

MÓDULO 3

ENERGÍA FÓSIL

ENERGÍA FÓSIL

1. INTRODUCCIÓN

Desde el principio de la era humana, se han utilizado combustibles, que en presencia de oxígeno arden, generando calor. El combustible que en un principio se utilizaba provenía de lo que generaba la Tierra: ramas, madera, excrementos secos, yesca, hojas secas, carbón, petróleo y sus derivados, así hasta las llamadas nuevas fuentes de energía. Estas fuentes de energía pueden ser de origen renovable o no renovable. En la actualidad, se utilizan como fuentes de energía tanto los combustibles fósiles (fuentes de energía no renovables) como las fuentes de energía renovables. Los combustibles fósiles provienen en su mayor parte de depósitos de organismos biológicos fósiles formados durante miles o millones de años, por lo que se componen mayoritariamente de cadenas de carbono, hidrógeno y oxígeno. Estas fuentes existen en capas profundas de la tierra y los sumideros, como el aire y el agua, absorben los productos residuales de estos combustibles fósiles.

Actualmente, la quema del petróleo es responsable de 30 % de las emisiones de dióxido de carbono en aire. El gas natural no libera dióxido de carbono debido a su estructura de metano. La combustión del carbón puede dar como resultado fuegos en las capas subterráneas de la tierra que son virtualmente imposibles

de extinguir o polvo de carbón, que puede explotar. El petróleo puede acabar en el suelo o en el agua en forma cruda, causando grandes desastres naturales en el planeta. Algunos científicos medioambientalistas vaticinan que los precios de los combustibles fósiles aumentarán con el tiempo debido a que no es renovable, lo que puede llegar a causar escasez en el mercado.

Por ello, es necesario hacer una profunda reflexión sobre la elección óptima de los recursos energéticos existentes en cada zona, teniendo en cuenta las ventajas para las viviendas y edificios, el ahorro económico y energético y el aumento del bienestar de los consumidores por una mejora en su calidad de vida.

A su vez existen diferentes motivos por lo que se considera la alternativa de las energías renovables. Por un lado, la necesidad de una independencia energética, con la opción de reducir las importaciones de los combustibles convencionales y, por otro, la reducción necesaria e imperativa de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Las emisiones de dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), óxidos de azufre (SO_x) y otros, responsables de la lluvia ácida, del efecto invernadero y, en definitiva, del calentamiento global del planeta contribuyen al cambio climático, difícilmente recuperable si no existe una actuación política decidida en materia energética.

Las soluciones tomadas dependen de los diferentes países y de sus diversos niveles de degradación medioambiental, cuyo compromiso estriba en trabajar por las energías renovables, cada uno según sus recursos y sus competencias.

Teniendo en cuenta los numerosos obstáculos a franquear: políticos, económicos o la resistencia al cambio tecnológico, es necesaria una toma de conciencia de que tanto el antiguo como el actual abanico de fuentes energéticas, combustibles fósiles como el carbón, el petróleo y el gas natural, debe en lo posible ser reemplazado por las actuales y futuras fuentes de energías renovables y combustibles verdes como la energía eólica, la energía solar fotovoltaica, la energía solar térmica, la energía geotérmica, la biomasa, las energías marinas, la energía procedente de las pilas de combustible, en especial las de hidrógeno, la energía minihidráulica y la energía de poligeneración¹, o el uso de la electricidad, todas ellas más enriquecedoras al incorporar nuevas tecnologías.

En España, por su singular situación geográfica y unos excelentes recursos naturales, tiene una clara ventaja comparativa con respecto a otros países del entorno en el posible aprovechamiento de nuevas fuentes de energía provenientes del sol, del mar y del viento. Al mismo tiempo, otras fuentes de energía alternativas son también susceptibles de poder ser consideradas.

¹ La poligeneración busca el máximo aprovechamiento de los recursos consumidos en una planta mediante la producción eficiente de varios productos y utilizando técnicas de integración energética de procesos.

Este es el caso de la utilización de la energía geotérmica en las regiones españolas adecuadas para ello, las pilas de combustible, en especial las de hidrógeno, por su especial contribución al medio ambiente, y la potenciación, si cabe, de la energía hidráulica que, aunque en España ya se ha utilizado tradicionalmente desde hace tiempo, es una energía limpia que se podría utilizar en mayor cantidad y mayor eficiencia, aprovechando las nuevas tecnologías como es el caso de la energía minihidráulica.

En el mismo sentido, el uso de las nuevas tecnologías en Europa, han derivado la energía eólica en energía minieólica y microeólica.

España ha realizado un gran esfuerzo económico en el cambio de las energías fósiles a renovables durante los últimos años, justamente en un momento donde la crisis financiera viene afectando a la generalidad de todos los países europeos.

Todas estas consideraciones han hecho que España destaque en Europa como el segundo país líder en energías renovables (Alemania, España e Italia), y que se sitúe dentro del ranking de los 10 países más destacados a nivel mundial (USA, China, Japón, Alemania, España, Italia, Brasil, India, Canadá y Reino Unido), como el quinto país líder en energías renovables.

Se estima que, en la actualidad, tan solo el 5 % de la energía que se utiliza procede de fuentes renovables. Es una cifra bastante similar a la media de la Unión Europea, por lo que se considera que se trata de un problema estructural y no tanto

particular. Sin embargo, el resto de los países vecinos sí que han empezado a implantar políticas que favorecen el desarrollo sostenible y renovable, algo que todavía no ha empezado a pasar en España.

A este respecto, la situación se encuentra relativamente estancada. Dentro del marco general de políticas ambientales de la Unión Europea, hace poco más de ocho años que se empezó a avanzar en este sentido. Fijando el foco de atención en diferentes centros geográficos que podían funcionar como fuentes de energías renovables.

En España, la energía hidroeléctrica es la que mayor presencia tiene en el país. La potencia es de, aproximadamente de unos 20.000 MW de potencia. La energía solar apenas llega a los 7.000 MW de potencia, y la eólica, genera, aproximadamente, unos 23.000 MW de potencia, se estima que es una de las que mayor recorrido tiene. El resto de las energías renovables no son destacables, en cuanto a potencia se refiere.

Todos los datos parecen indicar que esta tendencia terminará por revertirse con el paso del tiempo. Al atender a los planes energéticos de la Unión Europea, incrustados ahora en el marco estratégico posterior al tratado de París, se vaticina un incremento en la utilización de las energías renovables.

Globalmente, las renovables son una forma energética mucho más barata. Y países como Dinamarca, México o los Emiratos Árabes, están empezando a invertir en este tipo de gestiones. No solo los políticos sino también los empresarios y, en líneas

generales, la sociedad, empiezan a pedir un giro en este tipo de comportamientos comunes.

El sector de las energías renovables es un sector pendiente de variaciones para poder cumplir con los objetivos europeos, según datos de la APPA (Asociación de Empresas de Energías Renovables). Existen negociaciones sobre la Nueva Directiva de Renovables 2020-2030 y trabajos sobre la futura Ley de Cambio Climático y Transición Energética, algo muy necesario para que la normativa de autoconsumo se adapte a las necesidades actuales.

Además, todo apunta a que el sector de las energías renovables se reactivará por las subastas e incremento de las inversiones.

También algunas consecuencias de la sequía sufrida desde el 2017 han sido la causa de una mayor producción de otras tecnologías renovables como la eólica y la fotovoltaica (-5,4% global y -47,5 % generación hidráulica).

Por último, el consumo de biocarburantes siguió el alza en 2017 aunque estuvo muy por debajo de 2010.

Dado el nivel de desarrollo económico español es razonable pensar que se pueden seguir realizando las pertinentes inversiones en las fuentes de energía renovables, con el objeto de minorar el gasto y la dependencia con el exterior en cuanto a las energías convencionales provenientes de combustibles fósiles. Es por lo que urge la elaboración de un programa eficiente técnico, económico y medioambiental.

Por otro lado, es muy importante tener claro algunos conceptos básicos para comprender todo lo correspondiente a los aspectos energéticos.

Conceptos básicos

- **Potencia instalada:** Es la capacidad máxima de generación eléctrica, es decir, es la suma de todas las potencias de todos los aparatos eléctricos que se va a utilizar, ya sea en un edificio, una fábrica, una ciudad o un país. Cuanto mayor sea la potencia instalada, mayor es la capacidad que se tiene para producir energía si las condiciones son las óptimas.

No es lo mismo la potencia instalada que la energía producida; Se puede tener miles de MW de potencia instalada de cualquier tipo de energía, pero si las condiciones no son las oportunas, pudiera ocurrir que no se produjera ni un kWh de energía. El aumento de la potencia instalada implicaría un posible aumento de la satisfacción de la demanda energética.

- **Potencia a contratar o potencia efectiva:** Es la potencia eléctrica que el suministro puede atender.
- **Energía vendida:** Es la parte de energía ya facturada o pendiente de facturar.
- **Retribución total:** Es el producto de la energía vendida por el precio medio de liquidación de mercado en c€/kWh.
- **Régimen especial:** Es aquel que, como complemento al Régimen Ordinario, se aplica en España a la evacuación de energía eléctrica a las redes de distribución y transporte

procedente del tratamiento de residuos, de las fuentes renovables y de cogeneración.

En España, los productores de electricidad en régimen especial pueden vender su energía excedente o su producción a tarifa regulada (cuando ceden la energía al distribuidor), o en el propio mercado, bien directamente o a través de un representante.

- **Potencia instalada de EERR (Energías Renovables) por superficie (P_i/S):** Indica el posible grado de actividad energética de una zona, de manera que cuanto mayor es dicha relación, mayor es la posibilidad de generación de energía si las condiciones son las óptimas. A mayor valor del indicador mayor importancia de la zona en cuanto a desarrollo de la potencia energética instalada.
- **Potencia instalada de EERR por habitante (P_i/H):** Indica el posible grado de bienestar puesto que habrá una mayor generación de energía por habitante sin detrimento del medio ambiente. Este indicador nos advierte de la presencia e importancia de las energías renovables. Se trata de un indicador ambiental o de sostenibilidad.

2. ENERGÍAS FÓSILES

Los combustibles fósiles emiten a la atmósfera grandes cantidades de CO₂ durante la combustión, siendo estas emisiones las principales causantes del calentamiento global, lo que provocan serios daños en el medio ambiente.

Hoy en día seguimos utilizamos como mayores recursos energéticos aquellos provenientes de combustibles fósiles. La producción de energía en el mundo proviene, aproximadamente, en un 86% de combustibles fósiles.

Se estima que los combustibles fósiles se podrían extinguir en, aproximadamente, unos 200 años, aunque es difícil estimar la fecha real de su completa extinción.

Numerosos científicos coinciden en la idea de que tanto el descubrimiento de nuevos yacimientos de hidrocarburos como la extracción de los hidrocarburos, obedecen a una tendencia que muestra la siguiente figura, conocida como teoría del Pico de Hubbert, teoría acerca de la tasa de agotamiento a largo plazo del petróleo, así como de otros combustibles fósiles (ver Figura 1).

La teoría del pico de Hubbert, también conocida como cenit del petróleo, petróleo pico o agotamiento del petróleo, es una teoría acerca de la tasa de agotamiento del petróleo, y de otros combustibles fósiles a largo plazo.

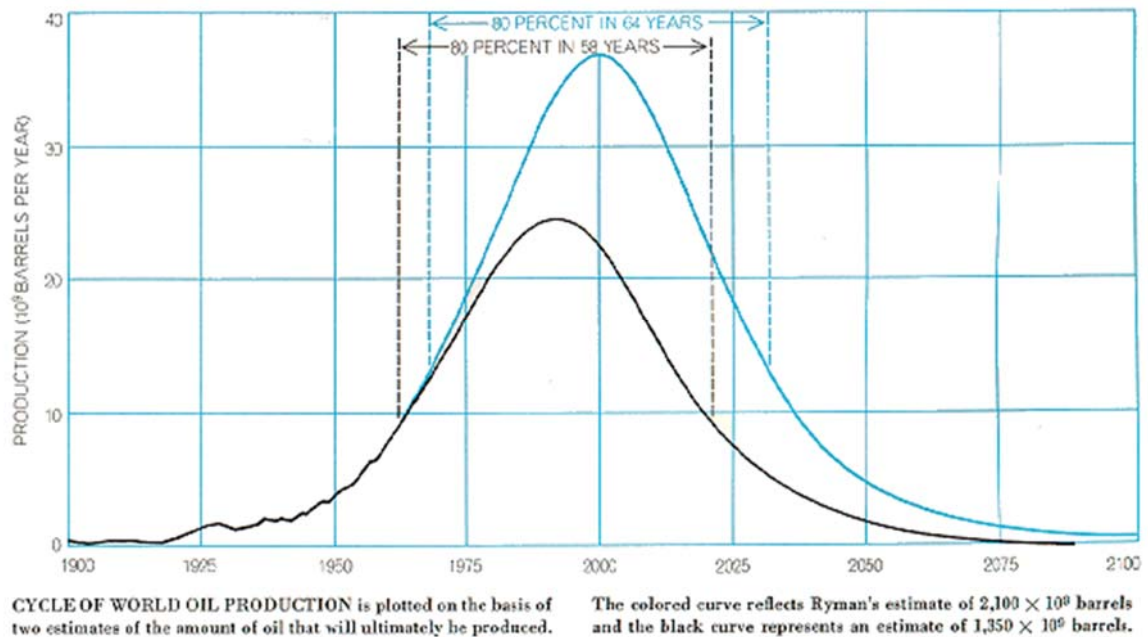


Figura 1: La curva estándar de Hubbert. Para las aplicaciones, las escalas x e y se reemplazan por las escalas de tiempo y producción.

