

REVISIÓN DE LA LITERATURA DE LOS EFECTOS NOCIVOS DE LOS
COMBUSTIBLES FÓSILES PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS EXÁMENES
MÉDICO OCUPACIONALES

DRA. LUISA FERNANDA SÁNCHEZ VELÁSQUEZ

DRA. CLAUDIA XIMENA GUERRERO ESPAÑA

DRA. MARIA JOSÉ NARVÁEZ DORIA

UNIVERSIDAD CES

FACULTAD DE MEDICINA

ESPECIALIZACIÓN EN SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO

MEDELLÍN

2023

REVISIÓN DE LA LITERATURA DE LOS EFECTOS NOCIVOS DE LOS
COMBUSTIBLES FÓSILES PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS EXÁMENES
MÉDICO OCUPACIONALES

DRA. LUISA FERNANDA SÁNCHEZ VELÁSQUEZ

DRA. CLAUDIA XIMENA GUERRERO ESPAÑA

DRA. MARIA JOSÉ NARVÁEZ DORIA

Trabajo de Grado Especialización en Seguridad y Salud en el Trabajo

ASESORA

Dra. Melisa González Caballero

Médico especialista en seguridad y salud en el trabajo

Mst. Toxicología Ocupacional y valoración del riesgo

Facultad de Medicina

UNIVERSIDAD CES

FACULTAD DE MEDICINA

ESPECIALIZACIÓN SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO

MEDELLÍN

2023

Contenido

INTRODUCCIÓN	5
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	6
2. JUSTIFICACIÓN.....	8
2.1. Pregunta de trabajo.....	9
3. OBJETIVOS	10
3.1 Objetivo general	10
3.2 Objetivos específicos	10
4. MARCO TEÓRICO DE APROXIMACIÓN AL TEMA	11
4.1 Definición de Combustibles fósiles	11
4.2 Importancia y utilización de los combustibles fósiles	13
4.3 Exposición laboral a combustibles:.....	14
4.4 Combustibles de uso frecuente	17
4.4.1 Combustible diésel:.....	17
4.4.2 Gasolina	21
4.4.3. Combustible jet.....	25
4.4.4. Gas natural	29
5. METODOLOGÍA.....	34
5.1 Efectos perjudiciales en la salud, asociados a los combustibles fósiles: Diesel, gasolina, jet y gas natural.....	35
5.1.1 Sistema respiratorio	35
5.1.2 Sistema urinario:.....	36
5.1.3 Sistema gastrointestinal	36
5.1.4 Sistema inmune	38
5.1.5 Sistema endocrino	38
5.1.6 Sistema neurológico	39
5.1.7 Sistema hematológico.....	40
5.1.8 Sistema Dérmico	40
5.1.9 Sistema reproductivo	41
6. CONCLUSIONES.....	46
7. RECOMENDACIONES.....	49
8. Referencias	50

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1 Uso de combustibles fósiles	13
Ilustración 2 Clasificación de hidrocarburos.....	15
Ilustración 3 Metabolismo del benceno	16

Índice de Tablas

Tabla 1 Principales componentes del Diesel.....	18
Tabla 2 Componentes Diesel y valores límites permitidos según la ACGIH	19
Tabla 3 Componentes de la gasolina y valores límites permitidos según la ACGIH	24
Tabla 4 Rango de composición (% v/v) del gas natural.....	30
Tabla 5 Recomendaciones para la vigilancia epidemiológica	42

INTRODUCCIÓN

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) es una organización internacional que está dedicada a generar políticas que permitan alcanzar igualdad, prosperidad y mejores oportunidades de trabajo para la sociedad·(1) Colombia hace parte de esta organización desde el 28 de abril del 2020 para mejorar el bienestar y la calidad de vida de la población, introduciendo al sector laboral normas que buscan evitar el riesgo asociado al trabajo, dentro de esta entidad el programa ambiental, desalud y seguridad en el trabajo es de gran importancia ya que se incluyen estudios sobre agentes químicos y procedimientos que van evaluando el riesgo tanto en las grandes industrias como en las ocupaciones donde se genera exposición, mostrando datos como medidas de prevención y seguridad de los productos bioquímicos como lo son las fuentes de energía fósiles. (2)

Los combustibles fósiles son uniones de carbón e hidrogeno, utilizados para la provisión energética. El territorio colombiano goza de abundantes yacimientos de petróleo, carbón, gas natural, metales, minerales, entre otros (3). Además, el país, es considerado como el mayor productoren América Latina.

