambiental del funcionamiento de las plantas geotérmicas. Asimismo, la recarga artificial ayuda a mantener campos geotérmicos que tienden al agotamiento por falta de fluidos. (José Antonio Carta González, 2009, pág. 533).

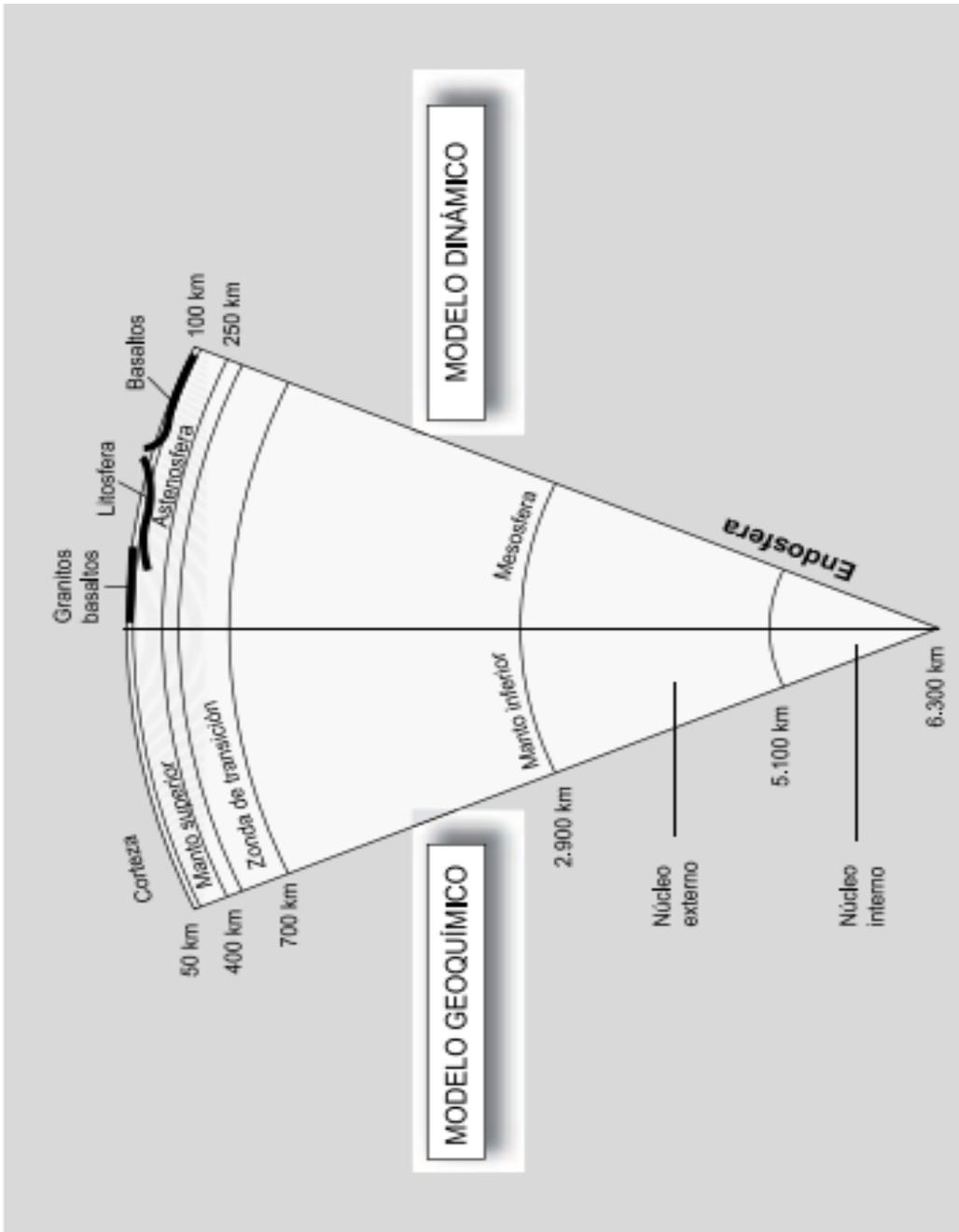


Fig. 2.27 Modelos de la estructura interna de la tierra. Imagen obtenida de [65]

- Presencia de un depósito: El volumen de este depósito lo proporciona rocas permeables situadas a una profundidad, accesible mediante perforaciones, donde se almacena el agua caliente o el vapor, que son los medios para transportar el calor. (José Antonio Carta González, 2009, pág. 534).

- Existencia de una cubierta impermeable: Su presencia es necesaria para impedir que los fluidos se escapen hacia el exterior del yacimiento. (José Antonio Carta González, 2009, pág. 534)

En base a lo anterior también es importante determinar los tipos de yacimientos para la extracción de energía geotérmica, estos se dividen en sistemas hidrotérmicos, sistemas geo presurizados y sistemas de roca caliente seca.

- **Sistemas Hidrotérmicos:** Son de fácil acceso y los de mayor uso para la generación de energía geotérmica, principalmente se constituye de agua calentada (de manera gaseosa o semilíquida) por rocas incandescentes a una profundidad de entre mil a dos mil metros y una temperatura entre los 150 °C a los 400 °C. El mayor campo de investigación referente a geotermia se ha desarrollado en este sistema por lo anteriormente mencionado de la facilidad de acceso en la extracción de energía.
- **Sistemas Geo presurizados:** Son de difícil acceso debido a que se encuentran en profundidades entre los 2500 a 8000 metros. Sin embargo, las temperaturas no suelen ser excesivamente altas (150 °C - 250 °C). El agua suele coexistir con gases naturales (metano), lo que dificulta su explotación en la actualidad. (José Antonio Carta González, 2009, pág. 535)
- **Sistemas de roca caliente seca:** Los sistemas de roca caliente seca se caracterizan por estar constituidos por rocas impermeables, con temperaturas entre 150 °C y 300 °C, y por carecer de acuífero. La impermeabilidad del sistema, su baja conductividad térmica y la carencia de un fluido que lo recorra constituyen el escollo principal para su explotación. De hecho, a pesar de representar estos sistemas un porcentaje muy elevado de los recursos geotérmicos mundiales, aún se encuentran en la etapa de investigación. (José Antonio Carta González, 2009, pág. 535)

En la Fig.2.28 se mostrarán las zonas en el mundo con mayor potencial geotérmico.



Fig. 2.28. Zonas sombreadas con mayor potencial geotérmico a nivel mundial.

Imagen obtenida de [66].

Como podemos observar en la Fig. 2.28, la energía geotérmica no está distribuida de manera uniforme en todo el planeta en partes iguales, pero lo importante es que esta se encuentra en gran parte del mundo. En la Fig.2.29, se mostrará una gráfica del ranking con los países con mayor potencia geotérmica a nivel mundial.

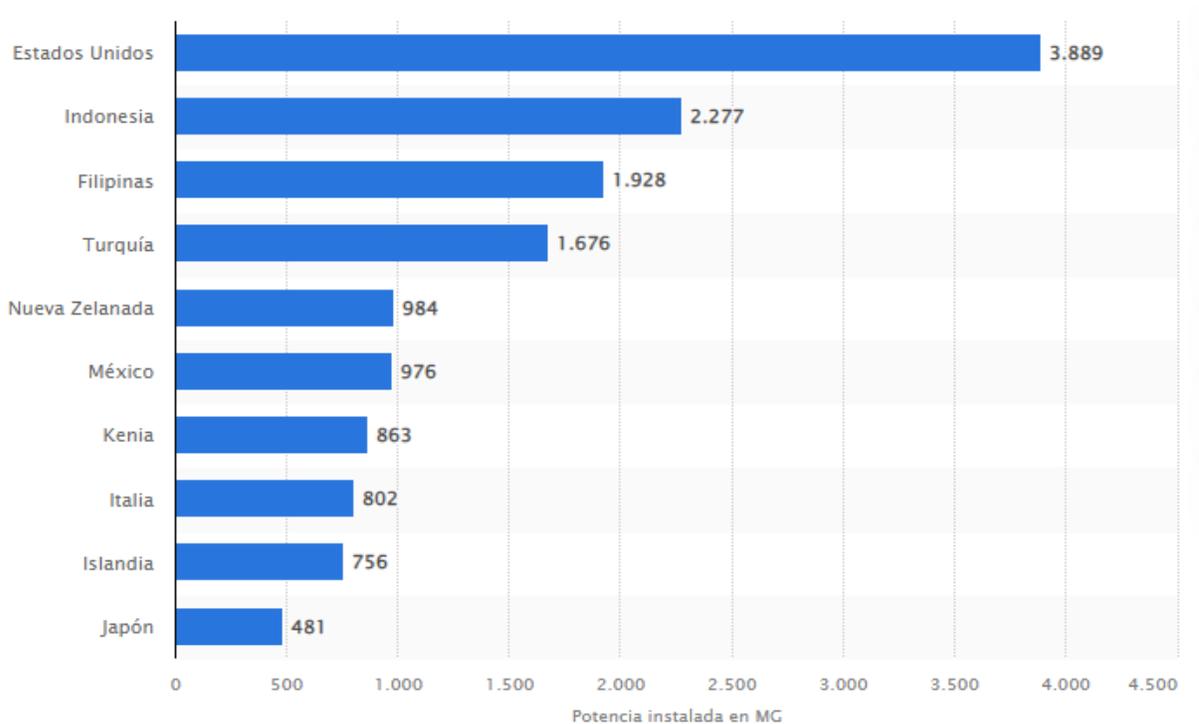


Fig. 2.29 Ranking mundial de los países con mayor potencia geotérmica instalada en 2021 en MG. Imagen obtenida de [67].

Como se observa los países de Norte América como el nuestro tienen una gran capacidad instalada para poder obtener energía limpia a través de la geotermia, lo cual sería un gran favor para el medio ambiente y así evitar emisiones de GAI

Para el aprovechamiento de la energía geotérmica, se suministra agua (extraída de un manto acuífero subterráneo de la zona a producir energía o de una fuente de agua terrestre próxima) desde la superficie hacia la fuente térmica, teniendo como resultado vapor de alta presión que es dirigido a una turbina para la generación de electricidad, después el vapor se dirige a un condensador donde se convierte en agua líquida. El agua obtenida en el condensador se hace pasar por una torre de enfriamiento; una fracción importante del agua enfriada en la torre se envía al condensador para que sirva de refrigerante al sistema, el resto se inyecta de nuevo en las reservas de agua, ya sean subterráneas o superficiales para la generación de vapor y se repita el ciclo nuevamente. En la Fig.2.30 se muestra el proceso de lo anteriormente mencionado.

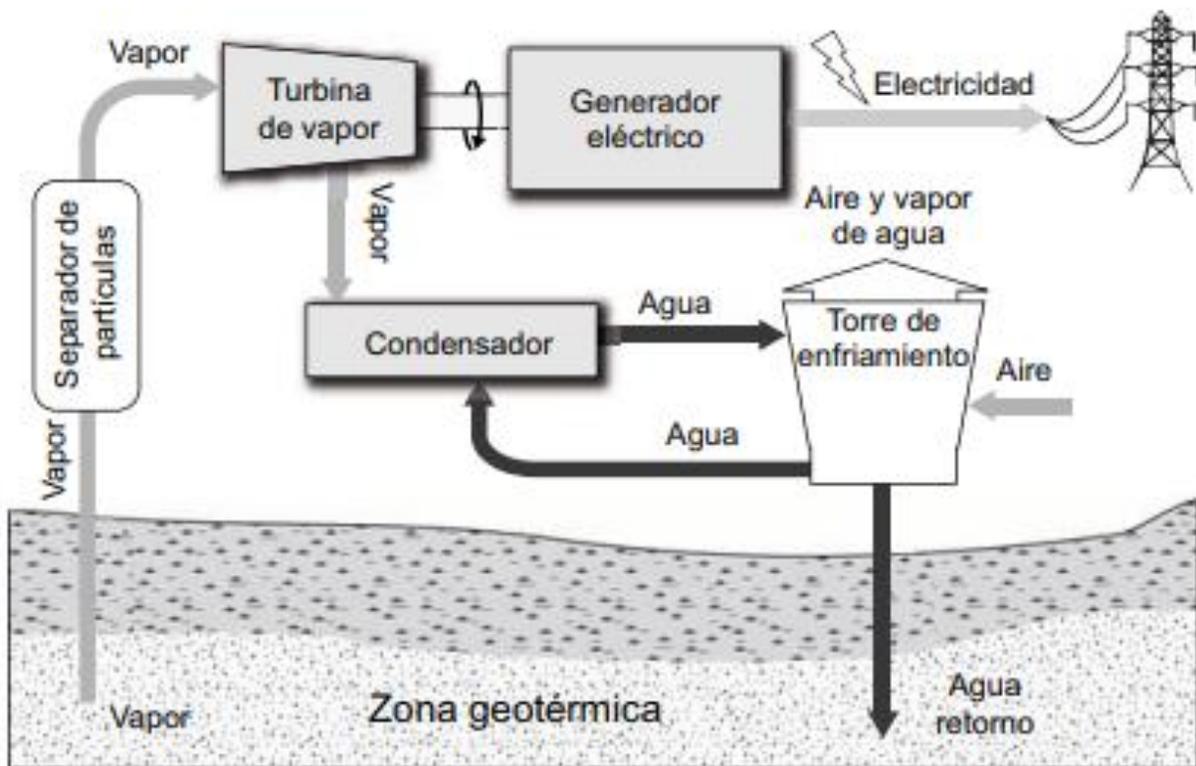


Fig. 2.30 Esquema de la obtención de electricidad a través de la energía geotérmica.

Imagen obtenida de [68].

Una ventaja de la energía geotérmica ante otro tipo de energías tanto renovables como fósiles, es la capacidad de generación de energía eléctrica de forma continua por 24 horas seguidas. Por tratarse de una fuente de electricidad más limpia, la energía geotérmica también puede tener un papel importante en la disminución de las emisiones de GEI del sector energético.

El potencial de generación hasta el momento de energía geotérmica a nivel mundial es de 70 GW a 80 GW, pero el potencial energético del planeta se estima en 30 TW. Sin embargo, solo el 15 % de las reservas geotérmicas conocidas en todo el mundo se explota para la producción eléctrica. (Banco Mundial, 2017)

En condiciones adecuadas, puede tener un costo competitivo en relación con el carbón o el gas natural, lo que significa que los países como el nuestro pueden depender menos de los combustibles fósiles, combustibles importados y ampliar su seguridad energética. En conjunto, los recursos de esta energía en todo el planeta pueden estimarse en unos  $30 \times 10^6$  TW de los cuales sólo una pequeña parte podrían ser extraíbles en condiciones técnicas y económicas adecuadas.

En términos de contaminación una planta de energía geotérmica en comparación con una planta termoeléctrica solo genera en promedio 5 toneladas de CO<sub>2</sub>, tal y como se muestra en la Fig.2.31, pero esto solo en zonas con alta concentración de azufre, debido a que no todas las plantas geotérmicas emiten contaminación dependiendo de su ubicación geográfica, componentes del suelo y extracción del mismo

Como podemos observar en la gráfica la contaminación emitida por una planta de energía geotérmica ubicada en zonas de azufre en comparación a otro tipo de termoeléctricas es muy poco, lo que lo hace en términos ecológicos y energéticos una de las mejores opciones para sustituir el gasóleo, carbón, etc. como materia primera para cogenerar energía eléctrica a nivel mundial.

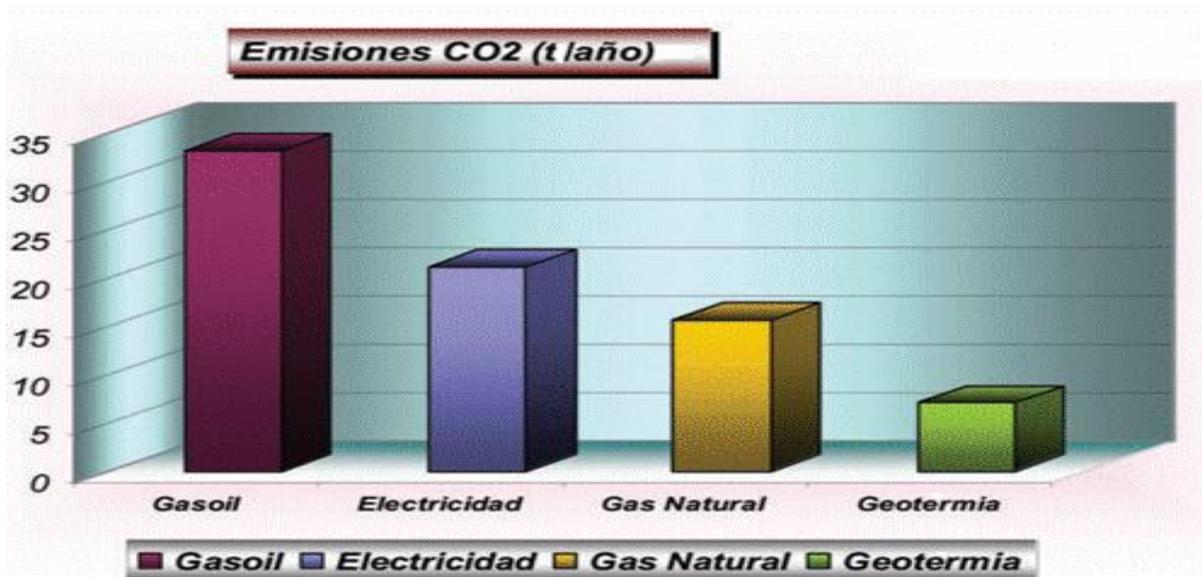


Fig.2.31. Emisiones de CO emitidos por una planta de energía geotérmica en comparación al resto de termoeléctricas. Imagen obtenida de [69]

## 2.5 Biocombustibles.

Los biocombustibles (también llamados biocarburantes) son aquellos combustibles que se obtienen y producen de manera directa a partir de recursos naturales. A diferencia de los combustibles fósiles no dañan de manera drástica ni permanente al medio ambiente.

Existen muchos tipos de biocombustibles como el Bioetanol, Biodiésel, Biogás entre otros que se encuentran en fase de investigación y experimentación. En la Fig.2.32 veremos la clasificación de los biocombustibles. En este presente trabajo nos centraremos en el Bioetanol y Biodiésel dado que son los dos biocombustibles mayormente usados en la industria automotriz.

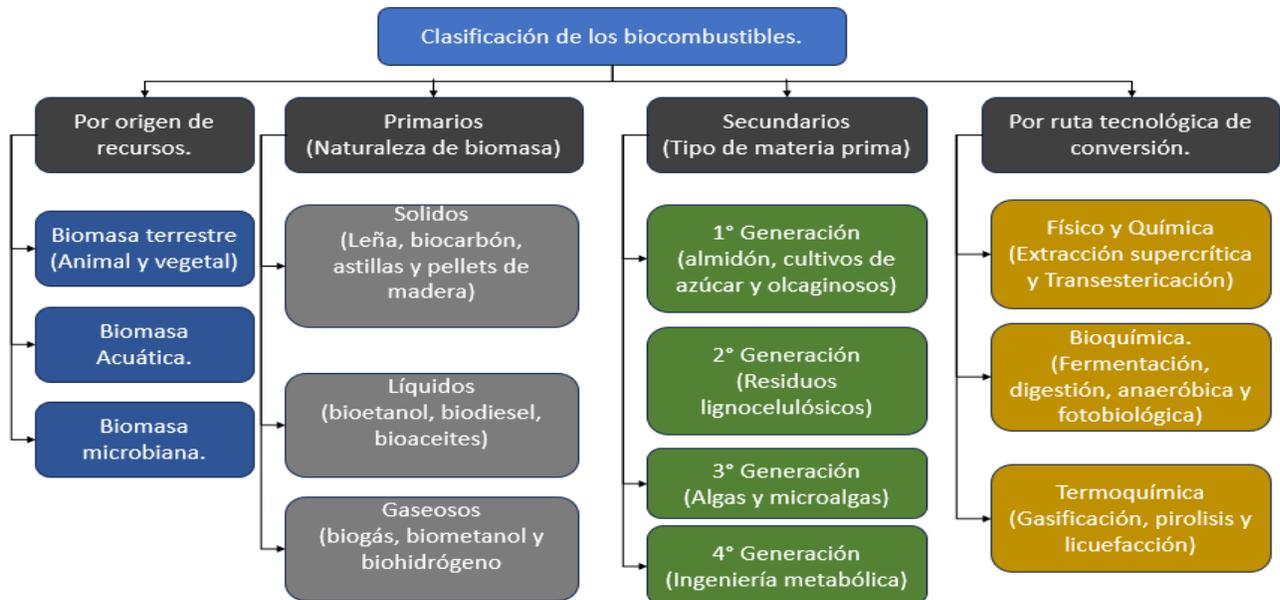


Fig. 2.32. Esquema de la clasificación de los biocombustibles. Imagen obtenida de [70].

### 2.5.1 Biodiésel.

En la siguiente cita tenemos que el biodiésel es:

“Un biocombustible líquido producido a partir de los aceites vegetales y grasas animales, siendo la colza, el girasol y la soja las materias primas más utilizadas para este fin. Las propiedades del biodiésel son prácticamente las mismas que las del gasóleo de automoción en cuanto a densidad y número de cetano (Se trata de una medida que proporciona información sobre la inflamabilidad de un combustible diésel, es decir, de su nivel de ignición). Por todo ello, el biodiésel puede mezclarse con el gasóleo para su uso en motores e incluso sustituirlo totalmente si se adaptan éstos convenientemente”. (Laborda, 2006, pág. 32)

Es decir, es un combustible de obtención de materiales orgánicos con características de automoción básicamente iguales al gasóleo, con la ventaja de que la combustión genera bajos niveles de emisiones en gases de efecto invernadero como CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> y material particulado (MP). Sin embargo, para usarlo como combustible requiere

de tratamientos para disminuir su alta viscosidad, el alto contenido de ácidos grasos forma gomas, depósitos de carbono, polimerizar durante el proceso de combustión y almacenamiento. Esto disminuye la vida útil de un motor de combustión interna.

En la Fig.2.33 veremos los componentes y propiedades del biodiésel. Para la producción de biodiésel se ocupa mayormente aceites extraídos de plantas Oleaginosas (aquellas plantas que nos brindan aceites), las materias primas para la producción de biodiésel son las siguientes mostradas en la Fig.2.34.

El método de obtención del biodiésel es conocido por transesterificación o alcoholólisis, en la siguiente cita veremos en que consiste este proceso:

“Se basa en la reacción de moléculas de triglicéridos (el número de átomos de las cadenas está comprendido entre 15 y 23, siendo el más habitual de 18) con alcoholes de bajo peso molecular (metanol, etanol, propanol, butanol) para producir ésteres y glicerina, que puede ser utilizada en cosmética, alimentación, farmacia, etc.”. (Laborda, 2006, pág. 41)

El proceso industrial del biodiésel es el siguiente; las materias primas (ya sean aceites o grasas animales), primero pasan por un filtro donde se eliminan las impurezas que lleguen a tener, posteriormente esta se precalienta a 65 °C entre 30 a 45 minutos, mientras pasa esto en un contenedor individual, se mezcla Metanol y Sosa para obtener Metóxido, se mezcla posteriormente con el aceite previamente calentado, esta se revuelve constantemente y se sigue calentando a una temperatura de 60 °C a 65 °C por un tiempo de 30 a 45 min, obteniendo glicerina, etanol, grasas saturadas y biodiésel. Se separan el biodiésel, glicerina, las grasas saturadas y el etanol a una temperatura entre 70 °C y 75 °C, para finalizar el biodiésel se refina para obtener un combustible más limpio y puro.

Propiedad	Unidad	Limites		Metodo de ensayo
		Minimo	Maximo	
Contenido en éster	%(m/m)	96.5		EN 14103
Densidad a 15 °C	<i>kg/m<sup>3</sup></i>	860	900	EN ISO 3675
				EN ISO 12185
Viscosidad a 40°C	<i>mm<sup>2</sup>/g</i>	3.5	5	EN ISO 3104
Punto de inflamación	°C	120	-	prEN ISO 3679
Contenido de azufre	mg/kg	-	10	prEN ISO 20846
				prEN ISO 20884
Residuo de carbón (en 10% de residuo destilado)	%(m/m)	-	0.3	EN ISO 10370
Indice de cetano		51	-	EN ISO 5165
Contenido de ceniza sulfatada	%(m/m)	-	0.02	ISO 3987
Contenido en agua	mg/kg	-	500	EN ISO 12937
Contaminación total	mg/kg	-	24	EN 12662
Corrosión de la tira del cobre (3h a 50 °C)	Clasificación		Clase 1	EN ISO 2160
Estabilidad a la oxidación 110 °C	Horas	6	-	EN 14112
Indice de ácido	mg KOH/g		0.5	EN 14104
Indice de Yodo	g de yodo/100g		120	EN 14111
Ester de metilo de ácido linoleico	%(m/m)		12	EN 14103
Esteres de metilo poli-insaturados (>= a 4 dobles enlaces)	%(m/m)		1	
Contenido de metanol	%(m/m)		0.2	EN 14110
Contenido en monoglicéidos	%(m/m)		0.8	EN 14105
Contenido en diglicéidos	%(m/m)		0.2	EN 14106
Contenido en triglicéidos	%(m/m)		0.2	EN 14106
Glicerol libre	%(m/m)		0.2	EN 14106
Glicerol total	%(m/m)		0.25	EN 14106
Metales del grupo 1 (Na + K))	mg/kg		5	EN 14108
				EN 14109
Metales del grupo 11 (Ca + Mg)	mg/kg		5	prEN 14538
Contenido de fósforo	mg/kg		10	EN 14107

Fig. 2.33. Propiedades del biodiésel. Tabla obtenida de [71].

En la Fig.2.35 muestra un esquema del proceso de producción del biodiésel. El biodiésel como combustible puede ocuparse en su forma pura, países como Brasil y Estados Unidos lo usan de esta forma, o mezclarlo con una pequeña cantidad de gasoil para tener un mayor cuidado del motor, como la mayoría de los países de Europa lo hacen.

<b>Aceites convencionales:</b>	<b>Aceites vegetales alternativos</b>	<b>• Aceites de semillas modificadas genéticamente</b>
Aceite de girasol Aceite de colza Aceite de soya Aceite de coco • Aceite de palma	Aceite de Brassica carinata Aceite de Cynara curdunculus Aceite de Camelina sativa Aceite de Crambe abyssinica Aceite de Pogianus Aceite de Jatropha curcas	Aceite de girasol de alto oleico
<b>Grasas animales</b>	<b>Aceites de otras fuentes</b>	<b>Aceites de fritura usados</b>
Sebo de res Sebo de búfalo	Aceites de producciones microbianas Aceites de microalgas	

Fig. 2.34 Principales materias primas para la producción de Biodiésel. Información obtenida de [72].

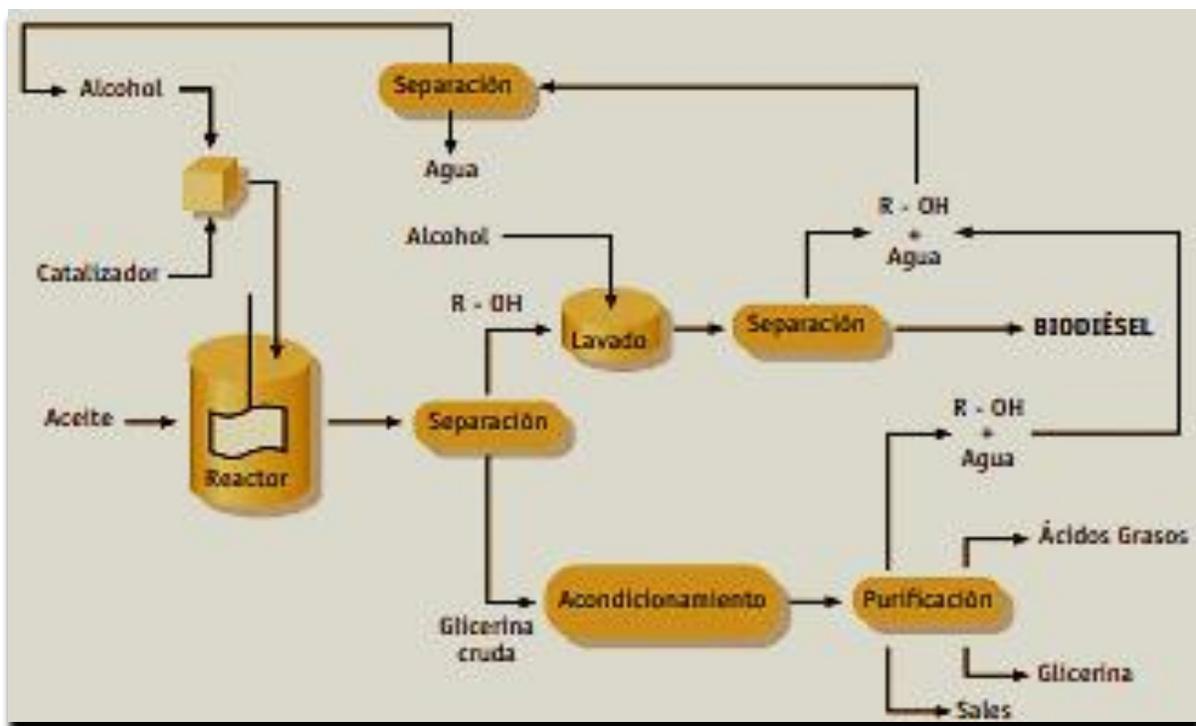


Fig. 2.35. Proceso de producción del biodiésel a nivel industrial por medio de la transesterificación. Imagen obtenida de [73].

Las ventajas tanto ambientales como técnicas del biodiésel son las siguientes:

- Reducción de emisiones de los siguientes gases al medio ambiente:
  - Monóxido de carbono
  - Partículas
  - Hidrocarburos
  - Dióxido de carbono
  - Óxidos de azufre
  - Es biodegradable (98,3% en 21 días)
  - No es tóxico para los seres vivos.
  
- Mayor lubricidad, con lo cual se alarga la vida del motor y reduce su ruido.
- Mayor poder disolvente, que hace que no se produzca carbonilla ni se obstruyan los conductos y mantiene limpio el motor

Los contras de usar biodiésel en motores de combustión interna en automóviles son los siguientes:

- La potencia del motor disminuye, porque el poder calorífico inferior (P.C.I.) del biodiésel.
- El consumo de combustible aumenta, ya que el biodiésel contiene menor poder calorífico que el gasóleo.
- Las emisiones de óxidos de nitrógeno generalmente aumentan, consecuencia de las mayores presiones y temperaturas que se alcanzan en la cámara de combustión, que a su vez se deben a un tiempo de retraso de la misma.
- Cuando se utiliza 100% de biodiésel, el aceite lubricante se contamina, debido a la menor viscosidad del éster en comparación al gasoil.
- Algunos materiales se deterioran con el biodiésel: pinturas, plásticos, gomas, etc., cuando se utiliza 100% de biodiésel.
- El Biodiésel tiene un punto de congelación (equivalente al CFPP del Gasóleo) entre 0° y -5°.
- La primera vez que se empieza a consumir Biodiésel BDP 10, y debido a su poder disolvente, puede que se deba realizar el primer cambio de filtros antes

de lo normal dependiendo del nivel de “suciedad” que haya en el motor y en el depósito de combustible del usuario.

Información obtenida de (Laborda, 2006, pág. 62 y 63). Entonces desde un punto de vista ecológico el biodiésel es altamente recomendable para evitar los efectos de gases invernaderos, siempre y cuando no se mezclen con Diesel, pero en países europeos donde la temperatura a nivel continente es baja, no es sostenible usar biodiésel en estado puro si no es mezclado con ligeras dosis de diésel normal, dado que desde el punto de vista técnico sufre desventajas como lo es congelarse en temperaturas menores a los 0 °C y de reducir la vida útil de un motor de combustión interna de mediano a largo plazo.

Normalmente otra razón por la que en Europa se mezcla el Biodiésel con el Diesel, es porque los aceites vegetales de los que está hecho el primero, presentan el problema de disolver la goma y el caucho, dando el problema de aumentar el mantenimiento en la sustitución de partes como mangueras de combustibles. De hecho, el biodiésel es biodegradable en un 98,3% en 21 días en su estado más puro.

También hay que añadir el incremento que habría en los costos de servicios de transporte a la larga por empresas de giro logístico, esto debido a que los autos propulsados a biodiésel consumen una mayor cantidad de combustible en comparación al diésel. Esto teniendo un efecto negativo sobre la economía de las empresas de transporte a nivel mundial.

En la Fig.2.36 muestra el crecimiento en metros cúbicos, variación interanual porcentual y tendencia a nivel mundial del Biodiésel desde el 2010 hasta el 2019.

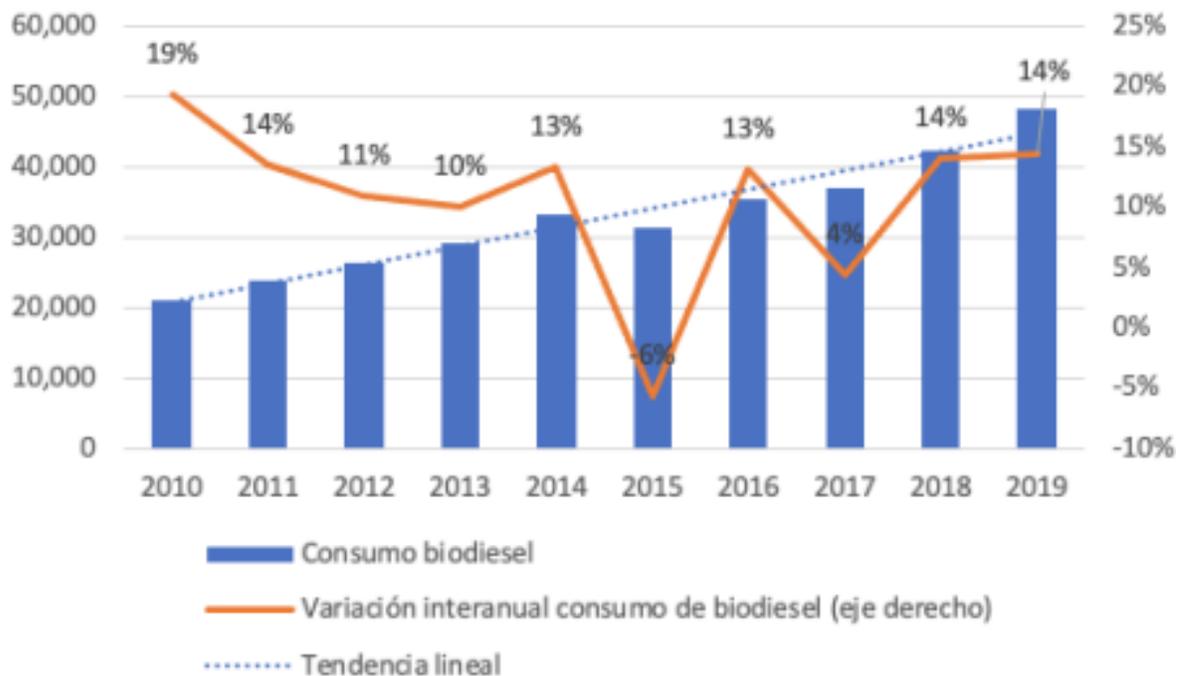


Fig. 2.36 Variación interanual porcentual, tendencia y producción total (en miles de m3) de biodiésel. Gráfica obtenida de [74].

Como podemos observar en la gráfica el consumo de biodiésel a lo largo de los años ha ido creciendo debido a la demanda del mismo en el mercado. En la Fig.2.37 muestra los países con mayor producción (en miles de barriles equivalentes de petróleo al día) de biodiésel a nivel mundial en el 2021.

La producción de biodiésel en el mundo mostró un crecimiento acumulado de 140% en la última década (2010-2019). La tasa de variación interanual en ese período osciló entre -6 % y 21 %, con una clara tendencia alcista de la producción, que alcanzó 50 millones de metros cúbicos en 2019. (Torroba, 2020, pág. 9)

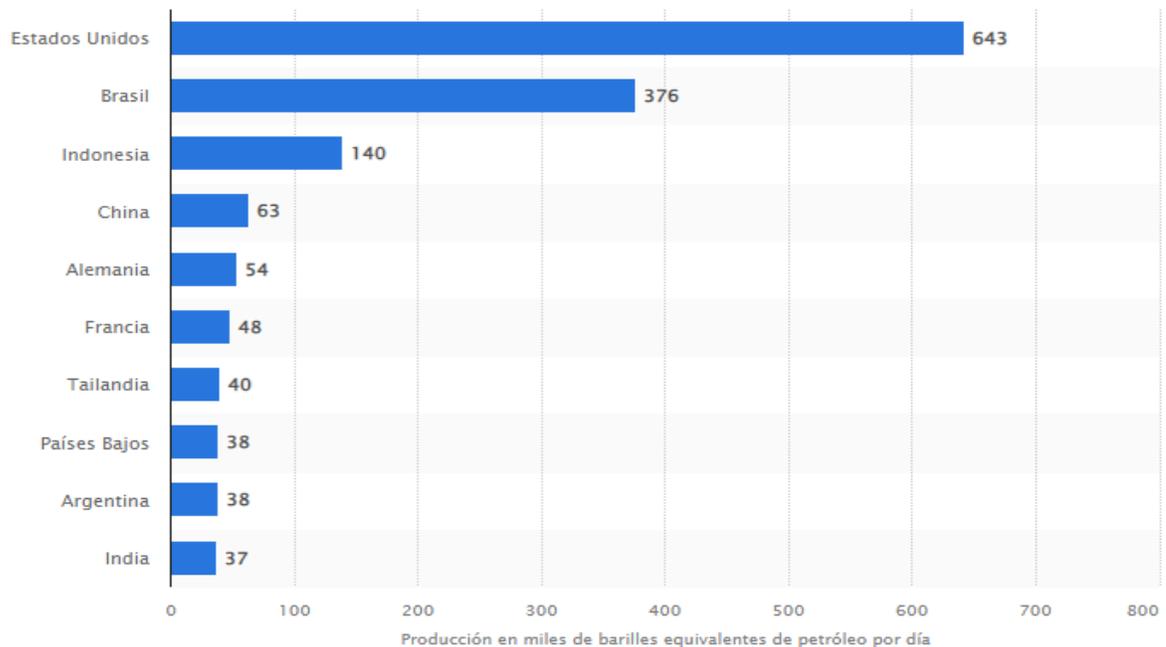


Fig. 2.37. Ranking mundial de los principales países productores de biocombustible en 2021(en miles de barriles equivalentes de petróleo por día). Gráfica obtenida de [75].

Como podemos observar los países que más producen biodiesel son curiosamente países con amplios espacios verdes para su producción.

### 2.5.2 Bioetanol.

El bioetanol es un tipo de alcohol inflamable que se obtiene a partir de la fermentación de ciertos tipos de material orgánico, principalmente la materia vegetal con alto contenido en celulosa. El bioetanol se puede obtener mediante la fermentación de plantas como:

- La caña de azúcar.
- Los cereales.
- La remolacha.

El bioetanol es el biocombustible con mayor producción en el mundo, desde 2004 se ha estudiado la forma de cultivar arboles (como el chopo o el sauce) con alto contenido en celulosa con el propósito de aumentar la producción de etanol a nivel mundial. Otra alternativa que se está estudiando, es el uso de residuos vegetales, la ventaja de esto es que tiene un costo menor, ya que la facilidad de obtención es alta, como lo son todos los desperdicios vegetales en la industria alimenticia, restaurantera, etc.

En la Fig.2.38 veremos el crecimiento en metros cúbicos, variación interanual porcentual y tendencia a nivel mundial del Bioetanol desde el 2010 hasta el 2019.

El proceso de producción de bioetanol consiste primero en reunir la cosecha de cualquier grano o residuos vegetales, para esta explicación nos centraremos en la obtención del bioetanol a través del grano de maíz. El grano de maíz es llevado a una planta especial, donde la primera etapa de producción es moler el grano, al producir la rotura del grano se produce una mayor cantidad de almidón, este es el elemento principal para la fabricación del biocombustible, al almidón que se obtiene de la molienda, es llevado a otro contenedor para ser mezclado con agua caliente y amilasa, para obtener azúcares simples o glucosa, que son llevados a otro contenedor con el fin de seguir el procedimiento.