Fuente: Energy and Power

Es ampliamente aceptado que el petróleo es un recurso finito; Hay leyes básicas que describen el agotamiento de cualquier recurso finito:

- La producción comienza en cero.
- La producción entonces se eleva a un pico que nunca puede ser superado.
- Una vez que se ha pasado el pico, la producción disminuye hasta que el recurso se agota.

Estas sencillas reglas fueron descritas por primera vez en la década de 1950 por el Dr. M. King Hubbert, y se aplican a cualquier sistema relevante, incluido el agotamiento de los recursos petroleros mundiales.

Así, la elección de una curva particular determina un punto de producción máxima en función de las tasas de descubrimiento, de las tasas de producción y de la producción acumulada.

En la figura 2 se observa que, al principio de la curva, antes del pico, la tasa de producción aumenta debido a la tasa de descubrimiento y la adición de infraestructura. Al final de la curva, después del pico, la producción disminuye debido al agotamiento de los recursos.

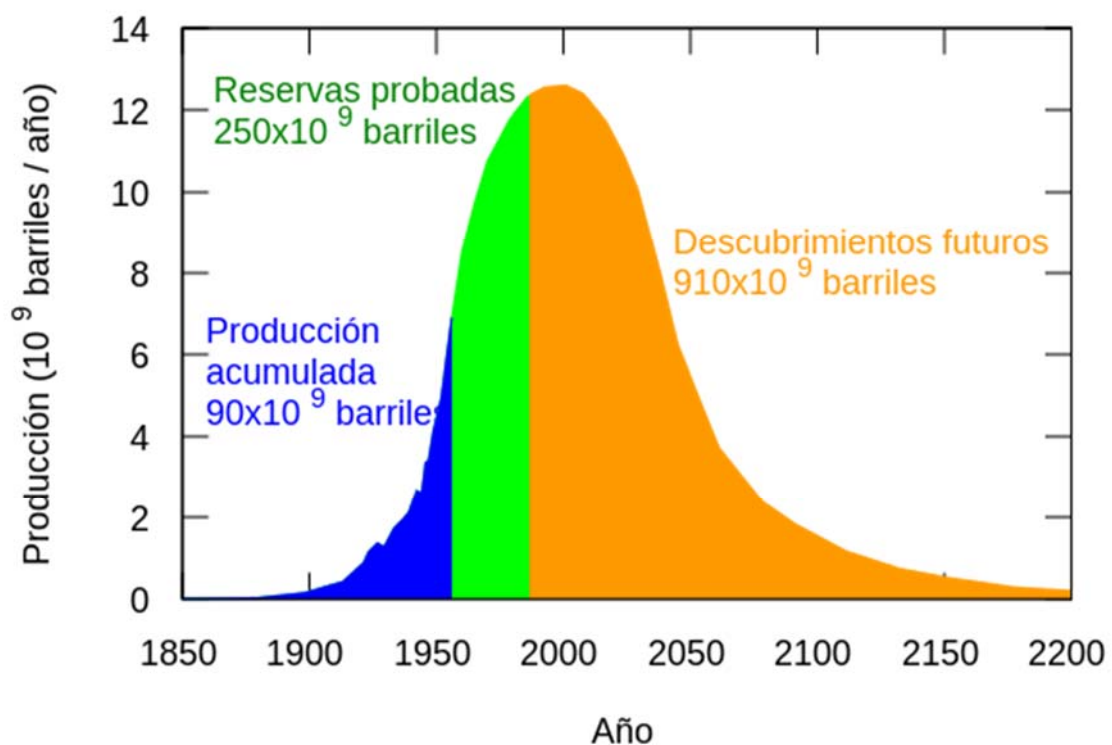


Figura 2: Curva de producción del petróleo de Hubbert.

Fuente: Wikipedia

La teoría del pico de Hubbert dice que, para cualquier área geográfica dada, desde una región productora de petróleo individual hasta el planeta en su conjunto, la tasa de producción de petróleo tiende a seguir una curva en forma de campana.

Es una de las principales teorías sobre el pico del petróleo. Se basa en la observación de que la cantidad de petróleo bajo tierra en cualquier región es finita, por lo tanto, la tasa de descubrimiento que inicialmente aumenta rápidamente debe alcanzar un máximo y disminuir.

Esta teoría predice que la producción mundial de petróleo llegará a su cenit o punto máximo, para después declinar tan rápido como creció, resaltando el hecho de que el factor limitador de la extracción de petróleo es la energía requerida y no su coste económico. Aun siendo controvertida, esta teoría es ampliamente aceptada entre la comunidad científica y la industria petrolera.

El debate no se centra en si existirá un pico del petróleo sino en qué momento ocurrirá, ya que es evidente que el petróleo es un recurso finito y no renovable en escalas cortas de tiempo por lo que en un momento u otro se llegará al límite de extracción.

Esto depende de los posibles descubrimientos de nuevas reservas de petróleo, del aumento de la eficiencia de los yacimientos actuales, de la extracción profunda o de la explotación de nuevas formas de petróleo no convencionales.

El año exacto del pico no ha sido establecido con precisión, si bien la Agencia Internacional de la Energía (AIE) hizo público en noviembre de 2010, que la producción de petróleo crudo llegó a su pico máximo en 2006.

Las predicciones del gobierno de los EE. UU. para la producción de petróleo distintas a las de la OPEP y la antigua Unión Soviética en el período 1900-2010 se observan en la figura 3.

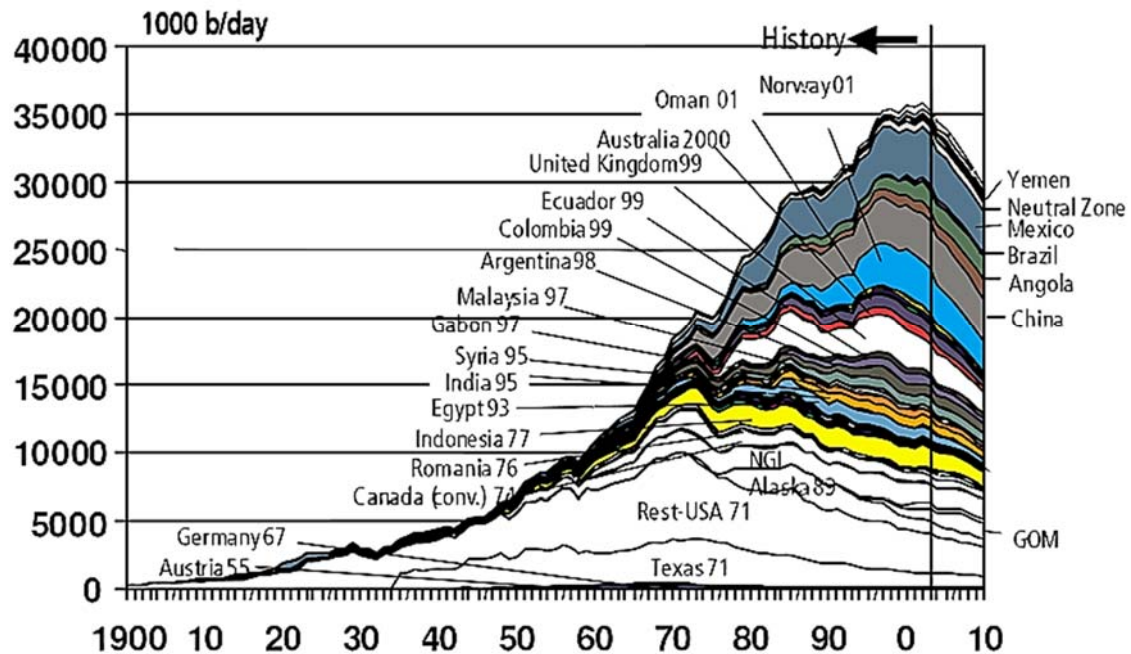


Figura 3: Predicciones del gobierno de los EE. UU. para la producción de petróleo distintas a las de la OPEP y la antigua Unión Soviética en el período 1900-2010.

Fuente: Industry Database

Basándose en los datos actuales de producción, la Asociación para el Estudio del Pico del Petróleo y el Gas (ASPO en inglés), considera que el pico del petróleo habría ocurrido en 2010, mientras que el del gas natural ocurriría algunos años más tarde. Por el contrario, las estimaciones de los más optimistas arrojan reservas para al menos 100 años más.

Este hecho implicaría importantes consecuencias para los países desarrollados, que dependen en gran medida de petróleo barato y abundante, especialmente para el transporte, la agricultura, la industria química y la calefacción doméstica.

Gran parte de la industria petrolera y de los automóviles afirma que la teoría de Hubbert es falsa o, como mínimo, la omiten y ocultan. Algunos críticos economistas afirman que la escasez motivará la búsqueda de nuevos descubrimientos y que las reservas se incrementarán por encima de lo predicho por Hubbert. Pero incluso en la versión más optimista, la limitación de los recursos petroleros pone una fecha límite a la extracción barata de ese recurso.

Nadie parece negar la existencia de un techo de producción, pero pocos son los gobiernos y empresas que hasta ahora lo han mencionado abiertamente.

La llegada de ese pico de extracción hace pensar en un sombrío futuro en el que la humanidad tendrá que sobrevivir sin la principal fuente de energía que la ha hecho crecer y prosperar durante todo el siglo XX.

Un creciente número de expertos creen que el pico de producción, de hecho, ya ha llegado. Después del huracán Katrina, Arabia Saudita admitió que no podía incrementar su producción para atenuar la crisis por las pérdidas en la producción y el refino sufridas en la zona del Golfo de México.

Muchos piensan que estamos ante el inicio de la crisis definitiva del petróleo, porque será la última y la que obligará a efectuar los mayores ajustes y recortes en su consumo.

La crisis no se limita sólo al petróleo, sino también al gas, pues su pico de producción no sucederá mucho después que el del

petróleo. A pesar de todo, cabe esperar que a falta de esos recursos se inicie la explotación de los depósitos de metano en vetas de carbón.

Las energías renovables son fuentes naturales consideradas inagotables, como el viento o el sol. Por tanto, son mucho más respetuosas con el medio ambiente. Al contrario que con los combustibles fósiles, no son contaminantes, representan la alternativa más limpia frente al uso de combustibles fósiles y no generan gases de efecto invernadero.

La energía fotovoltaica es una fuente de energía que produce electricidad de origen renovable. Es la transformación directa de la radiación solar en electricidad en forma de corriente continua.

La radiación solar es captada por unos dispositivos semiconductores denominados células fotovoltaicas, que tienen la propiedad de absorber fotones de luz y emitir electrones.

Cuando estos electrones libres son conducidos se obtiene una corriente eléctrica denominada electricidad. Por lo tanto, la energía fotovoltaica es una energía renovable porque procede de una fuente inagotable de energía, el sol, resultando un recurso limpio, sostenible y gratuito.

La energía eólica se obtiene a partir del viento. Es uno de los recursos más antiguos que la humanidad ha usado. Mediante la energía eólica conseguimos convertir la energía que producen las palas de los aerogeneradores gracias a la fuerza del viento

en energía eléctrica, los aerogeneradores transforman la energía cinética del viento en energía mecánica.

Se trata de una fuente inagotable, que no contamina y que contribuye al desarrollo sostenible.

Otras energías como la biomasa, el biogás y los sistemas de energía termosolar y energía minihidráulica, completan el plantel de fuentes de energía renovable.

Hoy, las industrias de combustibles fósiles perforan o extraen estas fuentes de energía, las queman para producir electricidad o las refinan para usarlas como combustible para calefacción, refrigeración, climatización, agua caliente sanitaria, producción de energía mecánica o transporte.

En la figura 4 se muestran los porcentajes de energías fósiles y renovables en España.

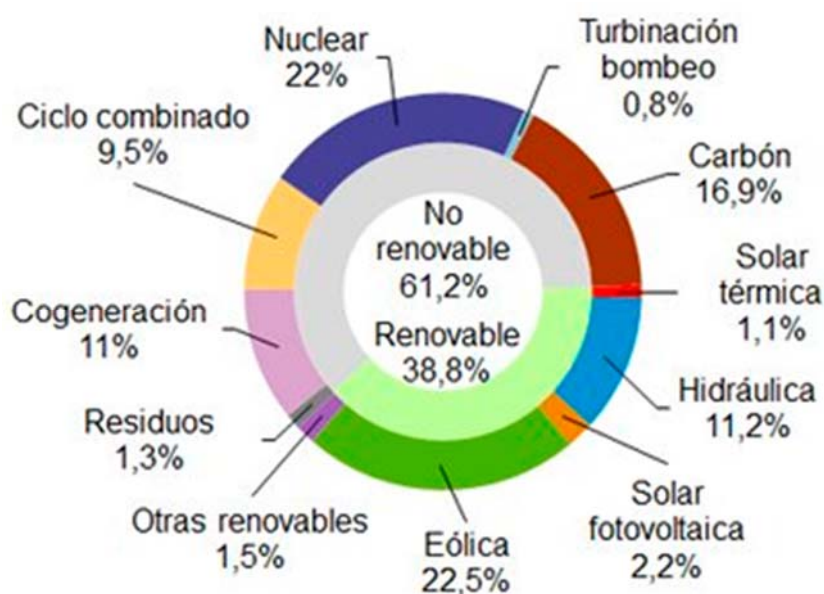


Figura 4: Porcentajes energías renovable y no renovable en España

Fuente: Red Eléctrica de España

En los últimos 20 años, casi tres cuartas partes de las emisiones causadas por el hombre provienen de la quema de combustibles fósiles.