La preocupación por las emisiones de CO₂ provenientes del consumo de combustibles en los últimos años ha ido creciendo, por el avance en la industrialización del transporte y la generación de electricidad de estos; por ende, se ha evidenciado incremento de costos anuales en salud por la contaminación del aire, agua y manipulación inadecuada de los productos químicos peligrosos causando múltiples patologías, aumentando los casos de morbilidad y discapacidad significativa. (4)

En los últimos tiempos, se han observado importantes progresos en la industria química colombiana y en el resto de América Latina. Esto se debe a que los combustibles fósiles son esenciales como materia prima en la producción y respaldan diversas actividades económicas empresariales. Por consiguiente, resulta crucial investigar los efectos perjudiciales de estos combustibles en la salud para proteger a la población colombiana, latinoamericana y mundial.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

En Colombia, el empleo de los hidrocarburos tiene un origen que se remonta al libro "Crónicas" de Fernández de Oviedo en 1541, donde se menciona el uso de manaderos de petróleo por parte de los indígenas en Lator, cerca de lo que hoy en día es Barrancabermeja. No obstante, no fue sino hasta el siglo XX que Bohórquez, Barco y de Mares comenzaron a aprovechar comercialmente estos yacimientos naturales. El primer pozo perforado fue el Infantas No. 1, entre 1918 y 1921. A partir de entonces, se descubrieron nuevos campos en las regiones del Magdalena Medio, Valle, Catatumbo, entre otros, lo que aumentó la disponibilidad de estos recursos para la industria colombiana, incluyendo no solo los combustibles, sino también los productos derivados del petróleo, como químicos, pinturas y plásticos; ocasionando mayores afectaciones en la salud de las poblaciones expuestas.

Sin embargo, es importante tener en cuenta variables de incidencia como la dosis, la duración y el tipo de exposición, así como de las características y los hábitos de manipulación. A diario, las personas se exponen sin tener pleno conocimiento ni controlen el manejo de estos agentes químicos, los cuales pueden ingresar al cuerpo a través de la inhalación, el consumo de alimentos o agua contaminados, y el contacto directo con la piel, tanto en entornos laborales como fuera de ellos; generando alteraciones reversibles o irreversibles en el organismo; como, por ejemplo, irritación de la mucosa gástrica, pulmonar, dérmica, además, alteraciones neurológicas como mareos, alucinaciones, dolores de cabeza, alteraciones neuropsiquiátricas, pérdida de la memoria, alteraciones olfatorias, sinusitis, alteraciones oftalmológicas, estado de coma e incluso la muerte.

Existe evidencia que asegura que la exposición en humanos genera cáncer, los estudios en animales han demostrado que la exposición por más de dos años puede llevar al desarrollo de tumores cancerígenos en riñones e hígado al respirar grandes concentraciones de los contaminantes producidos por el carbón, el petróleo y el gas natural ⁽⁵⁾. Según la IARC cualquier industria en la que se utilicen equipos a motor que funcionan con combustible diésel, se tiene una exposición carcinógena clasificada en el grupo 1, con exposición ocupacional circunstancial. El Dr. Christopher Portier, presidente del grupo de trabajo de la IARC, afirmó que "la evidencia científica fue convincente y la conclusión del grupo de trabajo fue unánime: los gases de escape de los motores diésel provocan cáncer de pulmón en los seres humanos". El Dr. Portier continuó: "Dados los impactos adicionales en la salud de las partículas de

diésel, la exposición a esta mezcla de productos químicos debe reducirse en todo el mundo” (5)

Por ello para detectar enfermedades relacionadas con el uso de combustibles fósiles, es necesario llevar a cabo estudios que analicen las manifestaciones clínicas y paraclínicas basadas en los sistemas afectados. Además, se están empleando nuevas tecnologías moleculares para este propósito. Estas pruebas moleculares, conocidas como biomarcadores o “fósiles químicos”, se utilizan para confirmar el estado patogénico y permitir intervenciones oportunas y preventivas en individuos expuestos. Puede clasificarse en biomarcadores de exposición, efecto y susceptibilidad. Algunos de los más utilizados incluyen el ácido tt-muconico y el ácido fenilmercaptapurino en la orina, los cuales indican la exposición al benceno, así como el 2,5-Hexanodiona en la orina, que permite detectar el N-hexano (6)

La utilización de biomarcadores en una población expuesta se justifica por su capacidad de ahorrar tiempo en comparación con las técnicas epidemiológicas, y por su capacidad de prevenir efectos adversos como el cáncer. Esto ha sido promovido por entidades como la CEE, la agencia NIOSH y OSHA desde 1980, quienes recomiendan la realización de exploraciones médico-fisiológicas periódicas en el personal expuesto con el objetivo de proteger la salud y prevenir enfermedades. En Colombia, esta práctica se lleva a cabo a través de los programas de seguridad y salud en el trabajo (SST), en cumplimiento del decreto 1072 de 2015, que busca prevenir lesiones y enfermedades derivadas de las condiciones laborales, así como promover y proteger la salud de los trabajadores. El objetivo principal es mejorar las condiciones y el ambiente laboral, así como el bienestar físico, mental y social de los trabajadores en todas las ocupaciones.