A los azúcares se les agrega levadura, esta se los come, generando en el proceso alcohol y dióxido de carbono, a este proceso de fermentación se le deja reposar 60 horas, la mezcla fermentada pasa por un proceso de destilación, donde se separa al etanol del agua y los sólidos restantes, esto es a altas temperaturas.

Para finalizar, el último proceso se divide en dos, el primero llamado anhidración, este sirve para purificar el etanol y el otro proceso es la separación y evaporación de los sólidos restantes. Los sólidos y el agua se separan con máquinas centrifugas, mientras que los sólidos solubles se separan por procesos de evaporación y condensación, de estos dos procesos se obtiene un producto llamado burlanda de maíz. En la etapa de anhidración el etanol al 95% se convertirá en bioetanol al 99%, a través de un proceso molecular que se encarga de retener los remanentes de agua.

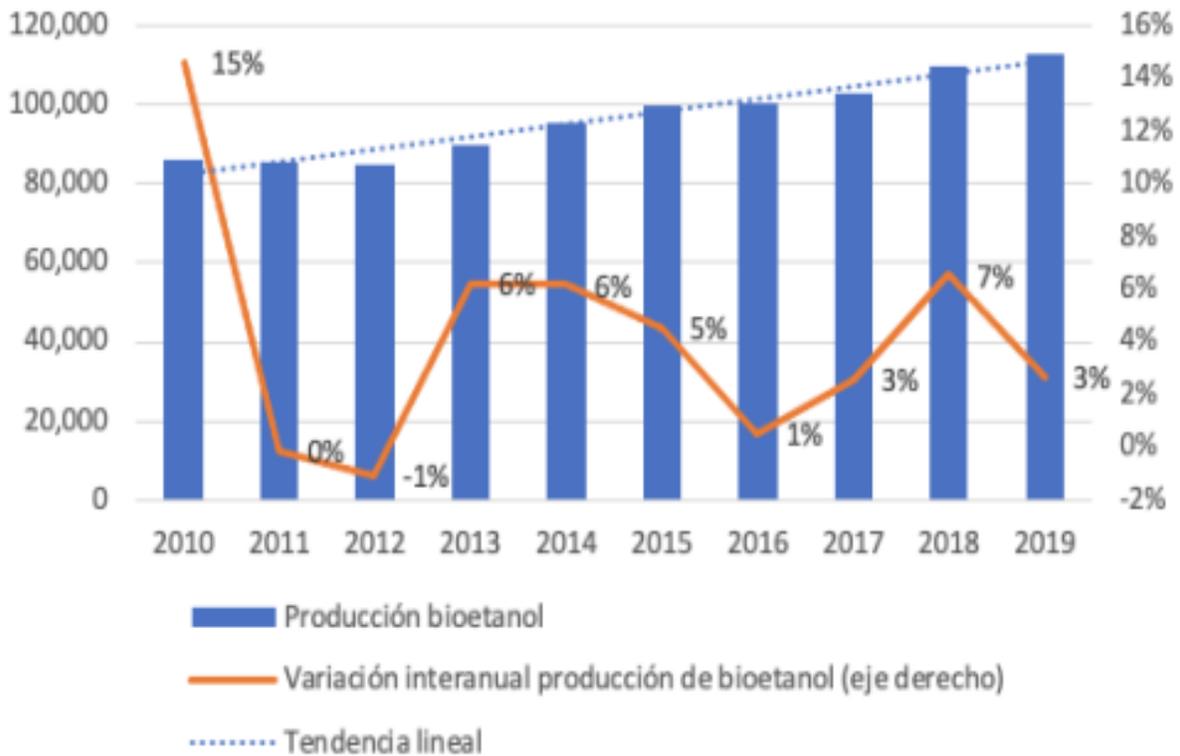


Fig. 2.38. Variación interanual porcentual, tendencia y producción total (en miles de m<sup>3</sup>) de bioetanol. Gráfica obtenida de [76].

Como podemos observar el crecimiento del bioetanol ha sido lento pero constante a lo largo de los años, teniendo ligeras variaciones en su consumo y producción.

En la Fig. 2.39 se muestra el proceso de elaboración del bioetanol explicado de manera simple. En la Fig. 2.40 veremos la diferencia de los procesos dependiendo la materia prima a utilizar. Como combustible; el bioetanol (también el biodiésel) no es completamente limpio como otras fuentes de energía en los automóviles, dado que también produce ligeras emisiones de gases de efecto invernadero, no obstante, en comparación con los combustibles fósiles como el diésel y la gasolina, tiene emisiones más bajas que estos.

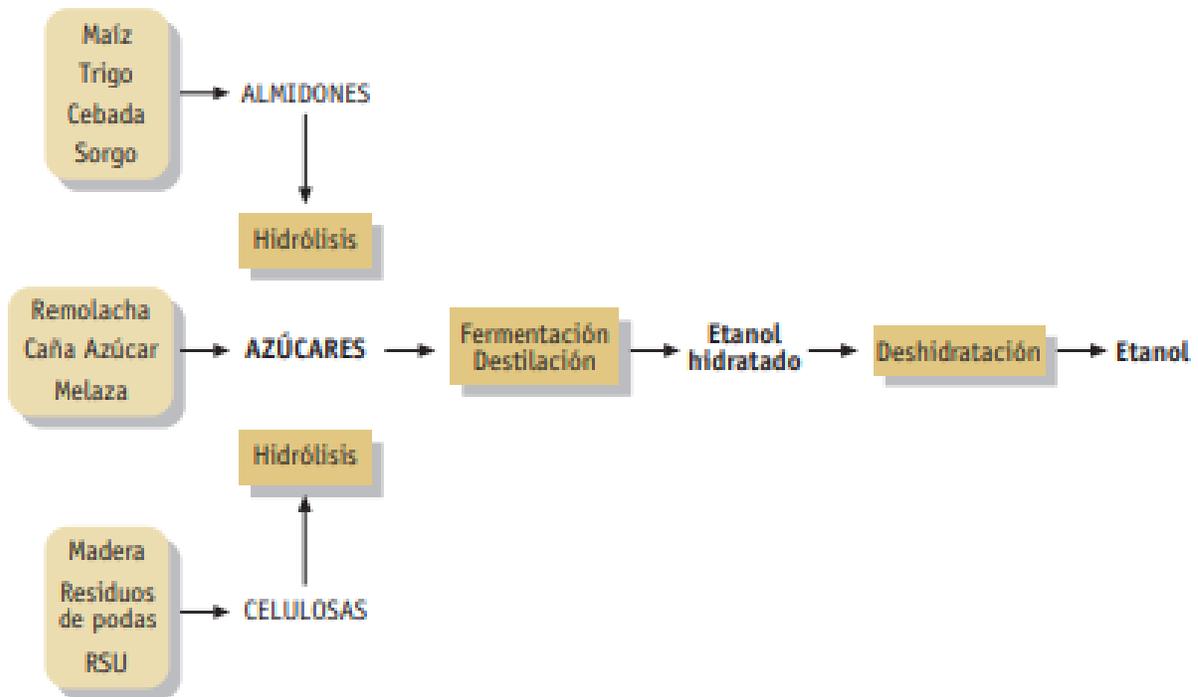


Fig. 2.39 Proceso de producción de bioetanol. Esquema sacado de [77].

Como combustible; el bioetanol (también el biodiesel) no es completamente limpio como otras fuentes de energía en los automóviles, dado que también produce ligeras emisiones de gases de efecto invernadero, no obstante, en comparación con los combustibles fósiles como el diésel y la gasolina, tiene emisiones más bajas que estos.

El bioetanol tiene alrededor de 110 octanos (lo que hace que no se queme de forma tan eficiente en los motores convencionales), mientras que la gasolina Premium y Magna en México contienen 93 y 87 octanos, respectivamente. Pero lamentablemente el bioetanol contiene menos energía por litro que las gasolinas, con lo que su rendimiento es menor, pudiendo llegar hasta un 30% menos de eficiencia, principalmente en modelos de automóviles antiguos, aunque en motores modernos de combustión interna puede que lleguen a ser más eficientes que usando gasolina.

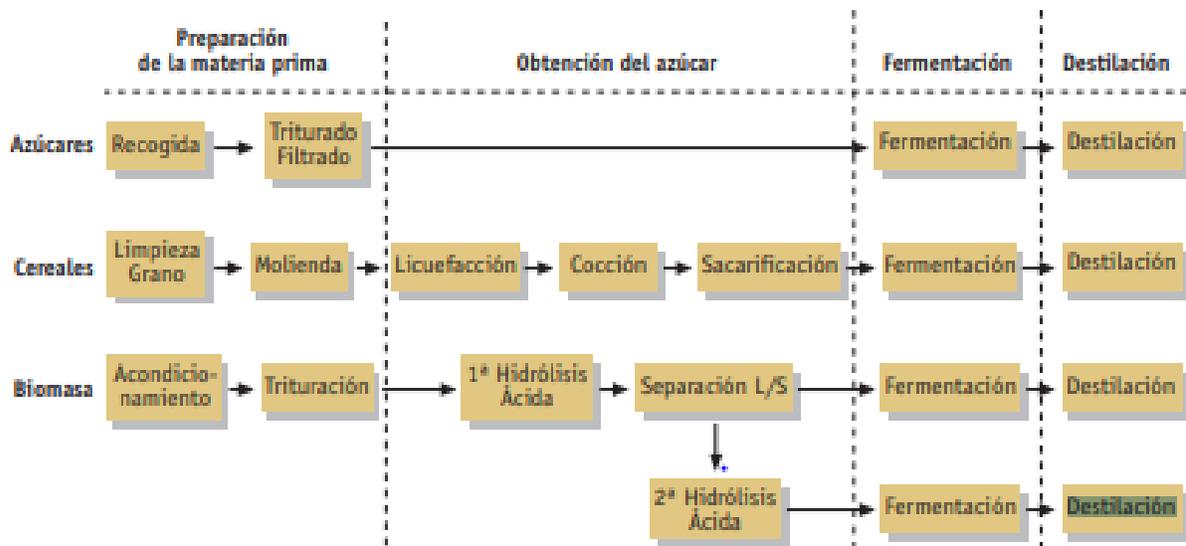


Fig. 2.40. Diferenciación de procesos de producción de bioetanol en base a las materias primas. Esquema sacado [78].

Sin embargo, sería muy costoso y difícil cambiar todos los motores convencionales de gasolina por motores que hagan mejor uso de bioetanol. Por lo mismo, han surgido otras alternativas, las cuales consisten en mezclar la gasolina común con un porcentaje de bioetanol, esto da como resultado un incremento en la potencia de la gasolina eficientizando su combustión.

Aunque otra opción del bioetanol es que, en lugar de ser usado como sustituto directo de la gasolina, sea un aditivo de la misma. Con la iniciativa de algunos países de gasolinas libre de plomo y de catalizadores que aumentan las sustancias nocivas al medio ambiente, se vio reflejado una disminución de octanaje en el combustible. Por lo que para recuperar octanaje y disminuir emisiones, se añadieron aditivos oxigenantes como lo son el metanol, etanol, tercbutil alcohol (TBA) o el metil-tercbutil éter (MTBE) y el etil-tert butil éter (ETBE)

Estos dos últimos aditivos son los mayormente utilizados en el mundo, las ventajas del MTBE y el ETBE son mostradas en la Fig.2.41. En la Fig.2.42 tendremos las características más cercanas de dichos adictivos ante la gasolina.

MTBE	ETBE
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proporciona un alto octanaje y mejora el rendimiento del combustible.</li> <li>• Proporciona flexibilidad en la formulación para las refinerías.</li> <li>• Ayuda a reducir el contenido de azufre y aromáticos en la Gasolina.</li> <li>• Mejora la combustión para reducir las emisiones de escape.</li> <li>• Ayuda a cumplir con las normas de baja presión de vapor para reducir las emisiones fugaces.</li> <li>• Brinda un mejor rendimiento de energía y mejora la calidad ambiental</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es la primera opción para biocombustibles renovables.</li> <li>• Proporciona un alto octanaje y mejora el rendimiento del combustible.</li> <li>• Proporciona flexibilidad en la formulación para las refinerías.</li> <li>• Ayuda a reducir el contenido de azufre y aromáticos en la Gasolina.</li> <li>• Mejora la combustión para reducir las emisiones de escape.</li> <li>• Ayuda a cumplir con las normas de baja presión de vapor para reducir las emisiones fugaces.</li> </ul>

Fig. 2.41. Ventajas del MTBE y el ETBE. Información obtenida [79].

Curiosamente el MTBE es el aditivo con mayor utilización en nuestro país desde el año 1993. Aunque sus características positivas no han apoyado del todo a ciudades como CDMX, dado que la contaminación ambiental cada día es mayor. Este mismo, genera graves daños a la salud del ser humano, ocasionando síntomas como dolores de cabeza, náuseas, vómitos, mareos, desorientación y tos.

Por otro lado, el ETBE no se ha encontrado que ocasione daños a la salud del ser humano y además es más amigable con el medio ambiente en líneas generales, dado que su principal contenido es de bioetanol y el gas natural. Por lo que en el presente es una mejor opción para ir sustituyendo poco a poco los aditivos peligrosos como el MTBE.

		Gasolina Magna	Gasolina Premium	m-xileno	Butano	MTBE	ETBE	Etanol
<b>Fuente de Energía</b>		Petroleo crudo	Petroleo crudo	Petroleo crudo	Gas Nat.	Gas Nat.	Gas Nat. y Biomasa	Biomasa
<b>Numero de Octano</b>	RON	reportar	95 min.	117	94	119	120	130
	MON	82 min.	reportar	101	91	101	102	96
	AKI (R+M)/2	<b>87 min.</b>	<b>92 min.</b>	109	93	110	111	116
<b>BRVP</b>	kPa	<b>54-79 max.</b>		3	379	54	28	138
	psi	6.5-11.5 max.		0.4	55	8	4	20
<b>Punto de Ebullición</b>	°C	<b>77-121</b>		139	0	55	72	78
	°F	171-250		282	31	131	161	173
<b>Contenido de Energía Neta</b>	BTU/gal	114,500	127,144	102,032		93,583	96,069	76,300
<b>Contenido de Oxígeno</b>	Wt%	2.7 max.	0.0%	0.0%		18.2%	15.7%	34.8%
<b>Contenido de Oxigenados</b>	Wt% max.					14.9%	17.2%	7.3%
<b>Gravedad Específica</b>		<b>0.745</b>		0.869	0.584	0.743	0.745	0.794
<b>Solubilidad en Agua</b>	Wt%	0.0%	0.0%	0.0%		4.3%	1.1%	100%
<b>Contenido de Azufre</b>	ppm	30 ave.	0	0		0	0	0
<b>Contenido Aromático</b>	vol%	25% max.	100%	0%		0%	0%	0%

Fig. 2.42. Propiedades Cercanas a la Gasolina de aditivos del MTBE y el ETBE.

Tabla obtenida [80].

### 3. Análisis de los energéticos considerando el impacto ambiental propiciado por el automóvil.

En capítulo anterior ya vimos algunas de las fuentes de energía para producir movimiento en los automóviles, ahora nos centraremos en el análisis de los energéticos que cada una de estas usa para saber si son una buena opción a futuro para seguirlas usando como combustible en los automóviles.

Esto debido a que hoy en día necesitamos fuentes de energías más limpias y seguras para poder subsistir y que no alteren ni dañen al medio ambiente. También nos centraremos en la importancia del desarrollo de la tecnología a futuro para la innovación del mundo automotriz a través de nuevas propuestas para generar el movimiento de automóviles en alguno de estos elementos anteriormente mencionados.

Adicionalmente a todo lo anterior, se centrará en las cantidades de emisiones contaminantes que el automóvil ha liberado a nivel mundial y sobre la importancia de no solo encontrar un mejor combustible que no dañe ni perjudique al medio ambiente, sino que además dará la hipótesis de un automóvil a futuro que pueda generar su propia fuente de energía de manera autónoma, esto más adelante en el presente trabajo.

#### **3.1 Acuerdos internacionales para detener el calentamiento global.**

Antes de mencionar la importancia del desarrollo de obtención de energías limpias y en base a tecnologías sustentables, hablaremos de los acuerdos históricos sobre el calentamiento global y atenderemos sus puntos más importantes. Estos son el Protocolo de Kioto y El acuerdo de Paris, en este último nuestro país tiene un compromiso a futuro importante que será vital para la conservación de nuestro planeta.

En ambos casos nos centraremos principalmente en lo que compete a ambos acuerdos el mundo automotriz y como es que afectara el futuro del mismo en los próximos años.

### **3.1.1 Protocolo de Kioto.**

El 11 de diciembre del año de 1997, se aprobó el protocolo de Kioto, un acuerdo internacional de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). Se puso como objetivo reducir las emisiones de los 6 principales gases de efecto invernadero que predominan a nivel mundial, que son: dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre ( $\text{SF}_6$ ) generados por la explotación histórica y sin medida de los combustibles fósiles en todos los tipos de industria a nivel mundial. También buscó promover el crecimiento sustentable en países en vías de desarrollo.

El protocolo de Kioto se dividió inicialmente en dos periodos, el primero de 2005 al 2012 y el segundo siendo una extensión conocida como “La enmienda de Doha” que va del 2013 al 2020. En el primer periodo cumplir con la meta de 180 países, en comprometerse de reducir por lo menos un 5% las emisiones de GEI en comparación de los que había en 1990. Mientras que durante el segundo periodo se buscó reducir en un 18% los GEI en base a los que había en 1990.

La base principal del protocolo de Kioto era reducir los GEI en las próximas décadas con el objetivo de tener una economía sustentable en base a fuentes de energías renovables que no perjudicaran ni dañaran tanto al planeta sin alterar el orden socioeconómico futuro. Es decir, producir más sin contaminar tanto, de forma que la economía como el medio ambiente no se viera afectados de manera drástica. En la Fig. 3.1 se muestran los principales países emisores de GEI a nivel mundial desde el 2015 en kilotoneladas equivalentes de  $\text{CO}_2$ .

# Principales emisores de gases de efecto invernadero en el mundo en 2015

[kilotoneladas de equivalente de CO<sub>2</sub>]

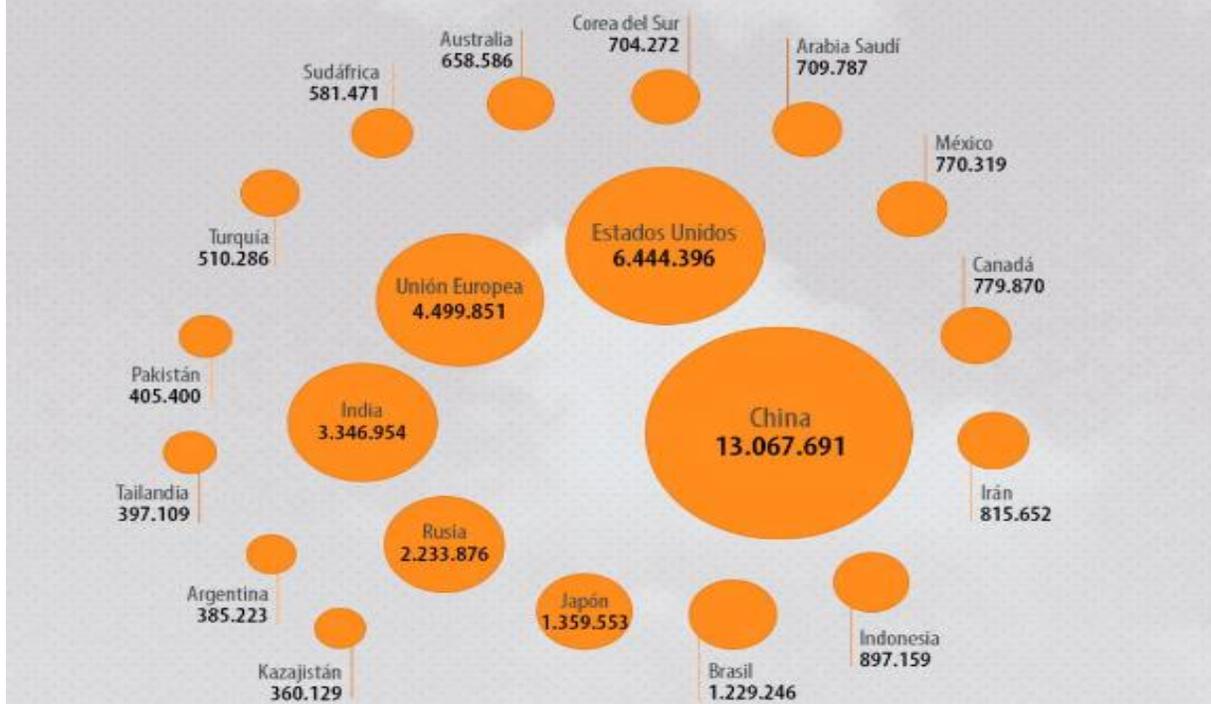


Fig. 3.1 Principales emisores de gases de efecto invernadero en el mundo en 2015.

Imagen obtenida de [81].

Como podemos observar los países que más contaminan con GEI en el mundo son China y Estados Unidos, curiosamente ninguno de los dos países quiso ser parte del protocolo de Kioto dado que amenazaba de cierta forma sus respectivas economías.

Pero ¿que son los gases de efecto invernadero?; son gases que pueden absorber grandes cantidades de la radiación infrarroja emitida por los rayos del sol y la devuelven de nuevo a la superficie terrestre sobre calentando la misma. Actúan de manera similar al techo de vidrio de un invernadero, atrapando el calor y recalentando el planeta. Por ende, la sobre acumulación de estos genera un sobrecalentamiento, generando drásticos cambios, como la lluvia ácida, sequías, inundaciones, cambios en la temperatura, aumento en los desastres naturales, etc.

En la Fig.3.2 se muestran los GEI por porcentaje de emisión de gas a nivel mundial desde el 2019.

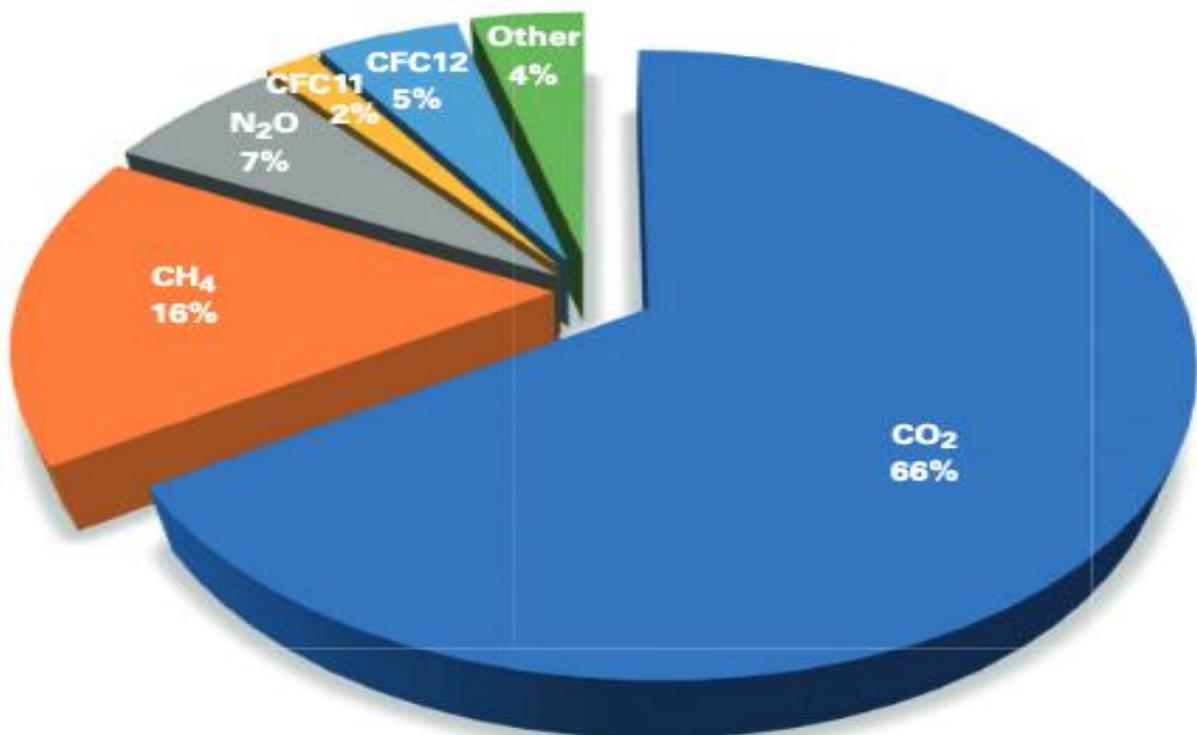


Fig. 3.2 Efecto invernadero por gases. Imagen obtenida de [82].

En la Fig. 3.3 muestra cómo se reparte por diferentes sectores la contaminación a nivel mundial. Como se observa en la Fig.3.2 el Dióxido de Carbono es el principal gas causante del Efecto Invernadero emitido por el ser humano. Y en la Fig.3.3 el 16.2% de contaminación mundial es debido a la industria del transporte, esto agregado al 3.6% de la industria química y petroquímica encargada de la elaboración de los mismos combustibles fósiles con la que funciona el anterior sector, más el 7.8% de la quema de los mismos combustibles, dando como resultado un 27.6% de contaminación a nivel mundial.

En la Fig.3.4 se muestran los principales sectores encargados del aumento del CO<sub>2</sub> a nivel mundial. Si sumamos el 14% del transporte más el 25% de la generación eléctrica, que ambos usan como combustible hidrocarburos y carbón en su gran mayoría, tenemos un 39% de contaminación por CO<sub>2</sub> por combustibles fósiles, los

cuales pueden disminuir por las fuentes de energía renovables ya comentadas en el capítulo anterior.

## El reparto de la contribución al cambio climático

Emisiones de gases de efecto invernadero globales por sectores (2016)

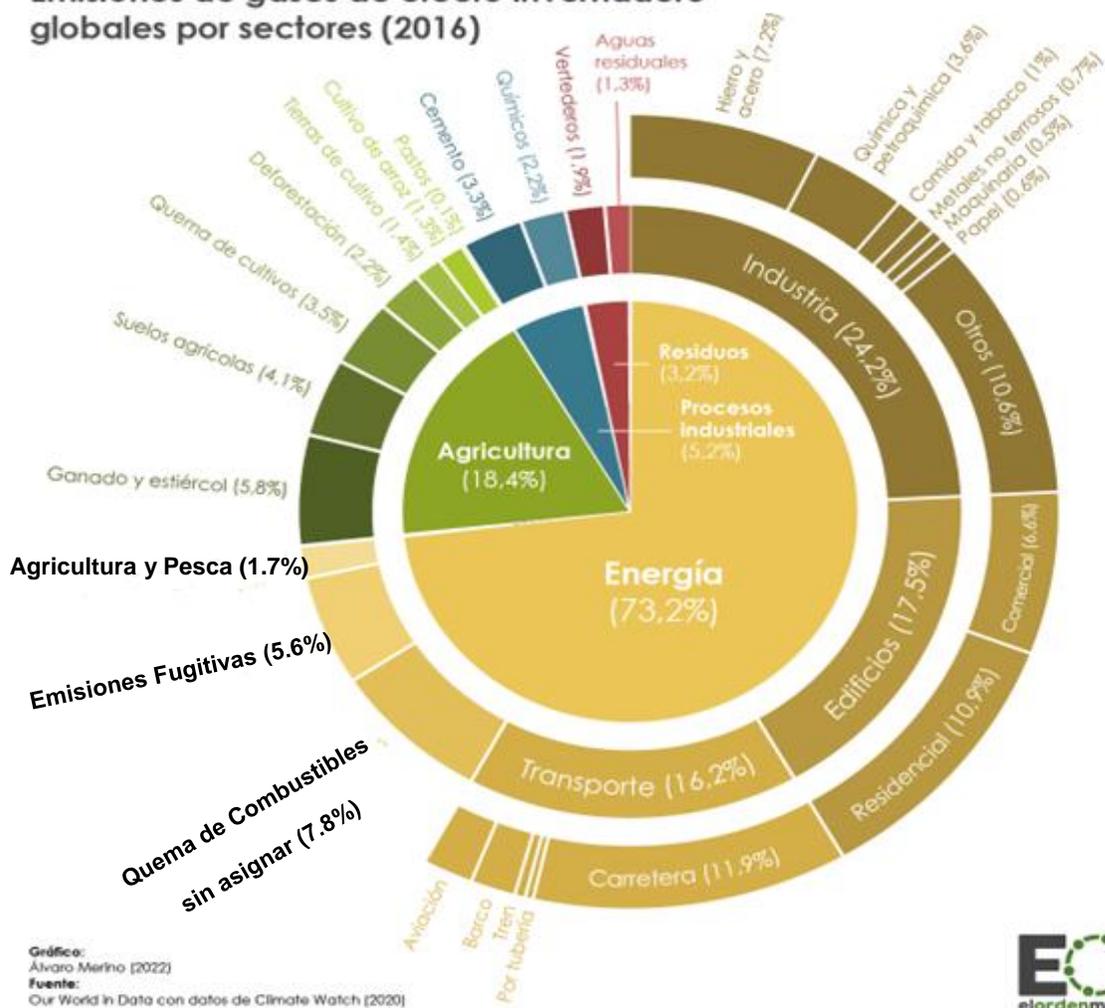


Fig. 3.3 Reparto de la contribución al cambio climático. Emisiones de gases de efecto invernadero globales por sectores desde el 2016. Imagen obtenida de [83].

Como ya se había mencionado el protocolo de Kioto busca reducir las emisiones de GEI, usando métodos como las energías renovables. Más adelante hablaré de la cantidad de GEI poseen los medios para generar movimiento en los automóviles de manera individual.

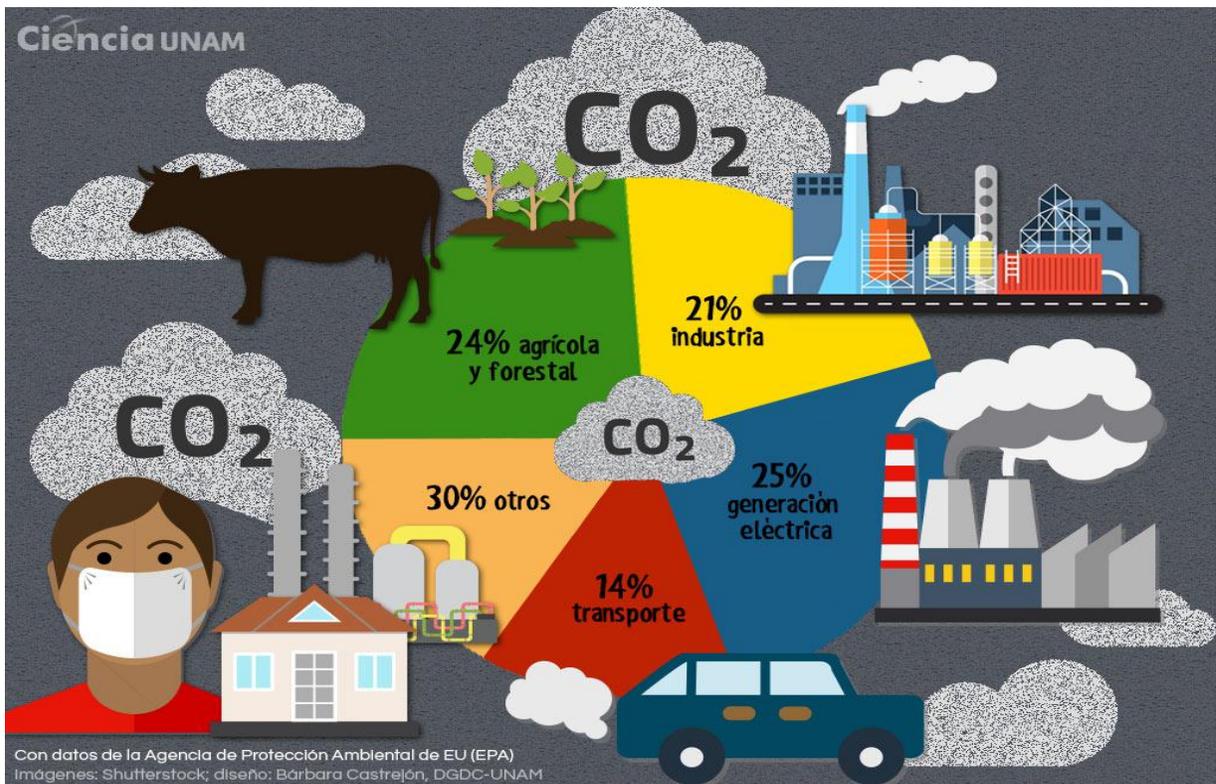


Fig.3.4 Reparto de los sectores encargados del aumento del CO<sub>2</sub> a nivel mundial.

Imagen obtenida de [84].

Lamentablemente el protocolo de Kioto no tuvo mucho éxito debido a que los países más industrializados como Estados Unidos y China nunca accedieron a unirse a las medidas de cuidado del medio ambiente. Sobre todo, durante el periodo presidencial de Donald Trump, el cual luchaba por la supremacía de los intereses económicos de su país a través de los niveles de industrialización en contra del detrimento del cambio climático. Sin embargo, el protocolo Kioto logró los siguientes puntos:

- Que los gobiernos participantes establezcan leyes y políticas para cumplir sus metas ambientales a futuro.
- Que se tome en cuenta al medio ambiente por parte de las empresas en temas de inversión a futuro.
- Crear el mercado del carbono, que tiene como fin la reducción de emisiones al menor costo posible.

### 3.1.2 Acuerdo de Paris.

El 12 de diciembre del 2015 en Paris, Francia se dio la Conferencia de las Partes de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP21), presentaron un nuevo tratado siendo el sucesor del Protocolo de Kioto, tiene el nombre de “El acuerdo de Paris”.

Pero, ¿Qué es el acuerdo de Paris?, lo presento en la siguiente cita:

“El Acuerdo de París es un tratado internacional sobre el cambio climático jurídicamente vinculante. Fue adoptado por 196 Partes en la COP21 en París, el 12 de diciembre de 2015 y entró en vigor el 4 de noviembre de 2016. Su objetivo es limitar el calentamiento mundial a muy por debajo de 2, preferiblemente a 1,5 grados centígrados, en comparación con los niveles preindustriales

Para alcanzar este objetivo de temperatura a largo plazo, los países se proponen alcanzar el máximo de las emisiones de gases de efecto invernadero lo antes posible para lograr un planeta con clima neutro para mediados de siglo. El Acuerdo de París es un hito en el proceso multilateral del cambio climático porque, por primera vez, un acuerdo vinculante hace que todos los países se unan en una causa común para emprender esfuerzos ambiciosos para combatir el cambio climático y adaptarse a sus efectos.” (UNFCCC, 2021)

¿Cómo afecta el acuerdo de Paris al mundo automotriz?; una de las exigencias actuales y a futuro que deben tener los automóviles es dejar 0 residuos de contaminantes al medio ambiente. Es un hecho que, gracias a tratados como el Acuerdo de Paris se dará gran importancia al desarrollo de energías renovables, limpias y seguras para el medio ambiente, que no dependan tanto de los hidrocarburos.

Uno de los puntos principales del Acuerdo de Paris es que países como México, Francia, España y Grecia dejaran de utilizar camiones que usen Diesel a partir del

2025. Otro punto a mencionar es que la Unión Europea, el 14 de febrero del presente año ya fijó como plazo máximo el año 2035 para el uso de servicio y matriculación de camiones Diésel en carreteras y autopistas de Europa, después de esta fecha estarán prohibidos en todo el viejo continente.

¿Por qué es importante la movilidad eléctrica a futuro?, la siguiente cita de la UNFCCC lo explica muy bien:

“El sector del transporte contribuye a casi una cuarta parte (23%) de las emisiones de gases de efecto invernadero actuales relacionadas con la energía, y está creciendo más rápido que cualquier otro sector de utilización final de la energía. Limitar la temperatura media global a menos de 2 grados centígrados requiere cambiar la trayectoria de las emisiones en el área de transporte, lo que incluye el desarrollo de un ecosistema integrado de movilidad eléctrica. Según la Agencia Internacional de la Energía, esta transición necesitará, entre otras cosas, alcanzar la electrificación mundial del transporte ferroviario, así como también que al menos el 20% **de todos los vehículos de carretera funcionen a partir de electricidad en 2030**”. (UNFCCC, 2021)

Como se comentó previamente un 27.6% la contaminación mundial es un conjunto del transporte, la quema de combustibles y la fabricación de petroquímicos con hidrocarburos. Si la tecnología se centra en el 23% que dice UNFCCC en los automóviles, esto dará pie al futuro que este tipo de revolución eléctrica se empiece a poner en marcha en diferentes tipos de industrias buscando aminorar los problemas de contaminación ambiental a nivel mundial por los próximos años.

Por lo que es importante comenzar con el desarrollo y consumo de automóviles que incorporen nuevas tecnologías anticontaminantes, no solo por el cuidado del planeta y medio ambiente en sí, sino porque es importante para el ser humano empezar a evolucionar en el medio de transporte y no estancarse con un mismo producto que siempre dependa en su gran mayoría de las energías fósiles. Obteniendo y desarrollando nuevos caminos hacia el futuro de la tecnología próxima.

Ya he hablado de los dos últimos acuerdos internacionales sobre el calentamiento global y en que tratan cada uno, ahora nos centraremos en el análisis de los energéticos utilizados para generar movimiento en los automóviles. Como es que afectan en el medio ambiente, que tipo y cantidad GEI liberan cada uno. Viendo así cual es la mejor alternativa a futuro para el mundo automotriz

### **3.2 Carbón.**

El carbón directamente no produce movimiento en los automóviles, pero si lo hace de forma indirecta al momento de generar energía eléctrica (esto a través de las centrales eléctricas de carbón) para los automóviles eléctricos con baterías de litio. Como había comentado anteriormente, el carbón es el elemento más usado para la generación de energía eléctrica con un 38% a nivel mundial, en las Fig.3.5 y 3.6 se muestran las principales fuentes de energía que utiliza el ser humano para generar electricidad y como es que sus demandas han ido aumentando a través de los años.

Como podemos observar en la Fig.3.6. el crecimiento del carbón como generador de electricidad ha tenido un crecimiento constante a lo largo de los años, esto por distintos motivos, tanto el crecimiento de la población en general, de las construcciones que ocupan día con día electricidad, etc. Si la flota vehicular de automóviles eléctricos a baterías de Litio aumentara a nivel mundial, es muy probable que se utilice más carbón para satisfacer la demanda energética en todo el mundo, esto debido a que no será suficiente con el uso de carbón actual para cumplir con los requisitos energéticos día con día.

En base a la Fig.3.7. Podemos observar que las plantas tradicionales que funcionan con carbón son las que mayores cantidades de GEI liberan al medio ambiente, en especial de CO<sub>2</sub>. Además de que también emiten metales pesados y otros agentes contaminantes como compuestos de azufre a la atmósfera.