Existen tres tipos principales de combustibles fósiles:

- **El carbón**, que se forma a partir de helechos, plantas y árboles que se endurecieron debido a la presión y el calor.
- **El petróleo**, que se forma a partir de organismos más pequeños, como el zooplancton y las algas. Intensas cantidades de presión causaron que esta compleja materia orgánica se descompusiera en petróleo.
- **El gas natural**, que se somete al mismo proceso que el petróleo; sin embargo, el proceso es más largo y está sujeto a mayores cantidades de calor y presión, lo que provoca una mayor descomposición.

Este último se considera en la actualidad como energía alternativa, por lo que se sitúa en el rango intermedio entre energía fósil y renovables. Continúa el concepto en discusión entre los expertos. Se tratará como energía alternativa.

En diferentes lugares del mundo se mantienen reservas de petróleo auxiliar; se asegura el desarrollo responsable de los recursos de petróleo y gas y se ejecutan las responsabilidades regulatorias del gas natural.

Además, los científicos están desarrollando tecnologías para reducir las emisiones de carbono y garantizar que las fuentes de

energía fósil desempeñen un papel en el futuro de la energía limpia en el mundo.

Los combustibles fósiles son la fuente de energía dominante en el mundo, representando el 82% del suministro mundial de energía. Los países que no pertenecen a la OCDE poseen la mayoría de las reservas probadas para todos los combustibles fósiles.

Estas fuentes de energía han impulsado y continúan impulsando la industrialización de las naciones. Tienen una variedad de aplicaciones, desde la producción de electricidad hasta la obtención de combustible para el transporte.

Además, los combustibles fósiles son necesarios para la producción de una variedad de productos comunes, como pinturas, detergentes, polímeros, incluidos los plásticos, cosméticos y algunos medicamentos.

Algunos combustibles fósiles, como el carbón, son una forma de energía abundante y barata. Otros, como el petróleo, tienen un coste variable dependiendo de la ubicación geográfica. Por esta razón, surgen problemas geopolíticos debido a la asignación geográfica de estos recursos altamente valiosos.

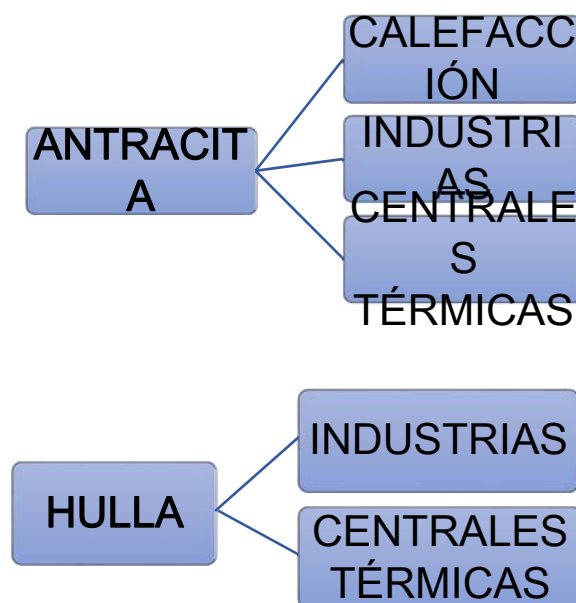
Los combustibles fósiles son recursos no renovables, ya que han tardado millones de años en formarse y no se pueden reponer. El agotamiento gradual de las reservas convencionales de combustibles fósiles ha llevado a las empresas a desarrollar reservas de energías alternativas más desafiantes. Estos

recursos no convencionales suelen tener mayores costes de producción y un mayor riesgo de impacto ambiental.

2.1. CARBÓN

De los combustibles fósiles existentes, el carbón es el único que se encuentra en estado sólido. El carbón se compone de cinco elementos diferentes: carbono, nitrógeno, oxígeno, hidrógeno y azufre, y la distribución de esos cinco elementos varía según el tipo de carbón.

El contenido más alto en energía lo tiene el carbón de antracita, que tiene mayor dureza y una mayor distribución de carbono que las otras variedades. Los otros dos tipos de carbón, que son lignito y esquisto bituminoso no son tan ricos en energía, pero tienen otros usos. El lignito tiene un alto contenido en oxígeno e hidrógeno en lugar de carbono, mientras que el esquisto bituminoso ocupa una especie de intermedio entre los dos extremos (Ver Figura 5).



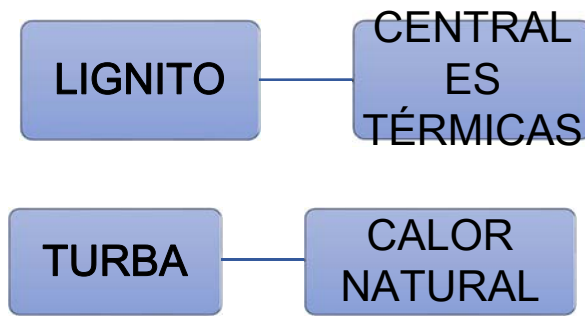


Figura 5: Porcentajes energías renovable y no renovable en España.

Fuente: Elaboración propia.

El carbón es una roca combustible de color negro o marrón oscuro cuyo componente principal es el carbono.

El carbón se clasifica en cuatro tipos principales, o rangos, en función del contenido de carbono y de la capacidad calorífica que posea cada tipo.

La regla general es que cuanto más alto es el rango del carbón, más limpia es su combustión y más versátil es su uso. Estos son:

- **Lignito:** Se compone de 25% a 35% de carbono, también conocido como carbón pardo, es el rango más bajo de carbón y se utiliza casi exclusivamente como combustible para la generación de energía eléctrica.
- **Carbón sub-bituminoso:** Compuesto por 35% a 45% de carbono, las propiedades van desde las del lignito hasta las del carbón bituminoso. Se utiliza principalmente como combustible para la generación de energía eléctrica.

Este carbón generalmente tiene un contenido de azufre más bajo que otros tipos, lo que lo hace atractivo para su uso porque su combustión es más limpia.

- **Carbón bituminoso:** Su composición oscila entre el 45% y el 86% de carbono, de color negro y, a veces, marrón oscuro, a menudo con bandas bien definidas de material brillante y mate. Se utiliza principalmente como combustible en la generación de energía eléctrica, con cantidades sustanciales también utilizadas para aplicaciones de calor y energía en la industria y para convertirse en coque para la fabricación de acero.
- **Carbón antracita:** Está compuesto por un 86% a un 97% de carbono, se trata de un carbón de color negro, duro y brillante que se usa para calefacción, combustión y para la fabricación de acero.

El carbón se extrae de la tierra a través de la minería subterránea o la minería de superficie. La elección del método de minería está determinada en gran medida por la geología del depósito de carbón y su distancia a la superficie.

La minería subterránea representa actualmente una mayor proporción de la producción mundial de carbón que de la minería de superficie.

El carbón puede quemarse para calefacción, combustión o producción de electricidad. Para convertir el carbón térmico en electricidad, primero se machaca para obtener un polvo fino, aumentando su superficie y permitiendo que se caliente más rápidamente.

Los gases calientes y la energía térmica producida por la combustión convierten el agua en vapor para hacer funcionar una turbina y un generador.

El carbón de alta calidad es una materia prima muy útil, ya que puede convertirse en coque para la fabricación de acero. El carbón también puede convertirse en gas líquido o sintético mediante procesos químicos avanzados, lo que lo convierte en un posible, aunque costoso, reemplazo del gas natural o combustibles líquidos para el transporte.

El carbón es un recurso energético muy abundante y barato. Ha impulsado la industrialización de muchas naciones a lo largo de la historia y continúa hasta hoy.

El carbón es un combustible muy importante en el sistema energético actual, ya que proporciona el 40% de la electricidad del mundo.

Una preocupación importante son las prácticas mineras utilizadas para extraer este recurso. Los impactos ecológicos y los problemas de seguridad humana, tanto para los trabajadores como para las comunidades vecinas, son preocupaciones cada vez mayores para la industria.

El carbón es el combustible fósil que consume más CO₂ cuando se quema porque está compuesto principalmente de carbono, también contiene otros elementos que causan problemas de contaminación, como azufre, nitrógeno, mercurio y metales pesados.

Los óxidos de azufre, SO_x , son una de las principales causas de lluvia ácida y las emisiones de óxidos de nitrógeno, NO_x , contribuyen al smog².

Además, las partículas de la combustión del carbón pueden ser perjudiciales para la salud humana.

Las preocupaciones sobre el cambio climático debido a las emisiones de gases de efecto invernadero han puesto de relieve las plantas de carbón y han impulsado el desarrollo de tecnologías de "carbón limpio" como la captura y el almacenamiento de carbono.

2.2. PETRÓLEO

Desde los sumerios, que usaban el petróleo para inventar el asfalto, hasta los nativos americanos, que lo usaban para tratar heridas y para impermeabilizar canoas, el petróleo tiene una larga historia de maximización de la eficiencia y de conveniencia para la civilización humana.

Por regla general pensamos en el petróleo como el combustible cuyo derivado inyectamos en nuestros vehículos en las estaciones de servicio, pero la gasolina refinada no es lo que sale del suelo en los pozos petrolíferos. Por el contrario, el petróleo crudo es el tipo de petróleo que se produce naturalmente.

² El smog, también conocido por "neblumo" o "niebla contaminante", es una forma de contaminación originada a partir de la combinación del aire con contaminantes durante un largo período de altas presiones, que provoca el estancamiento del aire y, por lo tanto, la permanencia de ellos en la troposfera y a veces, en la estratosfera, debido a su mayor densidad. Existen dos tipos de smog: sulfuroso y fotoquímico.

En muchos países, el petróleo crudo se obtiene de múltiples fuentes, aunque, la mayor parte no se extrae a nivel nacional y se debe comprar en Oriente Medio de manera que existe una dependencia energética de la sociedad actual hacia los combustibles fósiles como el petróleo, a la vez que es necesario un rápido desarrollo de energías alternativas.

El petróleo crudo se lleva a las refinerías, donde se procesa convirtiéndolo en el combustible que podemos utilizar. Estas refinerías producen una gama de diferentes sustancias de petróleo que luego se utilizan para diferentes aplicaciones.

Por regla general, un poco menos de la mitad del barril de petróleo promedio se refina en gasolina, que de hecho es el tipo de petróleo que usamos para alimentar nuestros vehículos. Sin embargo, otras partes del barril se refinan en aceite para asfalto, combustible para aviones, queroseno y lubricantes, entre otros.

Estas diferentes categorías muestran cuán extendido está realmente el uso del petróleo.

El petróleo, también conocido como crudo, es un líquido negro espeso compuesto principalmente de hidrógeno y carbono. El petróleo también contiene oligoelementos como azufre, nitrógeno y oxígeno.

Los depósitos de petróleo de hoy se formaron hace millones de años, cuando los organismos marinos muertos se hundieron en el fondo del océano y fueron enterrados bajo depósitos de roca sedimentaria. Sujetos a un intenso calor y una gran presión,

estos organismos sufrieron una transformación en la que se convirtieron en petróleo durante millones de años.

Este proceso es similar al proceso de formación de gas natural, sin embargo, el petróleo se forma bajo un rango limitado de temperaturas, mientras que el gas natural se forma en un rango más amplio. Este rango limitado de temperaturas se llama “ventana del petróleo”.

El petróleo se encuentra en rocas subterráneas específicas llamadas reservorios. Las rocas tienen pequeños espacios que les permiten contener agua, gas natural y/o petróleo.

Las rocas impermeables llamadas rocas de copa rodean el depósito y atrapan el petróleo en su lugar.

A través de actividades como la sísmica, muestreo de pozo y mapeo subsuperficial, los geocientíficos localizan sitios para la extracción de petróleo.

El petróleo se extrae del yacimiento perforando y bombeando un pozo. Una vez extraído, el petróleo es transportado por oleoducto, barco, ferrocarril o camiones a una refinería donde se somete a un proceso complejo que produce productos derivados del petróleo como gasolina, diésel, combustible para aviones, combustible para el hogar, aceite lubricante y asfalto junto con productos petroquímicos que se utilizan para fabricar productos comunes como plásticos, fibra sintética, jabón y pintura.

Aproximadamente el 71% del consumo mundial de petróleo se usa para producir combustible para alimentar los sistemas de transporte.

El petróleo es relativamente abundante pero no es un recurso renovable. Los suministros de petróleo convencionales han ido disminuyendo constantemente, haciendo que la producción no convencional sea más común.

Los beneficios del petróleo incluyen su alta densidad energética y su versatilidad. El petróleo se usa para producir productos como combustibles para el transporte y muchos otros productos comunes.

La producción y el uso del petróleo también presentan muchos desafíos sociales y ambientales. La producción de petróleo ocasiona alteraciones en la tierra a veces en áreas ambientalmente sensibles, aunque esto varía mucho según las técnicas de producción utilizadas.

Los sistemas de transporte impulsados por petróleo contribuyen significativamente a las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero y al cambio climático.

El petróleo y sus derivados vertidos sobre la superficie marina se extiende inmediatamente a causa de sus propiedades físicas y químicas y a las condiciones externas, resultando un vertido no homogéneo que se convierten en manchas espesas y grumos entremezclados con finas capas oleosas (ver Figura 6).