Es tal la preocupación sobre este tema, que se pretende hacer unas recomendaciones para el adecuado enfoque en los Programas de Vigilancia Epidemiológica sobre los efectos nocivos de los combustibles en la salud de las personas que por sus ocupaciones tienen mayor exposición y por ende más probabilidad de presentar alguna patología relacionada con su exposición, con la información se aportará a todos los sistemas de seguridad y salud en el trabajo en el mundo.

2. JUSTIFICACIÓN.

En Colombia, el reporte de intoxicación por sustancias químicas ha presentado un ascenso importante en los últimos años, al igual que en otros países, implicando un crecimiento en la frecuencia de las hospitalizaciones y gastos para el sistema de salud, para el año 2022 se notificaron 44.533 intoxicaciones en el país según los datos compartidos por el Instituto Nacional de Salud. (7)

La toxicidad generada por la combustión del petróleo, el carbono y el gas natural, es un problema que afecta a los trabajadores que manipulan estas sustancias químicas a lo largo de su proceso productivo o de transformación y constituye un desafío en materia de salud pública, que afecta a una proporción importante de la población laboral en Colombia y en el mundo, hecho que se agudizó a partir de la revolución industrial, cuando los combustibles fósiles pasaron a ser la piedra angular para la obtención de energía térmica y eléctrica requerida para cubrir las necesidades industriales y domésticas. (8)

El uso de los combustibles produce contaminantes físicos y químicos con un impacto medioambiental negativo en los ecosistemas aéreos, terrestres y acuáticos, afectando directa e indirectamente al organismo humano. Los grados de contaminación ambiental están superando el límite de la capacidad auto depurativa natural. Según el informe del Intergovernmental Panel of Climate Change, la vida de las generaciones actuales y venideras dependerá en gran medida del reemplazo de las fuentes de energías tradicionales (carbón, petróleo, gas, nucleares) hacia las energías limpias, que respeten todos los ecosistemas biológicos (energía solar, eólica, biomasa, entre otras). (9)

La exposición ocupacional a los componentes químicos presentes en estos combustibles puede provocar alteraciones agudas y crónicas, trastornos reproductivos y aumentar el riesgo de cáncer. Varios estudios realizados por la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) y el Instituto Nacional del Cáncer (NCI) de Estados Unidos han identificado que algunos de estos agentes químicos son carcinógenos en humanos. (10)

A nivel global, la implementación de sistemas de vigilancia epidemiológica en trabajadores expuestos a combustibles es un aspecto crucial para garantizar la salud y seguridad en el entorno laboral. Estos sistemas pueden variar de un país a otro, pero generalmente incluyen exámenes médicos, monitoreo de la

exposición a sustancias tóxicas y la implementación de medidas de control en el lugar de trabajo. Además, muchos países exigen que las empresas brinden a sus empleados una formación y capacitación continua sobre los riesgos asociados con la exposición a combustibles y las medidas de prevención adecuadas. Debe contarse con la colaboración entre empleadores, trabajadores y entes reguladores gubernamentales. Todos deben trabajar en equipo para garantizar un ambiente de trabajo seguro y saludable en pro de la sostenibilidad de los sistemas de salud.

La regulación de los programas de vigilancia médica epidemiológica en Colombia para los empleados expuestos a combustibles es responsabilidad de la Secretaría de Salud y la Dirección de Salud Ocupacional de las compañías. Estos sistemas abarcan la realización periódica de exámenes médicos ocupacionales, el monitoreo de la exposición a sustancias nocivas y la implementación de medidas de seguridad en el entorno laboral para evitar la exposición a productos químicos peligrosos. Además, se promueve la formación constante de los trabajadores acerca de los riesgos asociados con la exposición y las medidas de prevención necesarias.

Este estudio propone recomendaciones basadas en el conocimiento del impacto de los combustibles como la gasolina, el diésel, el combustible de aviación y el gas natural enfocándose en los síntomas y manifestaciones relacionados. Además, se plantea la elaboración de pautas para proporcionar orientación a los profesionales de la salud encargados del sistema integral de seguridad y salud laboral.