World Electricity Generation - 2018 (26618.9 TWh)

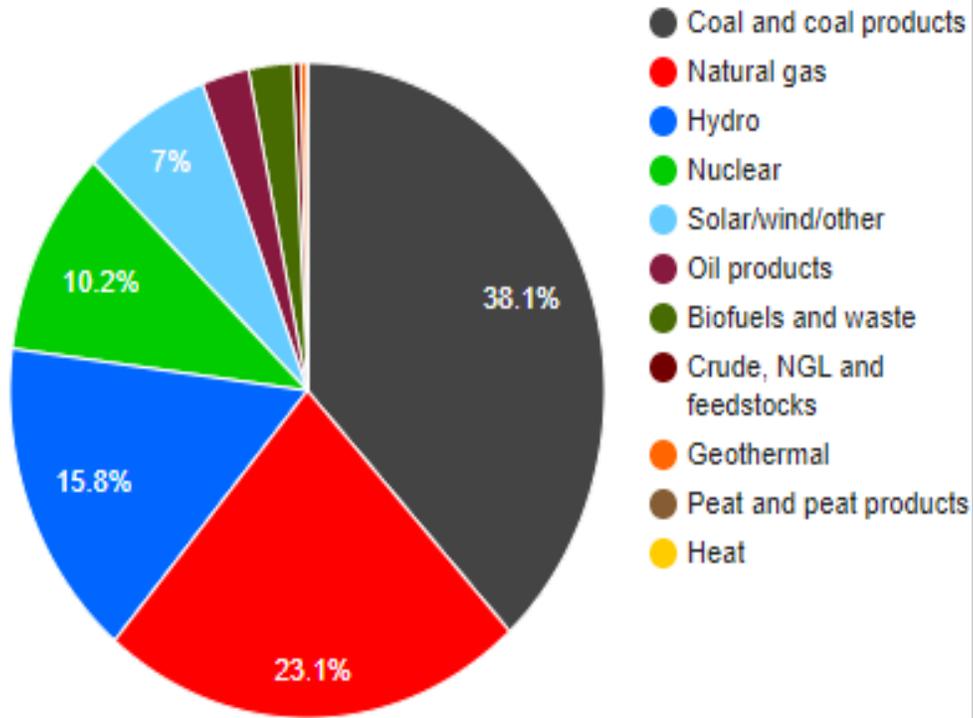


Fig. 3.5. Principales fuentes de generación eléctrica a nivel mundial desde el 2018.

Gráfica obtenida de [85].

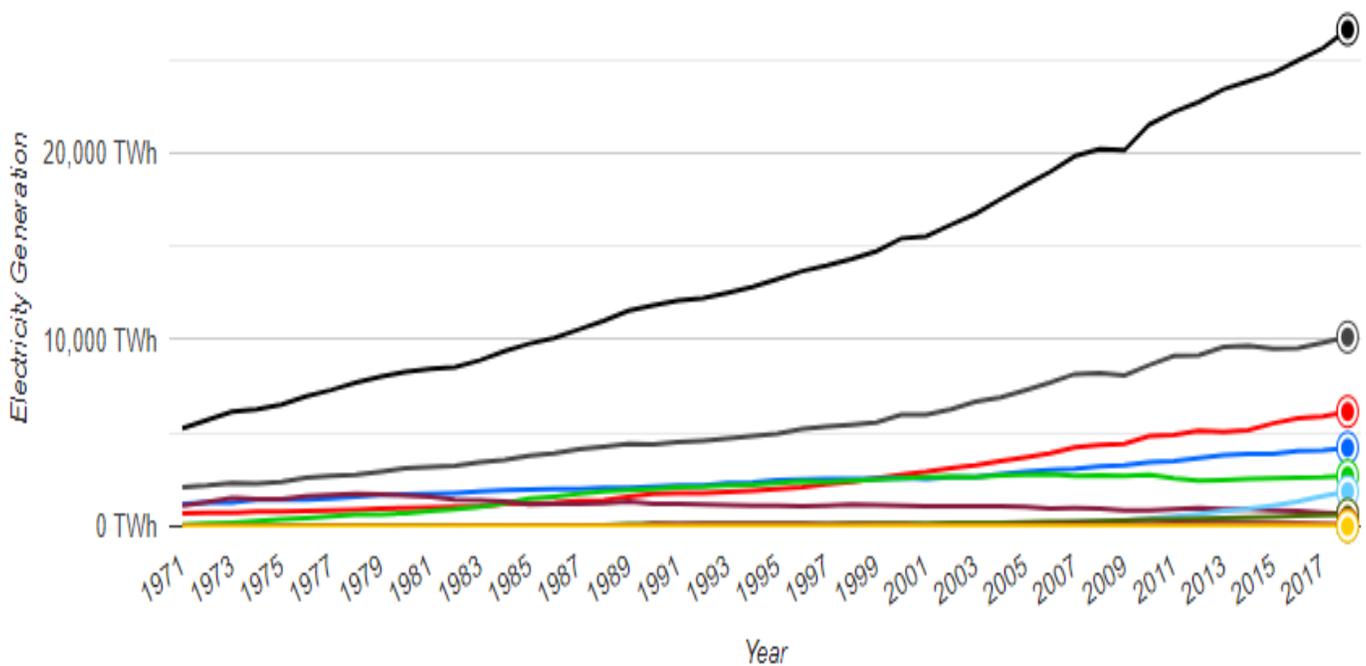


Fig. 3.6. Crecimiento de la demanda histórica de los recursos generadores de electricidad desde el año de 1971 al 2018. Gráfica obtenida de [86].

En la Fig.3.7 veremos las emisiones de CO<sub>2</sub> según el tipo de combustible.

Combustible	Emisiones de CO <sub>2</sub> en kg/kwh producido	Tipo de central térmica
Carbón	1.0 para un rendimiento del 30-40%	Tradicional
Biomasa	0.80-0.83 para un rendimiento del 30-40%	Tradicional
Gasóleo	0.70-0.72 para un rendimiento del 30-40%	Tradicional
Gas Natural	0.42-0.45 para un rendimiento del 30-40%	Tradicional
Gas o Gasoleo	0.34-0.36 para un rendimiento del 50%	Ciclo combinado

Fig.3.7. Emisiones de CO<sub>2</sub> según el tipo de combustible en las centrales térmicas.

Tabla obtenida de [87].

De hecho, por cada MW generado en una planta termoeléctrica a carbón se utilizan 940 kg de carbón (.94 Toneladas), según la UNFCCC, en el 2021 la quema generada de carbón (en distintas industrias) acumuló 15,300 millones de toneladas a nivel mundial, de hecho, se estima que el 72% de emisiones de CO<sub>2</sub> en el planeta fueron concebidas por la quema del mismo, convirtiéndolo en el mayor productor de dicho contaminante a nivel mundial.

En los siguientes párrafos veremos de manera individual las cantidades de CO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> que una planta termoeléctrica a carbón puede liberar de manera individual al año en la atmosfera:

- Unas 42,000 – 44,000 toneladas de SO<sub>2</sub>.
- Unas 20,000 -22,000 toneladas de CO<sub>2</sub>.
- 300,000-320,000 toneladas de ceniza, que contienen unas 380-400 toneladas de metales pesados

El número exacto de toneladas de residuos enviados a la atmosfera depende de la calidad, tipo del carbón, de la tecnología de la central térmica y de su capacidad de producción. (Madrid, 2009, pág. 85)

Otro punto importante a añadir es que la mortalidad en los seres vivos por plantas termoeléctricas que usan carbón es cada vez mayor, en la siguiente cita revelo una cifra importante a considerar:

“El carbón es la fuente de electricidad más mortífera que existe en el planeta, siendo responsable de la muerte de hasta 280 mil personas cada 1000 Terawatts hora de electricidad generada.

La quema de carbón emite contaminantes aéreos peligrosos que pueden expandirse cientos de km. Los contaminantes incluyen material particulado, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, dióxido de carbono, mercurio y arsénico. Algunos de estos contaminantes reaccionan en la atmósfera para formar ozono y otro material particulado.

La exposición a estos contaminantes puede dañar los sistemas cardiovascular, respiratorio y nervioso de las personas, aumentando el riesgo de cáncer al pulmón, infartos, enfermedades cardíacas, enfermedades respiratorias crónicas e infecciones respiratorias letales. Los que más sufren son los niños, los ancianos, las mujeres embarazadas y las personas que ya tienen problemas de salud. La emisión de sulfatos y nitritos también provoca lluvia ácida que a la vez daña esteros, bosques, cosechas y suelos.

Las centrales a carbón consumen enormes cantidades de agua para sistemas de enfriamiento y producción de vapor. Una típica central de 1000 MW usa en un año agua suficiente para las necesidades básicas de una población de 500 mil personas.

La combustión del carbón genera desechos contaminados con químicos tóxicos y metales pesados, tales como arsénico, cadmio, selenio, plomo y mercurio. Los desechos de la combustión del carbón a veces se guardan en lagunas o vertederos de desechos que frecuentemente no se sellan de manera adecuada. En la Fig. 3.8 un ejemplo de esto con el río Cuautitlán.



Fig. 3.8 Imagen del río de Cuautitlán Izcalli, Estado México. Imagen obtenida de [88].

Los contaminantes pueden percolar hacia las aguas superficiales y napas subterráneas de las que dependen la población para obtener agua potable. Esto puede aumentar los índices de cáncer, malformaciones congénitas, problemas reproductivos y daños neurológicos. Las plantas termoeléctricas a carbón descargan más toxinas en los ríos y esteros de Estados Unidos que cualquier otra industria de ese país, después de los desechos locales.” (#1, 2019, pág. 2).

Como mostré en la cita anterior, no solo nos debe preocupar los GEI resultantes por usar carbón como combustible para adquirir electricidad, sino los daños a la salud que pueden presentarse en los seres humanos, es altamente probable que enfermedades como la hipertensión, cáncer de pulmón, etc., estén ligadas a la combustión del mismo, además de los problemas ambientales en ríos y lagos aumenten día con día, haciendo más difícil obtener recursos de estos, como agua potable, si hay algún recurso

imprescindible para todo ser vivo es el agua y tener una contaminación en nuestras mayores fuentes de obtención es un fuerte problema a futuro. Además, que entre más electricidad generada por carbón más gente ira muriendo.

Como se mencionó anteriormente si la flotilla vehicular de automóviles eléctricos a baterías de litio aumenta, es muy seguro que el porcentaje de CO<sub>2</sub> aumente por la generación eléctrica para satisfacer la demanda. Es altamente probable (de mediano a largo plazo en el futuro) que crezca de manera constante o exponencial la desaparición de animales e insectos importantes para el ser humano; tal es el caso de las abejas que son vitales para la polinización de las flores, lo que dará como resultado una fuerte dificultad para adquirir alimentos en el futuro.

Por lo que dejar de usar el carbón a futuro como combustible para generar electricidad es de suma importancia. A opinión personal, sería una mejor opción centrar el uso del carbón en industrias como la siderúrgica o en el estudio de obtención de nuevos materiales (por ejemplo, el grafeno), también en la industria relacionada con el agua en conceptos como la filtración de la misma la farmacéutica, etc., esto a futuro para darle una mejor utilidad posible a este recurso.

### **3.3 Petróleo.**

El petróleo junto al carbón es la mayor fuente de energéticos a nivel mundial, desgraciadamente también son responsables de la mayor fuente de contaminación a nivel mundial. La explotación del petróleo como recurso, causa fuertes impactos en el medio ambiente con graves consecuencias a corto y largo plazo.

Es un recurso que debe ser cuidadosamente trabajado para no generar accidentes como derrames de petróleo ocasionando afecciones a los ecosistemas, como infertilidad en el suelo, deslizamientos y desplazamiento de distintas especies naturales.

### **3.3.1 ¿Qué es el smog?**

El smog es la contaminación del aire que afecta a todo medio que tenga contacto con él, siendo un tipo de niebla, humo o vapores que son resultado de varias sustancias nocivas en su mayoría. Existen dos tipos de smog, el sulfuroso y el fotoquímico.

El smog fotoquímico; produce un humo rojizo que se compone de Óxido nitroso ( $\text{NO}_2$ ), Ozono ( $\text{O}_3$ ) y Monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ), lo que lo vuelve un elemento altamente tóxico para el ser humano, comúnmente se encuentra en grandes ciudades sobrepobladas donde hay una fuerte actividad industrial, automotriz o petroquímica.

El smog sulfuroso; este genera una niebla espesa de color gris con altas concentraciones de óxidos de azufre, se genera principalmente en plantas termoeléctricas a carbón o en ciudades con un alto embotellamiento vehicular. Es el responsable de la famosa lluvia ácida.

### **3.3.2 ¿Qué es la lluvia ácida?**

Es la combinación de humedad del aire (sea agua o vapor de agua) con óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}$  y  $\text{NO}_2$ ) y dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) emitidos por los vehículos, industrias, fabricas, calefacciones, centrales térmicas, etc., dando lugar a la formación de ácidos sulfúricos ( $\text{SO}_4\text{H}_2$ ) y nítrico ( $\text{NO}_3\text{H}$ ) que a su vez son arrastrados a la superficie del suelo por las lluvias, causando graves daños (muerte de la vegetación y vida acuática, corrosión de edificios, puentes, monumentos, etc.). Hay que tener en cuenta que los ácidos sulfúrico y nítrico son altamente corrosivos, tóxicos y producen graves quemaduras.

Además del impacto que puede generar en el medio ambiente, los daños en la salud propiciado0s por la lluvia ácida son: el deterioro del sistema respiratorio en los seres vivos, provocando a la larga enfermedades como asma, bronquitis, algunos tipos de cáncer o el deterioro de los pulmones al entrar en contacto con partículas de ozono y

azufre, siendo más débiles ante enfermedades como la influenza o neumonía a las que los pulmones prácticamente no podrían demostrar resistencia.

Generando degradación en órganos como los ojos y la piel, donde los síntomas más comunes son irritación, enrojecimiento y en algunos casos úlceras. Los seres vivos que llegan a consumir el agua de la lluvia ácida suelen tener problemas estomacales, como diarrea, infecciones, úlceras en el sistema digestivo y en algunos casos la muerte.

### **3.3.3 Gasolina y Diésel.**

Como se mostró con anterioridad la gasolina es el combustible fósil con mayor consumo y demanda en el mundo, también se mencionó que dependiendo del octanaje de la gasolina habrá una mayor o menor compresión de combustible (todo dependiendo de la gasolina que requiera el motor del automóvil), dependiendo de estas dos habrá un mejor rendimiento de combustible.

Sin embargo, también dependiendo del octanaje dependen los niveles de contaminación en el combustible, a mayor octanaje la gasolina contamina menos y a menor contamina más, adicionalmente las gasolinas con plomo y adictivos son las que más contaminan en el mundo.

Los gases emitidos por un motor de combustión interna de gasolina son, principalmente, de dos tipos: inofensivos y contaminantes. Los primeros están formados, fundamentalmente, por Nitrógeno, Oxígeno, vapor de agua e Hidrógeno, los segundos están formados por Monóxido de Carbono, Hidrocarburos, Óxidos de Nitrógeno y Plomo.

Aunque el CO<sub>2</sub> es inofensivo para los seres vivos y sea una fuente de alimentación para las plantas, recordemos que es uno de los principales GEI en el mundo, este se

acumula en la atmosfera y produce un cambio climático a nivel mundial. Se estima que los niveles de contaminación emitidos por un motor a gasolina en promedio son de 2.32 kg de CO<sub>2</sub> por litro de gasolina cada 13 km.

Ahora hablaremos de los gases contaminantes propiciados por la gasolina, su impacto al medio ambiente a la salud

- Monóxido de Carbono (CO): La exposición directa a dicho gas es letal y dañina para el ser humano. En personas que inhalan monóxido de carbono se han descrito con dolor de cabeza, náuseas, vómitos, mareo, visión borrosa, confusión, dolor en el pecho, debilidad, falla cardíaca, dificultad para respirar, convulsiones y llegar a estar en coma. Las personas que sufren de enfermedades al corazón o de los pulmones son más susceptibles a los efectos del CO.
- Hidrocarburos dependiendo de su estructura molecular, presentan diferentes efectos nocivos. El Benceno, por ejemplo, es venenoso por sí mismo, y la exposición a este gas provoca irritaciones de piel, ojos y conductos respiratorios; si el nivel es muy alto, provocará depresiones, mareos, dolores de cabeza, náuseas y en algunos casos más extremos puede generar cáncer con el tiempo. Otros síntomas perjudiciales a la salud serían los siguientes:
  - Depresión del sistema nervioso central
  - Irritación de las mucosas
  - Irritación de la piel y/o dermatitis
  - Neumonitis química, edema pulmonar y hemorragia
  - Polineuropatía (daño en los nervios)
  - Cefalea, náuseas, mareo, desorientación y confusión
- Plomo (Pb): El plomo es un elemento altamente tóxico y peligroso para todos los seres vivos, es el metal más peligroso contenido en los aditivos del combustible, la intoxicación por plomo en los adultos puede presentar los siguientes síntomas; dolores en el vientre, estreñimiento, dolores de cabeza, vomito, perdida de la audición, problemas en la salud mental y en niveles muy

altos puede provocar daños permanentes en el cerebro, el sistema nervioso. Estos daños pueden provocar convulsiones, pérdida del control muscular y coma. En niños ocasiona retrasos en el desarrollo y aprendizaje.

- Óxidos de Nitrógeno (NO): No sólo daña el sistema respiratorio, sino que en combinación con los Hidrocarburos con altos contenidos en smog y con la humedad del aire producen Ácidos Nitrosos, que posteriormente caen sobre la tierra en forma de lluvia ácida y contaminan grandes áreas, algunas veces situadas a cientos de kilómetros del lugar de origen de la contaminación, dañando la vegetación, suelo y agua.

En el capítulo 1 se comentó que los motores diésel contaminan más que los motores a gasolina, debido a que su proceso de combustión es más lento, por lo que liberan una mayor cantidad de gases contaminantes para el ser humano. Hablando de CO<sub>2</sub>, un motor diésel genera 2.6 kg de CO<sub>2</sub> por cada 16 km, lo que lo hace en términos de GEI más contaminante para el medio ambiente.

Al igual que la gasolina es responsable de gases contaminantes como el CO, Pb, Hidrocarburos de todo tipo, hollín y NO<sub>x</sub> (termino para referirse a los distintos tipos de óxidos de nitrógeno como NO y NO<sub>2</sub>), este último es mayormente generado por el diésel. En comparación a un motor de gasolina según la actual normativa europea (EURO 6) establece unas emisiones de 80 mg/km de NO<sub>x</sub> para los vehículos diésel y 60 mg/km de NO<sub>x</sub> para los motores de gasolina. En otras palabras, un motor diésel emite un 34% más de óxidos de nitrógeno que uno de gasolina.

Como se explicó anteriormente el NO junto al Pb, son los gases más contaminantes para los seres vivos y el medio ambiente. Sin embargo, el principal componente de los gases de dicho combustible son el hollín y los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) en un 60% a 80%. El hollín puede generar distintos tipos de cáncer (pulmón y piel), bronquitis, rinitis crónica (inflamación de las fosas nasales), asma, EPOC, tumores cutáneos, acné, hiperpigmentación (manchas en la piel u oscurecimiento de la misma) e hiperqueratosis (endurecimiento de la piel, como callosidades o crecimiento en el grosor de las uñas).

En el caso de los HAPs se ha demostrado que en los seres vivos ocasiona problemas de fertilidad, deformaciones en recién nacidos, deterioro del sistema inmunológico, distintos tipos de cáncer (estómago, pulmón, escroto y piel), deterioro de la vista, dermatitis aguda y crónica, irritación en zonas como la piel y ojos, fuerte deterioro de los pulmones, daños en el metabolismo, problemas al momento de evacuar, etc.

### **3.4 Biocombustibles.**

En el segundo capítulo informé que los biocombustibles liberan una ligera dosis de gases contaminantes, sin embargo, esto es mínimo dado que en su estado más puro la cantidad máxima de CO<sub>2</sub> que emiten no viene de la combustión en sí, sino del CO<sub>2</sub> de la materia prima con la que fue hecho.

También mostré que los biocombustibles como el bioetanol y biodiésel suelen ser mezclados con su contra partes (los combustibles fósiles) mejorando el rendimiento sin afectar a los motores en bajas temperaturas, como en algunas partes de Europa u otros lugares con bajas temperaturas, aumentando los contaminantes emitidos por estos tipos de combustibles.

Sin embargo, el riesgo que traería el uso diario de los biocombustibles, sería la sobre explotación de suelo y agua para la obtención de materia primas con las que se producen. Pudiendo generar un crecimiento en la deforestación natural de distintos ecosistemas a nivel mundial para darle espacio al cultivo en masa, trayendo como consecuencia el desplazamiento y la extinción de distintas especies animales y vegetales, cambios en el clima, deforestación, deterioro del suelo, sequias de ríos y lagos, etc.

En el caso de los recursos hídricos como ya se mencionó, solamente en México el 70% del agua dulce va destinada a la agricultura y a nivel mundial se estima el 70%, por lo que de manera lógica la demanda de agua hacia la agricultura crecería

drásticamente para cumplir con la demanda de combustible en los automóviles, tomando en cuenta que en algunas zonas, países y continentes en el mundo el agua es escasa. Como por ejemplo lo que está pasando en Ciudad de México, Edo. Mex, estado de Nuevo León, por ejemplo, en Estados Unidos en los Ángeles California y varios países más.

En la Fig. 3.9 se muestra las necesidades de agua para los distintos cultivos de las materias primas de algunos de los biocombustibles.

CULTIVO	Posibilidad de rendimiento anual de combustible (Litros/ha)	Rendimiento energético (GJ/ha)	Equivalente de evapotranspiración (Litros/litro de combustible)	Evapotranspiración potencial del cultivo (mm/ha)	Evapotranspiración potencial del cultivo en seco (mm/ha)	Necesidad de agua del cultivo en riego (mm/ha) <sup>1</sup>	(Litros/litro de combustible)
<b>Caña de azúcar</b>	6 000	120	2 000	1 400	1 000	800	1 333
<b>Maíz</b>	3 500	70	1 357	550	400	300	857
<b>Palma de aceite</b>	5 500	193	2 364	1 500	1 300	0	0
<b>Colza</b>	1 200	42	3 333	500	400	0	0

Fig. 3.9. Necesidades de agua para los cultivos de biocombustibles. Tabla obtenida de [89].

### 3.4.1 Biodiésel.

Como se comentó previamente el biodiésel tiene características bastante similares a las del gasóleo, con la ventaja que, a diferencia de este, no emite tantos GEI, sin embargo, sabemos que los emite. Otra desventaja que he comentado es que puede dañar algunos motores, generando obstrucciones de goma en mangueras o partes del motor, llegando a desvielarlos en algunos casos, por lo que el mantenimiento se vuelve más constante si es que se usa como combustible fijo.

Otra cosa a mencionar es que las características del biodiésel pueden variar según su procedencia (Materias de origen animal, vegetal, etc.), lo que resulta en distintos tipos de biodiésel los cuales tienen diferentes tipos de ácidos grasos, monoinsaturados y poliinsaturados. En 2001 la Agencia de Protección Ambiental (Environmental Protection Agency, EPA) hizo un estudio del promedio de GEI por los distintos tipos de Biodiésel que existen en camiones de carga pesada donde los resultados se mostrarán en las Fig.10 y 11.

<b>Contaminante</b>	<b>Coefficiente a</b>
<b>NO<sub>x</sub></b>	0,0009794
<b>MP</b>	-0,006384
<b>HC</b>	-0,011195
<b>CO</b>	-0,006561

Fig. 3.10 Coeficiente de correlación para cada contaminante emitido por el biodiésel.

Tabla obtenida [90].

Los valores obtenidos en dicho estudio son un resultado de una estimación promedio del biodiésel (dependiendo del tipo de materia prima de la que se haya hecho, del tipo de camión en el que se usó y del motor), por lo que se espera que en todos los tipos de dicho combustible se esperen los mismos resultados o con ligeras variaciones.

Casi todas las emisiones de GEI fueron nulas a excepción del NO<sub>x</sub>, sin embargo, los mayores productores de este tipo de contaminante son emitido por los biodiésel

hechos a base de Soya, mientras que los biodiésel hechos de restos animales no los presentan tanto. Por lo que el biodiésel por sí solo no contamina tanto en lo que respecta en GEI a excepción del anterior comentado. Se estima que nuevos tipos de biodiésel tanto en nuevos motores y automóviles disminuyan los GEI al medio ambiente.

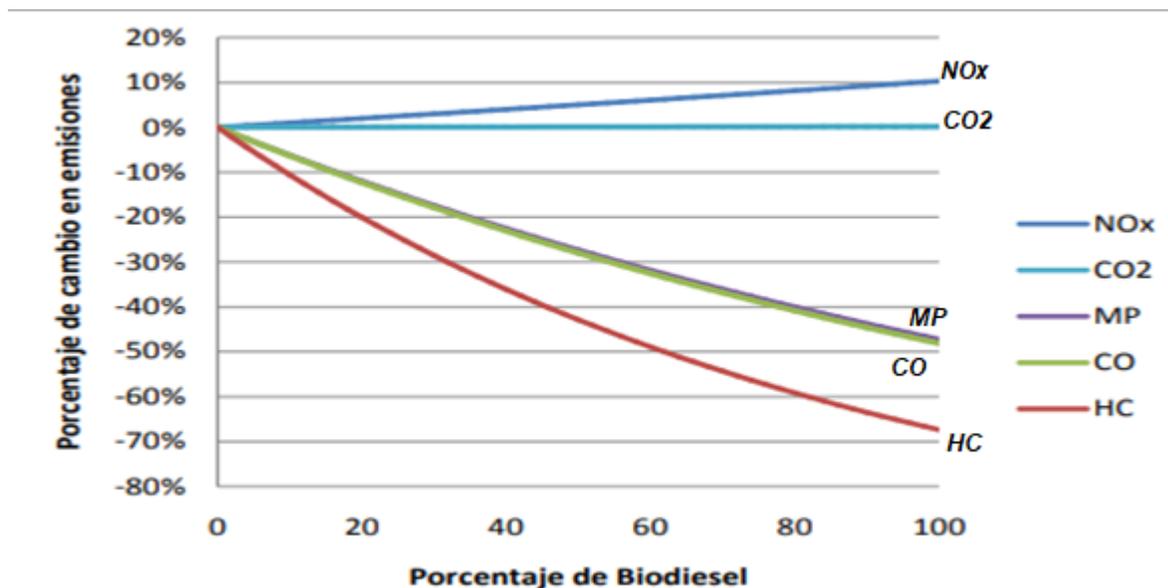


Fig.3.11 Variaciones esperadas en emisiones a partir del porcentaje del biodiésel. Gráfica obtenida de [91].

Como se puede observar si hay una ligera liberación de CO<sub>2</sub> y NOx esto a lo ya comentando de que son almacenados por las semillas en su tiempo de vida, es muy poco, pero es importante saber que son liberados.

Hasta que no se desarrollen nuevos motores que no sufran los efectos negativos del biodiésel, mezclado al desarrollo de nuevas tecnologías en los automóviles que ayuden tanto al rendimiento como a la contaminación, junto con que este tipo de combustibles aún no tienen la misma eficiencia que el diésel normal, no los harán 100% fiables como un sustituto a los combustibles fósiles a futuro.

### 3.4.2 Bioetanol.

Como hemos visto el bioetanol es el sustituto de la gasolina, mencione anteriormente que un 1 litro de gasolina en promedio libera 2.32 kg de CO<sub>2</sub> por cada 13 km recorridos, lo que hace que este combustible sea muy contaminante y dañino para el medio ambiente.

La contaminación emitida por un litro de bioetanol puro es de 0.59 kg de CO<sub>2</sub> por cada 13 km, un 75% menos de lo que contamina la gasolina como tal, lo que lo hace mucho más amigable con el medio ambiente.

El bioetanol hecho a base de caña de azúcar es normalmente el más usado en Sudamérica, en las siguientes imágenes veremos los niveles de GEI emitidos por la combustión de dicho biocombustible. Como en el caso del biodiésel se espera que en promedio los GEI sean los mismos que en todas las materias primas con las que se produce dicho biocombustible. En la Fig.3.12 mostrara los GEI emitidos en toneladas por el bioetanol usado como combustible.

SECTOR	TIPO DE EMISION	VARIABLE	GASES EFECTO INVERNADERO (ton)			
			CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CO
ENERGIA	COMBUSTION ESTACIONARIA	Emisiones CO <sub>2</sub> combustible	3.318,507			
		Emisiones CH <sub>4</sub> combustible		0,949		
		Emisiones N <sub>2</sub> O combustible			0,129	
	COMBUSTION MOVIL	Emisiones CO <sub>2</sub> combustible	1.085,357			
		Emisiones CH <sub>4</sub> combustible		0,005		
		Emisiones N <sub>2</sub> O combustible			0,011	
<b>TOTAL (ton GEI)</b>			<b>4.403,86</b>	<b>0,95</b>	<b>0,14</b>	<b>0,00</b>

Fig.3.12. GEI emitidos en toneladas por el bioetanol usado como combustible. Tabla obtenida de [92].

### **3.5 Agua.**

Como hemos visto en el presente trabajo, el agua es fundamental para la generación de energía eléctrica, tal es el caso de las centrales de cogeneración como las plantas termoeléctricas, hidráulicas, geotérmica, para la fabricación de los biocombustibles, etc. Por sí sola no es un contaminante, sin embargo, presenta algunas cualidades un poco dañinas para el medio ambiente.

#### **3.5.1 Vapor de agua.**

El agua no es un contaminante para nuestro planeta, sino los combustibles que se usan para calentarla y generar vapor para el movimiento de turbinas para la cogeneración eléctrica. Sin embargo, aunque suene curioso recordemos que el vapor de agua es un GEI y este es el de mayor abundancia sobre la atmosfera.

La razón por la que el exceso de vapor de agua en la atmosfera es un problema, es debido a que el vapor de agua en grandes cantidades al igual que el CO<sub>2</sub>, absorbe y remite energía infrarroja desde la atmosfera hasta la corteza terrestre. El vapor de agua como GEI, lamentablemente rompe con las ultimas 4 partes que componen el ciclo del agua (Transpiración, Condensación, Precipitación y Escorrentía), haciendo que cada vez recursos como el agua potable escasee en todo el mundo, esto debido a que los otros GEI colaboran a que el vapor de agua quede atrapado en la atmosfera y no regrese por completo o si lo hace, pero en forma de lluvia ácida cargando distintos tipos de contaminantes. Creando un ciclo de contaminación contrario al del agua, donde se acumulan más nubes, aumentando la radiación solar sobre el planeta, la lluvia ácida, smog y más GEI, que terminan por generar mayores daños al medio ambiente.

Sin embargo, no debemos encasillar el vapor de agua como fuente de energía dañina para el movimiento de los automóviles, recordemos que existen energías renovables

como la energía geotérmica que aprovecha el agua, la convierte en vapor y genera energía eléctrica sin producir los otros GEI que son los que más dañan y alteran al medio ambiente, dado que el vapor generado por este mismo tipo de energía renovable no se pierde por completo en la atmósfera y se recupera rápidamente.

### **3.5.2 Hidrógeno.**

El hidrógeno es el combustible del futuro para la industria automotriz en general, sin embargo, obtenerlo en su forma pura es bastante complicado. Anteriormente, se comentó formas en las que se obtiene el hidrógeno, pero dependiendo de la forma de extraerlo se le da un color, este depende de que tan contaminante es la fuente de obtención del mismo.

Los procesos que hemos comentado son la gasificación, reformado de vapor y electrólisis y los colores de hidrógeno obtenido a partir de ellos son los siguientes:

- Hidrógeno negro (también llamado hidrógeno marrón): Son los que su fuente de energía para extraer hidrógeno es el de las plantas termoeléctricas a través de proceso de gasificación, debido a que usa carbón como reactivo para generar energía, termina por liberar los GEI ya comentados de este combustible fósil.
- Hidrógeno gris: Son los que su fuente de energía para extraer hidrógeno es el gas metano a través del proceso de reformado de vapor, recordemos que este combustible se usa para la combustión y esta genera CO<sub>2</sub>, ambos son GEI y recordemos que son sumamente dañinos para el medio ambiente.
- Hidrógeno azul: Son los que su fuente de energía para extraer hidrógeno son el carbón y el gas, su proceso de producción son los dos anteriormente mencionados, la diferencia radica aunque genera grandes cantidades de CO<sub>2</sub> como los casos anteriores, captura y almacena este a través del sistema de tecnología; Carbón, Capture, Use and Storage, (CCUS por sus siglas en inglés),

es un conjunto de procesos tecnológicos con el propósito de reducir las emisiones de carbono en la atmósfera, capturando el CO<sub>2</sub> generado a grandes escalas en fuentes fijas para almacenarlo en el subsuelo de manera segura y permanente. Es considerada un medio de transición a una nueva generación de energías limpias y bajas en carbono. Por lo mismo, podría considerarse entre comillas menos dañinas para el medio ambiente.

- Hidrógeno rosa: Se obtiene mediante la electrólisis del agua cuando la electricidad procede de la energía nuclear. El problema de esto es que, aunque no genere ningún GEI, produce residuos radiactivos, los cuales en una gran exposición termina dañando al sistema nervioso y generando distintos tipos de cáncer en los seres vivos.
- Hidrógeno verde: Se obtiene mediante la electrólisis del agua cuando la electricidad procede de las energías renovables. Este tipo de hidrógeno es el más amigable con el medio ambiente, dado que no genera ningún tipo de GEI ni contaminante. De este tipo de hidrógeno nos centraremos más adelante.

En la Fig.3.13 se muestran los métodos de producción del hidrógeno y sus colores para resumir lo anteriormente mencionado.

# MÉTODOS DE PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO Y SUS COLORES

by CIC **energigUNE**  
MEMBER OF FUSIBLE RESEARCH  
& TECHNOLOGY ALLIANCE

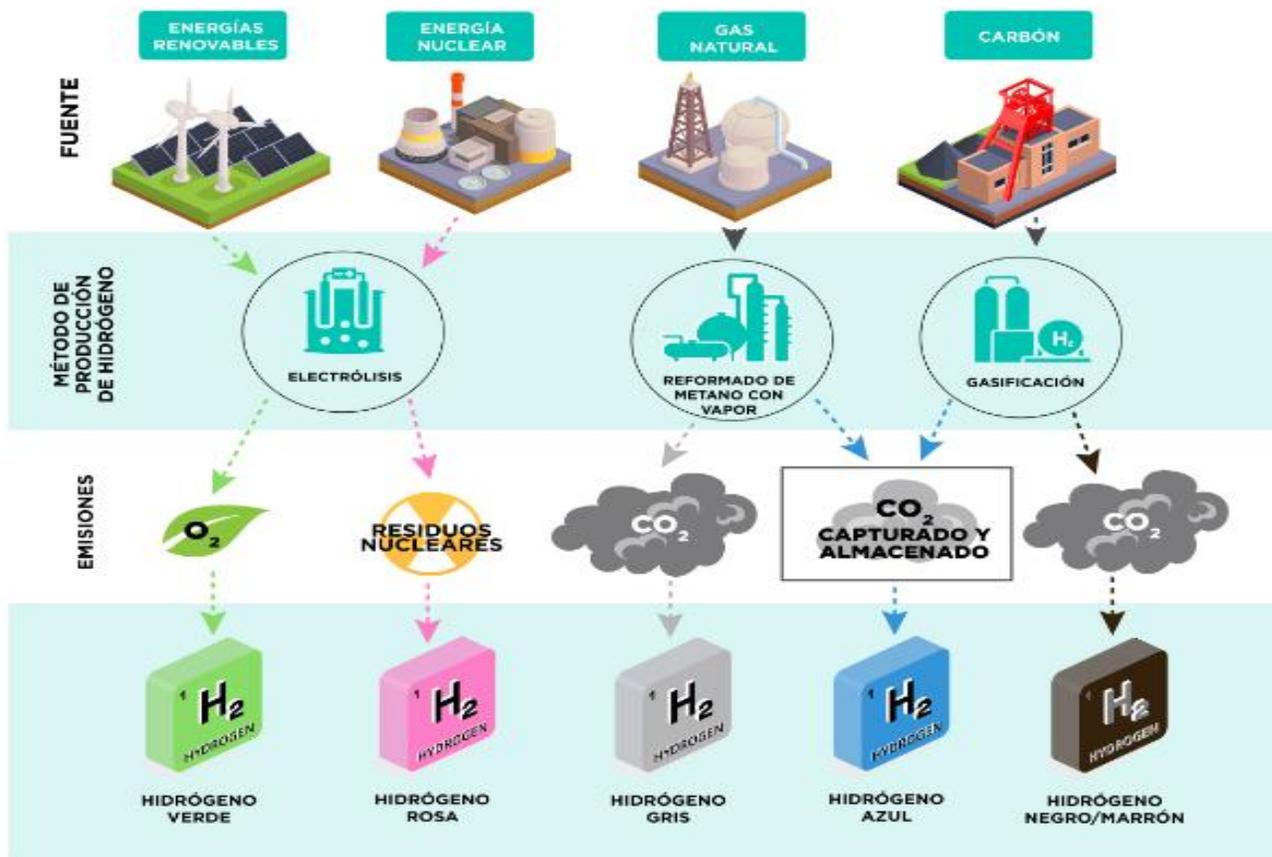


Fig.3.13. Métodos de producción del hidrógeno y sus colores. Imagen obtenida de [93].

### 3.5.2.1 Hidrógeno verde y su producción.

Anteriormente se comentó que el hidrógeno verde, las celdas de combustible y las energías renovables son el futuro de la industria automotriz, dado que no generan emisiones de GEI y también porque el hidrógeno verde tiene distintos usos, para la industria agrícola (amoniaco y fertilizantes), eléctrica (usos domésticos, electrificación y calefacción), siderúrgica, cementera, etc.

En la Fig.3.14 y 3.15 se muestran el proceso de obtención de hidrógeno verde a partir de energías renovables.

## Proceso de producción del hidrógeno verde

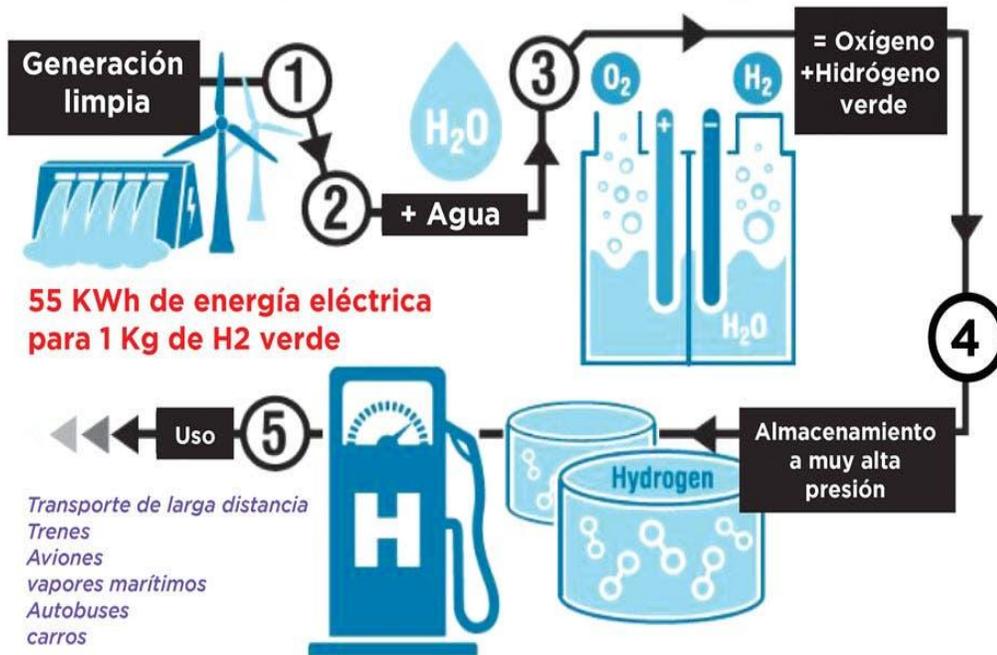


Fig.3.14. Proceso de producción del hidrógeno verde. Imagen obtenida de [94].

Para obtener un kilo de hidrógeno se necesitan entre 50 a 60 kW por kilo, sin embargo, una vez licuado a bajas temperaturas y altas presiones, puede volver a combinarse con el oxígeno del aire mediante una celda especial y generar 30 kW hora de energía eléctrica. Aunque llegue a perder de 20 a 30 kW/h tiene la ventaja sobre las baterías de poder estar en sistemas de almacenamiento compactos.