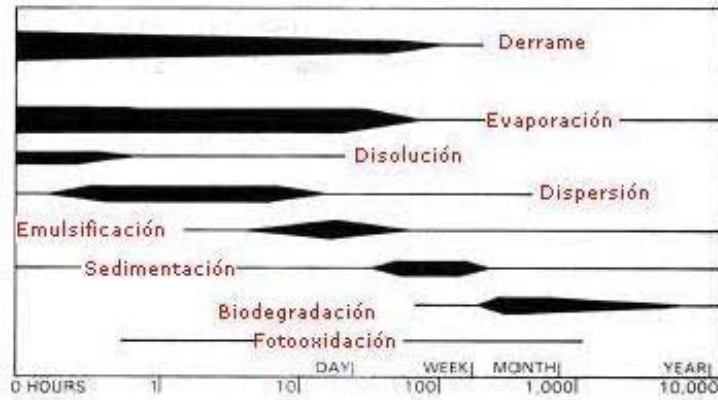


Figura 6: Distribución temporal de los procesos de un derrame de crudo

Fuente: cetmar.org

La extensión y forma final estará condicionada por el viento, las olas y las corrientes cuyos espesores son de décimas de micrómetro. Un derrame de petróleo y sus derivados en el mar se verá afectado por un número de procesos de envejecimiento. Al incrementarse la superficie del vertido aumenta la tasa de evaporación, pero la velocidad y extensión de la evaporación varían dependiendo de la composición del petróleo y sus derivados. Los de poca densidad, como la gasolina o el fuel-oil ligero, se evaporan con gran rapidez, mientras que los hidrocarburos pesados se disipan más lentamente. La evaporación se ve también afectada por la velocidad del viento y la temperatura; cuanto más altas sean ambas, más rápida será la evaporación, el petróleo evaporado es descompuesto por fotooxidación en la atmósfera.

El proceso de dispersión vertical y redispersión es importante para la disolución del hidrocarburo en el mar. Con temporal las gotitas dispersas tienden a volver a la superficie o a ser

redispersadas por las fuerzas de flotabilidad. Las gotas más grandes emergen enseguida, mientras que las gotas más pequeñas pueden ser transportadas por las corrientes lejos del lugar del vertido y permanecen dispersas durante un tiempo mayor (ver Figura 7).

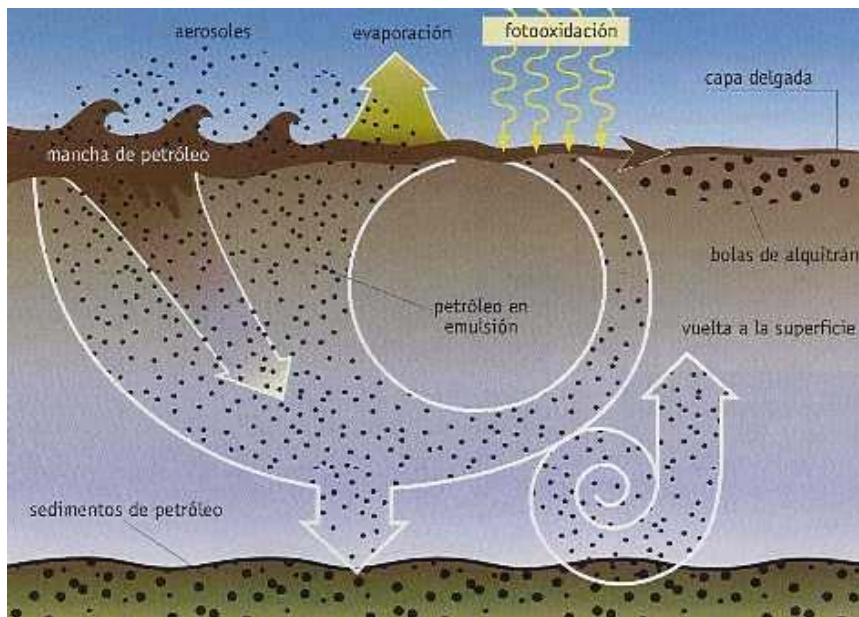


Figura 7: Dispersión vertical y redispersión.

Fuente: Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente.

Cuando el hidrocarburo se adhiere a otros cuerpos, o forma partículas con densidad superior a la del agua, puede hundirse hasta el fondo en un proceso llamado sedimentación.

Además, el control y el comercio de los recursos petrolíferos presentan muchas tensiones geopolíticas entre las naciones y, a un nivel más local, entre los grupos interesados y las comunidades.

2.2.1. Productos refinados derivados del petróleo

Los derivados del petróleo refinados se derivan de los crudos a través de procesos tales como el craqueo catalítico y la

destilación fraccionada. El refinado es un paso necesario antes de que el petróleo pueda quemarse como combustible o utilizarse para crear productos finales.

Los productos refinados tienen características físicas y químicas que difieren según el tipo de petróleo crudo y los procesos de refinado posteriores. Los principales productos de petróleo refinado incluyen:

- **Gasolina:** La gasolina es un producto obtenido del petróleo por destilación, que se utiliza principalmente como combustible en la mayoría de los motores de combustión interna de encendido por chispa, así como en estufas y lámparas, y para limpieza con disolventes, entre otras aplicaciones. Se conoce como nafta en Argentina, Paraguay, Uruguay y como bencina en Chile.

La gasolina se obtiene a partir del petróleo por destilación directa³, siendo la fracción líquida más ligera del petróleo, exceptuando los gases, y se obtiene a partir de la conversión de fracciones pesadas del petróleo en unidades de proceso denominadas FCC (*Fluid Catalytic Cracking*, craqueo catalítico fluidificado) o hidrocrqueo.

La gasolina debe cumplir una serie de condiciones, de buen funcionamiento y medioambientales, reguladas por ley en la mayoría de los países. La especificación más característica es el índice de octano (MON, *Motor Octane Number*, RON,

³ Gasolina por destilación directa: En ausencia de hidrocarburos no saturados, de moléculas complejas aromáticas - nafténicas. El contenido aromático se encuentra entre 10-20 %.

Research Octane Number, o el promedio de los anteriores, PON, *Pump Octane Number*) que indica la resistencia que presenta el combustible a producir la detonación.

El índice de octano u octanaje, indica la presión y temperatura a la que puede ser sometido un combustible carburado mezclado con aire antes de autodetonar al alcanzar su temperatura de ignición debido a la ley de los gases ideales.

Los metales pesados como el plomo (Pb), manganeso (Mn), mercurio (Hg), cadmio (Cd), entre otros, resultan perjudiciales tanto para el medio ambiente como para la salud.

Desde el punto de vista de la salud, la presencia de plomo en el aire tiene diferentes efectos en función de la concentración presente y del tiempo a que se esté expuesto. Algunos de sus principales efectos clínicos, detectados en el envenenamiento agudo con plomo, son interferencia en la síntesis de la hemoglobina, anemia, problemas en el riñón, bazo e hígado, así como afectación del sistema nervioso, los cuales se pueden manifestar cuando se detectan concentraciones por encima de 60 mg de plomo por cada 100 mililitros de sangre.

En los años 70, ante los graves problemas de deterioro ambiental y su impacto sobre los seres humanos, los gobiernos de los países iniciaron una serie de acciones para detener y prevenir esta problemática ambiental. Se impusieron leyes a fin de reducir paulatinamente el uso de aditivos con plomo y manganeso de las gasolinas.

Las empresas petroleras se vieron obligadas a desarrollar nuevas gasolinas de mayor octanaje sin plomo o manganeso y los fabricantes de motores tuvieron que empezar a utilizar materiales más resistentes que no dependiesen de la lubricación del plomo para su mejor conservación.

Para reducir las emisiones de NO_x y de CO a la atmósfera, se empezaron a utilizar catalizadores que se destruyen rápida e irremediablemente con el plomo, haciéndolos incompatibles con este.

De cara a una posible sustitución de la gasolina, se han propuesto algunas posibilidades energéticas que suplan los problemas debidos al aumento del precio del petróleo y la demanda superior a la oferta que todas las compañías petroleras puedan ofrecer, algunas de ellas requerirán que una adaptación y fabricación de nuevos tipos de vehículos que puedan usar este tipo de combustibles.

Entre los sustitutos de la gasolina se encuentran:

Etanol: El etanol se ha convertido en una opción muy popular para mezclarlo con la gasolina en Brasil, Estados Unidos, Suecia o Tailandia, entre otros, con la ventaja de que su combustión es menos contaminante y altamente oxigenada, aunque requiere adaptaciones a los vehículos existentes o el desarrollo de motores con capacidad multicomcombustible para poder aprovecharlo al máximo, además de que se necesita un

porcentaje de tierra cultivable importante para generar el combustible que puede usarse en mezclas E20, E85, E98 O E100.

Metanol: Se ha difundido pero debido a su toxicidad recibe menos atención.

Butanol: Es un alcohol que tiene una composición más similar a la gasolina, lo que le permite tolerar mejor la contaminación por agua y poder utilizarse en vehículos con encendido a chispa sin modificar, pero los métodos para producirlo necesitan perfeccionarse para llevarse a una escala mayor. De reciente investigación, los creadores BP y DuPont abogan por su uso, ya que también puede producirse a partir de plantas y algas.

Gas natural: Es una de las opciones que tiene un limitado alcance ya que el número de estaciones de servicio que lo suministran es bajo. No obstante, se puede aumentar su número y comenzar a investigar la generación de biogás para poder ser usado en los vehículos.

Biogasolina: Se produce gasolina tradicional con un mejor contenido energético y menos contaminante que su contraparte proveniente del refinamiento de petróleo. Al igual que el biobutanol, puede usarse en motores de combustión interna con encendido a chispa sin modificar, aunque sus procesos están en una etapa de prototipo. Hay algunas compañías que apoyan esta alternativa pensando en el precio del petróleo, cada día más alto; incluso se ha logrado producir

este mismo biocombustible con ayuda de bacterias; y se cree que, finalmente, los procesos mejorarán, para implantarse a gran escala y considerarse una alternativa viable.

Biodiésel: Se trata de una opción para los vehículos propulsados por un motor diésel aunque posee una limitada capacidad de producción, sea cual sea el procedimiento de fabricación; no obstante si se logra aumentar la producción de insumos y equilibrarla con la de los alimentos podría ser una buena alternativa. Su índice libre de azufre contribuirían a reducir la contaminación y aumentarían su eficiencia.

Electricidad: Los vehículos eléctricos pueden ser una opción interesante pero sus tiempos de recarga y capacidad limitada no podrían satisfacer al principio los requerimientos normales. No obstante, la tecnología se va actualizando para poder brindar un coche eléctrico que sea capaz de cubrir un trayecto largo. Asimismo, existen los automóviles híbridos que combinan este tipo de motores con los convencionales para ahorrar energía de combustión todo lo posible.

Hidrógeno: Se ha convertido en la promesa del futuro al tratarse de un combustible más limpio y que puede ser usado de manera convencional, en celdas de combustible o para generar electricidad, pero el alto coste energético en su obtención, almacenamiento, transporte y repostaje ha despertado controversias importantes. Es un buen medio de promoción para los fabricantes de coches.

Aire comprimido: Se están desarrollando motores para la propulsión de vehículos a partir del aire comprimido, el motor es de pistón al igual que uno de combustión, con la diferencia de sustituir las explosiones de gasolina por inyecciones de aire a una elevada presión, almacenado en unos depósitos. Su autonomía no difiere a la de un coche eléctrico pero las recargas de los depósitos duran pocos minutos, entre 2 y 3 minutos, mucho menos tiempo que el usado para cargar las baterías de un vehículo eléctrico.

- **Queroseno:** El queroseno es un líquido inflamable, transparente o con ligera coloración amarillenta, mezcla de hidrocarburos, que se obtiene de la destilación del petróleo natural. Conocido como combustible para aviones, se usa en aviones de reacción, fabricación de insecticidas, disolvente, como dieléctrico en procesos de mecanizado por descargas eléctricas, iluminación de áreas donde no hay luz eléctrica, quemadores, calefacción y para cocinar. Antes de que se inventara la bombilla, el queroseno era la principal fuente de iluminación. Es insoluble en agua.

Durante el año 2022 se ha realizado un proyecto piloto de ETH Zúrich que utilizó energía solar para producir queroseno a partir de dióxido de carbono y agua. El producto puede utilizarse en aplicaciones de aviación existentes, y puede mezclarse con queroseno derivado de fósiles.

- **Fuel Oil Nº 2:** Es el combustible resultante de la mezcla de diversas fracciones pesadas de petróleo utilizada para la

generación de calor o energía. A menudo se usa en motores diésel o como aceites para calefacción doméstica.

- **Fuel Oil N° 4:** También conocido como aceite bunker, es un destilado medio obtenido del proceso de destilación atmosférica del petróleo crudo. Su composición química consiste en un corte intermedio del crudo, compuesto por parafinas, olefinas y naftenos en varias proporciones. Contiene compuestos azufrados, nitrógeno y oxígeno, se usa en grandes motores estacionarios, plantas de energía y calderas comerciales muy grandes. Cuando se quema como combustible de calefacción, el fuel oil n° 4 puede contener varios contaminantes, incluidos el níquel y el azufre.
- **Fuel Oil N° 5 (Bunker B) y Fuel Oil N° 6 (Bunker C):** El fueloil número 5 y el fueloil número 6 son conocidos como fueloil residual o fueloil pesado y se refieren más a este último. Este tipo de fueloil 5 y 6 son los remanentes del crudo después de que la gasolina y el fueloil son extraídos a través de la destilación. El fueloil número 5 es una mezcla de 75-80 % de fueloil número 6 y 25-20 % de fueloil número 2.

El fueloil número 6 puede contener también una pequeña cantidad de fueloil número 2 para cumplir con ciertas especificaciones.

Los fuelóleos residuales son llamados ligeros cuando han sido mezclados con fueloil destilado, mientras que los fuelóleos destilados son llamados pesados cuando han sido mezclados con fueloil residual.