2.1. Pregunta de trabajo

Por las razones anteriormente expuestas, con la presente revisión se pretende dar respuesta a la siguiente pregunta: **¿Cómo determinar los efectos nocivos asociados a los combustibles fósiles en los exámenes médicos ocupacionales?**

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Reconocer los efectos nocivos de los combustibles más comunes y utilizados en la industria en el año 2023.

3.2 Objetivos específicos

- Determinar los exámenes médicos ocupacionales asociados a la exposición de los combustibles fósiles.
- Revisar la bibliografía científica para el reconocimiento de los efectos nocivos de los combustibles fósiles.
- Proporcionar recomendaciones que ayuden a mejorar las habilidades de los médicos responsables de la seguridad y salud en el trabajo, con relación a las actividades de promoción y prevención para entornos vulnerables o de alto riesgo para los trabajadores involucrados en la industria de los combustibles fósiles.

4. MARCO TEÓRICO DE APROXIMACIÓN AL TEMA

4.1 Definición de Combustibles fósiles

El combustible es un recurso energético no renovable derivado de la descomposición de materia orgánica procedente de restos vegetales y animales que, al combinarse con el oxígeno produce energía. Es un material que se ha usado de forma importante para la producción de calor, energía o luz. El petróleo, carbón y el gas natural son combustibles fósiles y sus derivados como diésel, el queroseno, la gasolina, el gas natural o los gases licuados del petróleo (GLP), fibras sintéticas, asfalto, grasas, aceites entre otros. (11) Este recurso natural para poder regenerarse requiere de muchos años, ya que se origina en capas del suelo específicas, pero la velocidad con la cual es utilizado es mucho mayor que con la que se renueva. (12)

Los combustibles se pueden clasificar según el estado en que se encuentran:

Sólidos están constituidos por carbono, hidrógeno, oxígeno, azufre, agua y cenizas, de los cuales son combustibles solamente carbono, oxígeno, hidrógeno y el azufre, tenemos minerales como leña, aserrín, cáscara de caña, etc.

Líquidos se clasifican en minerales y no minerales, los primeros se obtienen por refinación del petróleo o hidrogenación del carbón, dentro de estos los más utilizados están la gasolina, el gasoil y el aceite de combustible formados por hidrocarburos.

Gaseosos son combustibles que se forman con el aire una mezcla más homogénea, suelen ser de bajo costo porque son obtenidos como subproductos, según su proceso de elaboración pueden ser: Gas Natural proveniente de lugares arenosos que contienen petróleo los principales son metano CH_4 -etano C_2H_6 - dióxido de carbono CO_2 - nitrógeno N_2 , los obtenidos de la refinación del petróleo son el propano y butano. El gas de gasógeno obtenido de la combustión de carbón actualmente no es muy utilizado por su bajo poder calorífico y generar mayor contaminación. (13)

Dentro de los combustibles fósiles se describen:

Petróleo El petróleo es un líquido viscoso y oscuro que se forma a partir de hidrocarburos y se extrae de pozos ubicados a una profundidad que puede variar

entre los 600 y los 5000 metros. Este recurso natural se generó hace millones de años a partir de la acumulación de plancton marino cubierto por sedimentos y sometido a altas temperaturas y presiones. La extracción del petróleo se realiza a través de perforaciones, y a medida que asciende, se enfría y se separan sus diferentes componentes, como gasóleo, queroseno, entre otros, hasta llegar a los gases, como metano y propano. El petróleo se encuentra tanto en el mar como en superficies terrestres, y se utiliza en la fabricación de diversos productos, como caucho, plástico, tintas de impresión, neumáticos y gasolina, entre otros. (14)

Carbón: Es una roca sedimentada de tono oscuro y color negro que contiene una alta concentración de carbono, así como otros elementos químicos como azufre, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno. Se forma a partir de la materia vegetal a través de un proceso conocido como carbonización. Por lo general, se encuentra debajo de una capa de pizarra y encima de una capa de arena y arcilla. Es probable que la mayor parte del carbón se haya formado durante la era carbonífera, hace aproximadamente entre 280 y 345 millones de años. Existen cuatro tipos básicos de carbón mineral, que son: antracita, hulla, lignito y turba. La extracción del carbón se lleva a cabo de dos maneras principales: mediante minería a cielo abierto o minería subterránea. El carbón se utiliza en diversas industrias, como la producción de aceites, plásticos, generación de electricidad, siderurgia y como fuente de calefacción en los sectores residencial, comercial y de servicios. (15)