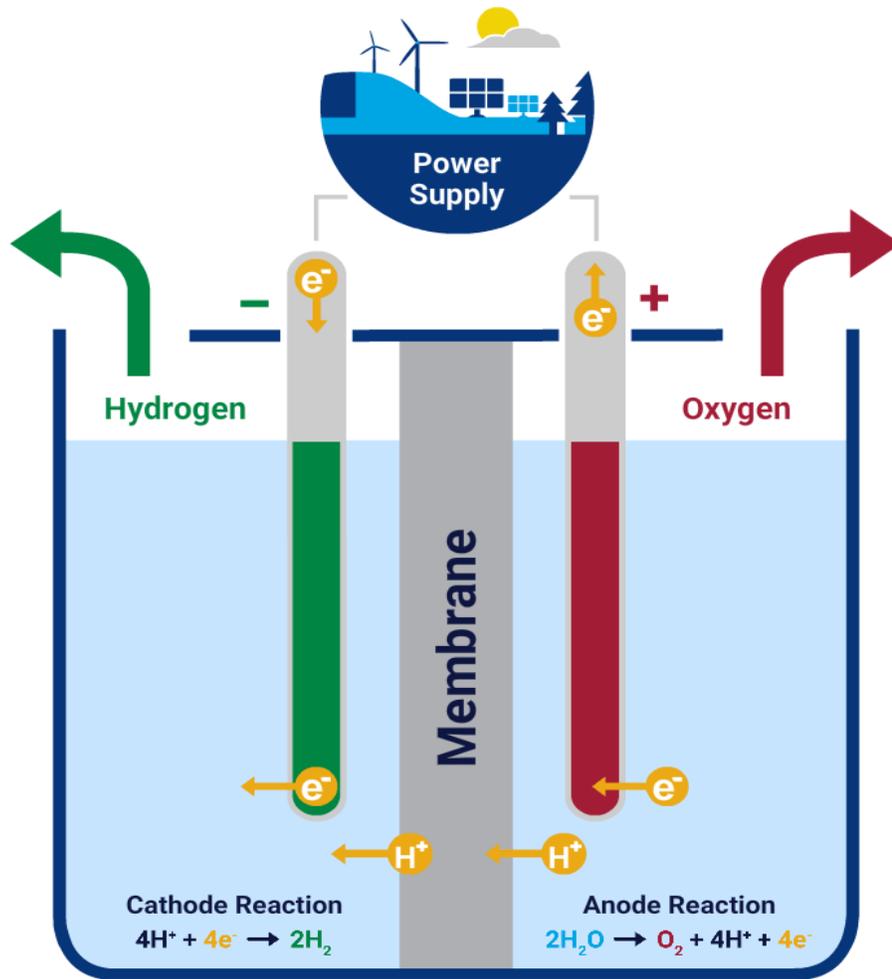


Fig. 3.15 Proceso de electrolisis en la obtención del hidrógeno verde. Imagen obtenida de [95].

### 3.5.2.2 Planta de hidrógeno verde en Puertollano, España.

En el municipio de Puertollano del estado de Ciudad Real en España, con una inversión de 150 millones de euros se construyó la mayor planta de hidrógeno verde en el mundo, con una superficie de 7.000 m<sup>2</sup> con una fuente de alimentación de 100 MW a través de paneles solares, sistema de almacenamiento en baterías de litio, un avanzado sistema de electrolisis, tanques de almacenamiento de hidrógeno, una subestación eléctrica de 30 kV, con distribución tanto eléctrica y creación de

fertilizantes libres de contaminantes y producción de amoníaco. Con una capacidad estimada en 156,000 MW, se estima que se ahorrara las emisiones de unas 48 toneladas de CO<sub>2</sub> al año y pudiendo fabricar 200 toneladas de hidrógeno al año.

En la Fig.3.16 se muestra una imagen del esquema de la planta de Puertollano.

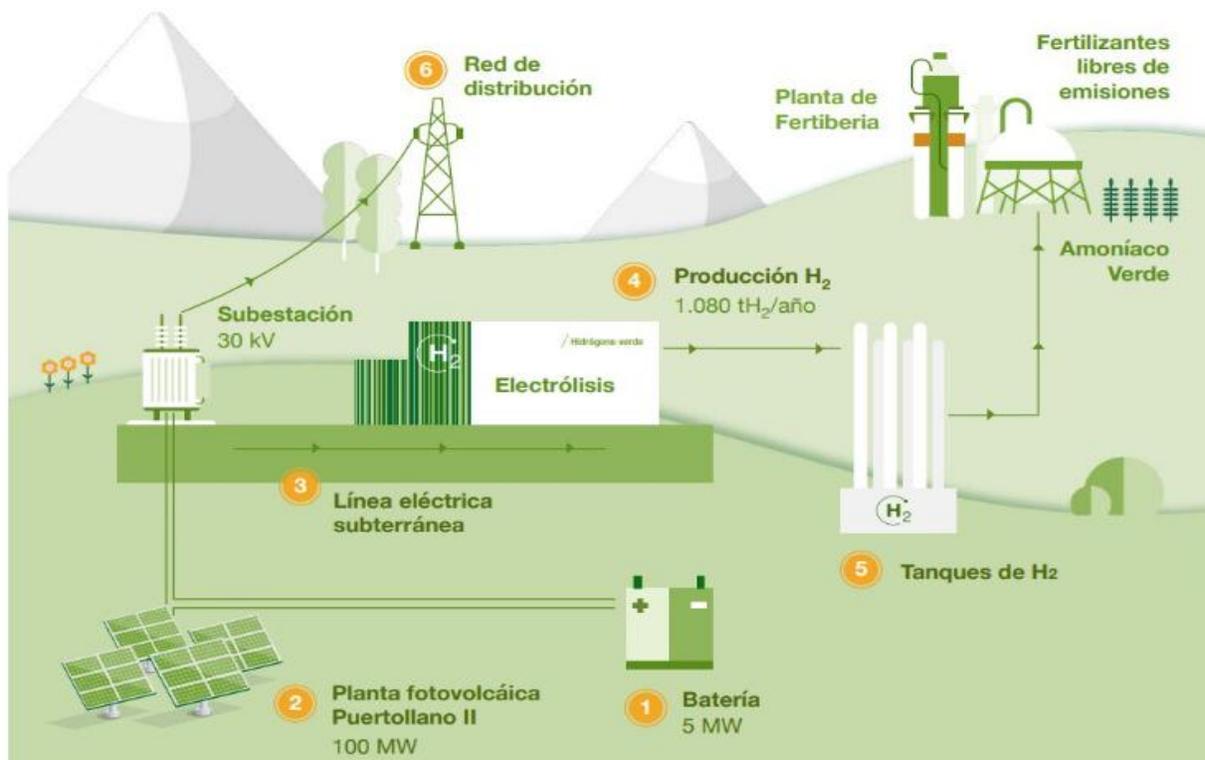


Fig.3.16 Esquemas de la planta de Hidrógeno verde en Puertollano, España. Imagen obtenida de [96].

Como podemos observar la infraestructura que se requiere para una planta de hidrógeno verde es bastante variada, porque primero se requiere de una fuente de energía renovable, en este caso se requieren por lo menos 133 mil paneles solares del tipo policristalino, el electrolizador se compone de 16 racks con 200 celdas de combustible, el almacenamiento eléctrico va de la mano con un sistema de baterías eléctricas de 5 MW, 11 tanques de almacenamiento de gas con capacidad de 6000 litros, un subestación de 30 kV, más lo ya visto en la fig. 3.16. Esto se vuelve una fuente de rentabilidad a futuro tanto económica como en la obtención de distintos productos como ya había comentado.

Otra cosa importante a mencionar, es que las normas de seguridad que debe de seguir una de estas plantas es parecido al de una plataforma petrolera, una refinadora de petróleo, y al de una planta de energía nuclear esto debido a que el hidrógeno es un elemento altamente inflamable y destructivo, de hecho si llegara a ver un accidente dentro de la cámara de tanques de almacenamiento, habría un daño mayor que el de una de las anteriores mencionada, pudiendo llegar a destruir por completo la zona donde esté construida la planta, por lo mismo el control en contra de accidentes es de los más estrictos, intensivos y cautelosos del mundo, esto con el fin de evitar una catástrofe en la zona donde esté construida la planta.

## 4. Baterías de Litio, Celdas de combustible y los Capacitores.

Este capítulo se centrará en los dos sistemas de ingeniería más usados en la electrificación en la industria automotriz, veremos a detalle las especificaciones tanto de las baterías de litio como de las celdas de combustible y en base a esto definiré la mejor opción a futuro para la ecología y la tecnología del automóvil. Aunque existen muchos tipos de baterías y celdas de combustible, nos centraremos únicamente en las de mayor uso en la actualidad para la industria automotriz, por lo que no tomaremos en cuenta otro tipo de celdas o baterías que no se usen actualmente o tengan potencial a futuro.

Aunque de igual manera se comentara una tercera opción para el almacenamiento y suministro de energía eléctrica en los automóviles, el cual son los súper capacitores, se verá porque son una opción más fiable que las baterías de litio para el futuro de la industria automotriz.

### 4.1 Baterías de Litio.

Las baterías de iones de Litio (Li-Ion), son las baterías con mayor densidad de almacenamiento energético. Estas se utilizan en muchos aparatos electrónicos tales como: celulares, computadoras, tabletas electrónicas, calculadoras y actualmente son el mayor motor de movilidad eléctrica en la industria automotriz. En la Fig.4.1 se mostrarán las ventajas y desventajas de este tipo de baterías.

En la Fig.4.2 se muestran los tipos de baterías de Litio. Aunque los autos eléctricos a batería de litio no generan directamente GEI, si lo hacen de forma indirecta, como ya había mencionado anteriormente con la cogeneración eléctrica a través de las plantas termoeléctricas a carbón y adicionalmente lo hacen en la creación de las mismas baterías de litio, durante su extracción del mismo como en su fabricación.

Ventajas	Desventajas
Alta energía específica y alta capacidad de carga con celdas de potencia	Necesidad de un circuito de protección para evitar las fugas térmicas
Ciclo de vida extendida, útil y extendida libre de mantenimiento.	Degradación tanto a altas temperaturas y en almacenajes en altos voltajes.
Alta capacidad, baja resistencia interna, buena eficiencia en carga.	Imposibilidad de carga rápida a temperaturas bajo cero (<0 °C, <32°F).
Algoritmo de carga simple y tiempos de carga razonablemente cortos.	Necesidad de regulaciones de transporte en envíos de este material.

Fig.4.1. Ventajas y desventajas de las baterías de iones de Litio. Tabla obtenida de [97].

Empecemos por sus reservas a nivel mundial y de los recursos naturales empleados para la extracción del mismo como el impacto al ecosistema. En la Fig.4.3 se muestran los países con mayores reservas de Litio a nivel mundial.

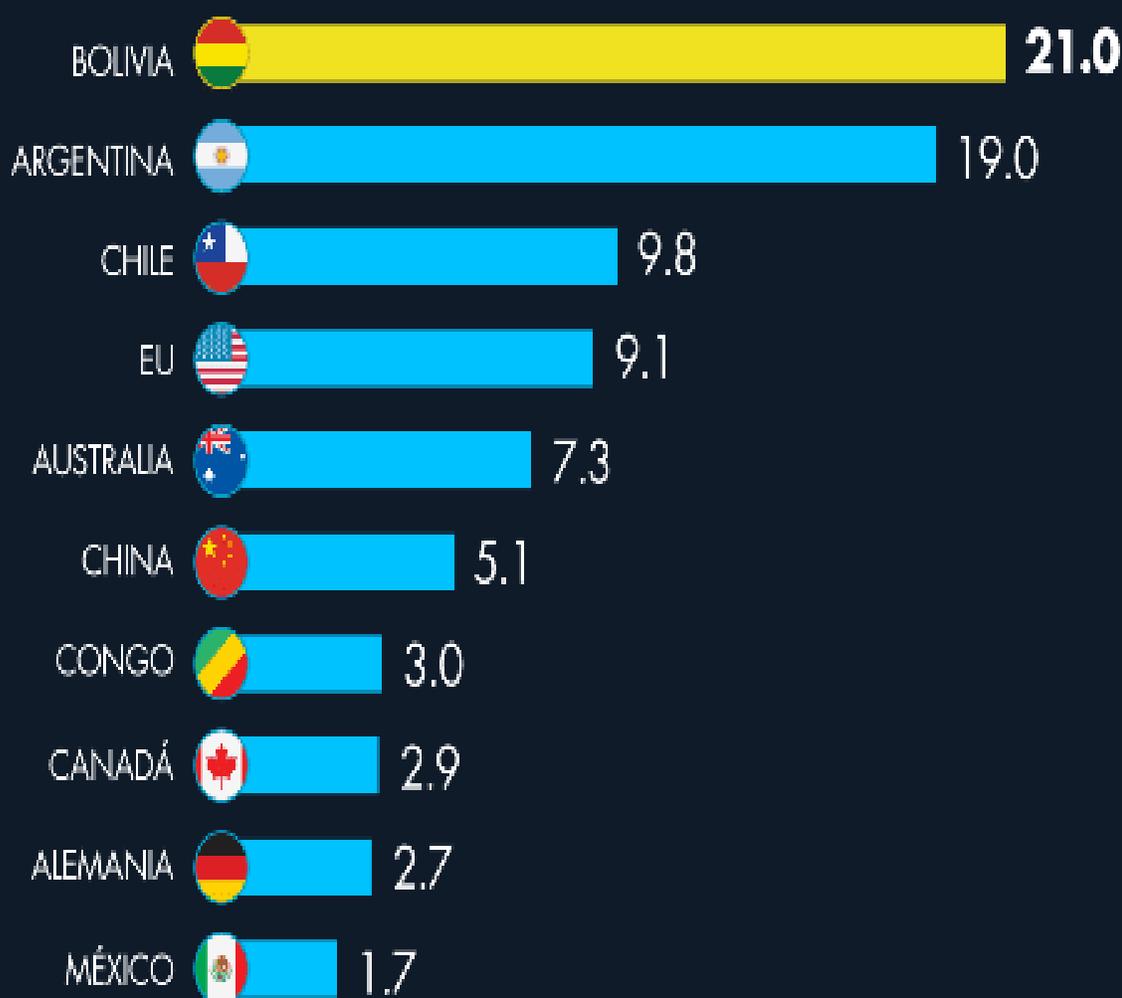
Si observamos bien la Fig.4.3. Podemos compararla con la imagen Fig. 2.7 del capítulo dos donde se mostró las reservas actuales del petróleo a nivel mundial, podríamos decir que el Litio se está convirtiendo poco a poco en el nuevo combustible de mayor importancia para la humanidad, es decir, en el nuevo petróleo y tarde o temprano al igual que este, terminará escaseando.

Tipo	Descripción
Óxido de cobalto de litio (LiCoO)	La batería consta de un cátodo de óxido de cobalto y un ánodo de grafito de carbono. El cátodo tiene una estructura en capas. Durante la descarga, los iones de Litio se mueven del ánodo al cátodo. El flujo se invierte con la carga. El inconveniente de las baterías de L-Cobalto es que su vida útil es relativamente corta, baja estabilidad térmica y capacidades de carga limitada.
Óxido de manganeso de litio (LiMnO)	El ion de litio con espinela de manganeso se publicó por primera vez en el Materials Research Bulletin en 1983. La arquitectura de la pila forma una estructura de espinela tridimensional que mejora el flujo de iones en el electrodo, lo que da como resultado una menor resistencia interna y un mejor manejo de la corriente. Otra ventaja de la estructura de la espinela es la alta estabilidad térmica y la seguridad mejorada, pero el ciclo y la vida útil son limitados.
Fosfato de hierro y litio (LiFePo)	En 1996, la universidad de Texas (y otros colaboradores) descubrieron el fosfato como material catódico para baterías de litio recargable. El fosfato de litio ofrece un buen rendimiento electroquímico con baja resistencia. Esto es posible con el material de cátodo de fosfato a neo escala. Los beneficios clave son una alta clasificación de corriente y un ciclo de vida prolongado, además de una buena estabilidad térmica, mayor seguridad y tolerancia en caso de abuso.
Exuro de litio, níquel, manganeso y cobalto (LiNiMnCoO o NMC)	Uno de los sistemas de iones de litio más exitosos es una combinación de cátodos de Níquel-Manganeso-Cobalto (NMC). Al igual que el Li-Manganeso, estos sistemas se pueden adaptar para que sirvan como celdas de energía o celdas de potencia.
Titanio de Litio (TO)	Las baterías con ánodos de litio se conocen desde la de los 80. El titanato L reemplaza el grafito en el ánodo de una batería de iones de litio típica y el material forma una estructura de espinela. El cátodo de óxido de manganeso o NMC Li-titanato tiene una tensión de celda nominal de 240 V. Tiene excelentes características de descarga a baja temperaturas y obtiene una capacidad del 80% a - 30 °C (- 22 °F)

Fig.4.2. Tipos de baterías de litio. Tabla obtenida [98].

# Bolivia y Argentina tienen las mayores reservas de litio del mundo

Países con mayores reservas de litio en el mundo |  
MILLONES DE TONELADAS



FUENTE: USGS

EL ECONOMISTA

Fig.4.3. Países con mayores reservas de litio a nivel mundial en millones de toneladas. Imagen obtenida de [99].

# Los mayores productores de litio

Países con la mayor producción minera de litio en 2021 y reservas correspondientes (en toneladas)



No hay datos disponibles para Estados Unidos "para evitar revelar datos de propiedad de las empresas".  
Fuente: Servicio Geológico de Estados Unidos



statista

Fig.4.4 Países con mayor nivel de producción en el mundo. Imagen obtenida de [100].

## 4.1.1 ¿Cómo se fabrica una batería de Litio?

El litio es una materia prima bastante complicada de extraer, trabajar y moldear para crear una batería. Simplemente para fabricar una batería de litio se requieren de 17 procesos diferentes divididos en 5 etapas. En este capítulo nos centraremos en resumir de la manera más simple posible estas 5 etapas y mencionaremos los procesos pertenecientes de cada una. Las etapas son las siguientes:

- Mezclado de lodos: Se compone de 10 procesos diferentes, siendo la etapa con mayor tiempo de trabajo para elaborar una batería. Consiste en darle cuerpo a la base de la batería, mezclando las materias primas de origen como el litio recién extraído de las minas con otros minerales naturales en condiciones de vacío. Durante esta etapa se busca crear una mezcla homogénea y sin imperfecciones que impida tanto la corrosión, la disconformidad de la conductividad eléctrica, la entrada de aire al producto, etc. Los procesos que se utilizan durante esta primera etapa son los siguientes:
  - Mezclado.
  - Revestimiento.
  - Prensado.
  - Corte longitudinal.
  - Secado.
  - Muestras.
  - Apilado.
  - Soldadura.
  - Asamblea.
  - Asientos.
- Secado: Una vez terminada con la base del cuerpo principal de la batería, se secan los componentes químicos no deseados en cámaras de vacío tanto individuales como multicámaras formando así las células de las baterías, esto para garantizar la siguiente etapa de construcción de la batería. Es una etapa única donde no se involucran más procesos en la misma.
- Relleno: Una vez secas las células de la batería (drenando el aire y humedad restantes), se procede a rellenarlas con electrolitos al alto vacío para evitar el traspaso de impurezas a las células de la batería y la contaminación a la batería. Al igual que la etapa anterior es un proceso único.
- Impregnado: Es la construcción y ensamble del electrodo de la batería que por consiguiente debe tener contacto directo con el electrolito anteriormente suministrado, suministrándole una precarga para ir checando el funcionamiento

previo de la batería. La importancia de la precisión y el cuidado en la construcción de este paso es fundamental para asegurar la eficiencia energética de la batería. Esta etapa se compone de dos procesos:

- Impregnado
  - Precarga.
- Desgasificación: Se busca eliminar todas las burbujas de aire en el electrolito, esto con la intención de que los iones de litio puedan moverse libremente sin problemas en el sistema y lograr también que tanto carga como descarga sean eficientes en la batería terminada. Los procesos que se involucran en esta etapa son los siguientes:
    - Desgasificación.
    - Plegable.
    - Prensado.

En la Fig.4.5 veremos todo el proceso de la fabricación de las baterías litio con las etapas y procesos anteriormente comentados.

#### **4.1.2 Contaminación de las baterías de Litio.**

Se estima que en una batería de litio por cada kW hay una media de 160 gramos de Litio, en una batería promedio de litio hay 50 kW lo que da un peso de 8 kg. El problema con el litio es que al igual que el petróleo necesita de muchos recursos naturales para obtenerlo. Se encuentra tanto en zonas desérticas como frías (prácticamente congeladas) y para obtenerlo en ambos escenarios los procesos son bastante complicados.

Simplemente en zonas desérticas se necesitan 2 millones de litros de agua para conseguir una tonelada de litio, lo que se resume en 2 mil litros de agua por 1 kg de litio, eso en zonas desérticas, pero en zonas frías como en Finlandia, Rusia, etc., la extracción de litio no es viable en términos ecológicos, por cada tonelada de litio producida se generan 50 toneladas de residuos tóxicos al medio ambiente.

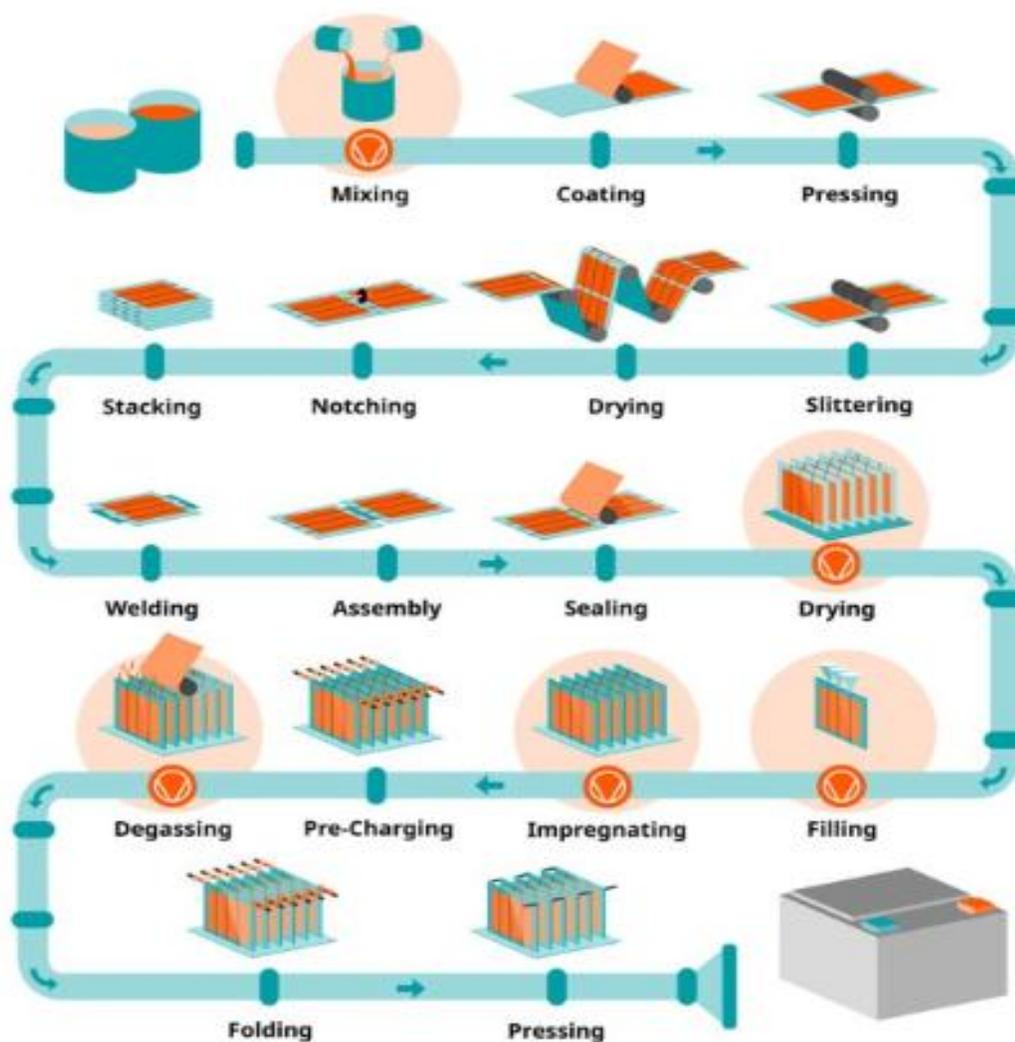


Fig.4.5. Fabricación de las baterías de litio, etapas y procesos. Imagen obtenida de [101].

Tomando en cuenta que en promedio en una batería hay 8 kg, eso nos daría como resultado 16 mil litros de agua consumidos si es que el litio viene del desierto o si viene

de una zona fría por cada 8 kg se recibiría 400 kg de desechos tóxicos para el medio ambiente.

Si la demanda del litio sigue aumentando, el crecimiento de sequías junto a los desechos tóxicos provocados por extracción del mismo aumentaría de forma exponencial, amenazando seriamente al medio ambiente. Como se comentó anteriormente el Litio se está convirtiendo en el nuevo recurso de mayor importancia para el ser humano, sin embargo, aquí la pregunta es, ¿que se acabara primero el litio como materia prima o recursos naturales como el agua para extraerlo?

El litio al igual que el plomo es altamente dañino para los seres vivos, la interacción (ya sea ingerido, respirado, etc.) de este elemento con el cuerpo humano, daña seriamente el sistema nervioso causando fuertes daños cerebrovasculares, fallas respiratorias, daños al corazón y además de tóxico es degenerativo para los riñones.

Un punto importante a aclarar antes de seguir adelante con las baterías de litio, es explicar la diferencia entre reciclaje y reutilizar. El reciclaje consiste en provechar la materia prima de la que está hecho un objeto y luego utilizarla en la fabricación de uno nuevo, por ejemplo, las latas de aluminio. La reutilización por su parte significa encontrarle un nuevo uso, por ejemplo, la cerámica no se puede reciclar, sin embargo, se puede triturar y hacer marcos para cuadros con ella.

Mencionando nuevamente que las baterías de litio no son reciclables para crear nuevas baterías del mismo material, sin embargo, si se pueden reutilizar los materiales con los que están hechas (como el níquel y el cobalto) para la creación otros sistemas de acumulación eléctrica.

Pero meramente el litio como elemento no es reciclable debido a dos factores, el primero es que es más barato extraerlo de las minas de donde se obtiene al reciclarlo directamente de la batería, dado que si se pudiera extraer algo de litio sería una mínima cantidad no rentable tanto económica como energéticamente.

La segunda razón va de la mano de que aún no hay desarrollos sustentables ni ecológicos que permitan el reciclaje de las baterías de litio como elemento particular, hay quienes dicen que vivimos en un mundo en desarrollo en pañales para los nuevos sistemas de tecnología presente.

Para finalizar solo quiero comentar que los tiempos de recarga en los automóviles eléctricos a baterías de litio son bastante extensos a comparación de los autos a combustión interna. En promedio dueños de autos eléctricos de Tesla se han tardado en terminar de cargar su automóvil entre 28 minutos a 35 minutos, si el parque automotriz cambiara completamente al de baterías de litio, esto terminara generando largas e interminables filas de recarga de automóviles a nivel mundial, potenciando los retrasos, el tráfico y aumentando accidentes viables cuando estos se queden sin energía o causando muertes cuando vehículos como ambulancias, camiones de bomberos o cualquier otro automóvil de servicio público de emergencia no podría cumplir por completo con su tarea rápidamente.

De hecho, esto ya está pasando actualmente, en el Reino Unido en vísperas de navidad del año 2022 las centrales de recarga de Tesla, estaban saturadas debido a que había demasiada gente haciendo fila y cargando al mismo tiempo sus vehículos para llegar a casa. Se estima que en promedio hubo gente haciendo fila por más de 3 horas seguidas.

También está pasando en Australia y en Estados Unidos. En las Fig.4.6 y 4.7 se muestran encabezados de algunas noticias de las filas para poder cargar autos Tesla en ambas partes del mundo.

## Tesla ha sustituido las colas en las gasolineras en periodo de vacaciones por las colas en los Supercargadores



Fig. 4.6. Fila de espera de recarga en Estados Unidos. Imagen obtenida de [102].

## Propietarios de Tesla esperando en una gran cola en la estación de carga en Wodonga, frontera entre Victoria y NSW

by notimundo  
hace 6 meses

1.5k Views



Fig. 4.7. Fila de espera de recarga en Australia. Imagen obtenida de [103].

## **4.2 Celdas combustibles.**

Ya hablamos de la primera parte de la movilidad eléctrica por parte de la industria automotriz, ahora hablaremos de la segunda opción que son las celdas de combustible, nos centraremos en las ventajas de estas sobre las baterías de litio en términos de movilidad, contaminación y del porque son el futuro del automóvil.

### **4.2.1 ¿Qué es una celda de combustible?**

Las celdas de combustible (también llamadas pilas de combustible en Europa o células de combustible) son sistemas termodinámicos abiertos, que operan a base de reacciones electroquímicas en base a reactivos consumidos de una fuente externa. Es decir; son dispositivos con un flujo continuo de combustible y oxidante que sufren una reacción química controlada suministrando directamente corriente eléctrica a un circuito externo.

Las celdas de combustible generan electricidad y calor a través de una reacción de electrolisis invertida. Esto sucede cuando se le suministra un reactivo en forma de combustible, este normalmente es hidrógeno (aunque también pueden ser amoníaco, metano, metanol o hidracina), teniendo contacto con el oxígeno que termina por generar agua, esto sin generar agentes contaminantes en el proceso. En la Fig.4.8 un esquema del cómo es que funciona una celda de combustible.

Para resumir lo anterior, la estructura básica de una celda de combustible se compone de la siguiente manera; un núcleo formado por varias celdas unitarias o dicho de manera más simple, consta de un electrolito que, en contacto de un ánodo y cátodo en ambos lados de la célula (en la Fig. 4.8 son ilustrados de color gris y con el nombre de electrodo), donde el combustible de funcionamiento alimenta continuamente el ánodo (electrodo negativo) y un oxidante (el oxígeno del aire) alimenta continuamente el cátodo (electrodo positivo).

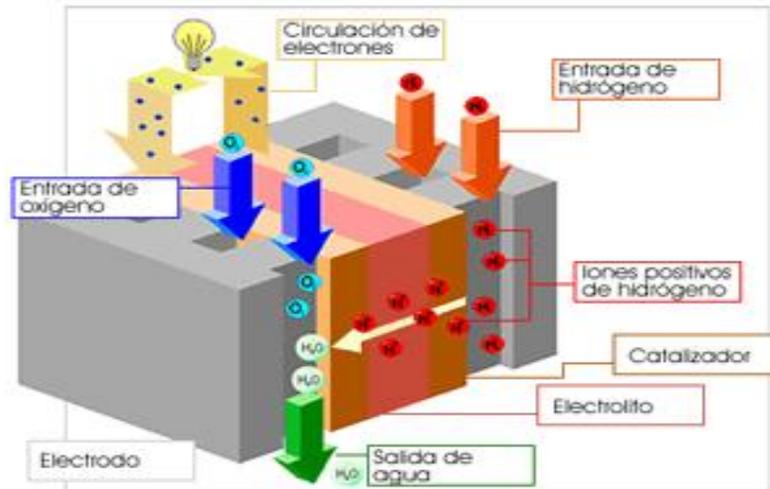


Fig. 4.8. Funcionamiento de una celda de combustible. Imagen obtenida de [104].

#### 4.2.2 ¿Diferencias entre una celda de combustible y una batería?

La diferencia entre una celda de combustible y una batería eléctrica radica en que la primera genera electricidad (con el método de electrolisis anteriormente mencionado), pero no puede almacenar la electricidad generada, mientras que una batería almacena energía eléctrica pero no puede producirla.

En el campo de la motorización eléctrica en la industria automotriz se divide en estos dos sectores, los autos eléctricos que funcionan a base de celdas de combustible usando hidrógeno como combustible para funcionar o los autos eléctricos que no producen su energía eléctrica, pero si funcionan en base a ella y solo la almacenan.

Sin embargo, existen sistemas híbridos de estos dos tipos de motorizaciones, véase el Toyota Mirai que mencionamos en el capítulo 1, que es un auto a celdas de combustible que produce más electricidad de lo que necesita para funcionar y para no dejar escapar electricidad fuera del sistema, la almacena en una batería para poderla usar después, esto con la finalidad de ahorrar energía.

### **4.2.3 Ventajas y desventajas de la celda de combustible ante las baterías.**

En este sub capítulo nos centraremos en las ventajas y desventajas que tienen las celdas de combustible sobre las baterías, nos centraremos en aquellos puntos que sean de mayor impacto para la industria automotriz en general y sobre como la tecnología está evolucionando en ambos aspectos para que el campo del parque vehicular sea mayormente sólido y extenso de lo que es hoy en día.

A continuación, se muestra las ventajas y desventajas de las celdas de combustible ante las baterías.

Ventajas.

- Pueden generar su propia electricidad de manera autónoma y ecológica utilizando un combustible como el Hidrógeno, Amoniac o la hidracina.
- No emiten gases de efecto invernadero u otros contaminantes al medio ambiente siempre y cuando los componentes de su combustible sean H<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>.
- Su funcionamiento es constante en base a la disponibilidad de combustible que tenga (parecido a los autos de combustión interna con los combustibles fósiles).
- No tienen partes móviles por lo que su mantenimiento es sencillo.
- Son más eficientes que los motores de combustión interna y los autos a baterías de litio, debido a que su combustible el hidrógeno tiene mayor potencial energético que combustibles como la gasolina y que además no suele descargarse como si lo hacen los autos de batería cuando no están en uso.
- Son más fáciles de fabricar, dado que no se necesitan de tantos procesos como el de las baterías para crear una celda de combustible, lo que las hace más eco friendly.
- Son reciclables, debido a que la mayoría de sus componentes son metálicos, plásticos, etc. Por lo que con un buen mantenimiento se puede evitar fácilmente la corrosión de los materiales.
- Al final de su tiempo de vida, sus restos no repercuten tanto en términos de contaminación al medio ambiente como si lo hacen las baterías de litio.

Desventajas.

- No pueden almacenar de manera propia su propia electricidad generada.
- Sus costes de fabricación son bastante elevados esto debido a los materiales que pueden llegar a emplear para funcionar, por ejemplo, el platino en el área de los electrodos.
- Es difícil encontrar hidrógeno como combustible hoy en día debido a que la industria del hidrógeno aún se encuentra en desarrollo e investigación.
- Poca robustez. Algunas son sensibles a la contaminación y a la temperatura. Es decir, aún pueden sufrir averías al más mínimo detalle de temperatura o contacto a la contaminación.
- El cálculo de su vida útil en comparación de las baterías o motores a combustión aún está en duda debido a que todavía está en pleno comienzo su inicio en la industria automotriz.
- Ocupan más espacios en la zona tanto motriz como en el área de almacenamiento de autos, donde los autos eléctricos a baterías de litio no necesitan ocupar espacio alguno (cajuela y zona del motor de un auto a combustión interna)

#### **4.2.4 Tipos de celdas de combustible en la industria automotriz.**

En la Fig.4.9 se muestra de manera general los distintos tipos de celdas de combustible esto con el fin de mostrar el tipo de combustible que pueden usar, sus ventajas y sus principales aplicaciones.

	Electrolito	Temperatura	Combustible	Ventajas	Aplicaciones
PEMFC	Membrana de polímero sólido	60-80 °C	Hidrógeno	Baja temperatura. Baja corrosión y mantenimiento	Transporte y equipos portátiles
AFC	Solución alcalina	100-120 °C	Hidrógeno	Mayor eficiencia	Espaciales
PAFC	Ácido fosfórico	200-250 °C	Hidrógeno Metano	Acepta un 1% de CO	Generación eléctrica
MCFC	Carbonatos fundidos	600-700 °C	Metano	Reformado interno	Generación eléctrica
SOFC	Material cerámico	800-1200 °C	Metano	Reformado interno	Generación eléctrica
DMFC	Membrana de polímero	50-120 °C	Metanol	No necesita reformado del combustible	Equipos portátiles

Fig. 4.9. Características de las celdas de combustible. Imagen obtenida de [105].

#### 4.2.4.1 Celdas de combustible de membrana de intercambio protónico (PEMFC).

En la siguiente cita tenemos la definición y especificaciones de las celdas de combustibles tipo PEMFC:

“Las celdas de combustible de intercambio protónico son capaces de generar electricidad de manera eficiente, para altas densidades de potencia la tecnología es aplicable a determinados móviles y portátiles, una de las aplicaciones es usarla para alimentar motores en automóviles y debido a esto ha cautivado la imaginación de muchos. La tecnología de las PEMFC se diferencia de otras celdas de combustible en que hay fase solida de la membrana de intercambio protónico y es usada como separador/electrolito de la celda. El electrolito en ese tipo de celda es una membrana de intercambio iónico, la cual opera a baja temperatura.

Esta membrana opera en forma hidratada porque el producto de la reacción global es agua, por tal motivo esta celda debe tener un manejo adecuado del agua que se produce, que no se evapore para que la membrana no se seque. La temperatura de

operación de la celda PEMFC oscila entre los 80°C y nos más de 120 °C” (Valecillos, 2009, pág. 30 y 31)

Añadiendo a lo anterior las celdas tipo PEMFC también se les llama como pilas de combustible de membrana electrolítica polimérica (PEM) y podemos resumir que funcionan a partir de mezclar oxígeno con algún combustible, normalmente es hidrógeno, teniendo como resultado electricidad y agua de forma ecológica si la fuente de alimentación externa al sistema es una fuente de energía renovable. Como dato curioso estas celdas de combustible son las que usa la NASA para sus transbordadores espaciales.

En la Fig.4.10 se muestra un esquema del funcionamiento de una celda PEMFC.

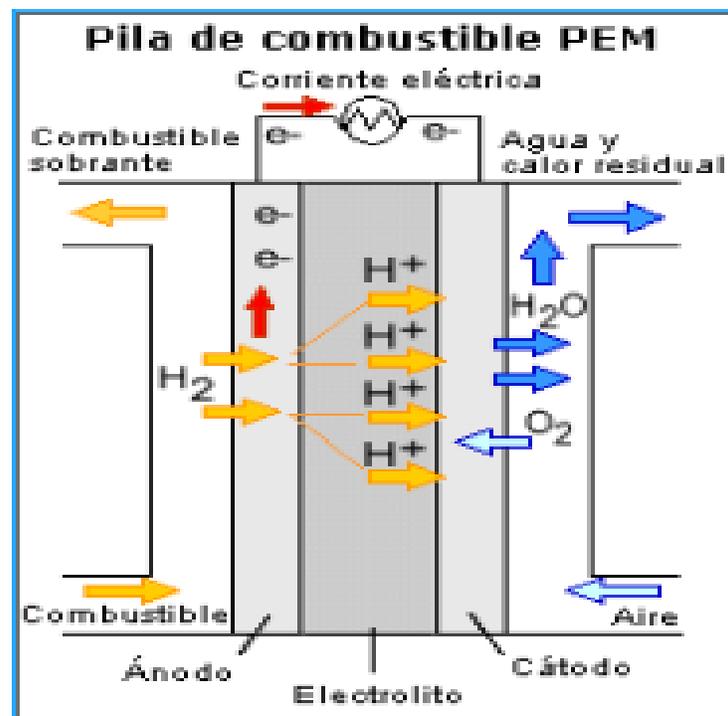


Fig. 4.10. Celda de combustible tipo PEM o PEMFC. Imagen obtenida de [106].

#### **4.2.4.2 Celdas de combustible alcalina (AFC).**

Generan energía eléctrica por medio de un electrolito alcalino de hidróxido de potasio (KOH) en solución base agua. La presencia de los iones de hidróxido que viajan a través del electrolito, permitiendo que exista corriente en el sistema y así la energía eléctrica pueda ser extraída.

Las celdas AFC son de estructuras simples sin placas bipolares, consumen hidrógeno y oxígeno puro para producir agua potable, calor y electricidad. Como hemos comentado la NASA también usa estas celdas de combustible para generar agua potable en sus transbordadores espaciales, teniendo también un 70% de eficiencia de aprovechamiento energético. A pesar de estas ventajas también presenta sus desventajas como son las siguientes:

- Alta sensibilidad a las impurezas, pueden sufrir envenenamiento de CO<sub>2</sub> si no se encuentra en un ambiente cerrado libre de contaminantes.
- Requiere de hidrógeno puro para funcionar.
- Su proceso es costoso de producir.

En la Fig.4.11 se muestra un esquema del funcionamiento de una celda AFC.