El fueloil número 5 se utiliza para calefacción más liviano donde bajo ciertas condiciones climáticas se puede manipular y quemar sin precalentamiento.

El fueloil número 6 se usa para hacer asfalto para pavimentar y se quema en algunas grandes calderas comerciales. Cuando se quema como combustible de calefacción, puede contener varios contaminantes, incluidos el níquel y el azufre.

- **Aceite lubricante:** Son sustancias líquidas provenientes, generalmente, del petróleo, que se utilizan en las máquinas con piezas móviles y se usan también en motores de combustión

interna para alargar la vida de estos. El trabajo principal de un lubricante es evitar o minimizar la fricción entre piezas metálicas móviles dentro de una máquina o motor, evitando desgaste y daños.

Los lubricantes para motor cuentan también con propiedades térmicas que ayudan a mantener una temperatura adecuada en los motores. La mayoría tiene agentes detergentes, los cuales remueven la suciedad que se produce por la combustión o que entra del exterior.

Se trata de un material de peso medio que fluye fácilmente y se dispersa fácilmente si se lo trata con prontitud. Este aceite tiene una baja volatilidad y un punto de inflamación moderado, pero es bastante persistente en el medio ambiente.

Varios de estos productos refinados se pueden procesar químicamente, convirtiéndolos en nylon y plásticos.

La necesidad global de productos de petróleo refinados crea una demanda más fuerte para la extracción de depósitos de petróleo. Los productos refinados de petróleo son increíblemente importantes para la sociedad moderna de hoy en día, pero surgen problemas cuando se considera el ciclo de vida de los productos refinados procedentes del petróleo, de principio a fin.

En productos plásticos estos productos derivados del petróleo deben pasar por un proceso de extracción, refinado y luego diversos procesos químicos para convertirlo en material plástico. Finalmente pasa por los procesos de fabricación para crear un producto final a partir del plástico. Posteriormente, el producto debe almacenarse en depósitos, venderse en tiendas minoristas y finalmente desecharse una vez que finalice su vida útil.

Los procesos utilizados para convertir el petróleo crudo a derivados refinados del petróleo son dos:

- **Craqueo catalítico:** El craqueo catalítico de fluidos (FCC, por sus siglas en inglés) es uno de los procesos de conversión más importantes utilizados en las refinerías de petróleo. El craqueo descompone los hidrocarburos complejos en moléculas más simples para aumentar la calidad y cantidad de otros productos más ligeros y valiosos para este fin y reducir la cantidad de residuos. Los hidrocarburos pesados se exponen, a alta temperatura y baja presión.

Este proceso reorganiza la estructura molecular, convirtiendo las cargas de hidrocarburos pesados de alto punto de ebullición y alto peso molecular en fracciones más ligeras,

como gases olefínicos, queroseno, gasolina, GPL, gasóleo para calefacción y cargas petroquímicas.

El agrietamiento de los hidrocarburos del petróleo se realizó originalmente por craqueo térmico, que ha sido reemplazado casi por completo por craqueo catalítico porque produce más gasolina con un índice de octano más alto.

También produce gases subproducto que tienen más dobles enlaces carbono-carbono, es decir, más olefinas y, por lo tanto, más valor económico que los producidos por craqueo térmico.

Comúnmente para el proceso de craqueo las refinerías utilizan gasóleo para producir gasolina, pero cuando no logran cubrir la demanda, elaboran una mezcla con otros residuos que han sido tratados en un tambor donde separan el agua y vapor contenidos y darle cierta estabilidad a la alimentación. La carga suele tener un peso molecular ente 200 a 600 y un punto de ebullición mayor a 340° C y presión atmosférica. (ver Figura 8).

Esta porción de petróleo crudo a menudo se conoce como gasóleo pesado o gasóleo al vacío (HVGO, por sus siglas en inglés).

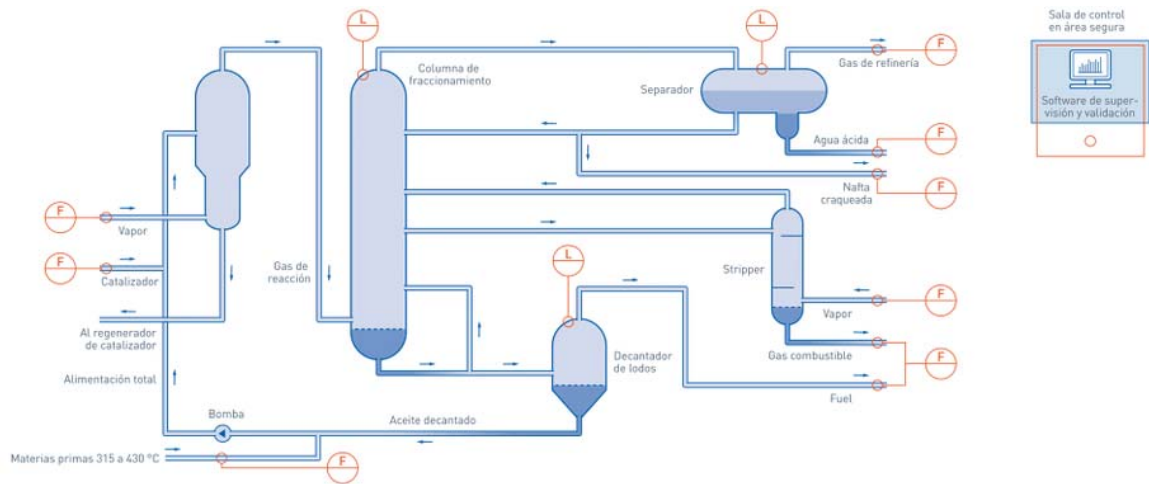


Figura 8: Craqueo catalítico.

Fuente: ar.krohne.com.

La finalidad del craqueo no es otra que la de obtener la mayor cantidad de hidrocarburos ligeros como gas licuado de petróleo (GLP) y gasolina teniendo como alimentación las fracciones pesadas producidas en el proceso de destilación.

El craqueo es importante por dos razones fundamentales: convierte las fracciones menos útiles del petróleo en gasolina y produce hidrocarburos insaturados como los alquenos.

En el proceso del FCC, la materia prima se calienta a alta temperatura y a presión moderada, y se pone en contacto con un catalizador en polvo caliente.

El catalizador rompe las moléculas de cadena larga de los líquidos de hidrocarburos de alto punto de ebullición en moléculas mucho más cortas, que se recogen en forma de vapor a una temperatura de ebullición que se encuentra por debajo de 221 °C.

Dichos catalizadores se presentan en forma granular o microesférica. Los catalizadores usualmente se componen por óxido de silicio y alúmina.

El mineral más comúnmente utilizado para este fin es la faujasita, que es una serie de tres minerales con el mismo nombre, pero considerados como tres especies distintas, ya que se enlazan con calcio, magnesio y sodio, de la clase de los tectosilicatos y dentro de estos del grupo de las zeolitas.

Existen dos tipos de craqueo además del craqueo catalítico, estos son:

- **Craqueo térmico:** El proceso de craqueo térmico se desarrolló con la finalidad de aumentar el rendimiento del proceso de destilación. En este proceso, las partes más pesadas del crudo se calientan a altas temperaturas bajo presión. Esto divide las moléculas grandes de hidrocarburos en moléculas más pequeñas (craqueo), aumentando la cantidad de gasolina producida a partir de un barril de crudo. La eficiencia del proceso es limitada debido a las elevadas temperaturas y presiones que hace que se deposite una gran cantidad de combustible sólido y poroso en los reactores. Esto, a su vez, exige emplear temperaturas y presiones aún más altas para craquear el crudo. Posteriormente se inventó un proceso en el que se recirculaban los fluidos; el proceso funcionaba durante un tiempo mucho mayor con una acumulación de combustibles sólidos bastante menor (ver Figura 9).

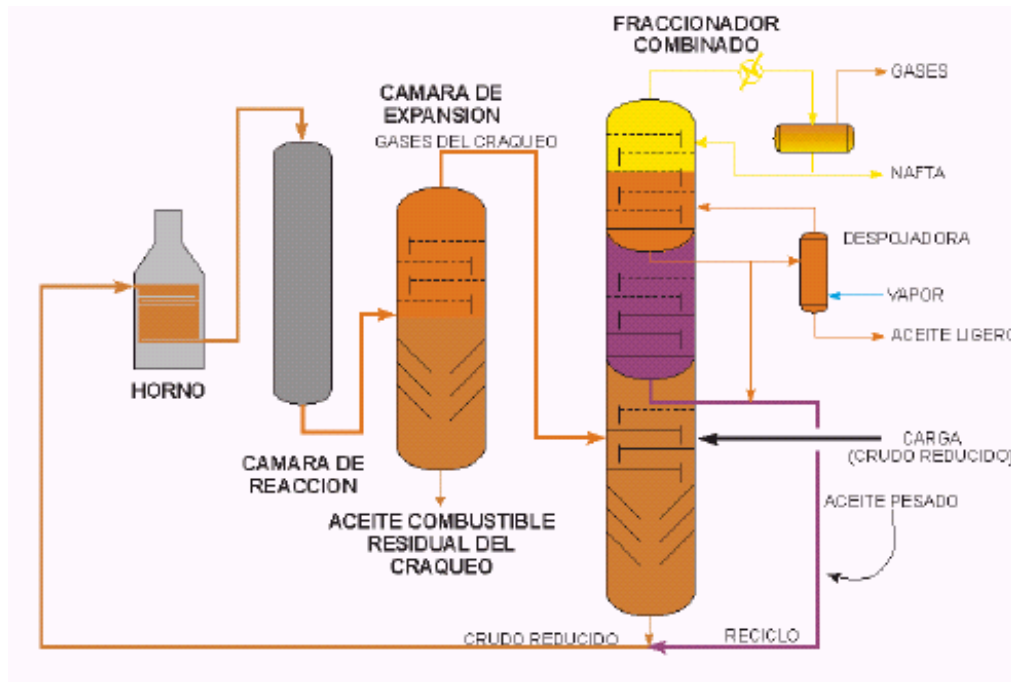


Figura 9: Proceso de craqueo térmico.

Fuente: WordPress.com

- Hidro craqueo:** El hidro craqueo es un proceso en dos fases que combina el craqueo catalítico y la hidrogenación, y por medio del cual las fracciones de destilado se descomponen en presencia de hidrógeno y catalizadores especiales dando lugar a productos de más valor. En comparación con el craqueo catalítico, el hidro craqueo tiene la ventaja de que se procesan cargas con alto contenido de azufre sin desulfuración previa. En el proceso, la carga de productos aromáticos pesados se convierte en productos más ligeros, a muy altas presiones y temperaturas bastante elevadas. Cuando la carga tiene un alto contenido parafínico, el hidrógeno reduce la formación de alquitrán y previene la acumulación de coque en el catalizador.

El hidro craqueo produce cantidades relativamente grandes de isobutano para cargas de alquilación, así como isomerización para control del punto de goteo y del punto de humo, dos características importantes en el combustible de alta calidad para aviones de reacción (ver Figura 10).

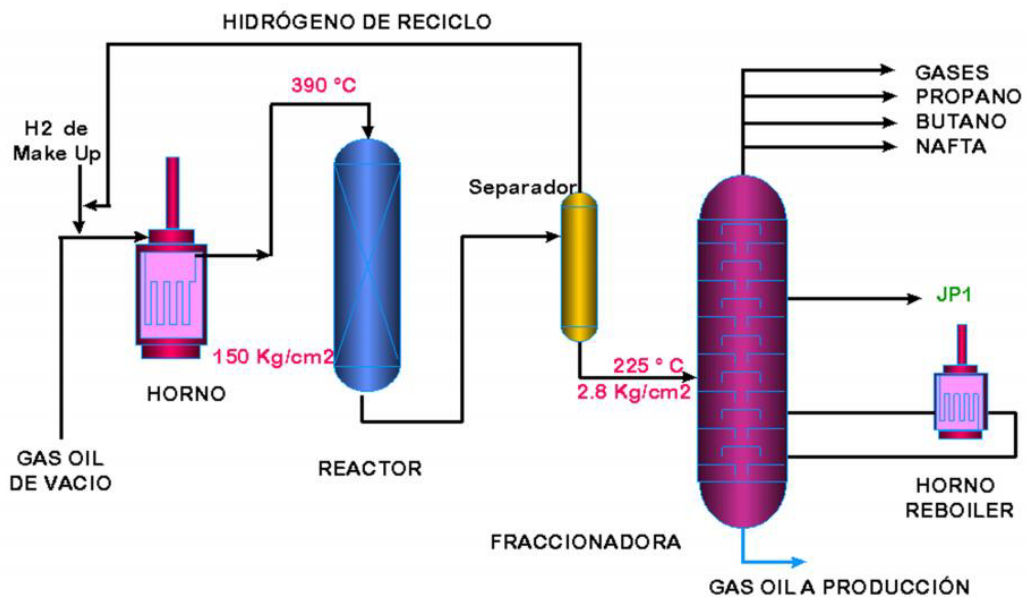


Figura 10: Proceso de Hidro craqueo.
Fuente: WordPress.com

Continuando con el craqueo catalítico las refinerías de petróleo utilizan el craqueo catalítico fluido para corregir el desequilibrio entre la demanda del mercado de gasolina y el exceso de productos pesados de alto punto de ebullición resultantes de la destilación del petróleo crudo.

Existen 5 tipos de craqueo catalítico:

- **Craqueo catalítico de lecho fijo:** Fue el primero en utilizarse comercialmente, este utiliza un reactor de lecho fijo consistente en uno o más tubos junto con partículas de

catalizador en posición vertical. Las partículas catalíticas pueden variar de tamaño y forma (ver Figura 11).