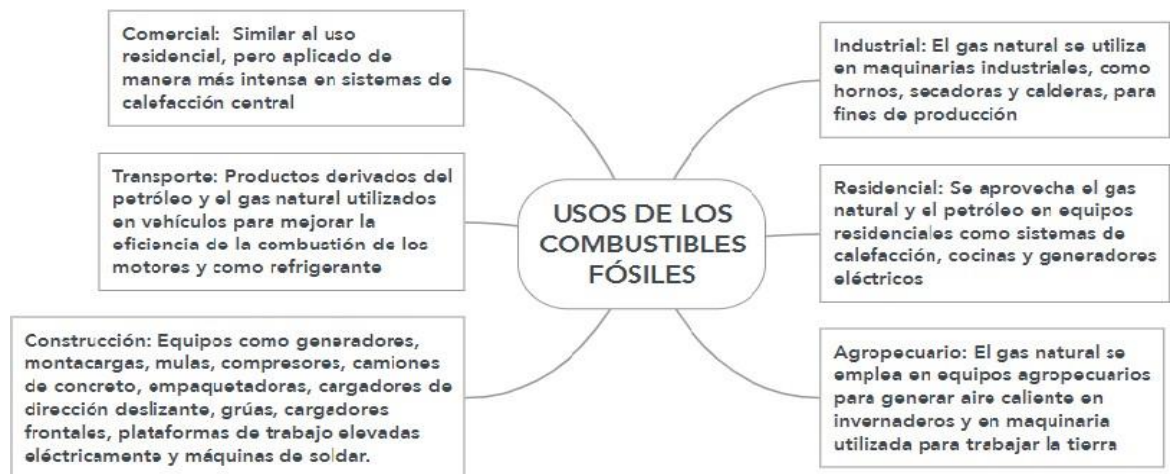
Gas natural: Es una mezcla gaseosa de hidrocarburos cuya composición varía según el yacimiento del cual se extrae. Principalmente está compuesto por metano (CH_4) en un 90 o 95%, junto con nitrógeno (N_2), dióxido de carbono (CO_2), sulfuro de hidrógeno (H_2S), helio (He) y mercaptanos. Su extracción y producción involucra torres de perforación y tuberías diseñadas para su transporte a gran escala. El gas natural es una fuente de energía no renovable obtenida a partir de la descomposición de restos orgánicos y también de procesos en plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas, procesamiento de basura, entre otros. Cuando se obtiene de estos procesos se denomina biogás. Durante la última década, su consumo ha aumentado significativamente. Se estima que el agotamiento del gas natural es un 50% más rápido que el del petróleo, lo cual significa que se podrían extraer reservas al ritmo actual durante aproximadamente 64 años a nivel global. (16)

4.2 Importancia y utilización de los combustibles fósiles

Los combustibles fósiles se usan desde que se crearon los motores a vapor, sin embargo, se les comenzó a dar más importancia a partir de la revolución industrial, (siglo XVIII), cuando se emplea de forma más continua la movilización de la industria, el transporte, la agricultura y la corriente eléctrica para el consumo doméstico, esto equivale a casi el 80% de la generación de electricidad en el mundo.

Hoy en día, los combustibles fósiles se reconocen como la principal fuente de energía a nivel mundial debido a su capacidad para facilitar el transporte, generar una gran cantidad de calor y ser comercializados y producidos a un costo más económico. Su principal objetivo es la producción de energía eléctrica, pero también desempeñan un papel fundamental en la generación de energía mecánica utilizada en automóviles, maquinaria tanto en pequeñas como grandes industrias, aviones y otros sectores industriales. (16)