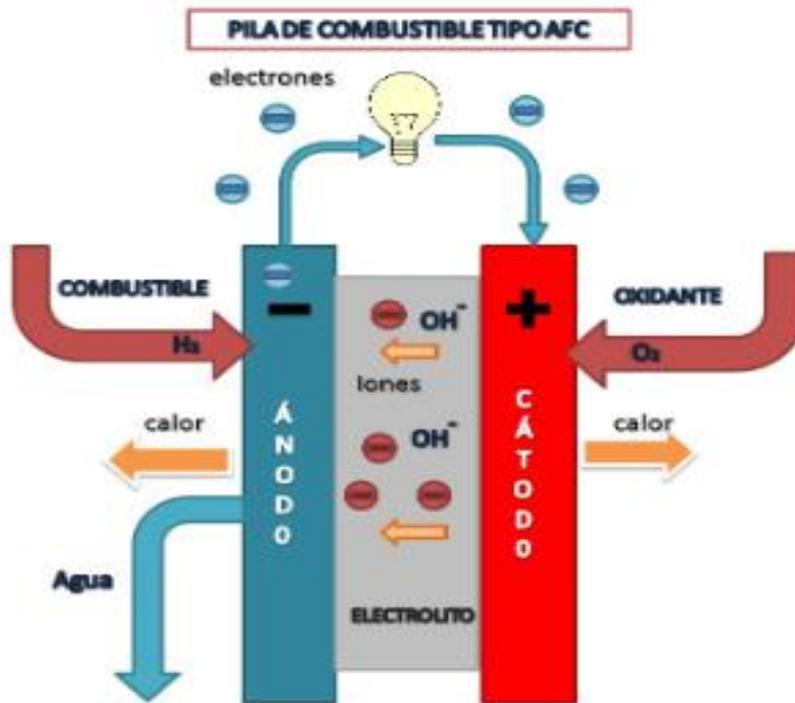


Fig. 4.11. Celda de combustible tipo AFC y su funcionamiento. Imagen obtenida de [107].

#### 4.2.4.3 Celda de combustible de ácido fosfórico (PAFC).

Estas celdas se utilizan principalmente en aplicaciones de generación de energía estacionaria, particularmente aquellas dentro de un rango de potencia de salida de 100-400 kW. Utilizan un concentrado de ácido fosfórico como electrolito, en una matriz de carburo de silicio operando a temperaturas entre 150 °C a 250 °C.

Una ventaja es su capacidad para manejar altos niveles de impurezas en comparación con las PEMFC, debido a que los materiales con los que están hechas son platino, lo que permite tener tolerancias a contaminantes generados en el proceso de reformado de hidrocarburos.

Las desventajas que podríamos mencionar de las celdas PAFC, es que son demasiado caras de producir por los materiales que requiere para funcionar, como ya se comentó

los electrodos de los que están hechos son de platino, material que es sumamente caro.

En la Fig.4.12 se muestra un esquema del funcionamiento de una celda PAFC.



Fig. 4.12. Celda de combustible tipo PAFC. Imagen obtenida de [108].

#### 4.2.4.4 Celda de combustible de carbonatos fundidos (MCFC)

Las celdas MCFC son celdas que funcionan a altas temperaturas superiores a los 650°C, utilizando materiales en el ánodo y catodo que no sean metales preciosos, debido a que sería un desperdicio utilizar estos materiales y además de que se necesitan que tengan una fuerte resistencia a las altas temperaturas tal es el caso de los materiales cerámicos. Utilizan una mezcla de sales de carbonatos fundidos dentro de la matriz cerámica (Esta es porosa) y químicamente inerte de electrolito sólido de beta alúmina (BASE).

Una fuerte ventaja de este tipo de celdas, es que no tienen la tendencia de la contaminación por envenenamiento por GEI, incluso pueden usar estos como combustible, dando la oportunidad de alimentarse de los desechos de los combustibles fósiles, esto debido a los materiales de los que está hecha este tipo de celda. De hecho, es necesario que se le suministre al cátodo una cantidad de  $\text{CO}_2$  en conjunto a un oxidante, con esto se puede separar por electrolisis el  $\text{CO}_2$  en algunas plantas de termoeléctricas para su secuestro de dicho gas.

Otra ventaja es que ofrece reducciones de costos y aprovechamiento energético en comparación a las celdas tipo PAFC, teniendo una eficiencia del 60 %, siendo más alto de un 37 al 42 % en índices energéticos. La única desventaja que presenta este tipo de celda, es su factor de durabilidad y vida útil que es demasiado corta en comparación a otro tipo de celdas de combustible. Esto debido a que las temperaturas a las que opera y los electrolitos que son altamente corrosivos aceleran de manera significativa los componentes de estas celdas.

En la Fig.4.13 se muestra un esquema del cómo es que funciona las celdas MCFC.

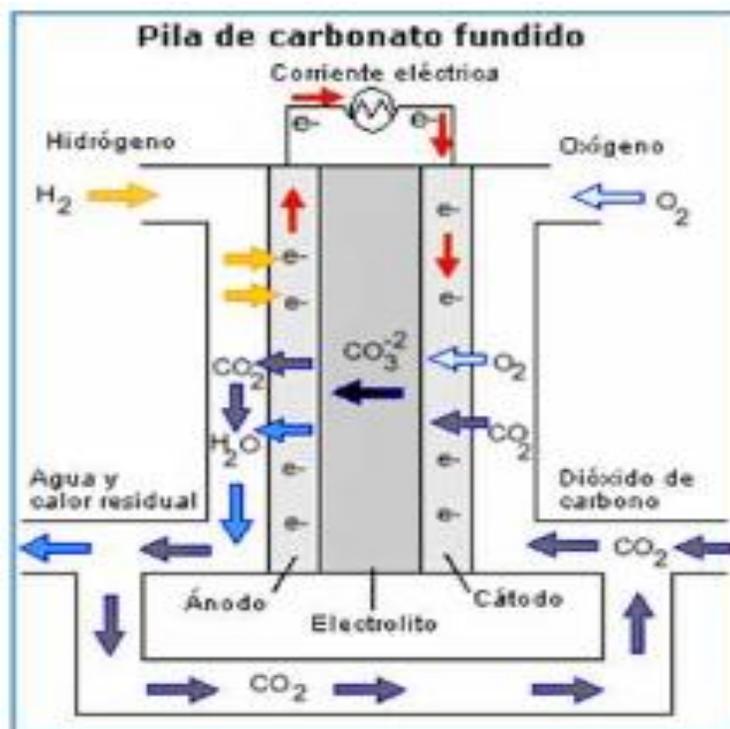


Fig. 4.13. Celda de combustible tipo MCFC. Imagen obtenida de [109].

#### **4.2.4.5 Celda de combustible de Óxido sólido (SOFC).**

En las siguientes citas tenemos una descripción de este tipo de celdas de combustible, tanto en características como en desempeño:

“Esta celda es usada en aplicaciones grandes de altas potencias, sistemas estacionarios de generación distribuida de potencia eléctrica y calor, debido a que su rango de potencia oscila entre (100-250 kW). Este tipo de sistema de óxido sólido normalmente utiliza un material duro cerámico, en lugar de un electrolito líquido, permitiendo que la temperatura de operación sea de 600 a 1000 °C. La eficiencia de generación está entre un rango de (43-55) % al igual que las MCFC.” (Valecillos, 2009, pág. 24).

“Las celdas de combustible de Óxido sólido (SOFC) son los dispositivos más eficientes inventados para la conversión química de los combustibles directamente en energía eléctrica, tienen un electrolito que es un sólido, no poroso de óxido. La celda opera de 600 a 1000 °C, donde la conducción iónica se lleva a cabo.

Las celdas de combustible de Óxido sólido (SOFC) permiten la conversión de una amplia gama de combustibles, siendo factibles para la generación de electricidad a partir de los combustibles de hidrocarburos. Las altas temperaturas de funcionamiento permiten la forma interna, proporcionan rápida cinética con materiales no precisos. De hecho, un simple ciclo y sistemas híbridos de las SOFC han demostrado que tienen los niveles más altos de eficiencia de cualquier sistema de generación eléctrica, combinado con mínimas emisiones de contaminantes atmosférico” (Valecillos, 2009, pág. 47).

Complementando a lo anterior, los electrolitos más usados en este tipo de celdas de combustible son de óxido de zirconio con adiciones de itrio o de calcio, funcionando a altas temperaturas, permitiendo la oxidación de iones y la conducción en el sistema, esto sin necesitar materiales en los catalizadores como los metales preciosos, reduciendo costos en el equipo y aumentando la resistencia al CO.

En la Fig.4.14 muestra el principio del funcionamiento de este tipo de celdas de combustible.

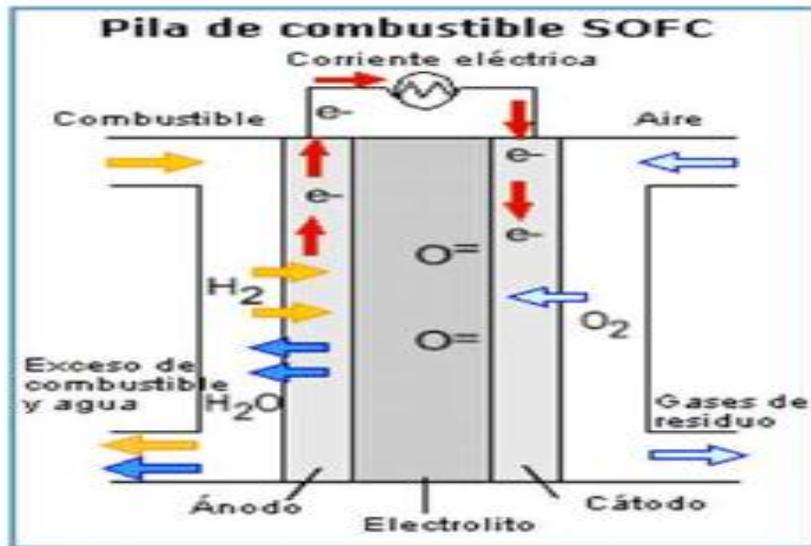


Fig. 4.14. Celda de combustible tipo SOFC. Imagen obtenida de [110].

#### 4.2.4.6 Celda de combustible de Metanol directo (DMFC).

En la siguiente cita tenemos la descripción y características básicas de las celdas DMFC:

“Hoy en día las celdas de combustible PEM, pueden ser alimentadas con metanol (o combustibles con estructura química similar), de allí surge la creación de la celda de combustible DMFC, conceptualmente, esto podría conducir a un sistema simple con un combustible que posee una alta densidad energética y el metanol es un líquido que se encuentra a bajas temperaturas en condiciones ambientales. Los niveles de rendimiento alcanzados por las DMFC, usando aire, se encuentra ahora en el rango de  $(180-250 \text{ mA}/\text{cm}^2)$  pero el rango de los voltajes de las celdas se encuentra típicamente entre  $(0.25-0.4V)$ ” (EG&G Technical Services, Inc, 2004, pág. 11)

Las celdas de combustible de metanol directo (DMFC) pertenecen a una familia de combustible de baja temperatura. Estas celdas ofrecen una serie de ventajas sobre las

celdas de hidrógeno. Las tecnologías modernas permiten producción en masa de hidrógeno a presión hasta los 700 bar, incluso en esta presión la densidad de energía del hidrógeno es 3 veces menor, que la de un metanol líquido. El metanol líquido es fácil de almacenar y transportar. Estas celdas se reducen a una simple sustitución de los cartuchos de metanol o recargar el tanque. Estos beneficios estimulan el crecimiento de la DMFC. Sin embargo, DMFC tiene unas series de inconvenientes, que aun dificultan su comercialización. En primer, lugar, la cinética lenta de oxidación del metanol, es mucho más lenta que la del hidrógeno. En contraste con una celda de hidrógeno, en donde la pérdida de tensión anódica es insignificante, en una DMFC, está pérdida constituye una fracción significativa de las pérdidas en el voltaje. En segundo lugar, el rendimiento de la DMFC disminuye con el cruce del metanol a través de la membrana de electrolito polímero. Este cruce reduce básicamente la tensión de la celda, especialmente cerca de las condiciones a circuito abierto. En tercer lugar, la oxidación de metanol es acompañado por la liberación de una gran cantidad de gases de CO<sub>2</sub>, lo que perturba el flujo en el ánodo, dificulta el transporte del metanol hacia el catalizador. Por último, pero no menos importante, el alto flujo de líquido (agua) que pasa a través de la membrana, retrasa la transferencia de oxígeno a los catalizadores aumentando así la pérdida de tensión en el cátodo” (Valecillos, 2009, pág. 35).

Una compañía automotriz china llamada Aiways en conjunto a una compañía danesa Blue Word Technologies, utiliza este tipo de celdas de combustible en sus vehículos, terminando por crear un automóvil eléctrico con el mismo nivel de eficiencia y potencia que un auto de combustión interna, dejando en claro que los autos a celdas de combustible son el futuro de la industria automotriz.

En la 4.16 y 4.17 se muestra unas fotografías del RG Nathalie un deportivo de dichas compañías que utiliza este tipo de celdas de combustible.

En la Fig. 4.15 se muestra el funcionamiento de una celda DMFC.

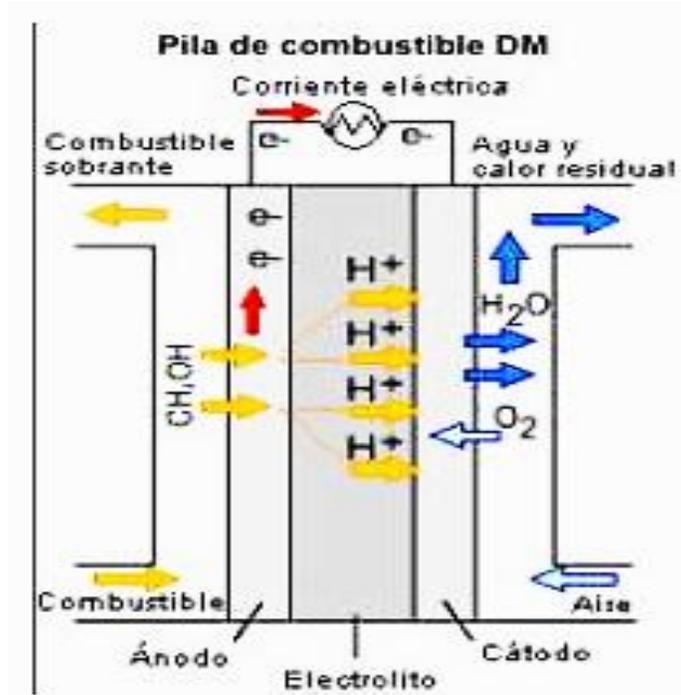


Fig. 4.15. Principio del funcionamiento de una celda de combustible del tipo DMFC.

Imagen obtenida de [111].



Fig. 4.16. Imagen del RG Nathalie. Imagen obtenida de [112].



Fig. 4.17 Imagen de la celda de metanol del RG Nathalie. Imagen obtenida de [113].

#### 4.2.5. Componentes de un automóvil de celdas de combustible de hidrógeno.

Un automóvil de celdas de combustible se distingue por usar los siguientes componentes:

- Unidad de control de carga: Sistema encargado de controlar la entre de potencia de la celda de combustible dependiendo de la condición del funcionamiento, tanto como la carga y descarga de la batería del automóvil.
- Motor eléctrico: Encargado de generar la movilidad en el tren motriz del automóvil siendo impulsado por la energía eléctrica generada por el sistema de celdas de combustible, unidad de control de carga y batería.
- Conjunto de celdas de combustible: Componente principal de los autos a hidrógeno, encargadas de generar electricidad a través del sistema ya explicado de las celdas de combustible. Son varias celdas de combustible unidas entre si.
- Batería: Se encarga de almacenar la energía eléctrica proporcionada por las celdas de combustible y la que es recuperada en los sistemas de desaceleración del automóvil.

- Depósitos de alta presión: Son los tanques de combustible donde se almacena el hidrógeno, por cada auto se ocupan un mínimo de 2 y el único inconveniente con estos es que ocupan mucho espacio, siendo una desventaja al momento de querer almacenar cosas en espacios como la cajuela, dado que estos roban espacio de esta para poder estar dentro del automóvil.

En el capítulo 1 en la Fig.1.32 ya se había mostrado una fotografía del chasis de un Toyota Mirai, en donde se puede apreciar todos estos componentes ya comentados, ahora en la Fig.4.18 se muestra el esquema de este tipo de vehículos de hidrógeno.

### **4.3 Capacitores.**

Un capacitor (también llamado condensador), es un componente electrónico formado por dos estructuras metálicas paralelas (una positiva y otra negativa) separadas por un material dieléctrico que sirve para almacenar energía eléctrica (esto a través de un campo eléctrico interno) como una batería. Aunque no puede almacenar tanta energía como si lo hacen las baterías, si pueden cargar, liberar su energía acumulada mucho más rápido que estas y también pueden suavizar la interrupción de energía del suministro eléctrico. Los capacitores se valen de la capacitancia, es la carga eléctrica que puede almacenar dentro de sí, cuando se le aplica una tensión, está se mide en Faradios (F), normalmente casi todos los capacitores utilizan los micro Faradios ( $\mu\text{F}$ ) como medida estándar.

El funcionamiento de un capacitor es almacenar cargas en dos conductores donde se polarizan y estos se encuentran separados por un dieléctrico, obteniendo una carga lenta y pueden tener al cortocircuitarlos una descarga rápida. Al integrarlos a un circuito con una fuente de alimentación, los electrones del lado negativo se acumulan en una de las placas que se encuentra más cercana a ellos, lo mismo sucede con los protones.

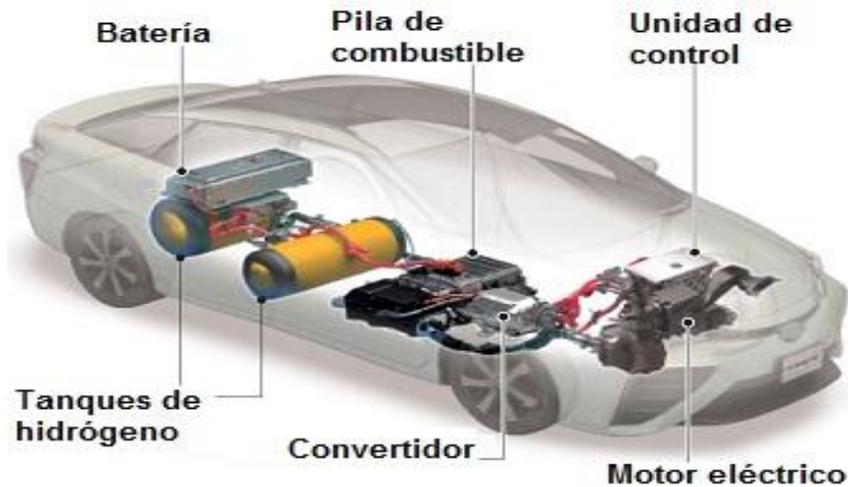


Fig. 4.18. Esquema de los componentes de un Toyota Mirai, un auto de celdas de combustible que funciona a hidrógeno. Imagen obtenida de [114].

Asimismo, su capacidad es proporcional al área de la placa e inversamente proporcional a la distancia existente entre ambas placas. En las 4.19 se muestra la composición de un capacitor mediante el esquema de funcionamiento de los mismos.

Existen muchos tipos de capacitores, tanto de distintos tipos de materiales como de almacenamiento, a continuación, mencionare los más comunes:

- **Capacitores Electrolíticos de Aluminio:** Son capacitadores que están conformados de dos tiras enrolladas de aluminio con una tira absorbente entre ellas que se empapa en una solución de electrolito. Es uno de los tipos de capacitadores que más alcance de capacitancia, la cual oscila entre  $0.1\mu\text{F}$  a  $500,000\mu\text{F}$ .
- **Condensadores de Tantalio:** Están fabricados a base de pentóxido de tántalo. Suelen ser más pequeños, más livianos y más estables. Tienen menores tasas de fuga y menos inductancia entre los cables.
- **Condensadores de Cerámica:** Son uno de los tipos de capacitadores más utilizados y están compuestos por ácido de titanio. Se caracterizan por no estar

construidos como una bobina, por lo que tienen baja capacitancia, razón por la cual son muy apropiados para aplicaciones de frecuencia alta.

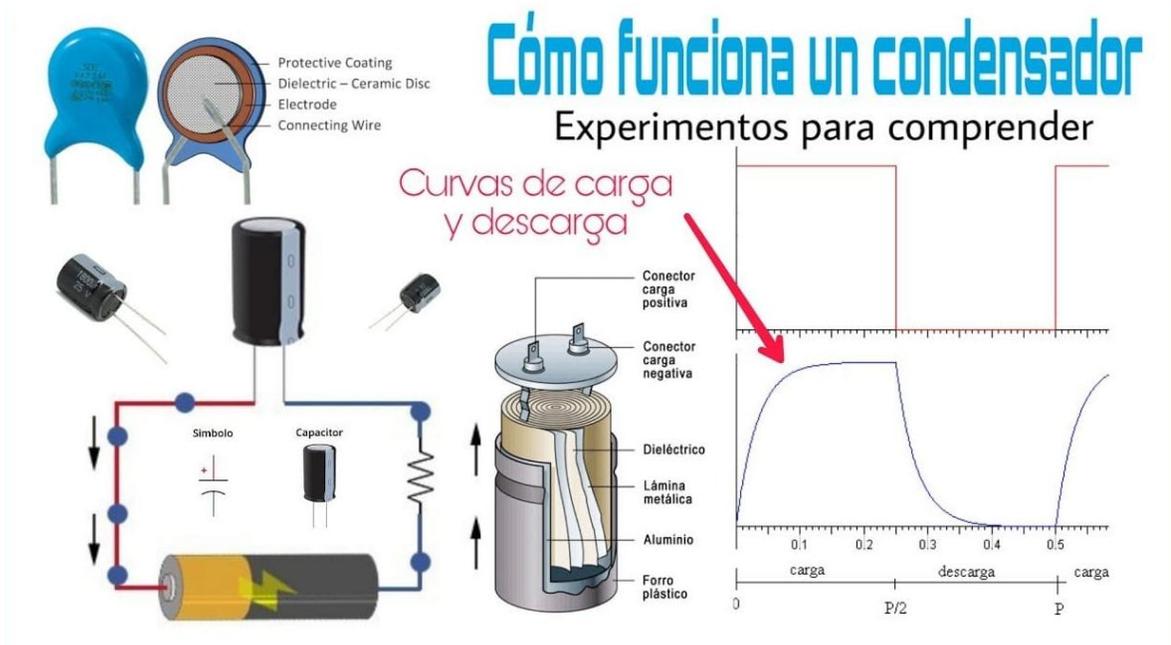


Fig. 4.19 Funcionamiento de un Capacitor, utilizándolo en un circuito básico y estructura. Imagen obtenida de [115].

- **Condensador de poliéster:** También llamados como capacitador de película. Están disponibles en el rango de  $1\text{nF}$  a  $15\mu\text{F}$ , con tensiones de trabajo de  $50\text{V}$  a  $1500\text{V}$ . Vienen con los rangos de tolerancia de  $5\%$ ,  $10\%$  y  $20\%$ . Tienen un alto coeficiente de temperatura y firmeza de aislamiento
- **Capacitador de polipropileno:** Estos capacitadores tienen un dieléctrico que está hecho de película de polipropileno. Poseen una alta resistencia y por lo general son utilizados cuando se amerita una alta tolerancia y una alta resistencia al aislamiento, por ejemplo; en la supresión de ruido.

### 4.3.1 Supercapacitores.

Los Supercapacitores (también llamados ultra capacitores, capacitores electrónicos de doble capa o Supercaps en inglés) son capacitores electroquímicos con densidades de energía con un orden de magnitud mayor que las densidades de los capacitores convencionales, esto debido a que su capacidad de almacenaje es mucho mayor, pudiéndose cargar y descargar en cortos periodos de tiempo.

Los Supercapacitores son capaces de almacenar entre 10 y 100 veces más energía por unidad de masa que los condensadores electrolíticos, pueden aceptar y entregar carga mucho más rápidamente que las baterías y toleran muchos más ciclos de carga y descarga que las baterías recargables. Otras ventajas de los Supercapacitores incluyen mayor densidad de potencia, una mayor capacidad de entregar potencia pico, menor tamaño y menos resistencia en serie equivalente (ESR). Finalmente, los capacitores tienen la capacidad de liberar su carga lentamente, al igual que las baterías convencionales.

En la actualidad los Supercapacitores están hechos de carbono activo, pero se está investigando y desarrollando materiales de mayor rendimiento en el futuro derivados del carbono como el grafeno y el carbono nano estructurado. Actualmente hay tecnologías que mezclan los Supercapacitores, las celdas de combustible y las baterías en un solo sistema, por ejemplo, en la industria automotriz el “El Quant e - Sportlimousine” ya emplea una unión entre baterías y Supercapacitores.

Al igual que los capacitores, existen distintos tipos de Supercapacitores, los cuales son los siguientes:

- **Supercondensadores electrolíticos de entre caras de carbono de doble capa:** Utiliza un electrolito de sodio o potasio en donde se disocian los iones de positivos, al hacer esto en presencia del voltaje con el aumento de carga, terminan por generar una mayor acumulación de energía eléctrica en el sistema.

- **Supercondensadores no electrolíticos de entre caras de carbono de doble capa:** Están hechos normalmente de aerogeles, nano tubos de carbono y carbón activado. La mezcla de estos permite que las partículas se muevan infinitamente dentro del electrolito en donde se encuentran, generando un sistema homogéneo muy poroso que permite una alta capacitancia. Dando como resultado una capacitancia en promedio de 400 faradios por gramo de carbono.
- **Supercondensadores acuosos de óxido de doble capa con pseudocapacitancia redox:** Los principales son los de óxido de litio, dióxido de rutenio, dióxido de iridio, óxido de cobalto y dióxido de manganeso.
- **Supercondensadores de polímeros conductores:** Se define como polímero conductor como una sustancia orgánica que conduce la electricidad de manera parecida a la de un metal. Tienen una densidad de energía mayor a 500 Watts por kilogramo, y aún se estudian sus propiedades de capacitancia.

Como se comentó al inicio, los Supercapacitores pueden cargar y descargarse más rápido que las baterías esto sin sufrir daños o percances en el sistema, a esto se le conoce como “una mayor potencia en términos de densidad energética” (es decir almacenar o suministrar energía en una menor cantidad de tiempo) que las baterías.

Esto no solo garantiza una carga rápida, sino que también permite uso inmediato de alta corriente si es necesario, lo que permite su uso como energía de reserva en distintas aplicaciones. Además, los Supercapacitores tienen una resistencia equivalente en serie (ESR) mucho menor que las baterías. Esto les permite proporcionar energía de forma más eficiente sin peligro de sobrecalentamiento. La eficacia de conversión de energía del Supercapacitores es superior al 98%. En cuanto a la seguridad, los Supercapacitores incluyen menos materiales volátiles que las baterías y pueden descargarse completamente para un transporte seguro.

Las dos únicas desventajas de los Supercapacitores son que su densidad energética es relativamente más baja en comparación con baterías recargables, dado que la tecnología actual permite que una batería de litio almacene 20 veces más energía que un supercapacitor del mismo volumen, pero esto poco a poco se está reduciendo debido a la investigación y desarrollo de la tecnología de materiales actuales con los que trabajan los supercapacitores.

Otra desventaja notable de los Supercapacitores es su costo relativamente elevado en comparación con las baterías/pilas de iones de litio, esto debido a los materiales con los que están hechos, como por ejemplo el grafeno que es un material sumamente difícil de producir y por ende caro, sin embargo, como se comentó, esto poco a poco ira desapareciendo en el futuro gracias a los avances tecnológicos en el desarrollo de materiales.

En la Fig.4.20 se muestra la comparativa de lo mencionado entre Supercapacitores y baterías.

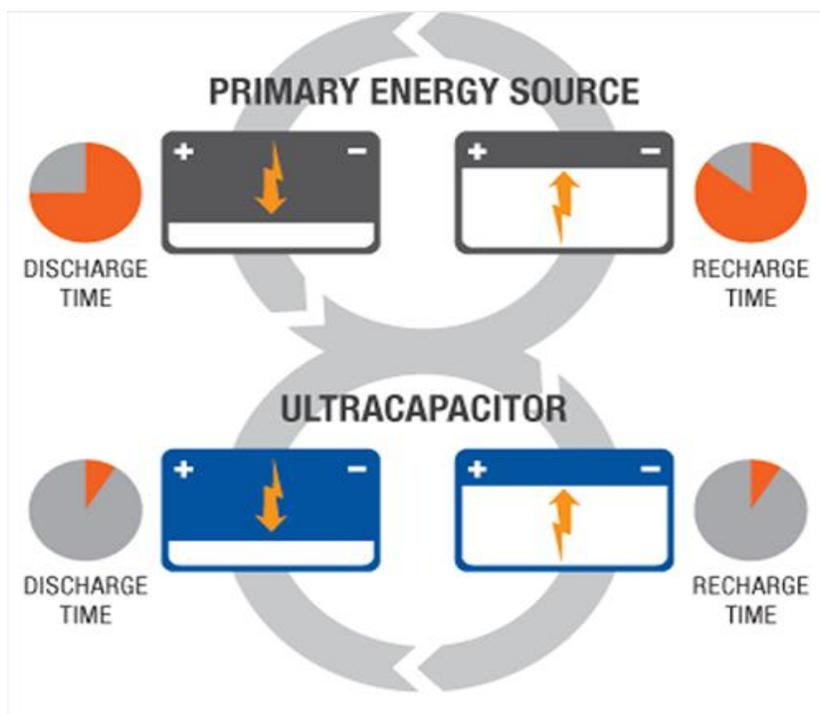


Fig. 4.20. Comparativa de carga y descarga de una batería ante un Supercapacitor.

Imagen obtenida de [116].

Desde el año 2014 la empresa de investigación de mercado IDTechEx comentó que los supercapacitores están mejorando rápidamente y a mayor medida que las baterías de litio en la mayoría de los aspectos, en el artículo llamado “Supercapacitors can destroy the lithium-ion battery market” (por su título en español Los supercapacitores pueden destruir el mercado de baterías de iones de litio), en donde comentan lo siguiente:

“Los Supercapacitores no necesitan igualar la densidad de energía de las baterías de iones de litio para reemplazar gran parte de ese mercado de baterías. Han reemplazado tal vez el uno por ciento de ese mercado con solo una centésima parte de la densidad de energía porque duran más, por ejemplo, en un autobús en el que se llegan a utilizar. Son más seguros y tienen diez veces la densidad de energía, incluso entre las baterías, significa que se necesitan menos baterías para cumplir con la demanda energética del movimiento.

Han reemplazado las baterías de iones de litio por supercapacitores en la mayoría de los autobuses chinos, a pesar de un mayor precio inicial. Las ventas de estos representan menos del 3% de las ventas de baterías de iones de litio, en parte reemplazándolos y haciendo cosas que las baterías no pueden hacer.” Información extraída de IDTechEx “Supercapacitors can destroy the lithium-ion battery marke”.

Curiosamente Elonk Musk dueño de Tesla, ha afirmado que él fue el primero en trabajar con este tipo de tecnología y que pronto la utilizará en sus vehículos para reemplazar las baterías de litio en el futuro, aunque no ha establecido cuando empezará con este reemplazo, lo más seguro porque la fabricación de baterías de litio han sido un negocio altamente rentable.

En el último capítulo se propone la unión de supercapacitores con celdas de combustible para teorizar un automóvil que genere su propio hidrógeno. Esto supondrá

en lo que mi opinión, es el futuro del parque vehicular, de la industria en general del automotor, todo esto sin afectar en mayor medida al medio ambiente.

## 5.0 Hidrógeno verde como combustible principal de la industria automotriz.

### 5.1 La importancia del desarrollo de los autos a hidrógeno a futuro para la industria automotriz.

Como se mostró en los distintos capítulos, la industria automotriz depende meramente de un tipo de combustible para funcionar y estructurar todo su mercado a nivel mundial.

En base al combustible se decide cómo es que funcionará la tecnología a futuro para la mayoría de la industria y así mismo, como terminará afectando indirectamente al medio ambiente.

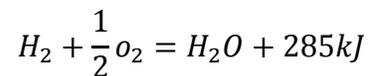
Por lo que es importante hacer hincapié en una opción que no dañe ni contamine tanto en el presente y futuro de la industria, es por eso que usar hidrógeno como el nuevo combustible para toda la movilidad automotriz es sumamente importante para todas las especies del planeta. En la carrera de ingeniería industrial nos enseñan que resolviendo el 20% de un problema, el 80% restante se resuelve solo en automático, en el caso de la contaminación a nivel mundial hemos visto que el 34% de la contaminación a nivel mundial viene del uso de combustibles fósiles, tanto en la movilidad en medios de transporte y generación de energía eléctrica, si le sumamos que en un futuro la industria automotriz a batería de litio tomará el 100% del mercado, tendríamos que 34% de contaminación por combustibles irá aumentando poco a poco (se perdería el 14% durante la generación por gasolina, pero se sumaría ese mismo porcentaje de manera creciente a la quema de carbón que iría creciendo exponencialmente para la generación eléctrica para satisfacer la demanda de electricidad a nivel mundial) y sería difícil de detener.

Sabiendo que la electricidad es un combustible alternativo (resultado de sistemas físicos asociados a las cargas eléctricas estacionarias o en movimiento), ¿que quiero decir con esto?, que necesita de un proceso previo para ser generada, para el movimiento de los automóviles puede ser generada por energías renovables,

combustibles fósiles o hidrógeno, pero hasta el día de hoy no hay proceso de producción por el que se genere por si sola.

Como se vio en el subcapítulo 3.2 el 38.1% de la generación de la energía eléctrica a nivel mundial se genera a través de la quema de carbón en plantas termoeléctricas, por lo que desde un punto de vista objetivo, los automóviles eléctricos que sean recargados con este tipo de electricidad indirectamente son productores de GEI y se convertirían igual de contaminantes (o más) que los autos de combustión interna, dado que la electricidad de la que se alimentan no es proveniente de una fuente limpia ni renovable que no dañe al ecosistema.

Es por eso que el hidrógeno como combustible es la mejor opción a futuro, dado que durante su proceso de electrolisis el único resultado que arroja es agua, gracias a la siguiente reacción química:



Aunque los métodos de obtención de hidrógeno aún están en desarrollo, esa no es excusa para dejarlos estancados, por lo que es obligación de la presente generación trabajar con la obtención del hidrógeno verde, es menos dañino para el medio ambiente y además su único derivado es el agua.

Si las celdas de combustible aún están en desarrollo, sin embargo, las celdas actuales dan mejores resultados en términos autonomía y potencia que las baterías de litio, debido al tipo de combustible con el que funcionan, que es el hidrógeno que como ya hemos visto tiene cualidades en términos de potencia parecidos a los de la gasolina o el diésel. El gran problema de las celdas de combustible se divide en dos; primero que los materiales con los que funcionan son muy caros y sufren de corrosión, segundo la producción de hidrogeno aún es muy difícil y limitada.

Sin embargo, ¿qué tecnología de grandes resultados no ha sufrido tropiezos o retrasos en su desarrollo?, la respuesta es ninguna, como dije anteriormente aun nuestra

tecnología está en pañales para las necesidades actuales, pero por la importancia del desarrollo e instigación de productos y sobre de todo del consumo, para que las dos anteriores se vayan agilizando y vayan mejorando.

En el capítulo 1 se mencionó que los autos a combustión interna competían con los autos a vapor y los eléctricos. Ganaron sobre todo porque primero eran automóviles mucho más baratos (recordemos que un Ford modelo T costaba unos 500 dólares y un Citroën costaba 1500 dólares, el triple), segundo en términos de rendimiento y potencia los autos a combustión interna demostraron un mayor potencial que los autos eléctricos, esto agilizó la mejora de los mismos a través del tiempo gracias al consumo de los mismos, por eso que debemos apoyar a la industria de los autos de hidrógeno para que no pasen desapercibidos con el tiempo y no les pase lo mismo que los autos eléctricos que si no desaparecieron fue por eran autos repartidores de leche.

En este trabajo se ha centrado en la importancia de los autos eléctricos a celdas de combustible, sin embargo, eso no quiere decir que dejemos de lado los automóviles de combustión en el pasado, aunque suene contradictorio y difícil de creer el hidrógeno no solo funciona como combustible en los autos eléctricos, sino que también ya empieza a ser utilizado en automóviles de combustión interna.

Toyota es la empresa que tal vez está más enfocada en la industria automotriz tanto en forma ecológica como tecnológica, su ex CEO Kio Toyoda, sabía que la electrificación del parque vehicular a través de las baterías de litio no es el futuro de la industria, porque como ya comentamos, para generar baterías de Litio se contamina demasiado y se desperdicia demasiada agua, además de que las recargas de energía eléctrica en un auto de estos toma bastante tiempo, por lo que se dio cuenta que diversificar al mercado era la mejor opción, esto con seguir produciendo automóviles de combustión, autos de celdas de combustible, híbridos (la cual es su propuesta de mediano a largo plazo para seguir trabajando en los autos a hidrógeno), esto mientras sigue la investigación de hidrógeno y la mejora de autos de celdas de combustible como combustión interna que funcionan a base de este combustible. Es decir, que

haya un mercado con distintas opciones y que la gente decida con qué tipo de auto quedarse.

Hasta el momento Toyota sigue desarrollando un motor de combustión interna que funcione a hidrógeno para poder ofrecer en el mercado la que tal vez sería la mejor opción a futuro, dado que un motor de combustión es más barato que una batería de litio y una celda de combustible, la razón por la cual no comente hasta el momento del motor de combustión interna a hidrógeno, fue porque quería centrarme en el hidrógeno como combustible ante los combustibles fósiles y dejar en claro que los autos a batería de Litio no son lo que parecen en términos ecológicos.

Dicho motor será parte de un prototipo llamado Toyota Corolla Cross Hydrogen, simplificado como Corolla Cross H<sub>2</sub>, un auto de carreras que fusione lo mejor de ambos mundos en la combustión y lo ecológico, un deportivo que no dañe ni contamine al medio ambiente. En la Fig.5.1 y 5.2 se muestran unas imágenes de dicho vehículo.



Fig.5.1 Foto del Toyota Corolla Cross Hydrogen concept. Imagen obtenida de [117].

Entonces a resumidas cuentas, ¿Por qué es importante el hidrógeno como el combustible principal en el futuro?, por las siguientes razones:



Fig.5.2 Motor del Toyota Corolla Cross Hydrogen concept. Imagen obtenida de [118].

- Es un elemento abundante y técnicamente infinito en el universo.
- El resultado en un automóvil que use hidrógeno como combustible no es dañino para el medio ambiente, porque lo único que genera es agua (potable) que no daña ni perjudica al medio ambiente.
- Impide que desaparezca por completo la industria de los automóviles a combustión interna, si esto pasara, muchas empresas de refacciones a nivel mundial quedarían en quiebra dejando a miles de millones de personas en la calle sin empleo. Siendo el perfecto balance que el mundo necesita entre la conservación y cuidado del medio ambiente con la economía.
- Da la opción de elegir a los compradores en el mercado en sección quiere quedarse, en eléctricos o combustión interna.
- Da paso al desarrollo e investigación de tecnología en distintos campos de la ingeniería como la ingeniería mecánica, eléctrica, electrónica, química e industrial.

- Incentivaría la obtención de energía eléctrica limpia a través de energías renovables, que poco a poco reduciría ese 34% de contaminación por energías fósiles probablemente a un mínimo porcentaje en la obtención de energía y así la tecnología iría evolucionando y adecuándose para no dañar el medio ambiente.

### 5.1.1 ¿Cuántos insumos se requieren para obtener hidrógeno?

Previamente se mencionó que para obtener un kilo de hidrógeno se necesitan de 50 a 60 kW, un auto a celdas de combustible gasta en promedio 54 kW/100 KM (0,9 kg de H/100 km). Una planta de producción de hidrógeno como la de Puertollano en España, utiliza 100 MW de una fuente proveniente de 113 paneles solares, esto con el fin de obtener, haciendo el siguiente cálculo tenemos lo siguiente:

*100 MW a kW es igual a 100,000 kW.*

$$\frac{100,000 \text{ kW}}{(60 \text{ kW}) (1 \text{ L de Hidrógeno verde})} = 1666.70 \text{ L de Hidrógeno verde al día}$$

Se aclara que esto es una medida en promedio, debido a que no se está considerando las condicionantes climatológicas que pueden afectar al aumento o disminución de la producción energética del parque al día.