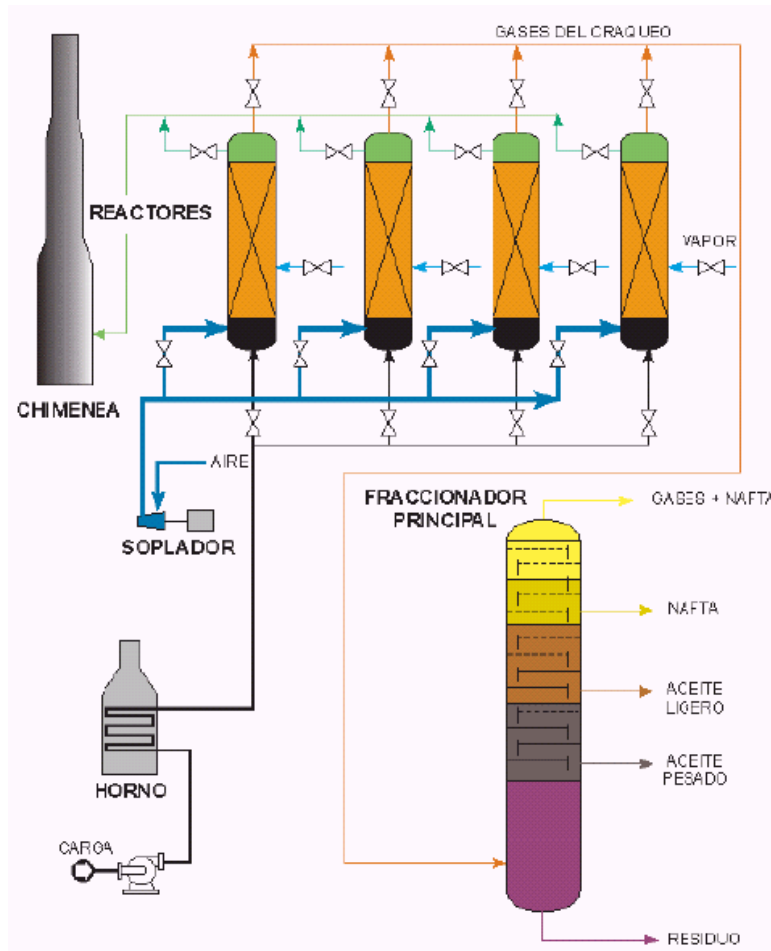


Figura 11: Craqueo catalítico de lecho fijo,
Fuente: WordPress.com.

Este tipo de craqueo presentaba problemas para la regeneración del catalizador. Si la actividad del catalizador disminuye con el tiempo pueden hacerse regeneraciones muy frecuentes. Aun en esos casos el procedimiento de parar y arrancar el equipo para el cambio del catalizador puede ser una operación muy costosa. Si esto se hace necesario a intervalos frecuentes, todo el proceso puede resultar antieconómico.

- **Craqueo catalítico de líquidos (CCL):** Las unidades de craqueo catalítico de lecho fluido tienen una sección de catálisis que cuenta con elevador, reactor y regenerador y una sección de fraccionamiento, que trabajan conjuntamente como una unidad de proceso integrada. El CCL utiliza un catalizador finamente pulverizado, suspendido en vapor o gas de petróleo, que actúa como un líquido. El craqueo tiene lugar en la tubería de alimentación llamado elevador, por la que la mezcla de catalizador e hidrocarburos fluye a través del reactor. El proceso de CCL mezcla una carga de hidrocarburos precalentada con el catalizador regenerado caliente al entrar aquélla en el elevador que conduce al reactor. La carga se combina con aceite reciclado dentro del elevador, se vaporiza y es calentada por el catalizador caliente hasta alcanzar la temperatura del reactor. Mientras la mezcla asciende por el reactor, la carga se craquea a baja presión.
- **Craqueo catalítico de lecho móvil:** Es similar al craqueo catalítico de líquidos, pero el catalizador está en forma de pastillas en lugar de polvo fino. Las pastillas se transfieren continuamente mediante una cinta transportadora o tubos elevadores neumáticos a una tolva de almacenamiento situada en la parte superior de la unidad, y después desciende por gravedad a través del reactor hasta un regenerador. El regenerador y la tolva están aislados del reactor por sellos de vapor. El producto craqueado se separa en gas reciclado,

aceite, aceite clarificado, destilado, nafta y gas húmedo (ver Figura 12).

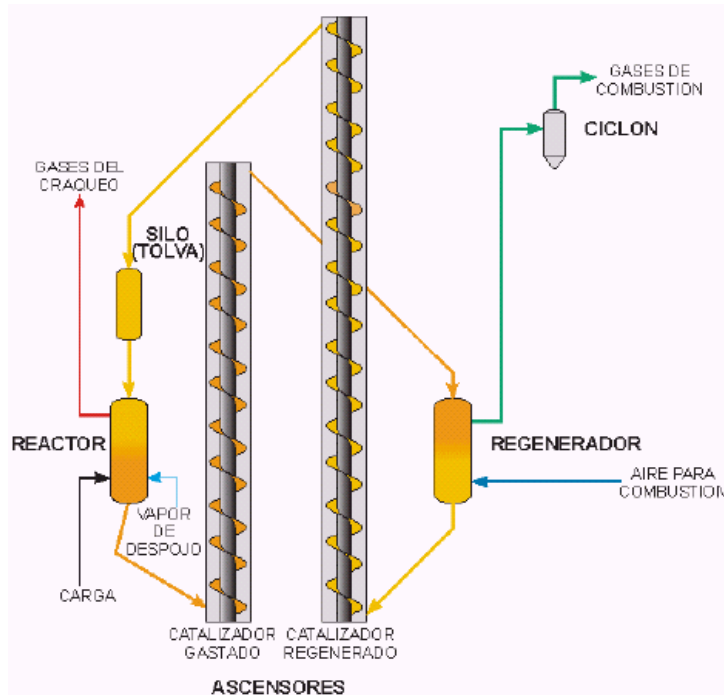


Figura 12: Craqueo catalítico de lecho móvil.
Fuente: WordPress.com.

- **Craqueo catalítico Thermofor:** En el craqueo catalítico thermofor, la carga precalentada circula por gravedad por el lecho del reactor catalítico. Los vapores se separan del catalizador y se envían a una torre de fraccionamiento. El catalizador agotado se regenera, enfría y recicla, y el gas de chimenea de la regeneración se envía a una caldera de monóxido de carbono para recuperar calor.
- **Craqueo catalítico fluidizado:** El proceso FCC (*Fluid Catalytic Cracking*, en inglés) se basa en la descomposición o rompimiento de moléculas de alto peso molecular. Esta reacción se promueve por un catalizador sólido pulverizado, que se incorpora a los hidrocarburos en un reactor de tipo tubular con flujo ascendente, esto ocurre luego del

precalentamiento necesario para incorporar la temperatura requerida a la reacción. A la salida del reactor el producto es enviado al equipo de fraccionamiento para obtener los diferentes corte de hidrocarburos y dirigir la corriente gaseosa a recuperación de gases, mientras el catalizador se separa de los productos de reacción a través de ciclones para entrar en la etapa de regeneración, y el coque que se genera y adhiere al mismo por las altas temperaturas de reacción, se quema antes de recircularse al reactor; la energía liberada en el quemado sirve para dar parte del calentamiento de la corriente de carga (ver Figura 13).

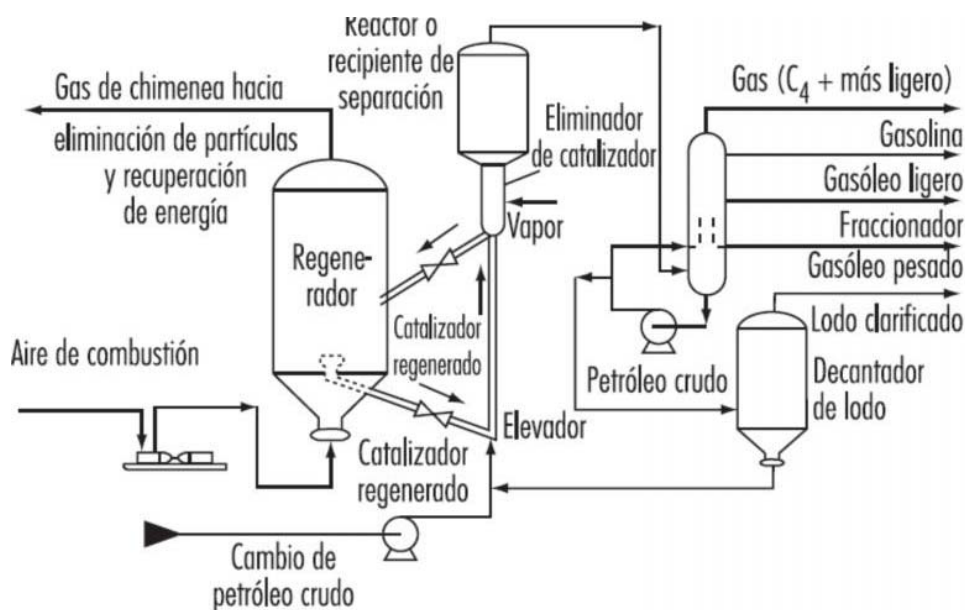


Figura 13: Craqueo catalítico fluidizado.
Fuente: WordPress.com.

Para la realización del craqueo catalítico requiere de los siguientes elementos:

- **Reactor o convertidor.**
- **Desgasificador.**

- **Regenerador.**
- **Fraccionadora principal.**

Los productos obtenidos del craqueo catalítico son:

- **Gas seco:** Estos son los gases que salen por el tope de la torre absorbidora; contienen principalmente hidrógeno, metano, etano, etileno, trazas de H₂S e inertes (N₂, CO que se toma como inertes y CO₂). Este gas se mezcla en el sistema de gas combustible, tras ser tratado con aminas para la remoción del H₂S y opcionalmente con tratamiento caustico para eliminar los mercaptanos. El rendimiento de gas seco se debe al craqueo térmico, presencia de metales en la alimentación o un craqueo catalítico no selectivo.
- **Propano/Propileno (PP):** Es el producto de tope de la columna despropanizadora, y es rico en dicho componente. Se vende como grado refinería o grado propileno a las industrias manufactureras de polímeros.
- **Butano/Butileno (BB):** Es el producto de fondo de la despropanizadora y se usa en las mezclas de gasolina para regular la presión de vapor y contribuir a mejorar el número de octano, en alquilación donde las olefinas reaccionan con el isobutano para formar el alquilato, en la producción del metil-terbutil-éter (MTBE) donde reacciona con metanol para producir el aditivo oxigenado para la gasolina.
- **Gasolina:** Este producto tiene un porcentaje del 35% de producción total de la gasolina de una refinería. Las impurezas de la gasolina procedente del craqueo catalítico

son los mercaptanos y éstos se eliminan por endulzamiento a través de un proceso comercial conocido como Merox. Se obtienen dos tipos de gasolina: la gasolina ligera (LCC) y la gasolina pesada (HOUK).

- **Aceite de reciclado ligero (ARL):** Es un corte lateral de la fraccionadora principal, y se usa ampliamente en mezclas para la formación de aceites de calentamiento y combustible diésel. La manera más simple de aumentar su rendimiento es reducir el punto final de la gasolina, aumentando la relación de reflujo de tope. La calidad de este producto se mide por el número de cetano, el cual es una indicación de la calidad de ignición del combustible.
- **Aceite de reciclado pesado (ARP):** Es uno de los cortes de la fraccionadora principal cuyo rango de ebullición está entre el del ARL y el del aceite lodoso. Parte del ARP se recicla hacia la fraccionadora como aceite de lavado y la otra parte se retira como producto para procesarlo en el hidrocraqueo o mezclarlo con aceite lodoso y diluyente de fuel oil, esto dependiendo de la localización de la refinería y las disponibilidades del mercado. Los rendimientos dependen mucho del tipo de alimentación y del nivel de conversión de la unidad.
- **Aceite lodoso:** Es producido por el fondo de la fraccionadora principal y puede ser destinado como alimentación a la planta Reductora de Viscosidad, enviado al sistema general de diluyente o al sistema de aceite

combustible. También puede ser usado como medio de enfriamiento de otras unidades.

- **Casco:** Este producto intermedio es necesario en las operaciones de catalítica, ya que el calor desprendido por su combustión en el regenerador compensa la pérdida de calor en el tubo elevador.

Algunos procesos del refinado destacan por su grado de emisiones contaminantes, el proceso de craqueo catalítico emite contaminantes atmosféricos que consisten en óxidos de azufre (SO_x) y de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2), partículas sólidas (*particulate matter*, PM), amoníaco (NH_3), aldehídos y cianuros.

Otro contaminante emitido por la unidad de craqueo catalítico es el coque. El coque de petróleo es lo que queda después de refinar el petróleo. Un sólido poroso, de color negro o gris oscuro, que contiene altas cantidades de azufre y metales pesados, como el níquel y el vanadio, y que puede ser utilizado como combustible. Su nivel de impureza y su grado de toxicidad está directamente relacionado con la naturaleza del petróleo del cual se extrae.

La principal vía de entrada en el ser humano es la inhalación de polvo. Concentraciones excesivas de polvo de coque pueden causar molestias en ojos, conductos auditivos y nasales, irritación de la piel y mucosas de membrana, irritación pulmonar por inhalación, bronquitis crónica, asma,

fibrosis pulmonar o dermatitis. El polvo de coque puede formar mezclas explosivas con el aire.