Ilustración 1 Uso de combustibles fósiles



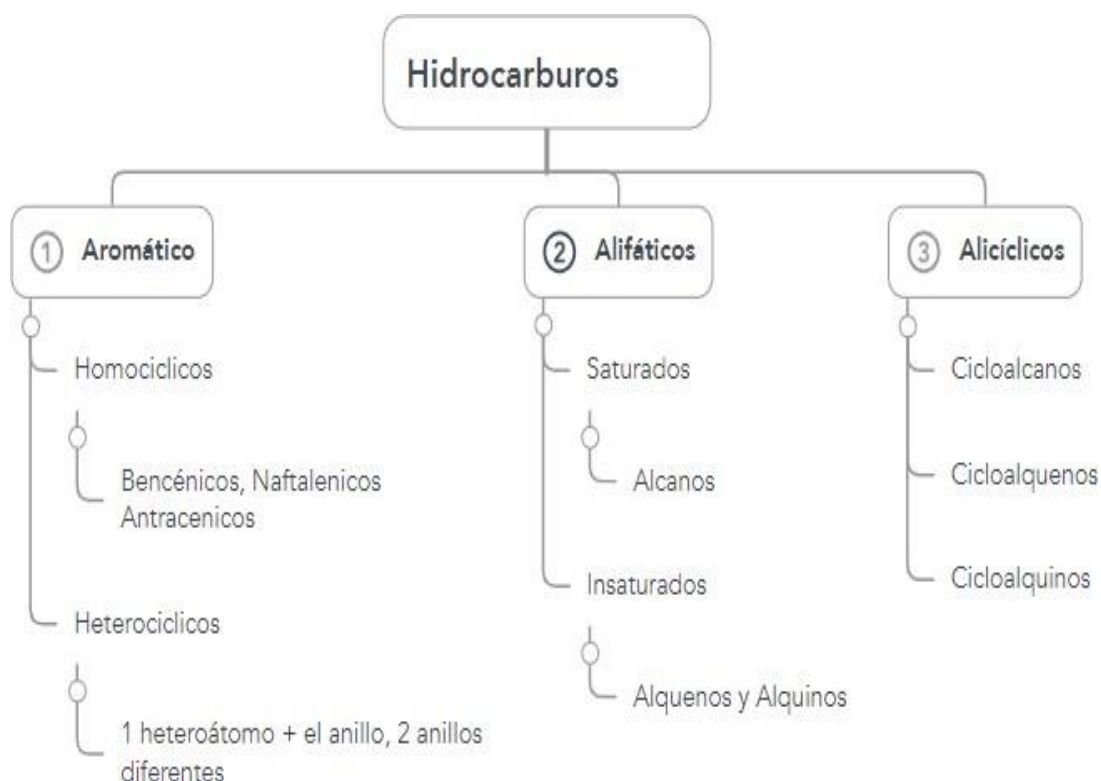
Fuente: Tomado y adaptado de "Combustibles fósiles". Autor: Dianelys Ondarse Álvarez. De: Argentina. Para: *Concepto*.

4.3 Exposición laboral a combustibles:

La primera descripción de una enfermedad laboral sucedió a principios de 1775, cuando Sir Percival Pott, un médico inglés, documentó un caso de cáncer relacionado con el trabajo, específicamente observó cáncer de escroto en deshollinadores expuestos de forma prolongada al alquitrán y al hollín. Con el tiempo, se comenzó a reconocer la asociación entre el cáncer de piel y la exposición a alquitrán y aceites bituminosos en trabajadores. En 1910, los estudios en laboratorios con animales contribuyeron a comprender el cáncer de pulmón. Durante la década de 1930, se observó una mayor incidencia de cáncer de pulmón en trabajadores de la industria del acero. Finalmente, en 1933, se realizó un descubrimiento fundamental al identificar que los hidrocarburos aromáticos cíclicos, como el benzopireno presente en el alquitrán de hulla, son sustancias con potencial carcinogénico. Estos compuestos son sustancias orgánicas que contienen carbono e hidrógeno, y se clasifican en dos categorías: alifáticos y aromáticos. Los hidrocarburos alifáticos son aquellos que no poseen anillos de benceno, mientras que los hidrocarburos aromáticos sí tienen este anillo característico. Los hidrocarburos aromáticos representan casi la mitad de todos los compuestos orgánicos. Inicialmente, el término "aromáticos" se usaba específicamente para referirse al alquitrán mineral, el benceno y sus derivados. Sin embargo, en la actualidad, se aplica a cualquier hidrocarburo derivado del benceno, siempre y cuando el anillo esté intacto. La aromaticidad también incluye sistemas policíclicos como el naftaleno, antraceno y fenantreno, así como compuestos más complejos, incluyendo ciertos cationes y aniones, como el pentadienilo. (Ilustración 1.)