También hay que mencionar que para obtener 1 L de hidrógeno verde se requieren en promedio de 10 a 13 litros de agua, esto porque un litro de agua se compone de 111 gramos de hidrógeno y 889 gramos de oxígeno, por lo que en promedio se ocupan 9.01 litro de agua para extraerlo y 3.99 litros en factores de limpieza de la obtención del mismo y enfriamiento del sistema.

A continuación, se hará un análisis del Hidrógeno verde obtenido por medio de la energía solar, mostrando los niveles de contaminación que puede emitir indirectamente por la utilización del mismo para su fabricación.

Primero lo haremos tomando en cuenta la contaminación generada por los paneles solares, retomando los datos de la Fig.2.25 del capítulo 2, se tomará cuenta para calcular la contaminación generada en un parque de Hidrógeno verde como el de Puertollano que tiene 113 paneles solares. Hay que recordar que de 3 a 5 años un panel de energía solar policristalino como los de Puertollano termina de pagar su huella de contaminación y sus últimos 20 años ya son meramente sustentables sin generar ningún rastro de la misma al medio ambiente.

Entonces sabiendo que son 113 paneles policristalinos que juntos dan la capacidad instalada de 100 MW, podría suponerse que en su fabricación de cada uno generan 2000 kg de  $CO_2$ . Entonces tomando en cuenta esto de inicio solamente para el  $CO_2$  tenemos que:

*20000 kg de dióxido de carbono x 113 paneles*

*= 260,000 kg de dióxido de carbono por todo el parque de energía solar de Puertollano*

$$\frac{260,000 \text{ kg de } CO_2}{5 \text{ Años}} = 52,000 \text{ kg de } CO_2 \text{ al año por el parque entero}$$

$$\frac{52,000 \text{ kg de } CO_2}{365 \text{ días}} = 142.47 \text{ kg de } CO_2 \text{ al día el parque entero}$$

$$\frac{142.47 \text{ kg de } CO_2}{113 \text{ paneles solares}} = 1.26 \text{ kg de } CO_2 \text{ en un día por panel solar}$$

Para simplificar los cálculos con el resto de los GEI emitidos durante la fabricación de un panel solar por todo el parque, tendremos los resultados en la Fig. 5.3

GEI provocados por los paneles solares de Puertollano				
GEI	Contaminación total en kg por todo el parque	kg emitido en un año por el parque entero	kg emitido al día por el parque entero	kg en un día por panel solar
Dióxido de Carbono	260,000	52,000	147.47	1.26
Dióxido de Azufre	10,735	2147	5.9	0.052
Óxido Nítricos	9,379	1875.8	5.14	0.045

Fig.5.3 GEI provocados por los paneles solares de Puertollano.

Ahora retomando el capítulo 3.2 donde mencionamos que simplemente en un año una planta termoeléctrica genera hasta un máximo de 22,000 toneladas de CO<sub>2</sub>, más un máximo de 44,000 toneladas de SO<sub>2</sub> y 320,000 de MP (El cual puede contener distintos contaminantes como los NO<sub>x</sub>), tenemos que un parque de hidrógeno verde como el de Puertollano España contamina apenas en 5 años lo siguiente solo en CO<sub>2</sub> lo de una termoeléctrica:

*260 toneladas de CO<sub>2</sub> x 100% de las emisiones de CO<sub>2</sub> de una termoelectrica = 26,000 toneladas de CO<sub>2</sub>*

Que dividido entre las 22,000 toneladas nos da

$$\frac{26,000}{22,000} = 1.19\% \text{ de lo que contamina en un año en tan solo } 5$$

Y si lo queremos ver en un año contra año quedaría como

$$\frac{(52 \text{ toneladas de } CO_2 \times 100\%)}{22,000} = 0.24\%$$

Para simplificar el resto de los cálculos con el resto de los GEI emitidos por una termoeléctrica en contra del parque de hidrógeno verde tendremos la siguiente tabla de la Fig.5.4

Comparativa de contaminantes entre un parque de hidrógeno verde como el de Puertollano en contra una termoeléctrica convencional.						
GEI o contaminante	Contaminación total generada en toneladas		Porcentaje de diferencia	Contaminación en un año		Porcentaje de diferencia
	Puertollano	Termoeléctrica		Puertollano	Termoeléctrica	
Dióxido de carbono	260	22,000	1.19%	52	22,000	0.24%
Dióxido de Azufre	10.735	44,000	0.0243%	2.147	44,000	0.0049%
Óxidos Nítricos y/o MP	9.379	400	2.34%	1.8759	400	0.4690%

Fig.5.4 Comparativa de contaminantes entre un parque de hidrógeno verde como el de Puertollano en contra una termoeléctrica convencional.

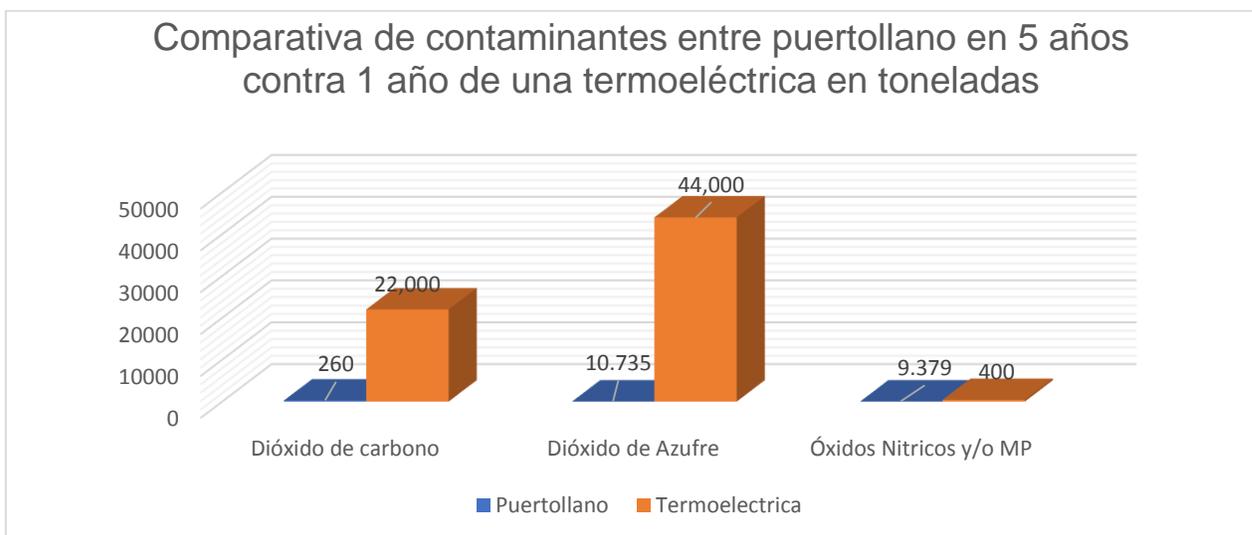


Fig.5.5 Grafica comparativa de contaminantes entre un parque de hidrógeno verde como el de Puertollano en contra una termoeléctrica convencional.

Por lo que se puede deducir que en términos ecológicos el hidrógeno verde alimentado por energía solar no genera tantos GEI en comparación con las termoeléctricas, esto debido a que a comparación de otros combustibles no requiere de tantos insumos para generarlo y en términos energéticos no daña tanto al planeta debido a que su fuente de energía viene meramente de energías renovables como la energía solar.

Aunque también hablamos de la posibilidad de usar energía geotérmica para la producción de hidrógeno verde, esto debido a su gran potencial energético, recordemos que está viene directamente del núcleo de la tierra por lo que su suministro energético es constante y no intermitente como las demás fuentes de energía renovable.

Se comentó previamente que el potencial energético de una planta de energía geotérmica en promedio es de 70 a 80 GW, lo que nos da energía de sobra para producir el tan anhelado hidrógeno verde que solo necesita de 50 a 60 kW, entonces podríamos aprovechar tanto la radiación solar como el potencial geotérmico de nuestro país para poner en marcha plantas de producción de hidrógeno verde que no solo serían el nuevo combustible que tanto necesita la industria automotriz, sino también tendríamos la producción de metanol que sirve para generar fertilizantes y cogeneración eléctrica destinada a pueblos y ciudades en nuestro país, eliminando no solo la contaminación generada por el uso de combustibles fósiles en nuestros automóviles sino también en la generación eléctrica por la quema de carbón.

Recordemos que una planta de energía geotérmica libera en promedio al año solo 5 toneladas de Dióxido de carbono (En un día serian 13.70 kg de CO<sub>2</sub>), eso si la planta está ubicada en zona de alto contenido en azufre, entonces en base al siguiente cálculo tenemos que:

$$\frac{5 \text{ toneladas} \times 100}{22000 \text{ toneladas}} = 22.73\%$$

Tenemos que ni contamina ni una cuarta parte de lo que contamina una planta termoeléctrica al año, haciéndolo así una de los medios de energía más limpio que existen, en la gráfica de la Fig.5.6 tenemos la comparativa de la contaminación del CO<sub>2</sub> entre la geotérmica en contra de las termoeléctricas.

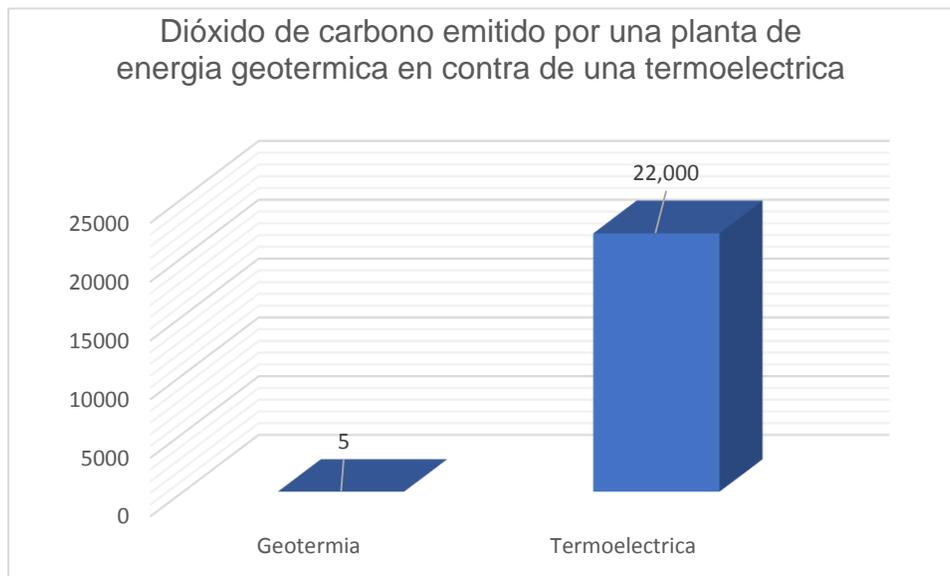


Fig.5.6 Comparativa del Dióxido de Carbono liberado entre una planta de energía geotérmica en contra de una termoeléctrica en toneladas al año.

Se hará una comparativa de contaminantes entre los autos a gasolina y diésel en contra de los automóviles a hidrógeno, primero tomaremos en cuenta los contaminantes emitidos de los autos a hidrógeno verde generados de las plantas que funcionan con energía solar como el de Puertollano y posteriormente a las plantas de energía geotérmica.

Considerando que en un día una planta como la de Puertollano en España hay un estimado de 1666.70 L al día, para calcular el estimado de la contaminación también tomaremos en cuenta el Toyota Mirai el cual tiene 3 tanques de combustibles, que cada uno tiene una capacidad de 4.6L de almacenamiento. Entonces primero se calculará cuanto puede satisfacer la capacidad instalada de Puertollano para la demanda de autos a hidrógeno como el Mirai.

$$\frac{1666.70 \text{ L de Hidrógeno verde al día}}{(4.6 \text{ L de capacidad del tanque})(3 \text{ número de tanques})} = 121 \text{ Toyotas Mirai}$$

Tenemos que Puertollano tiene la capacidad instalada para poder cumplir la demanda de 121 autos como el Mirai diariamente. Un día una planta como la de Puertollano

genera 142.47 kg de CO<sub>2</sub>, para calcular cuánto contamina un Mirai que usa Hidrógeno verde de una planta como la de Puertollano al día tenemos el siguiente cálculo:

$$\frac{142.47 \text{ kg de CO}_2 \text{ al día}}{121 \text{ Toyota Mirai}} = 1.177 \text{ kg de CO}_2 \text{ por auto al día}$$

En un año tenemos que:

$$(1.177 \text{ de CO}_2 \text{ al día})(365 \text{ días}) = 429.605 \text{ kg de CO}_2 \text{ al año por auto}$$

Entonces tenemos que por cada Mirai que obtenga su hidrógeno de una planta como la de Puertollano contaminará al día por los siguientes 5 años 1.117 kg de CO<sub>2</sub> y después de que los paneles solares paguen su cuota de contaminación los automóviles pasaran a contaminar nada. Para los otros GEI tenemos la Fig.5.7 donde se muestra la cantidad de contaminación por día y año de un auto como el Mirai.

<b>Contaminación en kg de un Mirai que use Hidrógeno verde de un parque de energía solar como el de Puertollano</b>		
<b>GEI</b>	<b>Al día en kg</b>	<b>Al año en kg</b>
<b>Dióxido de carbono</b>	<b>1.177</b>	<b>429.605</b>
<b>Dióxido de azufre</b>	<b>0.048</b>	<b>17.52</b>
<b>Óxidos Nítricos y/o MP</b>	<b>0.042</b>	<b>15.33</b>

Fig.5.7 contaminación emitida de un Mirai al año que obtenga su hidrógeno verde de una planta como la de Puertollano.

Ahora para el parque de Hidrógeno verde que sea alimentado por energía geotérmica tenemos que calcular primero cuantos litros puede producir en base a su capacidad energética instalada, recordemos que una planta de energía geotérmica puede

producir de 60 a 80 GW, que serían de 60 a 80 millones de kW, su media es 70 millones de kW para el siguiente cálculo.

$$\frac{70,000,000 \text{ kW}}{(60 \text{ kW})(1 \text{ L de Hidrógeno verde})} = 11,666,666.7 \text{ L de Hidrógeno verde}$$

Es decir, casi 7 mil veces más de lo que puede producir una planta alimentada como la de Puertollano España. Ahora se muestra a cuantos autos podrá satisfacer en el siguiente cálculo

$$\frac{11,666,666.70 \text{ L de Hidrógeno verde}}{(4.6 \text{ L de capacidad del tanque})(3 \text{ número de tanques})} = 845,410.63 \text{ autos}$$

Entonces teniendo que la planta de energía geotérmica en lugares de alta concentración de contaminantes libera 5 toneladas de CO<sub>2</sub> al año, tendríamos que la contaminación en un año será de 13.70 kg al día, por lo que la contaminación emitida de autos que obtengan su hidrógeno por una planta de energía geotérmica como fuente de alimentación es la siguiente:

$$\frac{13.70 \text{ kg de CO}_2 \text{ al día}}{845,410.63 \text{ Toyota Mirai}} = 0.000016 \text{ (16 millonesimas) kg de CO}_2 \text{ por auto al día.}$$

En un año tendríamos que cada auto contaminaría la siguiente cantidad

$$(0.000016 \text{ kg})(365 \text{ días}) = 0.00584 \text{ (584 cienmilesimas) kg de CO}_2 \text{ al año.}$$

Es decir que si un auto usara hidrógeno verde proveniente de una planta de energía geotérmica su contaminación prácticamente es nula, un ser humano promedio libera más CO<sub>2</sub> al medio ambiente, dado que al día se promedia que liberamos de .950 a 1.2 kg del mismo. Un auto literalmente contaminaría menos que un ser humano.

Ahora en las Fig.5.8 y 5.9 se tendrán gráficas comparando los niveles de contaminación diaria y anual de hidrógeno verde obtenido tanto de un parque como el de Puertollano como de una planta de energía geotérmica en contra de los combustibles fósiles, los datos obtenidos de los combustibles fósiles son recapitulados del subcapítulo 3.1, donde se vio que la contaminación por auto a gasolina es de 2.32 kg de CO<sub>2</sub> por cada 13 km recorridos y en el caso del diésel es de 2.6 kg de CO<sub>2</sub> por cada 16 km.

Ahora para completar la recopilación de datos, se retomará el estudio de una BigData llamada SinTráfico, en donde dice que en la CDMX un automóvil promedio puede alcanzar una velocidad de 13.42 km por hora en horas pico, trasladándose un promedio de 23.1 km al día, eso tratándose de un automóvil de uso regular (no taxis, autos de plataformas digitales, repartidores, transporte público, etc.), tampoco contempla salidas a carretera ni viajes largos.

Entonces tenemos que en promedio en un día un automóvil a gasolina en CDMX contaminaría 4.122 kg de CO<sub>2</sub> y un diésel 3.753 kg de CO<sub>2</sub>. Esto se obtuvo haciendo el siguiente cálculo:

$$\textit{Para la gasolina } 23.1 \textit{ km} - 13 \textit{ km} = 10.1 \textit{ km}$$

$$\frac{(10.1\textit{km})(100\%)}{(13 \textit{ km})} = 77.70\%$$

$$(77.70\%)(2.32\textit{kg}) = 1.80264 \textit{ kg}$$

$$1.80264 \textit{ kg} + 2.32 \textit{ kg} = 4.12264 \textit{ kg en un dia}$$

$$(4.12264 \textit{ kg})(365 \textit{ dias}) = 1504.77 \textit{ kg al año}$$

$$\textit{Para el diésel } 23.1 \textit{ km} - 16 \textit{ km} = 7.1 \textit{ km}$$

$$\frac{(7.1km)(100\%)}{(16 km)} = 44.375\%$$

$$(44.375\%)(2.6kg) = 1.15375kg$$

$$1.15375kg + 2.6 kg = 3.75375 kg \text{ en un dia}$$

$$(3.75375 kg)(365 \text{ dias}) = 1370.12 kg \text{ al año}$$

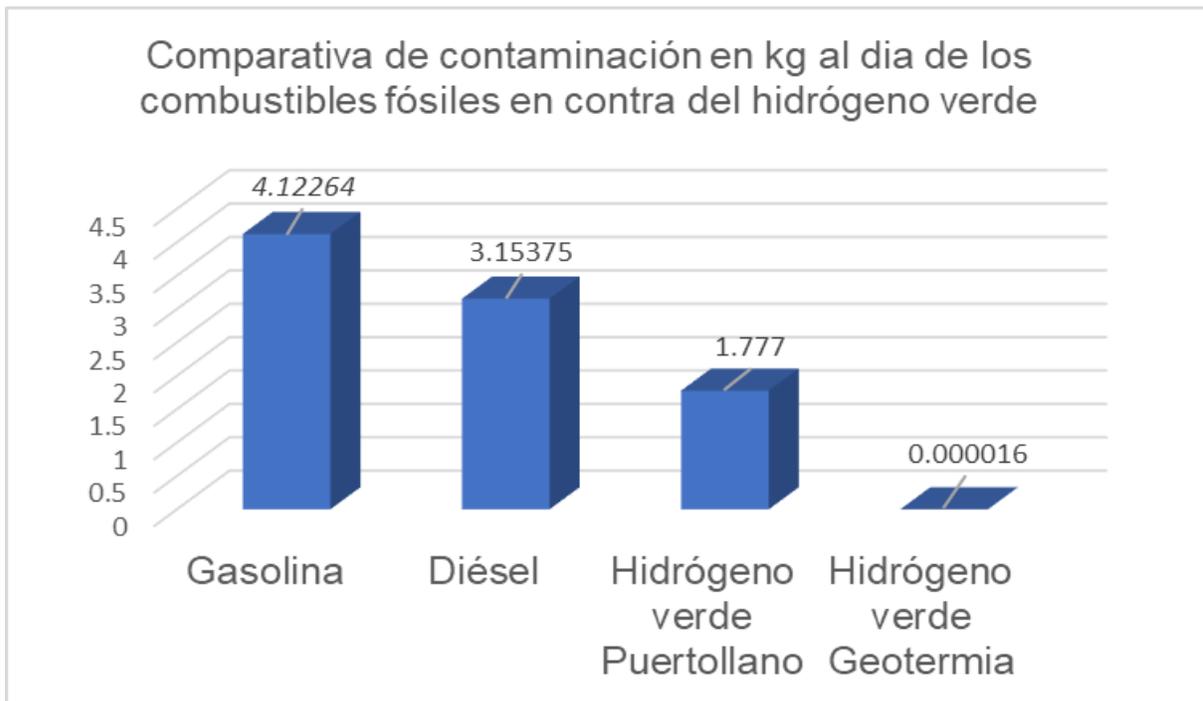


Fig.5.8 Comparativa de contaminación en kg al día de los combustibles fósiles en contra del hidrógeno verde.

Como podemos observar en las Fig. 5.8 y 5.9 el auto que más contamina al medio ambiente son los que son propulsados a gasolina, mientras que los que son propulsados hidrógeno verde en una planta de energía geotérmica son los que contaminan menos, hay que recordar que los paneles solares terminan de pagar su cuota de contaminación en 5 años, mientras los autos de hidrógeno verde que habrán de parques como Puertollano contaminarán absolutamente nada.

El único problema visto desde un punto de vista hidrológico es que los mejores lugares para la construcción de este tipo de plantas son en zonas con alta radiación solar, por ejemplo; los desiertos y normalmente en estos lugares el agua potable es escasa, por lo que el abastecimiento de la misma sería limitado y siendo contraproducente traer el agua en forma de una red de tuberías de una zona de agua dulce que alimenta a una población u otro ecosistema. Pero una solución a este problema es que se puede usar agua de mar para la producción de este tipo de plantas. En los siguientes sub capítulos propondré algunos estados en México donde podríamos aprovechar la radiación solar y potencial geotérmico sumada a la obtención de agua salobre para la producción de hidrógeno verde en el país.

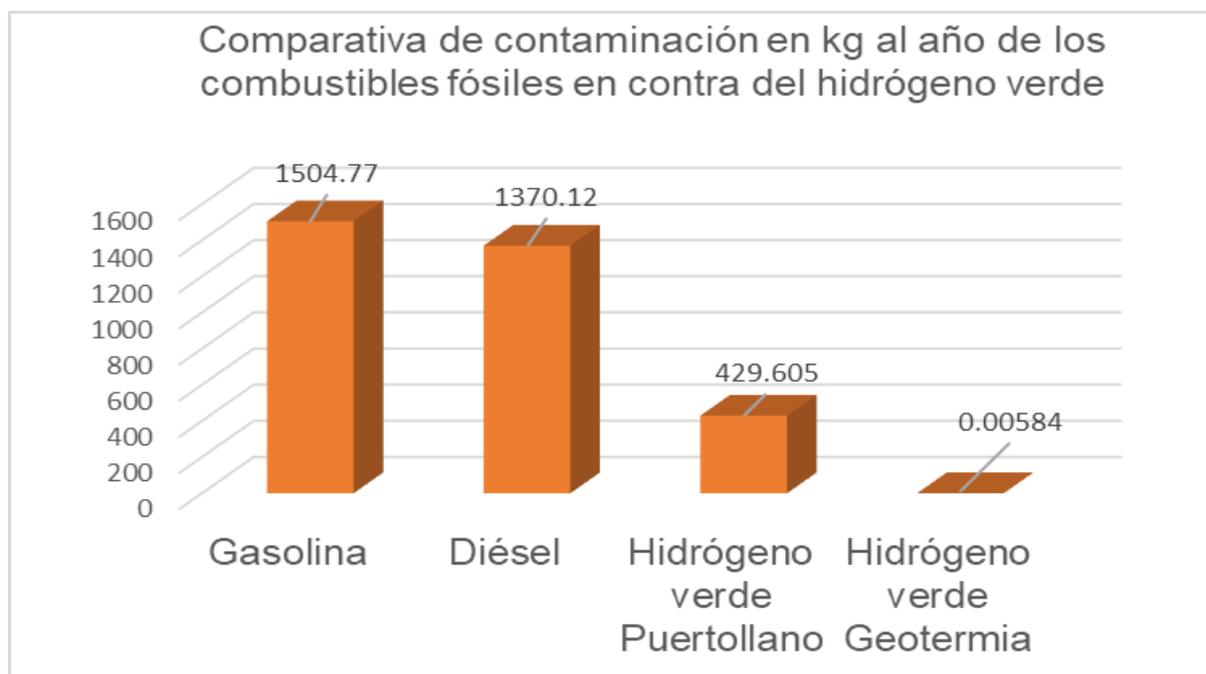


Fig.5.9 Comparativa de contaminación en kg al año de los combustibles fósiles en contra del hidrógeno verde.

## **5.2 Desalinización del agua de mar.**

La desalinización del agua es el proceso por el cual se lleva a cabo la captación de agua de mar y separar de ella las sales del agua que lleva consigo a través de distintos métodos para poder obtener agua potable para el consumo humano, animal, para el uso agrícola e industrial.

Los lugares donde se lleva a cabo este proceso son en las plantas desalinizadoras, donde dependiendo el tipo de planta puede cambiar el método para desalinizar el agua, sin embargo, en esta ocasión nos centraremos únicamente por el método de ósmosis inversa, dado que es el método más común a nivel mundial y además el más rentable.

El proceso de ósmosis inversa consiste en que el agua es forzada a cruzar una membrana para dejar las impurezas atrás. La permeabilidad de la membrana puede ser tan pequeña que prácticamente todas las impurezas, moléculas de la sal, bacterias y los virus son separados del agua. El objetivo de la ósmosis inversa es obtener agua purificada partiendo de un caudal de agua que está relativamente impura o salada

Los únicos inconvenientes son tres; el primero es que la desalinización sólo puede darse si se aplica en distancias menores a 150 km de la costa y en una cota inferior a los 200 metros a nivel del mar, esta condición reduce notablemente las posibilidades de aplicación de esta técnica, por lo que es importante seleccionar un lugar que este cerca al mar y que sea óptimo para su producción, por ejemplo, costas cercanas al Golfo de México o a las costas del océano Pacífico.

El segundo es que la sal extraída de la desalinización del mar si se regresa constantemente al océano puede perjudicar a la larga a todo el ecosistema marino, por lo que se debe empezar con el consumo y reutilización también de este recurso obtenido. Una alternativa podría ser utilizarla para consumo humano (como la sal extraída de saleras en Cabo San Lucas, Baja California Sur en México), utilizarla para industria alimenticia en fábrica de helados, químicos e incitar a la investigación y

desarrollo de esta en otro tipo de industria incentivando su uso en distintas aplicaciones a nivel mundial.

El tercero es que, si no se hace con cuidado y con responsabilidad, puede dañar la vida marina, arrastrando en su extracción del agua alguna ser vivo (dígase peces, corales, algas, etc.) pudiendo dañar el ecosistema marino, es por eso que se tiene que hacer con sumo cuidado este proceso.

Actualmente el consumo energético de una planta desaladora de agua de mar por ósmosis inversa es de alrededor de 3 kW/m<sup>3</sup> (es decir que por cada mil litros de agua salada se utilizan 3 kW). Teorizando que nuestra planta de energía solar tenga la misma capacidad instalada que Puertollano España, la cantidad energética que habría que sumarle para la desalinización sería la siguiente:

Si para 1 L de Hidrógeno verde se necesitan 13 de agua, tenemos que para la producción diaria de Puertollano que es de 1666.70 se ocuparía la siguiente cantidad de agua:

$$1666.70 \times 13 = 21,667.10 \text{ Litros de agua}$$

Transformado a metros cúbicos serían 21.6671 m<sup>3</sup> y multiplicado por 3 kW/m<sup>3</sup> nos daría como resultado 65.0013 kW, lo que representa una considerable carga energética para obtener hidrógeno verde, Ahora por cada litro de agua salada hay en promedio 40 gramos de sal. Recordemos que para un litro de hidrógeno verde se ocupan 13 litros de agua, tenemos que:

$$40 \text{ g de sal} \times 13 \text{ L de agua} = 520 \frac{\text{g de sal}}{\text{L de Hidrógeno verde}}$$

Esto no representa mucha cantidad de sal como residuo comparándola con las cantidades de agua desalinizada que se producen para consumo humano. Para facilitar el trabajo a futuro propondré replicar una planta desalinizadora que ya está en construcción en Baja California Sur, con una superficie total de 2500 metros cúbicos y

con una producción de 250 litros por segundo, esto para facilitar la obtención de agua para la producción de hidrógeno. En las Fig. 5.10, 5.11 y 5.12 se muestra el proceso de desalinización del agua en general, más una fotografía de la planta desalinizadora de agua. y del cómo funciona el proceso de osmosis inversa de manera más ilustrativa,

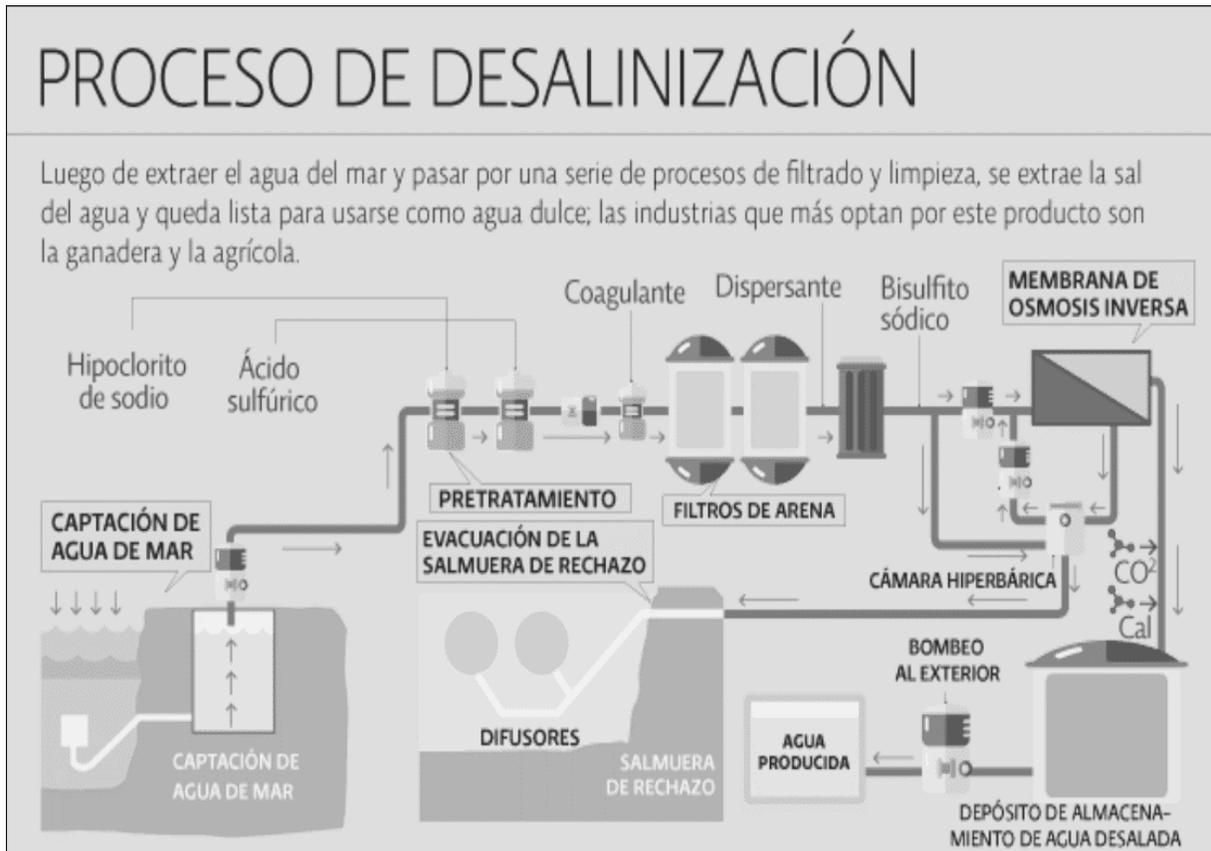


Fig. 5.10. Proceso de desalinización del agua salobre. Imagen obtenida de [119].



Fig. 5.11 Planta desalinizadora por osmosis de Cabo San Lucas, Baja California Sur México. Imagen obtenida de [120].

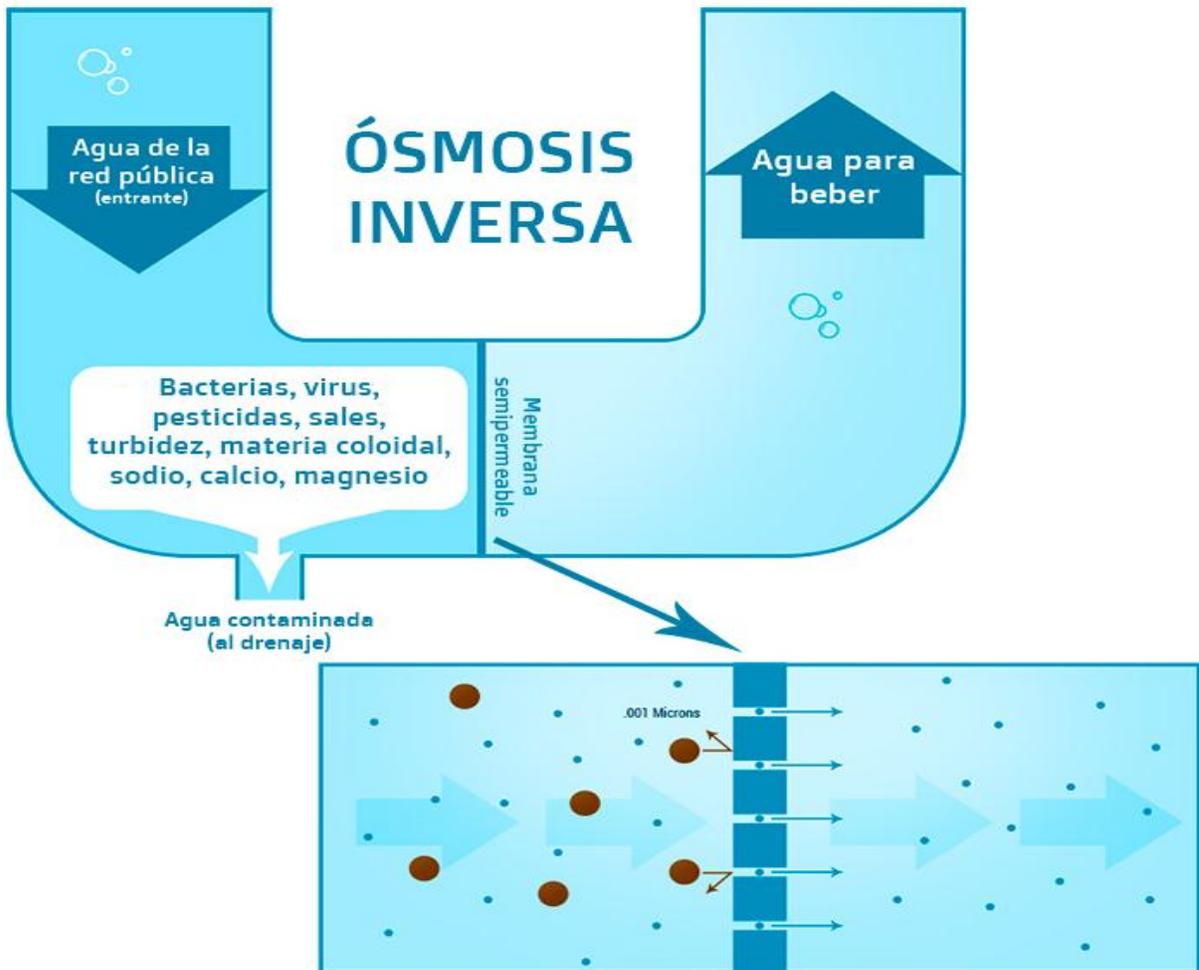


Fig.5.12 Explicación gráfica de la ósmosis inversa. Imagen obtenida de [121].

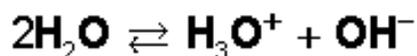
### 5.3 Ionización del agua.

Antes de saltar directamente a las propuestas anteriormente mencionadas, tengo que explicar la ionización del agua, debió a que es importante para establecer la teoría de un automóvil que pueda producir su propio hidrógeno de manera autónoma.

¿Qué es la ionización del agua? o mejor dicho ¿qué es el agua ionizada?, en términos simples el agua ionizada es agua tratada con electricidad a través de un proceso de electrolisis, con el fin de generar agua alcalina y agua ácida, dependiendo del tipo de agua ionizada tendrá un uso distinto.

La ionización es un proceso en el que las moléculas compuestas por dos o más elementos se separan, guardando un estado original como átomos o iones sólidos, líquidos, gaseosos. El agua por si sola es un electrolito muy débil que se separa en muy bajos iones de hidronio o hidrógeno  $H_3O^+$  (también llamado  $H^+$ ) e hidróxido o hidróxilo ( $OH^-$ ).

Dos moléculas polares de agua pueden ionizarse debido a las fuerzas de atracción por puentes de hidrógeno que se establecen entre ellas. La ionización entre las moléculas polares se resume en la siguiente ecuación:



En la Fig. 5.13 veremos de manera más sistemática la ionización del agua.

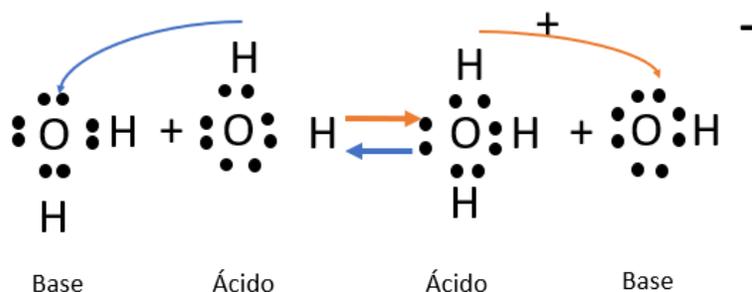


Fig.5.13 Ionización del agua ácido base. Imagen obtenida de [122].

#### **5.4 Desarrollo de obtención de Hidrógeno a través del aprovechamiento de la radiación solar en México.**

Como se comentó previamente propondré la construcción de una planta de hidrógeno verde en nuestro país a través del aprovechamiento de la energía solar y geotérmica, empezando con la primera en este sub capítulo. Quiero aclarar que no me centrare en el desarrollo de sistemas productivos, tampoco en el estudio técnico ni de mercado para la creación de esta planta, sino que tomaré como propuesta copiar el diseño de la base de Puertollano en España y replicarla en algún estado en nuestro país, esto con el fin de simplificar el trabajo de investigación, solo agregando algunas propuestas hidrológicas para resolver los temas de obtención de agua para producir el hidrógeno teniendo como objetivo no utilizar agua potable de las comunidades de alguno de estos estados.

El agua a utilizar será agua de mar extraída de alguno de los estados costeros, buscando también no dañar el ecosistema marino ni terrestre del lugar, agregando el proceso de desalinizar el agua, ionizarla y tratarla para el hidrógeno verde.

Recordando lo que mostré en el tema 2.4.1, el potencial en la radiación solar aplicado en los sistemas fotovoltaicos en promedio de nuestro país a nivel mundial es de 4.5 a  $5 \text{ kWh}/\text{m}^2$ , esto principalmente en los estados del norte, como Sonora, Chihuahua, Nuevo León, Tamaulipas, Sinaloa, Baja California Norte, Baja California Sur, etc. Lo que le otorga a nuestro país una ventaja competitiva ante otros países del mundo en el tema de aprovechamiento de energía solar. En la Fig. 5.14 se muestra los se muestra los estados con mayor porcentaje  $\text{kWh}/\text{m}^2$  en nuestro país.

El estado que yo propondría debido a su geografía, facilidad de obtener el agua de mar y por sus niveles de radiación solar, sería el estado de Sonora, lo que lo hace el estado idóneo para la construcción de una planta de hidrógeno verde en nuestro país en la Fig.5.15 se muestra un mapa de los municipios del estado de Sonora.