- **Destilación fraccionada:** La destilación fraccionada es la separación de una mezcla en sus partes componentes o fracciones. Los compuestos químicos se separan calentándolos a una temperatura a la cual se evaporarán una o más fracciones de la mezcla.

En general, las partes componentes tienen puntos de ebullición que difieren en menos de 25 °C entre sí bajo una presión de una atmósfera.

Si la diferencia entre los puntos de ebullición es superior a 25 grados centígrados, se usa una destilación simple.

La destilación fraccionada, por lo tanto, es un proceso físico utilizado en química para separar mezclas de líquidos mediante el calor, y con un amplio intercambio calorífico y másico entre vapores y líquidos (ver Figura 14).

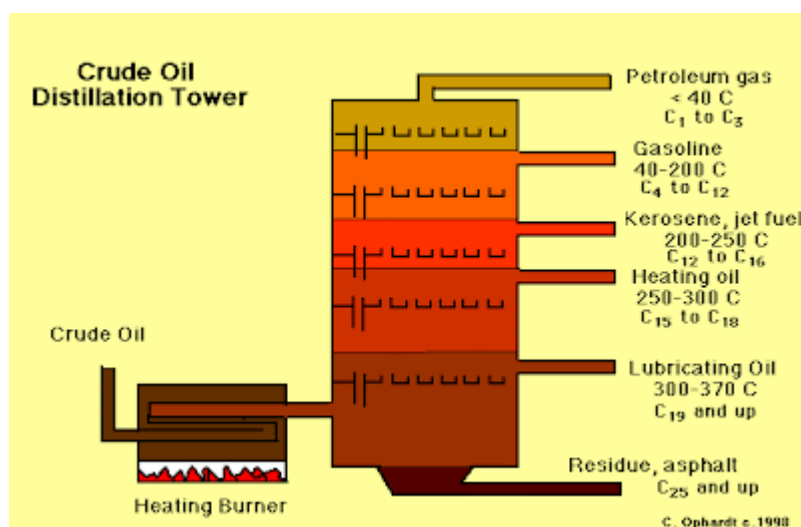


Figura 14: Destilación fraccionada.

Fuente: Petroblogger.com

Se emplea cuando es necesario separar soluciones de sustancias con puntos de ebullición distintos pero cercanos.

Una de las fuentes más importantes de materias primas es el petróleo, procesado en grandes cantidades en las refinerías.

La principal diferencia que tiene con la destilación simple es el uso de una columna de fraccionamiento. Ésta permite un mayor contacto entre los vapores que ascienden con el líquido condensado que desciende, por la utilización de diferentes "platos" o placas.

Ello facilita el intercambio de calor entre los vapores, que ceden y los líquidos, que reciben. Se produce un intercambio de masa, donde los líquidos con menor punto de ebullición se convierten en vapor, y los vapores de sustancias con mayor punto de ebullición pasan al estado líquido.

3. ENERGÍAS FÓSILES VERSUS ENERGÍAS LIMPIAS

Existe una profunda preocupación en lo que respecta a estrategias y relaciones diplomáticas entre países industrializados y países exportadores de energías fósiles en cuanto a los escenarios post combustibles fósiles, que se ha acrecentado a raíz de la guerra en Ucrania, reflexionando en cómo evolucionará el mundo tras esta guerra, en la forma de independizarse energéticamente a medida que los combustibles fósiles vayan reduciendo su stock. Existen motivos por los que se deben considerar diferentes alternativas a las energías no renovables, por un lado, la necesidad de una independencia energética de los países productores de petróleo y gas natural, con opción de reducir las importaciones de los combustibles convencionales y, por otro, la reducción necesaria e imperativa de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Las emisiones de dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), óxidos de azufre (SO_x) y otros, responsables de la lluvia ácida, del efecto invernadero y, en definitiva, del calentamiento generalizado de la Tierra, contribuyen, en parte, al cambio del clima en el planeta. Las soluciones propuestas para la estabilización de dichas emisiones dependen de los diferentes países y de sus diversos niveles de degradación medioambiental, cuyo compromiso estriba en trabajar por las energías renovables, cada uno según

sus recursos y sus competencias. Teniendo en cuenta los numerosos obstáculos políticos, económicos o la resistencia al cambio tecnológico, es necesaria una toma de conciencia de que tanto el antiguo como el actual abanico de fuentes energéticas y combustibles fósiles como carbón, petróleo y gas natural, debe en lo posible ser reemplazado por las actuales y futuras fuentes de energías renovables y combustibles verdes. Energías como la eólica, solar fotovoltaica, termosolar, geotérmica, biomasa, energías marinas, la energía procedente de las pilas de combustible, en especial las de hidrógeno, la energía minihidráulica, energía de poligeneración⁴, y otras, se convierten en soluciones más enriquecedoras que incorporan nuevas tecnologías.

El porcentaje de los distintos tipos de energía en España durante el año 2020 se indica en la Figura 15.

⁴ Se entiende por poligeneración a la producción de energía con distintos generadores para obtener electricidad, calor y/o frío. Esta energía proviene de la combinación de distintos sistemas de energías renovables, como eólica, fotovoltaica, hidrógeno, pilas combustibles, biomasa, absorción, solar térmica, etc.

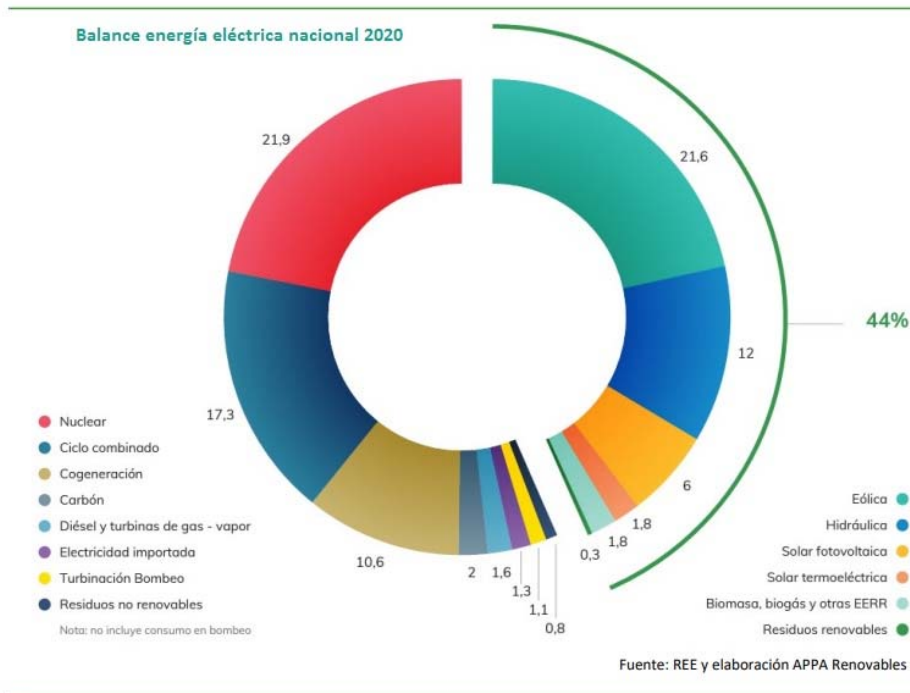


Figura 15: Porcentaje energías fósiles y renovables en 2020 en España.

Fuente: REE y APPA Renovables.

Las fuentes de energía fósiles, como petróleo y carbón y de energías alternativas como gas natural y energía nuclear, son recursos no renovables que se formaron cuando plantas y animales prehistóricos murieron y fueron enterrados gradualmente por capas de roca. Durante millones de años, se formaron diferentes tipos de combustibles fósiles, dependiendo de la combinación de materia orgánica presente, del tiempo transcurrido bajo tierra y de las condiciones de temperatura y presión existentes con el paso del tiempo.

La energía fósil o combustible fósil es, por lo tanto, un término utilizado para describir un grupo de fuentes de energía formadas a partir de plantas y organismos durante el período carbonífero hace, aproximadamente, entre 286 y 360 millones de años,

mucho antes de la era de los dinosaurios. La Tierra, por aquel entonces, parece ser estaba cubierta de pantanos llenos de microorganismos, organismos marinos, árboles, helechos y otras plantas de hojas grandes. Cuando esos organismos y plantas murieron, se hundieron en el fondo de los pantanos y los océanos, formando capas de un material esponjoso llamado turba. Durante millones de años, la turba se cubrió de arena, arcilla y otros minerales, convirtiéndola en roca sedimentaria, transformándose, con el tiempo, en diferentes tipos de combustibles fósiles.

Los combustibles fósiles juegan un papel fundamental en el mundo entero por su dependencia, sobre todo en países con economías y tecnologías subdesarrolladas y en vías de desarrollo, respecto a las energías alternativas o energías limpias, siendo la mayor fuente de producción de CO₂, gas de efecto invernadero que contribuye al calentamiento global, causando impactos medioambientales e impactos en la salud humana y de los seres vivos en general. Estos impactos dan lugar al planteamiento de las fuentes renovables de energía como alternativa, por su menor impacto a todos los niveles, que conlleva en la actualidad a una expansión de las energías renovables.

La industria de las energías renovables genera actividad económica, y puestos de trabajo para los países que investigan, innovan, fabrican y exportan tecnologías de energía limpia.

4. DESCARBONIZACIÓN

La producción de bienes y el consumo de energía provocan gran cantidad de emisiones, principalmente de CO₂, siendo el uso de energías renovables con bajas o nulas emisiones de carbono una de las grandes alternativas para disminuir emisiones.

La otra gran alternativa consiste en realizar el proceso de descarbonización consistente en reducir las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera debidas en su mayoría a la actividad humana.

Para contextualizar, la última vez que la temperatura promedio global fue 2 °C más cálida, el nivel promedio del mar era más de 6 metros más alto que el nivel promedio del mar actual, lo que conllevaría, si el aumento fuera de 3 °C, a que ciudades como Miami, Shanghái, Osaka o Río de Janeiro se hundirían bajo el agua, teniéndose que escapar de las inundaciones y desplazarse a otros lugares seguros, aproximadamente, 275 millones de personas en todo el mundo.

Existen una serie de nuevas tecnologías que se están utilizando para la disminución de las emisiones provocadas por el uso del carbón:

- **Planta Integrada de Gasificación y Ciclo Combinado (IGCC):** El IGCC integra dos tecnologías diferentes:
 - La gasificación de carbón o residuos de refinería.
 - La producción de energía eléctrica en ciclo combinado.

Residuos de refinería tales como fuelóleos pesados, potencialmente contaminantes, son eliminados por calentamiento a alta temperatura, dando lugar a un gas limpio denominado gas de síntesis.

El ciclo combinado es un proceso de muy alto rendimiento que permite aprovechar la energía contenida en este gas, transformándola en energía eléctrica mediante un sistema de turbinas de gas, caldera y turbina de vapor (ver Figura 16).

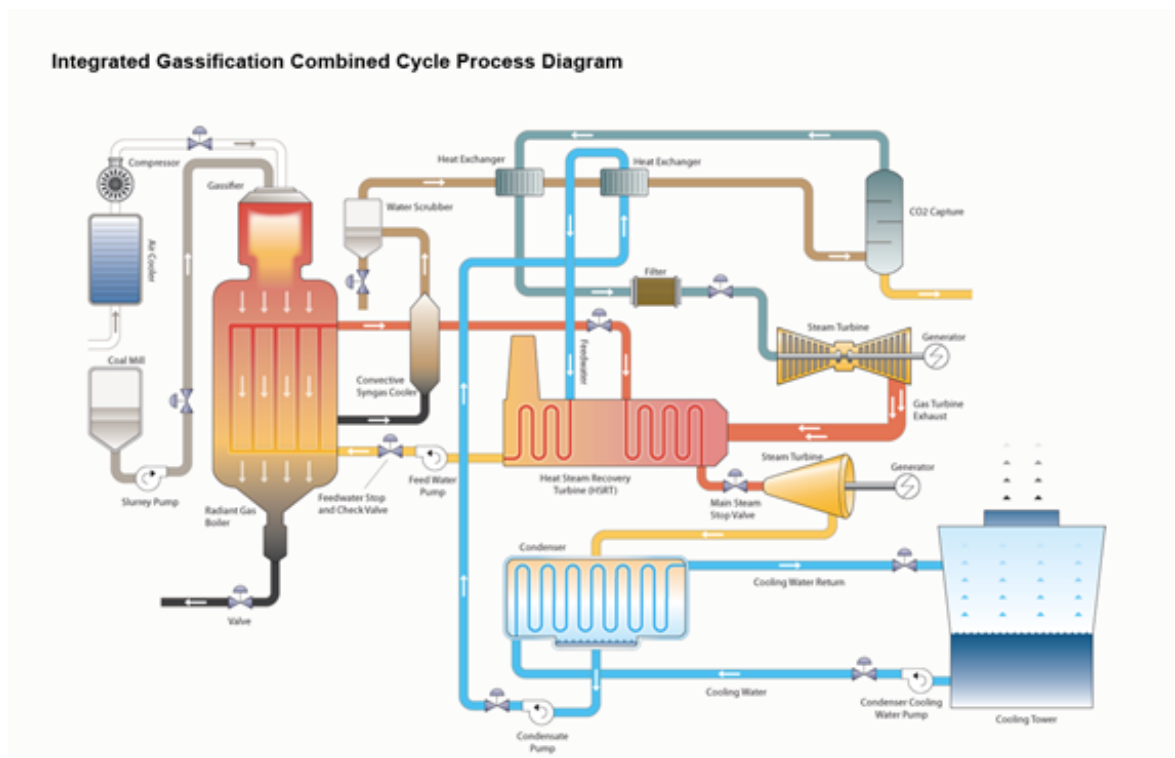


Figura 16: Planta integrada de gasificación y ciclo combinado (IGCC).