Se clasifican como sustancia carcinógena de categoría 1A y sustancia mutagénica de categoría M1B3 (17) Las características químicas que se pueden observar a temperatura ambiente suelen ser líquidos incoloros, son empleados en la industria química (disolventes), en la fabricación de resinas, fibras sintéticas, plásticos, nailon, pinturas, pegamentos, fibras sintéticas, plaguicidas, barnices, medicamentos, detergentes y lubricantes, elementos derivados del petróleo crudo, de la gasolina, del humo del cigarrillo y otros materiales orgánicos que han sufrido un proceso de combustión incompleta o se han evaporado. Tenemos fuentes naturales como los yacimientos, los volcanes, los incendios forestales, los combustibles fósiles, nos encontramos con aromas dulces que incitan a inhalarlos y olerlos por despertar aromas dulces, pero se debe conocer que son altamente nocivos para la salud. (18)

Ilustración 2 Clasificación de hidrocarburos



Tomado y adaptado <https://www.portaleducativo.net/segundo-medio/60/hidrocarburos>

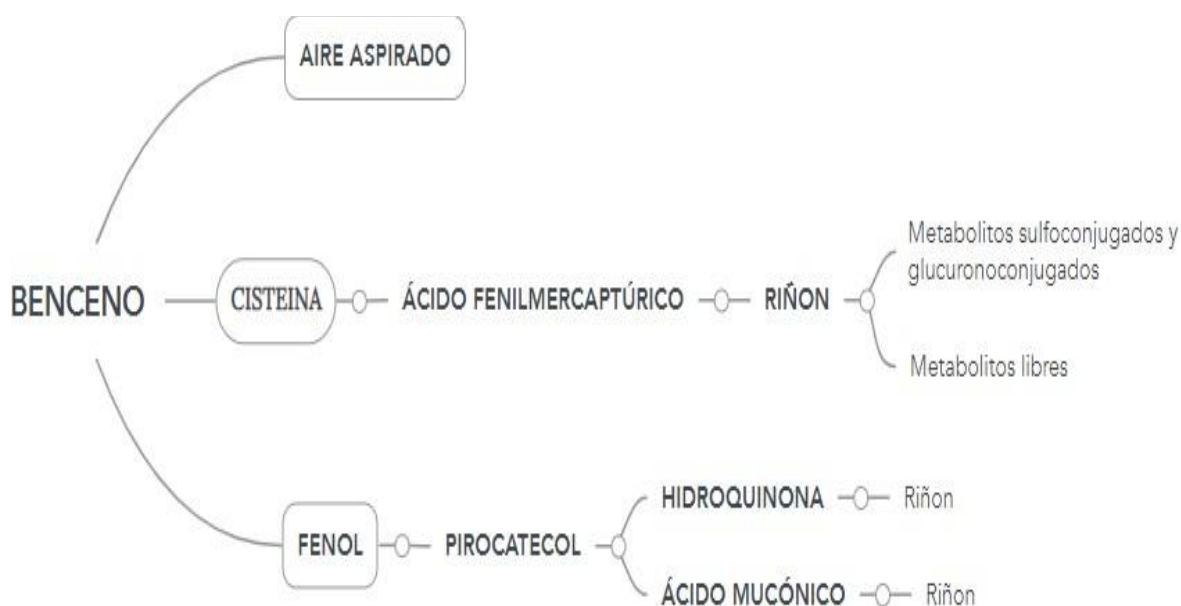
Los combustibles pueden ingresar al cuerpo principalmente a través de la inhalación y en menor medida a través de la piel. En el caso específico del benceno, una vez inhalado, se distribuye rápidamente en diferentes tejidos corporales como la médula ósea, el hígado, los riñones, el cerebro y los pulmones. Posteriormente, el benceno se metaboliza en el hígado mediante procesos de oxidación realizados por enzimas hepáticas, dando lugar a metabolitos más solubles en agua que facilitan su eliminación. El principal metabolito resultante es el hidroxibenceno (fenol), el cual puede experimentar un metabolismo adicional, produciendo otros compuestos como el catecol y el quinal.

La excreción de los metabolitos del benceno generalmente ocurre dentro de las 24-48 horas después de una exposición única, y su vida media biológica es inferior a 12 horas. La mayoría de los metabolitos se eliminan a través de la orina, siendo el fenol, el catecol y el ácido mucónico los más comunes. Además,

existe una pequeña eliminación a través de las heces y la respiración.