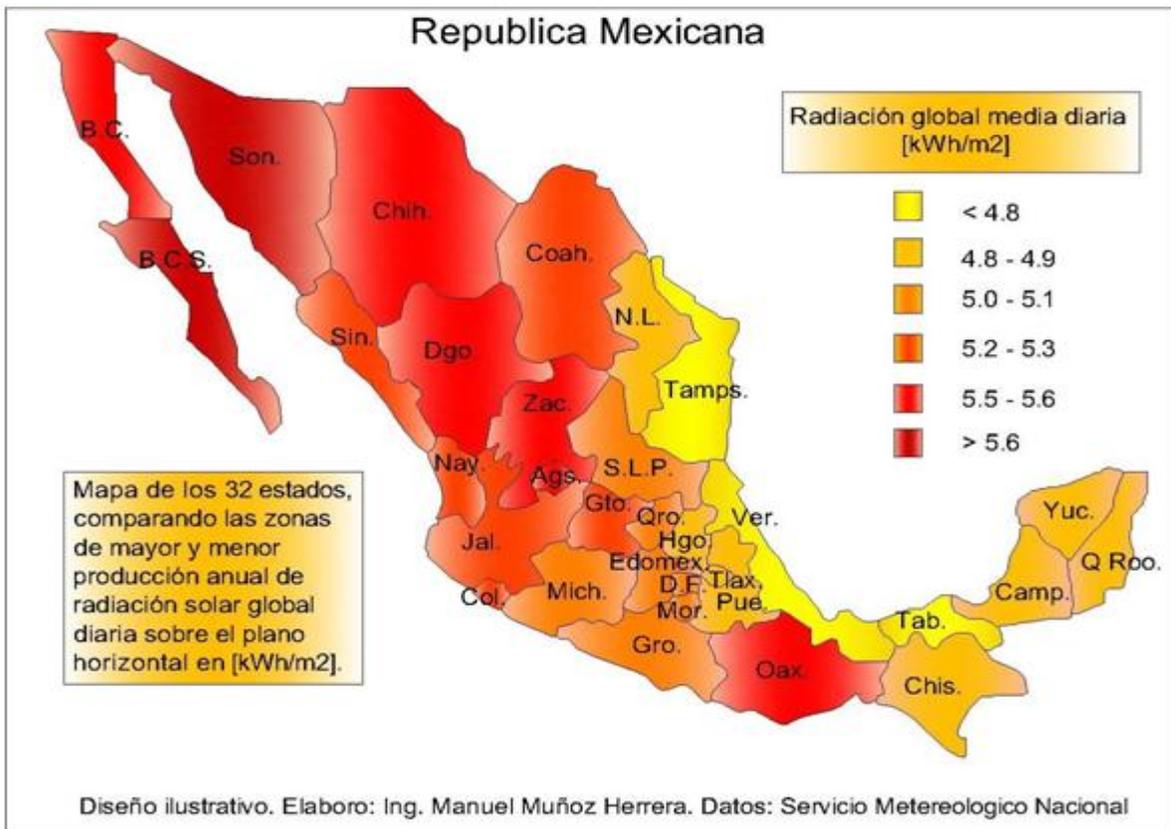


Fig.5.14 Estados de la república mexicana con mayor potencial de aprovechamiento de energía solar. Imagen obtenida de [123].

El lugar elegido para una hipotética construcción de una planta de hidrógeno verde como la de Puertollano, España en Sonora, México sería en Ejido Miramar en el municipio de Puerto Peñasco, debido a que tiene el mayor parque de energía solar no solo en país sino en toda Latinoamérica siendo así también el séptimo más grande en el mundo, la planta de energía solar Rafael Galván.

Teniendo una capacidad instalada de 1000 MW en una superficie instalada de 2 mil hectáreas, se estima que es suficiente para alimentar a 3 estados de la república mexicana (Sonora, Chihuahua y Sinaloa), recordemos que solo se necesitan 100 MW para producir hidrógeno verde en una planta como la de Puertollano, siendo así una décima parte de la capacidad instalada del parque para producir dicho elemento, sin embargo también cabe la posibilidad de ampliar su capacidad del parque para que la producción del hidrógeno a futuro no sea un problema.

El otro motivo para la construcción de la planta de hidrógeno en dicho lugar es por la cercanía de la planta al mar, siendo fácil la extracción de agua de mar para la producción del hidrógeno, por lo que un punto medio entre la planta solar y el mar facilitaría la producción de hidrógeno verde. La obtención de agua de mar sería a través de una costa que no sea tan transitada en el municipio y que no afecte al turismo ni ecosistema del lugar, una de las opciones que propondré sería la región de la Pinta en las orillas del municipio, estando a tan solo 7.4 km del parque fotovoltaico, además de que es una zona desértica donde la mayor cantidad de habitantes es tan solo de 3 a 5 habitantes. En las Fig. 5.16, 5.17 y 5.18 se muestran imágenes del parque de energía solar y del potencial energético de la región por hora en el día y por el resto de los días de la semana en promedio de inicios de octubre de 2023.



Fig. 5.15 Mapa del estado de Sonora por municipios. Imagen obtenida de [124].



Fig. 5.16 Fotografía área del parque de energía solar Rafael Galván en el municipio de Puerto Peñasco, Sonora, México. Imagen obtenida de [125].

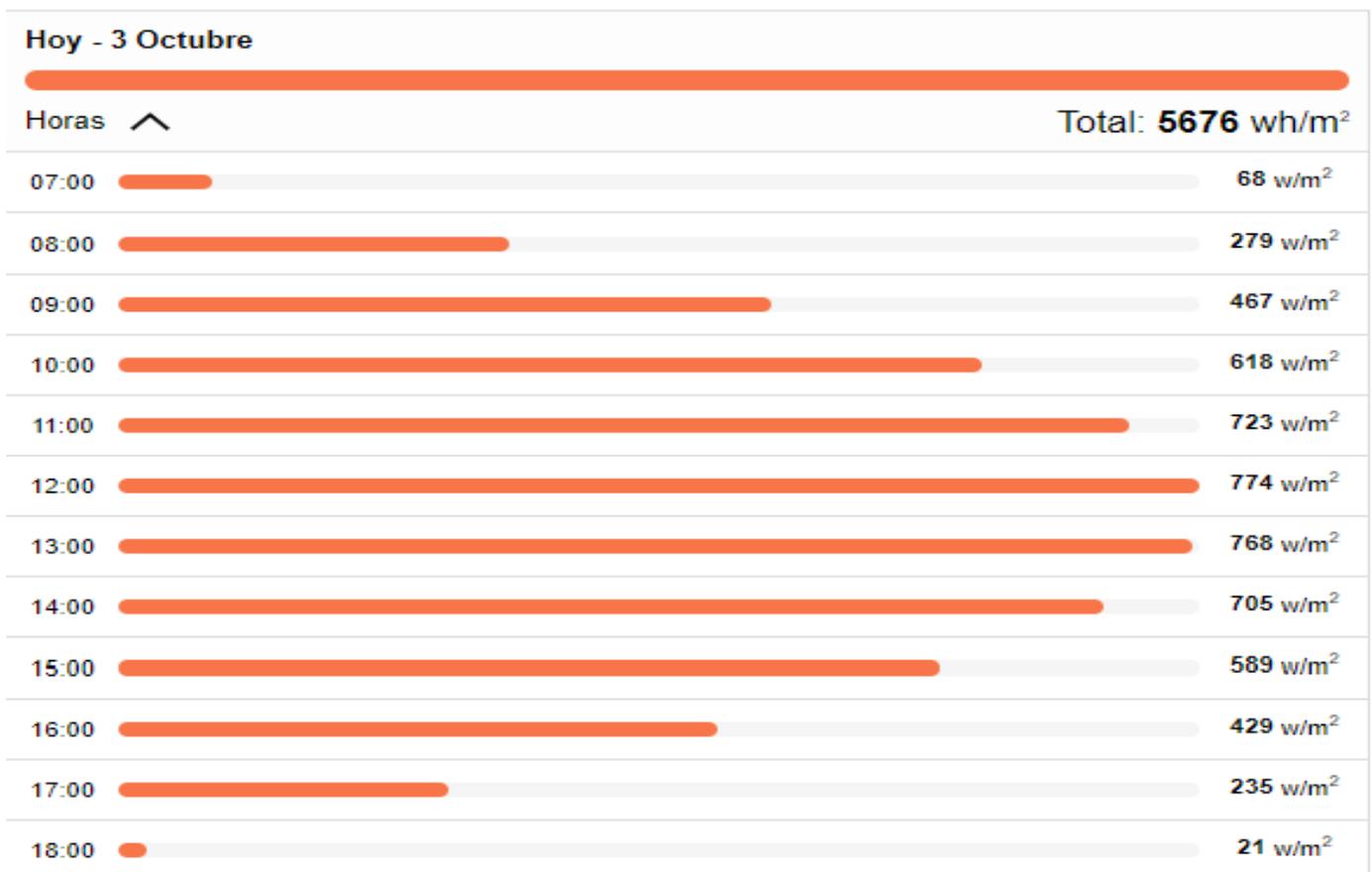


Fig.5.17 Radiación solar en  $wh/m^2$  en Puerto Peñasco, Sonora México en el día 3 de octubre del 2023. Imagen obtenida de [126].

En la Fig.5.19 se muestra una imagen satelital de la región y a cuantos kilómetros de distancia se encuentra del parque Rafael Galván. Previamente se comentó que tomé de referencia los planos de la planta de Puertollano, España para la construcción de la planta de Puerto Peñasco, solo que le agregaremos a sus instalaciones una planta desalinizadora como la de Cabo San Lucas.

Esto con el fin de ahorrar espacio en construir la planta de producción de hidrógeno verde Dado que la planta de Rafael Galván no está muy lejos del lugar, la obtención de energía eléctrica proveniente de una fuente limpia no es problema para nuestra hipotética planta de hidrógeno. En las Fig. 5.20 hay un croquis de nuestra planta de producción de agua desalinizadora (la que tomaremos de base para todas nuestras propuestas de plantas desalinizadoras) y la planta de hidrógeno verde en la Fig.5.21.

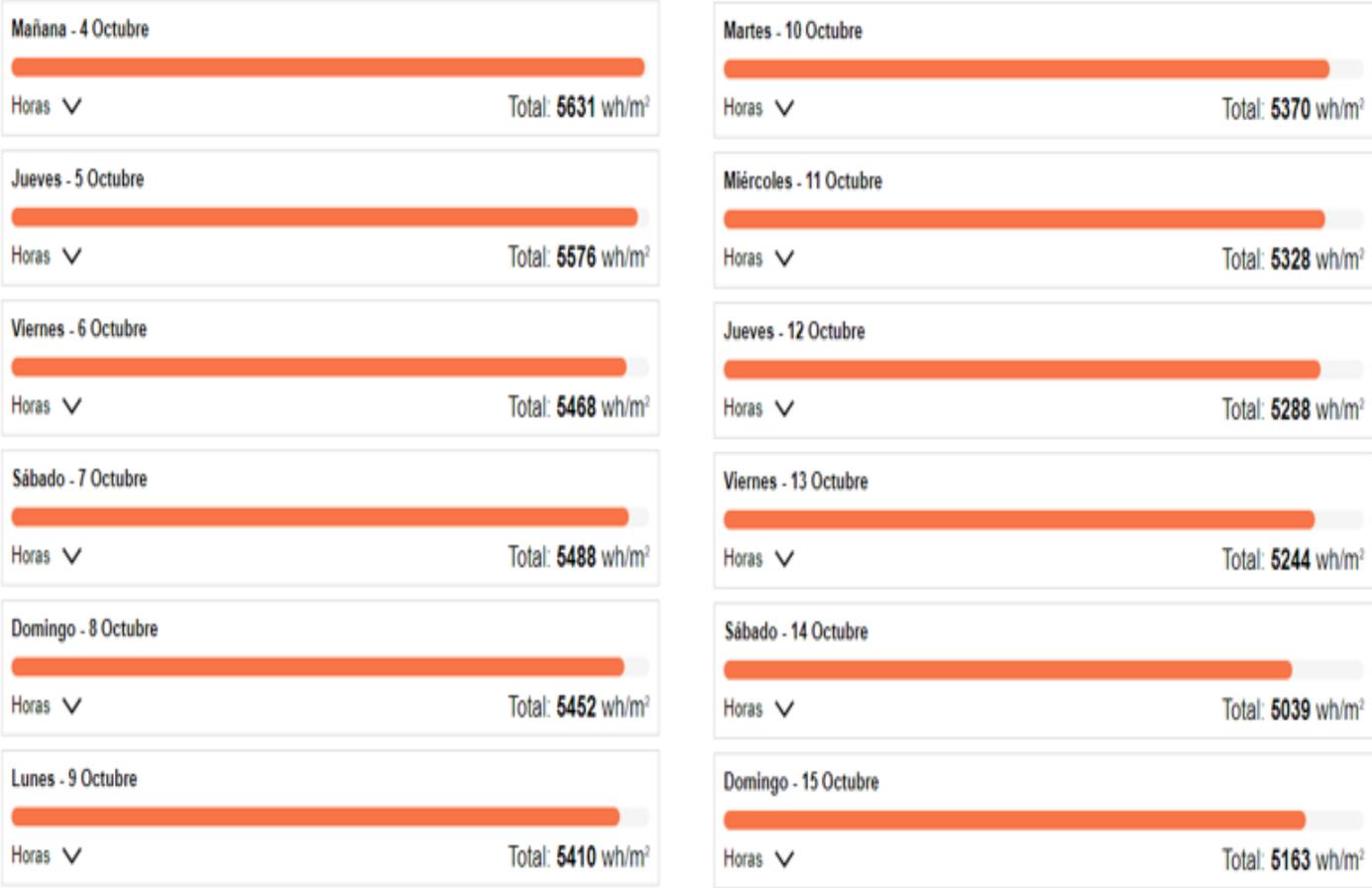


Fig.5.18 Promedio de la radiación solar en  $wh/m^2$  en Puerto Peñasco, Sonora México del 4 de octubre al 15 de octubre del 2023. Imagen obtenida de [127].

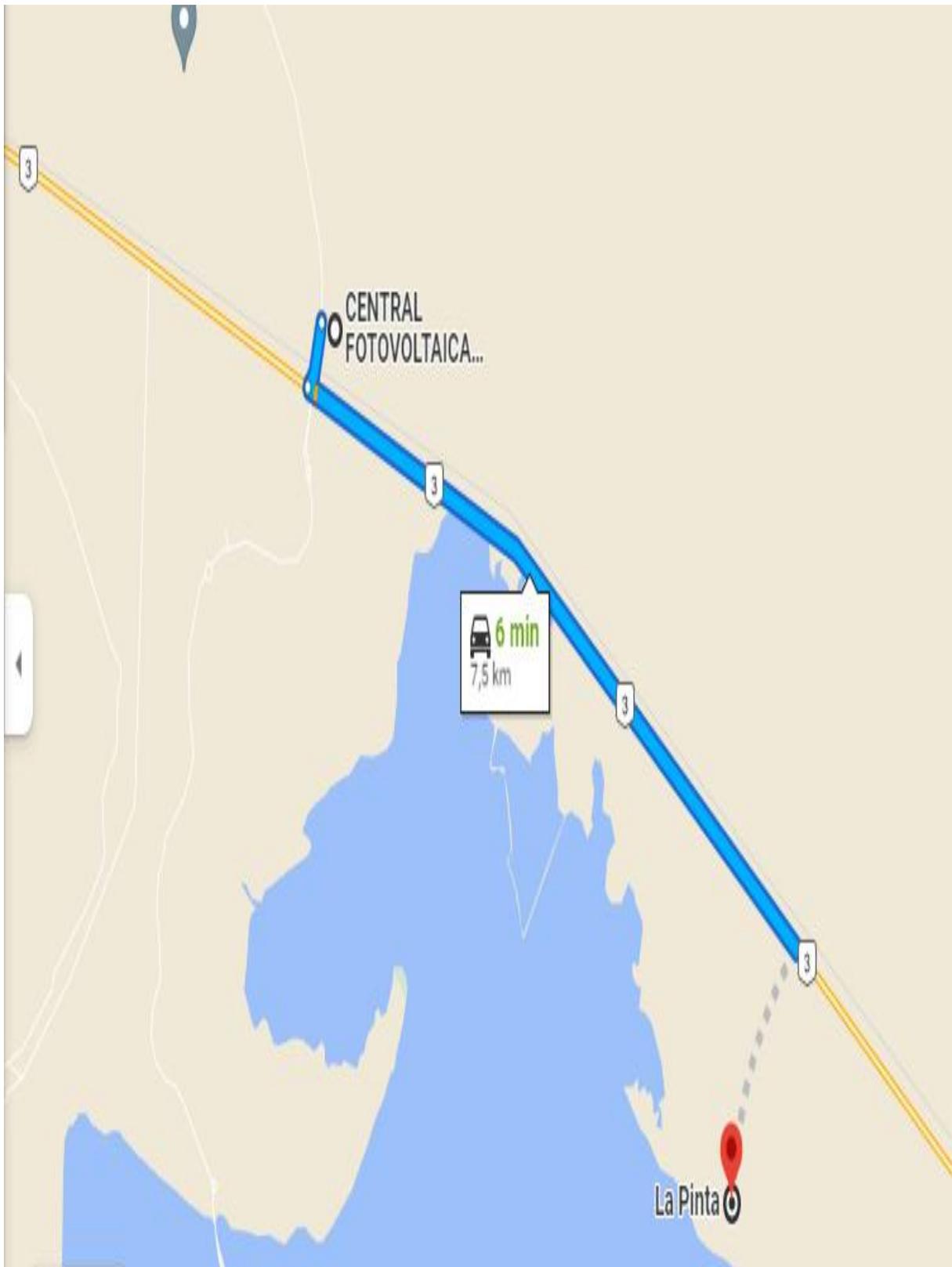


Fig.5.19 Distancia entre el parque fotovoltaico Rafael Galván a la región de la pinta.  
Imagen obtenida de [128].

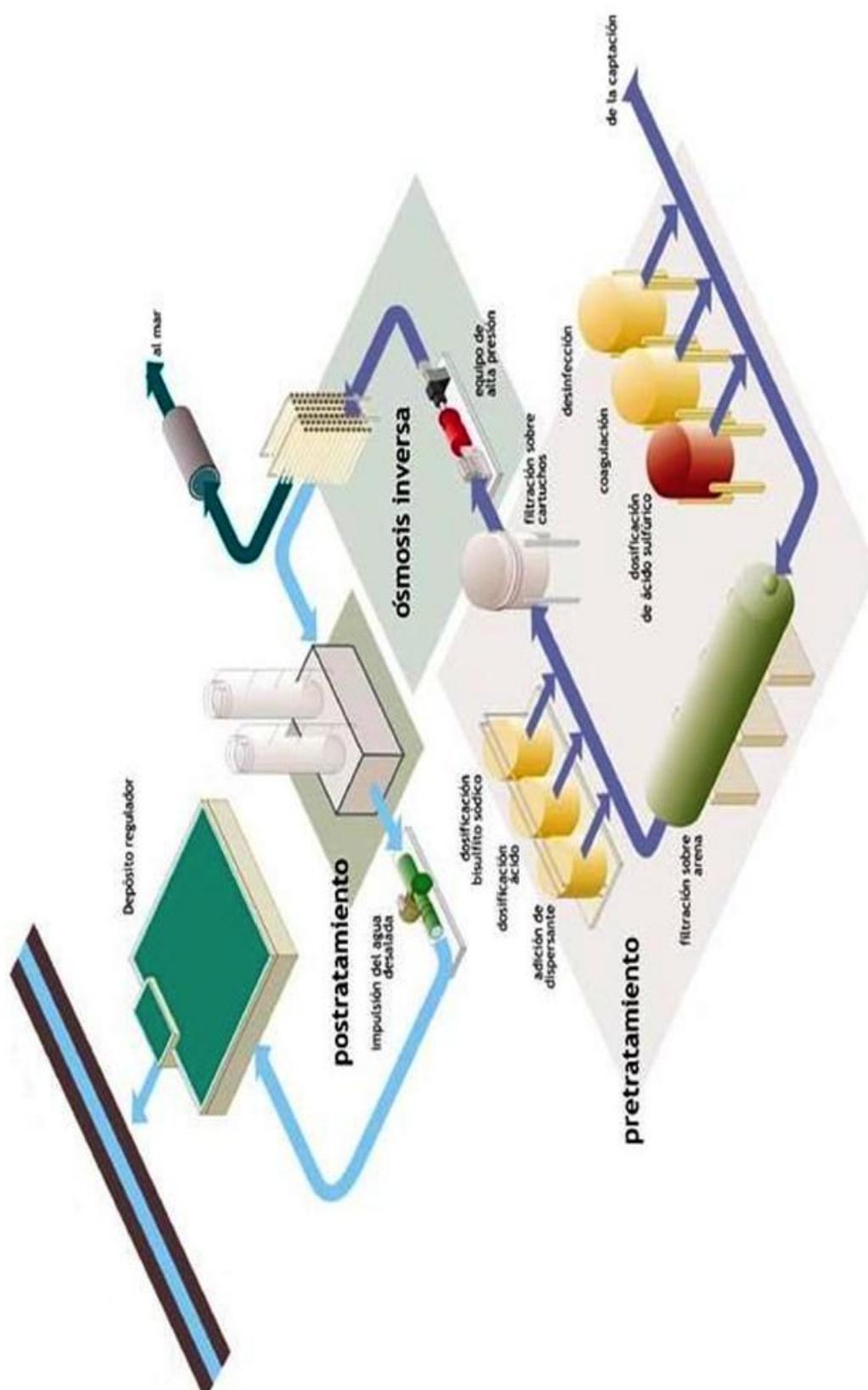


Fig. 5.20 Croquis de la planta desalinizadora. Imagen obtenida del sitio web [129].

Planta fotovoltaica de Puerto Peñasco, Rafael Galvan

Carretera de Puerto Peñasco

Estacionamiento	Oficinas	Red Baterías de 5 MW	Subestación eléctrica 30 kV	Entrada y salida de pipas
		Línea eléctrica subterránea		
Planta desalinizadora.		Planta de electrolisis (Planta de hidrógeno verde)		Zona de recarga de H
		Tanques de almacenamiento del H		

Fig. 5.21 Croquis de la planta de hidrógeno en Puertollano Sonora México.

## **5.5 Desarrollo de la obtención del Hidrógeno a través del aprovechamiento de la energía geotérmica en México.**

En el capítulo 2.4.2 se mencionó que México es la sexta potencia a nivel mundial en potencial geotérmico, teniendo una capacidad instalada aproximada de 976 GW a nivel nacional. Según la CFE, los estados de la república con mayor potencial geotérmico son los siguientes:

- Baja California Norte
- Baja California Sur
- Puebla
- Veracruz
- Michoacán

Las principales plantas de energía geotérmica en nuestro país son las siguientes:

- Cerro Prieto en Baja California Norte.
- Tres Vírgenes en Baja California Sur.
- Los Azufres en Michoacán.
- Los Humeros en Puebla.

Según la propia CFE, se estima que solo entre las 4 plantas de energía aportaron a la red de energía 3,668 GWh siendo un 3.32% de la energía generada en México, sumando entre las cuatro 918 MW, esto satisface en promedio a más de 2 millones de hogares en México, incluyendo fábricas, hospitales, centros comerciales, carreteras, etc. En la Fig.5.22 se muestra la distribución de las plantas a través de la República Mexicana.

Recordemos que una de las grandes ventajas de este tipo de fuente de energía, es que puede llegar a trabajar 24/7 haciéndolo sumamente eficaz para la generación de energía eléctrica para la obtención de hidrógeno verde en una hipotética situación en el que este sea el combustible del futuro, eso daría a nuestro país una fuerte

competitividad no sólo a nivel energético sino en la producción de combustible a nivel mundial, dándole fuertes beneficios no solo económicamente hablando sino también en términos de competitividad en contra de otros países.



Fig. 5.22. Distribución de las 4 principales plantas de generación de energía geotérmica en todo el país. Imagen obtenida de [130].

De las 4 plantas a escoger para la generación sería la de Cerro Prieto en Mexicali, Baja California Norte, esto debido a las siguientes razones:

- Es la segunda mayor planta de energía geotérmica a nivel mundial (dado que en realidad se dividen en tres plantas con varios pozos de exploración y explotación) con una capacidad instalada de 720 MW, de las cuales solo genera hasta el momento 540 MW, lo que alimenta eléctricamente hablando el 80% del estado de Baja California Norte y el otro 20% se dirige a la ciudad de San Diego California, Estados Unidos (si se invierte adecuadamente en un mantenimiento y actualización de la planta, podría llegar incluso a superar en producción de su capacidad instalada en el futuro en términos energéticos, llegando a alimentar el 100% del estado).

- El estado de Baja California Norte será el líder a nivel nacional en plantas desalinizadoras, esto debido a la crisis hídrica en la región, por lo que desde 2016 en la región de Tijuana se empezó con la construcción de la planta desalinizadora más grande de América Latina con una producción estimada de 4,400 Litros por segundo, a está desde el mismo año se le suman la construcción de otras 3 desalinizadoras en las regiones de Ensenada, Isla Cedros y San Quintín. Además, el año pasado se empezó con la construcción de otros 4 proyectos involucrados en la desalinización de agua de mar, esto debido a la falta de agua proveniente del Rio Colorado y el aumento de sequias en la región. Por lo que el crecimiento de proyectos de este tipo en la región irá creciendo poco a poco en el futuro, lo que facilitaría enormemente la obtención de agua desalinizada para la obtención de hidrógeno verde.
- En dado caso de comercializar el hidrógeno verde con Estados Unidos, la producción y transporte de este sería rápido, corto y eficiente, esto debido a la cercanía del lugar con la frontera entre ambos países, lo que económicamente ayudaría a nuestro país en tema de producción y comercialización de combustibles y productos químicos que requieran hidrógeno para su fabricación.
- El estado de Baja California Norte aparte de ser de los más ricos en potencial geotérmico, también es de los más ricos en potencial fotovoltaico, por lo que la construcción de parques de fotovoltaicos como el parque Rafael Galván en Puerto Peñasco Sonora, en la región facilitarían muchísimo la obtención energética para la producción de hidrógeno verde a nivel nacional (contando también con la obtención de agua), teniendo tal vez más de una planta de hidrógeno verde en el estado.

Teorizando un futuro donde la planta de Cerro Prieto esté funcionando al 100% de su capacidad instalada y donde los 7 proyectos diferentes de desalinizadoras estén acabados y en puerta se encuentren más proyectos de este tipo para la obtención de agua desalinizada, el lugar que yo propondría para la construcción de una planta de hidrógeno verde en el municipio de Mexicali estado de Baja California Norte, sería en la zona de BC 4, Colonia Alberto Oviedo Mota, C.P. 21730.

Con un tamaño de 34,319 m<sup>2</sup> y acceso a todos los servicios (agua, electricidad, etc.) y un precio de \$6,800,000 pesos, lo convierten en el lugar idóneo para la construcción de nuestra planta, esto debido a que tiene más espacio para la expansión de una planta de hidrógeno verde como las que hemos estado proponiendo hasta ahora (tomando de base el tamaño de la planta de Puertollano en España), lo que le permitiría en un lapso de medio a largo plazo una competitividad en términos de producción a futuro para la obtención de hidrógeno verde, que en términos económicos beneficiaría enormemente a nuestro país, dejando poco a poco la dependencia del petróleo. En la Fig. 5.23 se muestra la foto del terreno seleccionado.



Fig. 5.23 Foto del terreno en la zona de BC 4, Colonia Alberto Oviedo Mota, C.P. 21730 en Mexicali, Baja California Norte para la planta de hidrógeno verde. Imagen obtenida de [131].

Como se observa en la Fig. 5.23, el tamaño del terreno es bastante amplio, lo que permitiría también en el futuro la construcción y colocación de paneles solares para aumentar el potencial energético de la planta, además de su ampliación de la capacidad instalada para producir más hidrógeno verde.

Si la conceptualización de esta planta se llevara a cabo, será muy beneficioso para México, debido a que la comercialización de hidrógeno verde sería muy factible y fácil de hacer con el estado de California en Estados Unidos, dado que es el estado de

dicho país que más autos a hidrógeno tiene hoy (solo por detrás de Japón que tiene 96 estaciones de servicio). También ayudaría mucho a la creación de fertilizantes y generación de electricidad que igualmente serían muy comerciales en nuestro país y Estados Unidos. En la Fig.5.24 imagen se muestra un croquis de cómo sería la planta.

Oficinas	Subestación eléctrica 30 kV	Entrada de pipas	Salida de Pipas
Áreas verdes	Red de baterías de 5MW	Patio de Maniobras	
	Línea eléctrica subterránea		
Espacio para la ampliación de la planta así lo requiera en futuros proyectos.		Zona de recarga de Hidrógeno	
		Planta de Hidrógeno verde.	Tanques de almacenamiento de H
Áreas verdes			

Fig. 5.24. Croquis de la planta de hidrógeno verde en la zona de BC 4, Colonia Alberto Oviedo Mota, en Mexicali, Baja California Norte.

## **5.6 Teoría del auto a celdas de combustible que genere su propio hidrógeno de manera autónoma.**

Para esta teoría tendremos en cuenta todo lo ya visto en los capítulos anteriores, esto con el fin de desarrollar un automóvil que pueda genera su propio hidrógeno en el futuro, usando agua como materia prima. Como ya sabemos desde el capítulo 1 ya existen autos a hidrógeno que utilizan agua salada como combustible, tal es el caso de El Quant e - Sportlimousine, sin embargo, ¿Cómo es que funciona este tipo de automóvil?

Como se comentó previamente “El Quant e - Sportlimousine” funciona usando agua salada como combustible, esto repartiendo el agua en dos tanques, en uno la carga es positiva y en la otra negativa, utilizando una membrana que es la misma que utiliza la NASA (lo más seguro es que se trate de una celda de combustible del tipo AFC de la compañía Nanoflowcell) esta produce la electricidad y suministra la carga eléctrica a un sistema de Supercapacitores que son los que recolectan rápidamente la energía suministrada por la celda de combustible y lo suministra a un sistema de cuatro motores que permiten el movimiento en el automóvil.

Por lo que ya investigado el problema con “El Quant e - Sportlimousine” es un automóvil que no se ha encontrado en las calles de manera comercial como cualquier otro superdeportivo actual, incluso el Hyperion XP-1 (el otro hiper deportivo de hidrógeno) del cual si he encontrado videos en internet siendo conducido por personas autónomas a la compañía del mismo haciendo reseñas de dicho automóvil. De “El Quant e - Sportlimousine” solo he encontrado comerciales promocionales de la compañía, pero nada más, por lo que pude investigar es debido a que es un producto que aún se encuentra en una fase de desarrollo e investigación, que aún no cumple ciertas normas del mercado a nivel mundial, por lo que podríamos considerarlo como un “concepto” de automóvil.

Un “concepto” en el mundo automotriz, se refiere a un automóvil que está siendo rediseñado varias veces antes de su venta al público en general, esto con el fin de

cumplir con la mayoría de normativas, regularidades y eliminar la mayor parte de problemas que puedan surgir con el automóvil antes de que salga al mercado. En la Fig. 5. 25 muestra el sistema de funcionamiento de “El Quant e - Sportlimousine”.

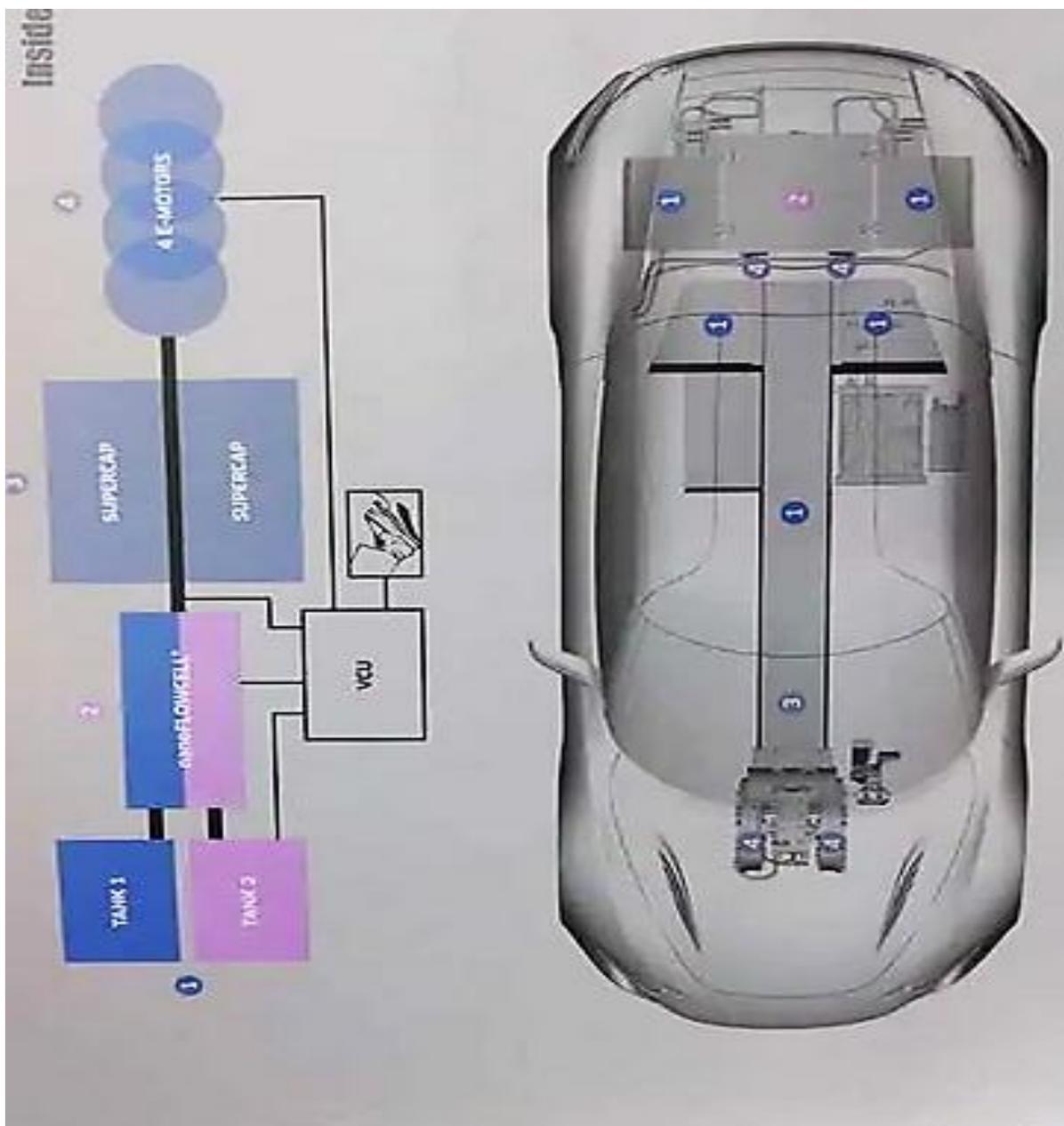


Fig. 5.25 Esquema del funcionamiento de “El Quant e - Sportlimousine”. Imagen obtenida de [132].

Ecológicamente hablando es una ventaja que “El Quant e - Sportlimousine” use Supercapacitores en vez de baterías de litio para almacenar energía eléctrica, esto por lo ya comentado con el daño generado por las baterías de litio al medio ambiente.

Otra cosa importante a señalar del “El Quant e - Sportlimousine”, es que, por lo visto en sus videos en internet, el automóvil no procesa automáticamente el agua de manera tanto positiva como negativa, sino que tiene que ser tratada previamente con el fin de tener la ionización adecuada antes de ser depositada en los tanques del auto, lo que da a entender que el vehículo si puede generar su propio hidrógeno, sin embargo, necesita que su combustible (en este caso el agua salada) ya allá pasado por un proceso de intervención para poder ser transformada en hidrogeno. Esta agua es almacenada en dos tanques que en conjunto pueden almacenar 200 L de agua, uno con carga positiva y otra negativa.

De forma que, para suministrar energía al sistema, se hacen circular los electrolitos líquidos junto con las sales del agua de mar extraídos de los tanques a través de dos celdas separadas por una membrana, de cuyo contacto se genera un proceso de oxido-reducción que produce electricidad, la cual es almacenada en los supercapacitores y liberada de forma instantánea en los motores del auto para propiciar el movimiento deseado.

En la Fig. 5.26 se muestra una captura de pantalla de la fuente de suministro de combustible del “El Quant e - Sportlimousine” donde veremos las dos mangueras de combustibles con colores diferentes, con lo que podemos darnos cuenta que el agua que entra dentro auto es separada para el correcto funcionamiento del sistema electroquímico del sistema.



Fig.5.26. Imagen de inyección de combustible de “El Quant e - Sportlimousine”  
Imagen obtenida de [133].

Para el auto teorizado que genere su propio hidrógeno como el “El Quant e - Sportlimousine”, retomaremos el trabajo y tecnología de Toyota Corolla Cross Hydrogen concept, Mirai, Prius, así como también el trabajo de GM con el primer auto a celdas de combustible que era el “Electrovan. y las celdas de combustible de la compañía Nanoflowcell. La idealización de dicho automóvil sería para una camioneta familiar del segmento perteneciente de las Sport Utility Vehicle (SUV, vehículo de utilidad deportiva).

Hay que dejar en claro que no todas las SUV son camionetas del tipo deportivas, ese es un nombre que se les dio por temas comerciales y para que fueran mayormente vendidas entre el público masculino. La mayoría de las SUV son autos familiares para el día a día que no son utilizadas para temas deportivos, sino para días transitados en la ciudad y se ocupan con mayor utilidad por las familias, para poder realizar viajes largos tanto en ciudad como en carretera, porque se pueden cargar, llevar más cosas que un auto sedan convencional y por qué la gente cree ir más cómoda.

La razón por la que escogí este segmento además de lo ya mencionado, es por el tema del espacio, debido a que sería más fácil esconder todos los componentes de un auto a celdas de combustible que genere su propio hidrógeno en una camioneta que

un sedán o en un hatchback. Si probablemente se sacrificaría espacio en la cajuela, pero con el tiempo esos problemas se irán corrigiendo en el futuro.

El auto a hidrógeno teorizado tendrá que cumplir con los siguientes puntos:

- No dependerá de energías fósiles para su movimiento.
- No utilizará baterías de iones de litio para almacenar energía.
- Su energía generada será por medio de la producción de hidrógeno verde y no dependerá de energías fósiles.
- No emitirá ningún GEI.
- Será 100% ecológico y amigable con el medio ambiente.

Como se comentó previamente tomaremos la tecnología de distintas marcas automotrices, esto de hecho es algo muy común entre las compañías automotrices, por ejemplo, compañías como la mexicana Mastretta con su modelo Mastretta MXT, eran autos que la plataforma era hecha por la compañía, pero implementaba motores de Ford, mismo caso con Lotus que utilizó mucho tiempo motores de Toyota entre muchos otros casos dentro de la industria.

En mi caso como se comentó previamente, se fusionara la tecnología de cada una de las marcas anteriormente mencionada, en el caso de Toyota tomaremos la plataforma de la Nueva Arquitectura Global de Toyota (TNGA que es la que emplean en sus vehículos como el Toyota Corolla, Rav4 y del Corolla Cross Hydrogen concept) usaremos el sistema de Supercapacitores de Koenigsegg y también el sistema de celdas de combustible de ambas compañías para tener el mejor rendimiento motor en el automóvil, esto en conjunto de las celdas de combustible de NanoFlowCell.

Es decir, sería un auto con cuerpo de Toyota y sus componentes eléctricos sería una fusión de un Mirai y un “El Quant e - Sportlimousine” de Koenigsegg con las celdas de combustible de NanoFlowCell. Esto debido a que sería más fácil desarrollar un automóvil a través de la tecnología de distintas tecnologías ya existentes, que empezar de cero. En la Fig. 5.27 se muestra la composición del automóvil teorizado.