Fuente: hrudnick.sitios.ing.uc.cl.

Mediante una instalación de separación de aire se suministra oxígeno y nitrógeno a la planta de gasificación. Esta planta puede estar integrada con el propio ciclo combinado, tomando aire comprimido del compresor de la

turbina de gas y reinyectando nitrógeno para el control de NO_x .

El objetivo primario de un IGCC es el de valorizar energéticamente y ambientalmente un combustible residual. Una planta IGCC reduce las emisiones de SO_x y NO_x y elimina casi por completo las emisiones de partículas. Sin embargo, una planta de IGCC es una opción más costosa en comparación con las plantas de carbón estándar para la generación de energía.

La zona de gasificación comprende los sistemas de preparación de combustible, gasificación, tratamiento y limpieza del gas de síntesis, recuperación de azufre y metales y tratamiento de agua.

Para residuos de refinería la gasificación se realiza en reactores a alta temperatura, con alto grado de conversión de los hidrocarburos.

La zona de ciclo combinado comprende los sistemas de combustible, turbina de gas y conductos, agua de alimentación, vapor condensado, refrigeración, sistemas eléctricos, sistemas de control y seguridad y gases de escape.

La combustión del gas de síntesis se realiza en la turbina de gas, que genera energía eléctrica y gases calientes. Estos se emplean en producir vapor a alta presión, del cual se obtiene energía eléctrica mediante la turbina de vapor.

La tecnología IGCC es el sistema de generación eléctrica de combustibles residuales o carbón que genera las menores emisiones a la atmósfera. La eficiencia de la retirada de azufre es superior al 99%, por lo que el gas de síntesis va a estar prácticamente exento de gases ácidos, aun cuando la materia prima utilizada sea de alto contenido en azufre, como es el caso del fuelóleo. De los residuos sólidos se obtienen productos que pueden ser comercializados como materias primas para otros procesos.

Los aspectos ambientales de mayor relevancia son las emisiones de NO_x , el empleo de agua de refrigeración, la ocupación de terreno, el ruido y el impacto visual.

- **Tecnología de captura y almacenamiento de carbono:** Se trata de una tecnología en fase de demostración en la que las centrales eléctricas de carbón existentes se modernizan con instalaciones de captura de carbono o se instalan nuevas capacidades con esta opción. El CO_2 capturado se almacena en lugares seguros, evitando así su liberación a la atmósfera. La aplicación comercial de esta tecnología se enfrenta al reto de la inversión y aumentará considerablemente el coste de la producción de electricidad. Además, el beneficio neto del carbono se reduce por la necesidad de energía adicional para el proceso. Sin embargo, el carbón puede beneficiarse de esta tecnología si los costes se reducen y la necesidad de

energía se reduce con el desarrollo de la tecnología (ver Figura 17).

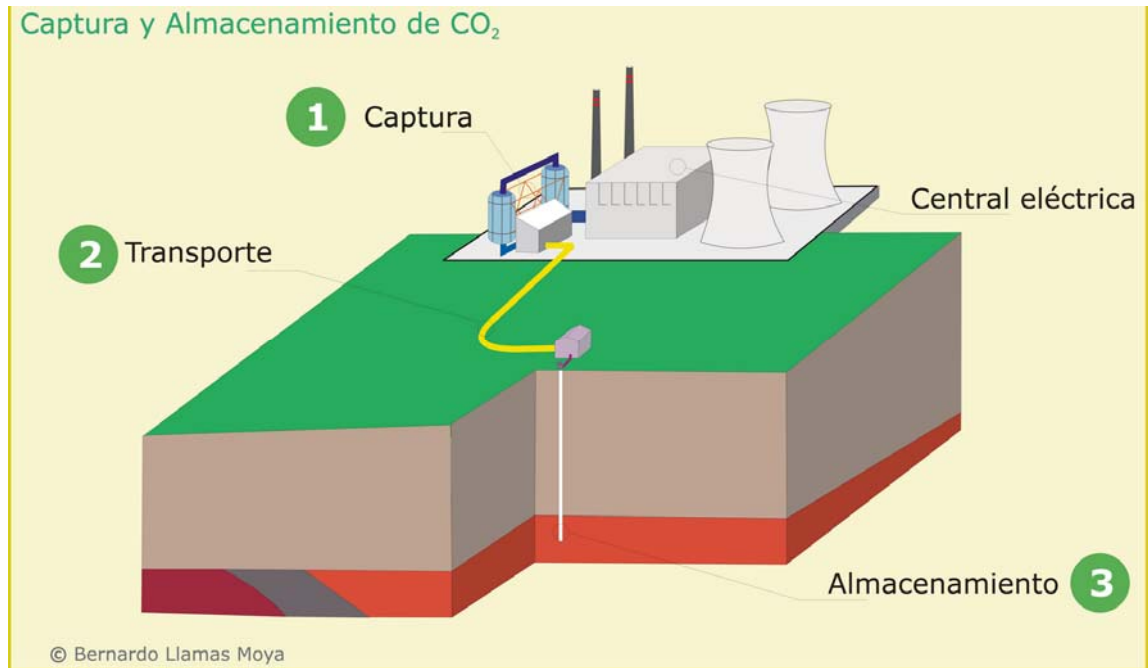


Figura 17: Captura y almacenamiento de carbono (CAC).
Fuente: Bernardo Llamas Moya, minasyenergia.upm.es.

La captura y almacenamiento de carbono (CAC)⁵ consiste en separar el CO₂ emitido por la industria y la generación de energía en los procesos de combustión, y transportarlo a un lugar de almacenamiento geológico para aislarlo de la atmósfera a largo plazo.

El proceso químico de captura de CO₂ es energéticamente costoso, produciéndose a su vez más CO₂ que no se puede almacenar indefinidamente, pero que podría ser utilizado en otros procesos y para diversos fines.

En Weyburn en 2000; se inició una planta piloto de producción de energía con CAC integrada, operando desde septiembre

⁵ La captura y almacenamiento de carbono (CAC) (Carbon Capture and Storage, CCS en inglés) es una técnica para evitar que el dióxido de carbono llegue a la atmósfera

de 2008 en la central térmica de Schwarze Pumpe de Vattenfall (Alemania).

La CAC aplicada a una planta de energía moderna convencional podría reducir las emisiones de CO₂ a la atmósfera entre el 80 y el 90 % comparado a una planta sin CAC.

El almacenamiento de CO₂ se podría realizar en formaciones geológicas profundas, en las masas de aguas profundas, o en forma de minerales carbonatos. En el caso del almacenamiento oceánico profundo, existe el riesgo de aumentar enormemente el problema de la acidificación de los océanos, un problema que se deriva del exceso de dióxido de carbono presente ya en la atmósfera y los océanos. Las formaciones geológicas son consideradas actualmente los sitios más plausibles de secuestro de carbono.

Un problema general es que las predicciones a largo plazo acerca del almacenaje seguro submarino o subterráneo son muy difíciles e inseguras, y persiste el riesgo de que el CO₂ pudiera fugarse desde el almacenaje a la atmósfera.

Otra alternativa para la captura y almacenamiento del dióxido de carbono consiste en solidificarlo para convertirlo en carbón.

Conversión de CO₂ en carbón sólido: Para lograr la conversión, los investigadores utilizaron un catalizador de metal líquido que contiene cerio, excepcionalmente eficiente en la conducción de electricidad.

Cuando los investigadores cargaron eléctricamente un recipiente con CO₂ y el metal líquido, el dióxido de carbono comenzó a convertirse en pequeñas escamas de carbón.

Las escamas de carbono sólido se separan naturalmente del metal líquido y caen al fondo del recipiente, permitiendo la producción continua de carbono sólido a partir del dióxido de carbono.

El producto final contiene una carga eléctrica que se puede usar como supercondensador después del proceso.

Investigadores del Instituto Real de Tecnología de Melbourne (Australia) consideran que este es el primer paso hacia un método económico para eliminar el dióxido de carbono de la atmósfera y almacenarlo de forma fácil y eficiente en el suelo. Hasta ahora, el CO₂ sólo puede ser convertido a temperaturas muy altas en partículas sólidas. Esto ha hecho que el sistema sea insostenible por sus elevados costes, pero con los nuevos avances, se puede convertir en una técnica barata.

El nuevo prototipo desarrollado no requiere grandes inversiones para convertir el dióxido de carbono en una forma sólida.

Se basa fundamentalmente en las nanopartículas de cerio metálico, que generan una reacción electroquímica que arranca el oxígeno del dióxido de carbono a un voltaje pequeño. La suspensión de las nanopartículas en forma de aleación de metal líquido evita la acumulación del carbono solidificado sobre el cerio.

El uso del galio metálico como disolvente permite que todo el proceso se lleve a cabo a temperatura ambiente, dado el punto de fusión notablemente bajo de este elemento. El uso de metales líquidos como catalizadores, facilita la conversión del gas en carbono en un proceso eficiente.

Por otro lado, además de obtener carbón sólido, el proceso emite oxígeno, de manera que las emisiones a la atmósfera son negativas.

La otra ventaja que tiene el proceso es que el carbono puede retener la carga eléctrica, convirtiéndose en un supercondensador, por lo que podría ser utilizado como componente en futuros vehículos eléctricos.

El proceso también produce combustible sintético como subproducto, que también podría tener aplicaciones industriales.

Los productos a base de carbono como el grafeno tienen el potencial de revolucionar el futuro de la electrónica, ya que tienen múltiples usos.

Otro tipo de captura de carbón se realiza en Hellisheidi (Islandia), donde se ha realizado un experimento que trata de capturar el dióxido de carbono que ensucia la atmósfera y convertirlo en carbón sólido.

El proyecto se llama CarbFix, y se encuentra en manos de un consorcio internacional de investigadores, con la empresa de energía de Reikiavik, el Centro Nacional de Investigación Científica francés, la Universidad de Islandia y la Universidad de Columbia, financiada por la Unión Europea.

Con este proyecto Hellisheidi se convirtió en sede del primer sistema de emisiones negativas del mundo, capaz de aspirar CO₂ directamente del aire y almacenarlo bajo tierra de manera permanente.

Ante el aumento de las concentraciones de dióxido de carbono en la atmósfera, los científicos han probado distintas soluciones de captura y almacenamiento de carbono desde los años 70.

El proyecto CarbFix propone deshacerse del carbono de manera permanente y rápida, para lo que debe convertir el gas en un mineral y solidificarlo a unos mil metros bajo tierra. Los pasos son los que se indican a continuación (ver Figura 18):

- Captura del CO₂ que viaja en el vapor liberado a la atmósfera, para disolverlo en grandes volúmenes de agua y donde se separan los gases. El concepto es similar a una máquina de soda.
- El líquido efervescente es enviado por un entramado de tuberías hasta el lugar de inyección. Desde allí, se bombea a alta presión hasta unos 1.000 metros bajo tierra.
- Allí se producirá una serie de reacciones químicas que harán que el CO₂ se convierta en roca sólida, impidiendo su escape a la atmósfera.

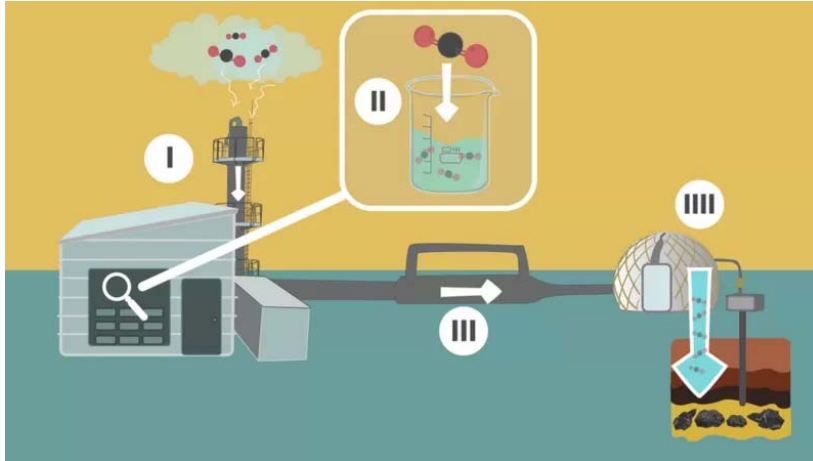


Figura 18: CarbFix, paso por paso: I) El dióxido de carbono residual que viaja en el vapor entra en la estación de separación de gases, II) Dilución de CO₂ en agua. III) Transporte del CO₂ por tuberías al sitio de inyección IV) Bombeo a 1.000 metros de profundidad, donde las reacciones químicas ayudan a mineralizar el gas y volverlo roca.

Fuente: Jilla Dastmalchi.

Tanto el suelo como el subsuelo de Islandia están compuestos en su gran mayoría por basalto, una piedra porosa y gris que se forma a partir del enfriamiento de la lava y que contiene altos niveles de calcio, magnesio y hierro, que ayudan a que el CO₂ inyectado se solidifique y se formen carbonatos, que es como se llama al dióxido de carbono mineral.

Algunas de las mayores extensiones de basalto se encuentran en Siberia, India Occidental, Estados Unidos, Arabia Saudí y el Noroeste del Pacífico. En América Latina no abunda en superficie, pero si hay basalto submarino y los científicos están investigando como se pueden obtener desde el fondo marino.

El sistema es considerado más seguro que el almacenamiento de carbono en estado gaseoso, dado que elimina los riesgos de filtraciones peligrosas desde el subsuelo.