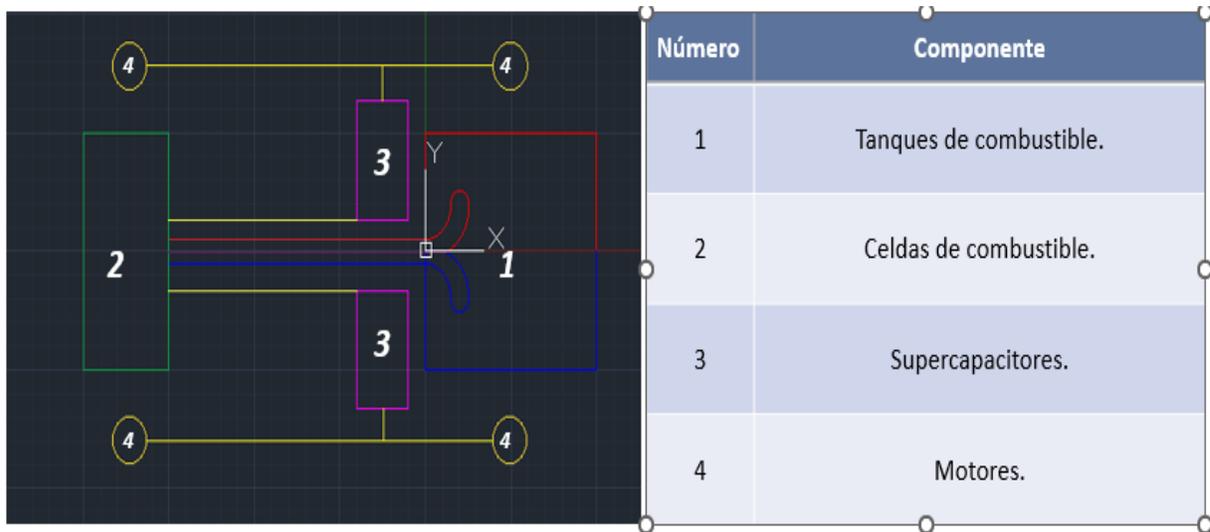


Fig.5.27. Composición del teorizado auto de hidrógeno independiente.

Para temas de practicidad y ahorro de espacio en la arquitectura del automóvil teorizado guardará los Supercapacitores debajo de los asientos, al igual que el Toyota Corolla HEV guarda sus baterías, con esto quedaría solucionado el tema del espacio que siempre han tenido los autos de celdas de combustible, tal como muestro en la Fig.5.28.



Fig.5.28. Baterías de Ion Litio del Toyota Corolla HEV debajo del automóvil. Imagen obtenida de [134].

El supuesto automóvil al combinar tecnologías de Toyota y Koenigsegg tendrá una autonomía teorizada de 1,2 kg de hidrógeno cada 100 km (1,2 kg/100 km). y una velocidad máxima de 220 km por hora. Por lo que el consumo no será un problema para el día al día del automóvil. Teniendo en cuenta de que contará con la fiabilidad que respalda a Toyota, podemos asegurar que el vehículo sea confiable, duradero y el futuro de la industria automotriz.

Otra cosa a recalcar es que también podríamos proponer otro modelo que utilice los tanques de combustible del Mirai, los cuales tienen una capacidad 4.6 L, lo que nos da 3.83 L de hidrógeno por cada 300 km con un sobrante de 0.77 L de hidrógeno, es decir, un poco del 75% de un 1 L para seguir conduciendo, nos da un ahorro energético y una autonomía mucho mayor que la que nos pueden brindar los autos de combustión interna y baterías de litio

Recordemos que para un kilo de hidrógeno verde se necesitan de 10 a 13 litros de agua, lo que nos daría que por cada tanque lleno de combustible utilizaríamos de 50 a 65 litros en promedio, eso, aunque parece mucho es menor a lo equivalente de 5 minutos de bañarse con regadera, donde en promedio a nivel mundial se estima un gasto de 100 litros de agua por cada 5 minutos, es decir, la mitad o a lo máximo el 65% de consumo de un regaderazo de 5 minutos.

Así que tenemos dos opciones al final de cuentas, uno que utilice los tanques del Mirai y otro que utilice los del “El Quant e - Sportlimousine” con sus tanques de agua salada ionizada, como se comentó previamente lo mejor es tener un mercado diverso con distintas opciones para los consumidores del mercado a nivel mundial. Es decir, tener dos opciones a futuro, una que utilice hidrógeno ya procesado y otra que tenga su propio generador de hidrógeno y lo procese a través de la ionización del agua.

Toyota ya está desarrollando un auto de combustión interna que funcioné a Hidrógeno, sin embargo, al igual que el “El Quant e - Sportlimousine” es un concepto que aún no ha salido al mercado, debido a que no cumple con las condiciones impuestas por el mercado actual de la industria automotriz.

Considero que, si estas dos trabajaran en conjunto utilizando las tecnologías de ambas compañías, podrían reducir el tiempo de espera de los filtros del mercado y crear la verdadera revolución de la industria automotriz con los nuevos automóviles a hidrógeno que utilicen agua de mar como combustible, eso sería muy beneficioso para la humanidad y para el medio ambiente en general. Solo se necesita un acuerdo mutuo de trabajo para que esto llegue a pasar un día. En mi opinión ambos ya tienen lo necesario para que esto se lleve a cabo y empiece la gran revolución automotriz.

Por el lado de Koenigsegg se tiene la tecnología de los Supercapacitores y conducción de agua salada como combustible para generar hidrógeno, por el lado de Toyota ya tiene el mercado del automóvil a celdas de combustible que poco a poco se irán mejorando a autos económicos y rentables para la mayoría del mercado a nivel mundial.

Por lo que, mezclando la tecnología de estas dos, sustituyendo la batería de litio por los Supercapacitores, mezclándolo con las celdas de combustible de ambas compañías ya tenemos el auto de celdas de combustible ideal que el planeta necesita para la sustentabilidad del transporte y el medio ambiente a nivel mundial.

## Conclusiones.

El automóvil, los combustibles y la motorización van de la mano, tal como se ha mostrado no existiría uno sin el otro, para el desarrollo de un automóvil primero se necesita del desarrollo del combustible y posteriormente de un motor, lo que puede llevar años de investigación, todo dependiendo de las necesidades del mercado que va cambiando con el paso del tiempo.

El hidrógeno es infinito en el universo, sin embargo la forma de encontrarlo y extraerlo en nuestro planeta es a través del agua, por lo que la investigación y desarrollo de nuevos métodos para extracción de hidrógeno utilizando agua es sumamente importante para el futuro de todos los seres vivos, principalmente porque debemos recuperar el agua que utilizamos para producir hidrógeno para que no se pierda y no comience a escasear, una vez más siguiendo y respetando el ciclo del agua, para que este no se vuelva finito y siga siendo infinito.

Considerando los resultados obtenidos del sub capítulo 5.1, el hidrógeno verde generado de energía solar y energía geotérmica son la mejor opción para la producción en masa de dicho combustible, esto debido a que la cuota de contaminación generada en primera parte por los paneles de energía solar termina por cobrarse en los primeros 5 años, pasando a ser un combustible meramente limpio para el medio ambiente. En el caso de la contaminación generada por las plantas de energía geotérmica tenemos que recordar que solo en ciertas instalaciones donde haya altas concentraciones de contaminantes como azufre en el suelo a lo mucho puede contaminar 5 toneladas de dióxido de carbono al año y el hidrógeno obtenido por estas plantas es mínimo en comparación a las termoeléctricas y a los contaminantes generados por los autos de combustibles fósiles. Y en caso de ser plantas donde no haya depósitos de contaminantes como el azufre no emitiría ningún GEI al medio ambiente.

Buscando ser el combustible base de un nuevo mercado automotriz a base de hidrógeno verde, siendo una alternativa desde mediano y hasta largo plazo, logrando que el cambio del parque vehicular no sea tan brusco para la sociedad del presente,

que podría ir reemplazando los combustibles fósiles de a poco, hasta hacer el cambio completo a las celdas de combustible o autos de combustión interna a hidrógeno.

Para el desarrollo y construcción de nuevos tipos de automóviles se necesita el trabajo en equipo de distintas personas, sociedades, empresas y normalmente la gente que logra crear un nuevo tipo de automóvil siempre lo ha logrado basándose en las notas previas de otras personas que no lograron terminar su investigación o que no obtuvieron los resultados esperados.

En mi opinión personal; impulsar los autos de combustión interna a hidrógeno verde obtenido de plantas de energía geotérmica sería tal vez la mejor opción para un presente o futuro inmediato para combatir el cambio climático, por lo que acelerar el desarrollo de estas dos tecnologías son de vital importancia para el ser humano y el medio ambiente.

También con el fin de seguir perfeccionando de mediano a largo plazo las celdas de combustible, aumentando su durabilidad, autonomía, performance, abaratar, etc. Con esto los autos a celdas de combustible también serían de fácil acceso, teniendo menores fallas, mayor durabilidad, compactando los componentes que necesitan para generar mayor espacio y comodidad en las zonas de almacenamiento, incentivando así el consumo de estos en el mercado futuro.

Ya para finalizar los seres humanos no podemos casarnos con un mismo tipo de tecnología que implique explotación de recursos finitos que ocasionan daños irreversibles al medio ambiente durante la extracción y después de la utilización de estos, tal es el caso del petróleo, litio, suelo, agua potable, etc. y de recursos que tarden miles de años en regenerarse tal es el caso del carbón con el ciclo de la carbonificación, esto debido a que tarde o temprano terminarán escaseando y finalmente desapareciendo.

En el caso del agua de mar ocupa el 97% de agua a nivel mundial, si explotamos este recurso para la producción de hidrógeno verde en el futuro, tenemos que ser

conscientes que debe hacer de manera responsable, respetando siempre el ciclo del agua, ecosistemas marinos, también tenemos que recordar que de la desalinización se obtienen dos recursos, agua potable y sal, la sal no debemos tirarla al mar después de la desalinización, sino encontrarle un uso como materia prima por el bien del planeta, para que no haga un daño a largo plazo como ya lo han hecho los combustibles fósiles.

## Glosario de términos.

**Automóvil:** También recibe el nombre de Auto, Carro o Coche. Que se mueve por sí mismo. Dicho principalmente de los vehículos que pueden ser guiados para marchar por una vía ordinaria sin necesidad de carriles y llevan un motor, generalmente de combustión interna o eléctrica que los propulsa.

**Batería:** Es la unión de varias pilas que generan un sistema de almacenamiento eléctrico que utiliza procedimientos electroquímicos para lograrlo. Generando un ciclo de carga y descarga limitado.

**Burlanda de maíz:** La burlanda húmeda de maíz, es un subproducto de la molienda seca de cereales de la producción industrial del bioetanol.

**BigData:** Es la formación de conjunto de datos que son muy complejos y vienen mayormente de varias bases de datos entre sí.

**Combustible:** Materia sólida, líquida o gaseosa que alimenta una instalación de combustión. Termina por generar un cambio en el sistema de la instalación, normalmente movimiento.

**Diésel:** También llamado Gasoil o gasóleo. Es un hidrocarburo que a diferencia de la gasolina es denso, aceitoso y que no ha sido tan procesado. Se utiliza mucho en motores de combustión interna para automóviles, equipos industriales, sistemas de calefacción, en cogeneración eléctrica, etc.

**Electricidad:** Fuerza que se manifiesta por la atracción o repulsión entre partículas cargadas, originada por la existencia de electrones y protones.

**Electrolisis:** Proceso que consiste en la descomposición química o separación de un compuesto por medio de la electricidad, el paso de la corriente eléctrica a través de un

electrólito (en disolución o fundido) en una celda electrolítica usando electrodos positivos y negativos.

**Espinela:** Las espinelas son óxidos metálicos con fórmula química  $MgAl_2O_4$  y estructura cristalina cúbica centrada en las caras. Los compuestos con estructura tipo espinela, al poseer iones de metales de transición, tienen una gran cantidad de aplicaciones tecnológicas debido a sus propiedades estructurales, eléctricas y magnéticas.

**ESR:** Siglas de “resistencia serie equivalente”, hace referencia a la resistencia de un condensador (o un inductor) al paso de una corriente alterna de una frecuencia determinada (la resistencia del electrolito, de los dieléctricos, de los recubrimientos, de los conductores.)

**Esteros:** Término utilizado en ecología y geografía para referirse a condiciones de pantanos en zona planas con drenajes imperfectos.

**Evo transpiración:** se refiere al conjunto de dos fenómenos físicos que pasan en la naturaleza:

- La evaporación: Fenómeno físico en el que el agua pasa del estado líquido al gaseoso en distintas condiciones ambientales.
- Transpiración: siendo el fenómeno biológico en el que las plantas toman agua desde sus raíces, utilizan una parte para su desarrollo y el resto lo transpiran perdiéndose en flujo hacia la atmósfera.

La unidad de medida de mm/ha hace referencia a milímetros por hectárea de evo transpiración de un campo de cultivo, es decir, el aprovechamiento hidrológico por cultivo.

**Gasolina:** También llamada Nafta o Bencina. Es un compuesto de hidrocarburos, que son refinados del petróleo. Normalmente se utiliza como combustible para motores de

combustión interna, aunque también se puede utilizar en sistemas de calefacción, lámparas, etc.

**GEI:** Gas de Efecto Invernadero; son componentes gaseosos de la atmósfera, que se dan normalmente en la naturaleza, aunque también son producidos por la actividad humana. Pueden absorber grandes cantidades de la radiación infrarroja emitida por los rayos del sol y la devuelven de nuevo a la superficie terrestre sobre calentando la misma, dañando y alterando al medio ambiente y a los seres vivos.

**HAP's:** Hidrocarburos aromáticos policíclicos; son un grupo de más de 100 sustancias químicas diferentes que se forman durante la combustión incompleta del carbón, petróleo, gasolina, basuras, otras sustancias orgánicas como el tabaco y la carne preparada en la parrilla, hornos, estufas y parrillas de aire.

**Hidracina:** La hidracina es un compuesto químico cuya fórmula química es  $N_2H_4$  usado como combustible para misiles, cohetes espaciales y satélites. El comburente utilizado habitualmente en estos casos es el tetróxido de dinitrógeno. También se conoce como hidracinas a los compuestos derivados de éste.

**MP:** Material Particulado (conocido también como contaminación por partículas), término utilizado para la mezcla de partículas sólidas y gotas líquidas que se encuentran en el aire que son dañinas para los seres vivos y el medio ambiente.

**Napas:** Capa de agua en la superficie de la tierra o subterránea.

**Neoescala:** También conocida como escala de Pauling. Es una clasificación de la electronegatividad de los átomos.

**NO<sub>x</sub>:** Término dado al grupo de gases que contienen Nitrógeno y Oxígeno como el óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>).

**DMFC:** Celda de combustible de Metanol directo.

**MCFC:** Celda de combustible de carbonatos fundidos

**PAFC:** Celda de combustible de ácido fosfórico.

**SOFC:** Celda de combustible de Oxido sólido.

## Bibliografía

- 1) Cucalón, A. (01 de octubre de 2021). *Mundo Diners*. Obtenido de Mundo Diners: <https://revistamundodiners.com/quien-invento-automovil/>
- 2) Steam Car. (09 de Septiembre de 2019). *Steam Car*. Obtenido de Steam Car: <https://adityacars.car.blog/2019/09/09/nicolas-joseph-cugnot/>
- 3) Navarro, F. (12 de abril de 2022). *Muy Interesante*. Obtenido de Muy Interesante: <https://www.muyinteresante.es/historia/36380.html>
- 4) Chateau de Compiègne. (25 de Febrero de 2020). *chateaudcompiègne*. Obtenido de chateaudcompiègne: <https://chateaudcompiègne.fr/collection/objet/automobile-vapeur-la-mancelle>
- 5) Strickland, E. (26 de agosto de 2009). *Discovermagazine*. Obtenido de Discovermagazine: <https://www.discovermagazine.com/technology/steam-powered-car-breaks-a-century-old-speed-record>
- 6) Desantes, P. F. (2015). *Motores de combustión interna alternativos*. Valencia, España: Reverté.
- 7) Canizales, J. D. (12 de Diciembre de 2021). *blogspot.com*. Obtenido de [blogspot.com](https://blogspot.com): <https://juandavidcanizales.blogspot.com/2012/11/rudolf-diesel-desarrollo-la-idea-del.html>
- 8) <https://www.mercedes-benz.com/>
- 9) <https://parabrisas.perfil.com/>
- 10) [historianationalgeographic.com](http://historianationalgeographic.com)
- 11) <https://www.motorpasion.com/>
- 12) <https://www.kaufmann.cl/>
- 13) <https://noticias.coches.com>
- 14) [www.20minutos.es](http://www.20minutos.es)
- 15) [https://www.prestigeelectriccar.com/es/historia/394/Ayrton\\_Perry\\_1881](https://www.prestigeelectriccar.com/es/historia/394/Ayrton_Perry_1881)
- 16) Westbrook, M. H. (2001). The Electric Car. En M. H. Westbrook, *The Electric Car* (pág. 223). Londres, Inglaterra: IET.
- 17) Westbrook, M. H. (2001). The Electric Car. En M. H. Westbrook, *The Electric Car* (pág. 225). Londres, Inglaterra: IET.
- 18) Martin, J. (29 de Diciembre de 2020). *Eventos Motor*. Obtenido de Eventos Motor: <https://www.eventosmotor.com/blog-premium/la-jamais-contente-electrico-record-velocidad-1899/>
- 19) <https://www.abc.es/> Los coches eléctricos más importantes de la historia
- 20) <https://www.curbsideclassic.com/>
- 21) <http://www.autopasion18.com/HISTORIA-KRIEGER.htm>

- 22) <https://www.abc.es/> Los coches eléctricos más importantes de la historia
- 23) <https://es.motor1.com/news/594755/peugeot-vlv-coche-electrico-1941/>
- 24) <https://blog.consumerguide.com/what-was-the-henney-kilowatt/>
- 25) <https://www.aronline.co.uk/cars/enfield/8000-electric/development-story/>
- 26) <https://www.autobild.es/noticias/fue-primer-coche-movido-hidrogeno-construyo-mundo-1169204>
- 27) <https://www.autobild.es/noticias/fue-primer-coche-movido-hidrogeno-construyo-mundo-1169204>
- 28) <https://www.autobild.es/noticias/fue-primer-coche-movido-hidrogeno-construyo-mundo-1169204>
- 29) <https://www.motorbiscuit.com/the-ford-comuta-fords-first-electric-car/>
- 30) <https://www.motorpasion.com.mx/industria/general-motors-ev1-asi-fue-el-primer-coche-electrico-fabricado-en-masa>
- 31) <https://www.motorpasion.com.mx/industria/general-motors-ev1-asi-fue-el-primer-coche-electrico-fabricado-en-masa>
- 32) [https://www.tesla.com/es\\_mx/cybertruck](https://www.tesla.com/es_mx/cybertruck)
- 33) <https://www.toyota.es/world-of-toyota/nuevo-toyota-mirai>
- 34) <https://www.toyota.es/world-of-toyota/nuevo-toyota-mirai>
- 35) <https://blogthinkbig.com/agua-de-mar-comon-combustible>
- 36) <https://blogthinkbig.com/agua-de-mar-comon-combustible>
- 37) <https://www.youtube.com/@hyperioninc>.
- 38) <https://www.youtube.com/@hyperioninc>.
- 39) Energías Renovables (Fundamentos, Tecnologías y Aplicaciones), (Madrid, 2009, pág. 27).
- 40) <https://infogram.com/formas-de-extraccion-del-petroleo-1h7j4dk0n83m6nr>
- 41) Energías Renovables (Fundamentos, Tecnologías y Aplicaciones), (Madrid, 2009, pág. 33)
- 42) Energías Renovables (Fundamentos, Tecnologías y Aplicaciones), (Madrid, 2009, pág. 37)
- 43) <https://es.statista.com/estadisticas/600689/demanda-mundial-diaria-de-petroleo-crudo/>
- 44) Energías Renovables (Fundamentos, Tecnologías y Aplicaciones), (Madrid, 2009, pág. 36).
- 45) <https://www.bbc.com/mundo/noticias-47748488>
- 46) <https://cnnespanol.cnn.com/2022/10/05/petroleo-productores-consumidores-orix/>
- 47) <https://cnnespanol.cnn.com/2022/10/05/petroleo-productores-consumidores-orix/>

- 48) <https://www.bloomberglinea.com/2022/05/03/cuantas-reservas-de-petroleo-y-gas-tiene-en-total-mexico/>
- 49) <https://produccion.hidrocarburos.gob.mx/>
- 50) Energías Renovables (Fundamentos, Tecnologías y Aplicaciones), (Madrid, 2009, pág. 39).
- 51) Energías Renovables (Fundamentos, Tecnologías y Aplicaciones), (Madrid, 2009, pág. 39).
- 52) <https://www.fao.org/3/w1309s/w1309s06.htm>
- 53) <https://personales.unican.es/ortizff/NPpdf/se/mt/3.0-0%20Aplicaciones%20MT%20-%20Turbinas.pdf>
- 54) <https://www.salamarkesa.com/ciclo-rankine-explicacion-facil/>
- 55) Energías Renovables (Fundamentos, Tecnologías y Aplicaciones), (Madrid, 2009, pág. 195).
- 56) <https://www.ecologiaverde.com/como-se-forma-el-carbon-2747.html>
- 57) [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/564112/Carb\\_n\\_2020\\_ENE\\_.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/564112/Carb_n_2020_ENE_.pdf)
- 58) <https://www.larepublica.co/globoeconomia/la-produccion-mundial-del-carbon-seguira-en-crecimiento-por-lo-menos-hasta-2024-3307725>
- 59) (José Antonio Carta González, 2009, pág. 39)
- 60) <https://es.statista.com/estadisticas/634779/paises-con-mayores-reservas-de-carbon/>
- 61) (Solé, 2014, pág. 356)
- 62) [https://tecnosolab.com/noticias/tipos-de-paneles-solares/#:~:text=Vatios%20pico%20\(Wp\)%20es%20la,Temperatura%20de%20m%C3%B3dulo%2025%C2%BAC](https://tecnosolab.com/noticias/tipos-de-paneles-solares/#:~:text=Vatios%20pico%20(Wp)%20es%20la,Temperatura%20de%20m%C3%B3dulo%2025%C2%BAC)
- 63) (Solé, 2014, pág. 365)
- 64) <https://elordenmundial.com/mapas-y-graficos/potencial-energia-solar-pais/>
- 65) Centrales de energías renovables Generación eléctrica con energías renovables. pág. 529.
- 66) (José Antonio Carta González, 2009, pág. 533)
- 67) <https://es.statista.com/estadisticas/600568/potencia-geotermica-instalada-por-paises/>
- 68- (José Antonio Carta González, 2009, pág. 539).
- 69) (Angulo, 2014, pág. 36)
- 70) [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2077-99172021000200265](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-99172021000200265)
- 71) (Laborda, 2006, pág. 33)
- 72) (Laborda, 2006, pág. 35 y 36)
- 73) (Laborda, 2006, pág. 50)

- 74) (Torroba, 2020, pág. 16)
- 75) <https://es.statista.com/estadisticas/635730/paises-lideres-en-la-produccion-de-biocarburante>
- 76) (Torroba, 2020, pág. 18)
- 77) (Torroba, 2020, pág. 76.)
- 78) (Torroba, 2020, pág. 77)
- 79) (lyondellbasell, 2015, pág. 1)
- 80) (lyondellbasell, 2015, pág. 6)
- 81) <https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/society/20180301STO98928/emisiones-de-gases-de-efecto-invernadero-por-pais-y-sector-infografia#:~:text=La%20UE%20es%20el%20tercer,seguido%20de%20India%20y%20Rusia.>
- 82) <https://www.energias-renovables.com/panorama/las-emisiones-de-gases-de-efecto-invernadero-20201123>
- 83) <https://elordenmundial.com/mapas-y-graficos/sectores-que-mas-contaminan/>
- 84) <https://ciencia.unam.mx/leer/1012/aumento-record-de-CO2-en-mayo-pese-a-coronavirus->
- 85) [energyeducation.ca/Enciclopedia\\_de\\_Energia/index.php/Central\\_el%C3%A9ctrica\\_de\\_carb%C3%B3n](https://energyeducation.ca/Enciclopedia_de_Energia/index.php/Central_el%C3%A9ctrica_de_carb%C3%B3n)
- 86) [https://energyeducation.ca/Enciclopedia\\_de\\_Energia/index.php/Central\\_el%C3%A9ctrica\\_de\\_carb%C3%B3n](https://energyeducation.ca/Enciclopedia_de_Energia/index.php/Central_el%C3%A9ctrica_de_carb%C3%B3n)
- 87) Energías Renovables (Fundamentos, Tecnologías y Aplicaciones), (Madrid, 2009, pág. 61)
- 88) <https://radioytvmexiquense.mx/index.php/2021/05/21/rio-cuautitlan-registra-bajos-niveles-de-agua/>
- 89) (FAO, 2008, pág. 77)
- 90) (Jofré, 2009, pág. 9)
- 91) (Jofré, 2009, pág. 10)
- 92) (en, 2010, pág. 85)
- 93) <https://cicenergigune.com/es/blog/metodos-produccion-hidrogeno-colores.>
- 94) (Brenda Camarillo., 2021, pág. 2)
- 95) <https://energetica21.com/articulos-y-entrevistas-online-ver/el-hidrogeno-verde-es-el-combustible-del-futuro>
- 96) <https://www.iberdrola.com/conocenos/nuestra-actividad/hidrogeno-verde/puertollano-planta-hidrogeno-verde>
- 97) (Asian Development Bank, 2018, pág. 12).

- 98) (Asian Development Bank, 2018, pág. 13)
- 99) <https://www.eleconomista.com.mx/internacionales/Bolivia-y-Argentina-tienen-las-mayores-reservas-de-litio-del-mundo-20230202-0045.html>
- 100) <https://es.statista.com/grafico/27985/los-paises-lideres-en-produccion-de-litio/>
- 101) <https://www.buschvacuum.com/mx/es/applications/lithium-battery-manufacturing/lithium-battery-manufacturing.html>
- 102) <https://www.motorpasion.com/tesla/tesla-ha-sustituido-colas-gasolineras-periodo-vacaciones-colas-supercargadores>
- 103) <https://noticiasdelmundo.news/propietarios-de-tesla-esperando-en-una-gran-cola-en-la-estacion-de-carga-en-wodonga-frontera-entre-victoria-y-nsw/>.
- 104) <http://www.isqch.unizar-csic.es/ISQCHportal/celdasDeCombustible.do>
- 105) <https://condorchem.com/es/blog/utilizacion-del-biogas-en-pilas-de-combustible/>
- 106) (Valecillos, 2009, pág. 32)
- 107) <http://temassobreingenieriacivil.blogspot.com/2015/12/celdas-de-hidrogeno.html>
- 108) (Valecillos, 2009, pág. 38)
- 109) (Valecillos, 2009, pág. 42).
- 110) (Valecillos, 2009, pág. 48)
- 111) (Valecillos, 2009, pág. 36).
- 112) <https://www.shutterstock.com/es/image-photo/geneva-switzerland-march-04-2019-roland-1550771759>
- 113) <https://elperiodicodelaenergia.com/la-pila-de-combustible-de-metanol-igual-a-la-autonomia-de-los-coches-de-combustion/>
- 114) <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn115.html>
- 115) <https://electropreguntas.com/como-funciona-un-capacitor/>
- 116) <https://www.digikey.com.mx/es/articles/how-to-use-a-single-supercapacitor-as-backup-power-for-a-5-volt-supply>
- 117) <https://www.caranddriver.com/es/coches/novedades/a42238209/toyota-corolla-cross-hydrogen-concept/>
- 118) <https://www.caranddriver.com/es/coches/novedades/a42238209/toyota-corolla-cross-hydrogen-concept/>
- 119) <https://fandelagua.com/desalinizacion-de-agua/>
- 120) <https://www.elsudcaliforniano.com.mx/local/municipios/va-ampliacion-de-planta-desaladora-en-los-cabos-oscar-leggs-8802760.html>

- 121) <https://waterstation.mx/agua-y-salud/osmosis-inversa-ventajas-y-desventajas/>
- 122) <https://encrypted.tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTsJUAu042vLp8PEtWMA6NLbif6h2fdD7m9wQ&usqp=CAU>
- 123) <https://www.valoremexico.com/property/para-generar-electricidad-en-el-golfo-de-santa-clara-sonora-mexico>
- 124) <https://descargamapas.net/mexico/sonora/mapa-estado-sonora-municipios>
- 125) <https://elpais.com/mexico/2023-02-20/lopez-obrador-inaugura-la-central-fotovoltaica-de-puerto-penasco-el-proyecto-verde-mas-ambicioso-de-su-administracion.html>
- 126) <https://www.tutiempo.net/radiacion-solar/puerto-penasco.html>
- 127) <https://www.tutiempo.net/radiacion-solar/puerto-penasco.html>
- 128) <https://www.google.com/maps/dir/CENTRAL+FOTOVOLTAICA+PUERTO+PEÑASCO,+83550+Puerto+Peñasco,+Son./83566+La+Pinta,+Son./@31.2906036,-113.280805,13z/data=!4m14!4m13!1m5!1m1!1s0x812b0df9e669a931:0xf40bc7754d015bf8!2m2!1d-113.2704875!2d31.3072849!1m5!1m1!1s0x812b0d281b551e99:0x4e526ad2f02ae8c7!2m2!1d-113.2166666!2d31.263611!3e0?entry=ttu>
- 129) <https://www.bnamericas.com/es/noticias/consorcio-hispanochileno-obtiene-contrato-para-planta-desaladora-en-atacama>
- 130) <https://app.cfe.mx/Aplicaciones/OTROS/Boletines/boletin?i=2502#:~:text=Los%20estados%20de%20país%20beneficiados,%2C%20Puebla%2C%20Veracruz%20y%20Michoacán.>
- 131) <https://propiedades.com/inmuebles/terreno-industrial-en-venta-bc-4-alberto-oviedo-motabaja-california-23714185#tipos=terrenos-industriales-venta&area=mexicali&pos=10>
- 132) <https://insideevs.com/news/320765/quant-e-sportlimousine-debuts-at-geneva-motor-show-range-of-373-miles/>
- 133) <https://www.youtube.com/watch?v=9u8p25vtFvA>
- 134) <https://www.taaetcom.app.exur.com/news-taaet-blog/bateria-hibrida-highlander>.
- #1, E. F. (14 de Octubre de 2019). *NO + CARBÓN*. Obtenido de NO + CARBÓN: [https://www.terram.cl/carbon/wp-content/uploads/sites/2/2015/09/ENDCOAL\\_SPANISH\\_factsheet1\\_LOWRES.pdf](https://www.terram.cl/carbon/wp-content/uploads/sites/2/2015/09/ENDCOAL_SPANISH_factsheet1_LOWRES.pdf)
- Angulo, G. L. (2014). *Guia de la energia Geotermica*. Madrid, España: EM La suma de todos.
- Asian Development Bank. (2018). *HANDBOOK ON BATTERY ENERGY STORAGE SYSTEM*. Mandaluyong, Filipinas: Asian Development Bank.
- Banco Mundial. (01 de Diciembre de 2017). *Banco Mundial*. Obtenido de Banco Mundial : <https://www.bancomundial.org/es/results/2017/12/01/geothermal>
- Brenda Camarillo. (19 de Agosto de 2021). De la energía solar al hidrógeno de bajo costo. *De la energía solar al hidrógeno de bajo costo*, pág. 2.

- Canizales, J. D. (12 de Diciembre de 2021). *blogspot.com*. Obtenido de *blogspot.com*:  
<https://juandavidcanizales.blogspot.com/2012/11/rudolf-diesel-desarrollo-la-idea-del.html>
- Chateau de compiegne. (25 de Febrero de 2020). *Chateau de compiegne*. Obtenido de Chateau de compiegne: <https://chateaudecompiegne.fr/collection/objet/automobile-vapeur-la-mancelle>
- Chateau de Compiegne. (25 de Febrero de 2020). *chateaudecompiegne*. Obtenido de chateaudecompiegne: <https://chateaudecompiegne.fr/collection/objet/automobile-vapeur-la-mancelle>
- David López Aparicio. (1984). *Gran Enciclopedia de la Electronica*. Madrid, España: Ediciones Nueva Lente.
- EG&G Technical Services, Inc. (2004). *Fuel Cell Handbook*. Morgantown, West Virginia: U.S. Department of Energy.
- en, C. y. (2010). *Ángela Viviana Bohóquez Lozano y Diana Carolina Lugo Alvarado*. Bogota, Colombia.: D. C.
- Falcón, M. S. (08 de Junio de 2020). *Ecologia Verde*. Obtenido de Ecologia Verde: <https://www.ecologiaverde.com/como-se-forma-el-carbon-2747.html>
- FAO. (12 de 12 de 2008). *FAO*. Obtenido de FAO: <https://www.fao.org/3/i0100s/i0100s05.pdf>
- Fernández, R. (09 de 09 de 2023). *Demanda diaria de petróleo crudo a nivel mundial*. Obtenido de Statista: <https://es.statista.com/estadisticas/600689/demanda-mundial-diaria-de-petroleo-crudo/#:~:text=En%202021%2C%20la%20demanda%20diaria,6%20barriles%20diarios%20en%202023.>
- Gil, A. (13 de Abril de 2021). *EOM*. Obtenido de EOM: <https://elordenmundial.com/mapas-y-graficos/potencial-energia-solar-pais/>
- Jofré, P. I. (2009). *EFECTO DE LA UTILIZACIÓN DE BIODIESEL SOBRE LAS EMISIONES DE VEHÍCULOS PESADOS*. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- José Antonio Carta González, R. C. (2009). Centrales de energías renovables. Generación eléctrica con energías limpias. En R. C. José Antonio Carta González, *Centrales de energías renovables. Generación eléctrica con energías limpias*. (pág. 533 a 534). Madrid: PEARSON EDUCACIÓN, S.A.
- Laborda, J. M. (2006). *Informe de vigilancia tecnologica; biocarburantes liquidos: biodiésel y etanol*. Madrid, España: Citme.
- Losa, J. C. (12 de Diciembre de 2014). *Instrumentacion hoy*. Obtenido de Instrumentacion hoy: <https://instrumentacionhoy.blogspot.com/2014/12/disenio-de-una-planta-de-energia-equipos.html>
- lyondellbasell. (22 de Mayo de 2015). *lyondellbasell.com*. Obtenido de lyondellbasell.com: <https://www.lyondellbasell.com/48f322/globalassets/documents/chemicals-technical-literature/Cleaner-Fuels-for-Latin-America-with-MTBE-and-ETBE-Spanish>
- Madrid, A. (2009). *Energias Renovables*. Madrid: AMV EDICIONES.

Martin, J. (29 de Diciembre de 2020). *Eventos Motor*. Obtenido de Eventos Motor: <https://www.eventosmotor.com/blog-premium/la-jamais-contente-electrico-record-velocidad-1899/>

Mundo, B. N. (01 de Abril de 2019). *BBC News Mundo*. Obtenido de BBC News Mundo: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-47748488>

petroleo, F. d. (20 de Marzo de 2023). *infogram*. Obtenido de infogram: <https://infogram.com/formas-de-extraccion-del-petroleo-1h7j4dk0n83m6nr>

Solé, A. C. (2014). *Energías Renovables*. Bogota Colombia: Cano Pina.

Solis, A. (01 de 01 de 2022). *Bloomerg Línea*. Obtenido de Bloomerg Línea: <https://www.bloomerglinea.com/2022/05/03/cuantas-reservas-de-petroleo-y-gas-tiene-en-total-mexico/>

Steam Car. (09 de Septiembre de 2019). *Steam Car*. Obtenido de Steam Car: <https://adityacars.car.blog/2019/09/09/nicolas-joseph-cugnot/>

Suárez, P. L. (17 de Enero de 2022). *Gaceta UNAM*. Obtenido de Gaceta UNAM: <https://www.gaceta.unam.mx/mexico-entre-los-cinco-paises-que-tienen-mayor-potencial-de-energia-solar/>

Torroba, M. A. (2020). *Atlas de los biocombustibles líquidos 2019-2020*. San José, Costa Rica: IICA.

UNFCCC. (06 de Enero de 2021). *UNFCCC*. Obtenido de UNFCCC: <https://unfccc.int/es/acerca-de-las-ndc/el-acuerdo-de-paris>

Valecillos, B. C. (2009). *Celdas de combustible*. Mérida, Yucatan.: Universidad de los Andes.

Varsky, H. Z. (05 de Octubre de 2022). *CNN Español*. Obtenido de CNN Español: <https://cnnespanol.cnn.com/2022/10/05/petroleo-productores-consumidores-orix/>

Westbrook, M. H. (2001). The Electric Car. En M. H. Westbrook, *The Electric Car* (pág. 223). Londres, Inglaterra: IET.

Zarza, L. F. (21 de Marzo de 2020). *iagua*. Obtenido de iagua: <https://www.iagua.es/respuestas/cuantos-tipos-agua-hay>

(21 de junio de 2018). *Autonoción.com*. Obtenido de Autonoción.com: <https://www.autonocion.com/quien-invento-el-coche/>

Auto, H. d. (17 de 03 de 2019). *Parabrisas*. Obtenido de Parabrisas: <https://parabrisas.perfil.com/noticias/hombres-de-auto/gottlieb-daimler-un-pionero-de-la-industria-automotriz.phtml>

Benz, M. (15 de 01 de 2021). *Mercedes Benz*. Obtenido de Mercedes Benz: <https://www.mercedes-benz.com/>

Blazquez, L. (25 de 07 de 2021). *Noticias.coches.com*. Obtenido de Noticias.coches.com: [c/noticias-motor/primer-camion-diesel-daimler-1923/428958?foto=5](https://www.noticias-coches.com/noticias-motor/primer-camion-diesel-daimler-1923/428958?foto=5)

- Britannica. (28 de septiembre de 2022). *Britannica*. Obtenido de Britannica:  
<https://www.britannica.com/biography/Nicolas-Joseph-Cugnot>
- Camos, J. (12 de marzo de 2019). *Motorpasión*. Obtenido de Motorpasión:  
[motorpasion.com/industria/100-anos-de-ford-en-cadena-o-cuando-ford-reinvento-la-industria](http://motorpasion.com/industria/100-anos-de-ford-en-cadena-o-cuando-ford-reinvento-la-industria)
- Corporation, T. M. (15 de 03 de 2021). <https://www.toyota.es/world-of-toyota/nuevo-toyota-mirai>.  
Obtenido de <https://www.toyota.es/world-of-toyota/nuevo-toyota-mirai>:  
<https://www.toyota.es/world-of-toyota/nuevo-toyota-mirai>
- Cucalón, A. (01 de octubre de 2021). *Mundo Diners*. Obtenido de Mundo Diners:  
<https://revistamundodiners.com/quien-invento-automovil/>
- Desantes, P. F. (2015). *Motores de combustión interna alternativos*. Valencia, España: Reverté.
- Juárez, M. (25 de mayo de 2018). *Motorpasion.com*. Obtenido de Motorpasion.com:  
<https://www.motorpasion.com.mx/industria/general-motors-ev1-asi-fue-el-primer-coche-electrico-fabricado-en-masa>
- Navarro, F. (12 de abril de 2022). *Muy Interesante*. Obtenido de Muy Interesante:  
<https://www.muyinteresante.es/historia/36380.html>
- Pérez, M. A. (01 de 04 de 2014). <https://blogthinkbig.com>. Obtenido de <https://blogthinkbig.com>:  
<https://blogthinkbig.com>
- Sadurni, J. (04 de abril de 2022). *Historia National Geographic*. Obtenido de Historia National Geographic: [https://historia.nationalgeographic.com.es/a/henry-ford-revolucion-industria-automovil\\_17863](https://historia.nationalgeographic.com.es/a/henry-ford-revolucion-industria-automovil_17863)
- 5-Strickland, E. (26 de agosto de 2009). *Discovermagazine*. Obtenido de Discovermagazine:  
<https://www.discovermagazine.com/technology/steam-powered-car-breaks-a-century-old-speed-record>
- Summum, A. (28 de Julio de 2019). *ABC Summum*. Obtenido de ABC Summum:  
[https://www.abc.es/summum/motor/abci-coches-electricos-importantes-historia-302814339219-20190728014110\\_galeria.html](https://www.abc.es/summum/motor/abci-coches-electricos-importantes-historia-302814339219-20190728014110_galeria.html)