La eliminación del benceno y sus metabolitos del cuerpo está influenciada por varios factores, como la dosis, la duración de la exposición y características individuales. Aunque los tejidos adiposos pueden retener pequeñas cantidades de benceno durante algunos días después de la exposición, los niveles en los tejidos corporales disminuyen rápidamente después de la exposición. (19) (Ilustración 3)

Ilustración 3 Metabolismo del benceno



Tomado y adaptado de: Aroa Zubizarreta Solá et al, (2018)

Revisión de la literatura sobre efectos nocivos de la exposición laboral a hidrocarburos en trabajadores en ambiente externo. Aroa Zubizarreta Solá, Javier Martínez Menéndez, Pablo Rivas Pérez, Sandra Gómez Iglesias, Ana Sanz Borrás. Med Segur Trab (Internet) 2018; 64 (252) 271-94

Los hidrocarburos aromáticos pueden tener efectos perjudiciales en el cuerpo, tanto agudos como crónicos. La exposición aguda a estos compuestos aromáticos puede provocar una intoxicación aguda con síntomas como cefalea, náuseas, desorientación, confusión, inquietud e irritación respiratoria, como tos y dolor de garganta. En dosis altas, puede resultar en pérdida de la conciencia, depresión respiratoria, palpitaciones y mareos.

Por otra parte, la exposición crónica a los hidrocarburos aromáticos puede presentar diversos efectos en el cuerpo humano. Principalmente, se han

observado cambios en la conducta, depresión, alteraciones en el estado de ánimo, modificaciones en la personalidad y deterioro de la función cognitiva como manifestaciones. Además, se ha constatado que puede ocasionar efectos en la piel, como sequedad, irritación y agrietamiento, e incluso dermatitis en casos de exposición a compuestos clorados dentro de esta categoría. En algunos pacientes, se ha documentado la aparición de hepatotoxicidad, desarrollo de neuropatía periférica y, en casos más graves, efectos cancerígenos. Por ejemplo, se ha demostrado una relación entre la exposición al benceno y el desarrollo de diversos tipos de leucemia, especialmente la leucemia no linfocítica aguda. Además, se ha observado que puede provocar anemia aplásica y pancitopenia reversible, particularmente en casos de intoxicación crónica. Estos efectos están asociados a la conversión del benceno en epóxido de benceno, que ocurre en las células de la médula ósea, como los eritroblastos. Los metabolitos del benceno parecen interferir con los ácidos nucleicos, lo cual se ha evidenciado en un aumento de la frecuencia de aberraciones cromosómicas en personas y animales expuestos al benceno. Estos factores a largo plazo pueden incrementar el riesgo de desarrollar cánceres hematológicos, como leucemias y linfomas. (18)

4.4 Combustibles de uso frecuente

4.4.1 Combustible diésel:

El diésel, también conocido como petrodiesel, es un combustible fósil que se obtiene a partir del petróleo mediante un proceso de destilación fraccionada y purificación a presión atmosférica en un rango de temperatura de 250 °C a 350 °C. Esta mezcla de hidrocarburos se utiliza ampliamente y puede ser denominada también como gasóleo o gasoil, para diferenciarlo de otras fuentes como el biodiésel. Los componentes principales del diésel consisten en kerosenos y destilados medios obtenidos directamente de la destilación del petróleo crudo. Estos componentes son sometidos a un proceso de hidrodesulfuración para reducir su contenido de azufre a niveles de 10-50 ppm. Además, también se incluyen en el diésel los productos derivados de unidades de conversión como la FCC (Craqueo Catalítico Fluidizado), Hydrocracking (Hidroconversión) y Coquización, los cuales también son sometidos a hidrodesulfuración. La fórmula química promedio del diésel común es $C_{12}H_{23}$, aunque su composición puede variar en un rango aproximado de $C_{10}H_{20}$ a $C_{15}H_{28}$. En realidad, el diésel derivado del petróleo es una mezcla de diferentes fracciones de hidrocarburos, los saturados incluyen parafinas de cadena lineal, cadena ramificada y cicloparafinas. Además, contiene aproximadamente un 25%

de hidrocarburos aromáticos, como naftalenos y alquilbenceno.

Existen dos variantes de gasóleo utilizadas en distintos contextos. Por un lado, se encuentra el gasóleo utilizado en motores de combustión interna, tanto en automóviles como en motores diésel marinos o estáticos de gran tamaño. Por otro lado, está el gasoil de calefacción, empleado en hornos, calderas y generadores eléctricos. Estos combustibles son el resultado de una mezcla de diversos componentes obtenidos en diferentes procesos de refinación, principalmente a partir de parafinas y naftenos. El intervalo de ebullición de estos gasóleos se sitúa aproximadamente entre los 160 y 360 grados Celsius. En el caso del gasóleo utilizado en automotores, su contenido de azufre es bajo, con valores de 10 o 50 partes por millón (ppm). Sin embargo, en el gasoil de calefacción se permite un contenido de azufre más elevado. (17)

Tabla 1 Principales componentes del Diesel

COMPOSICIÓN DIESEL		
COMPONENTE	N.º CAS	PESO
Combustible, Diesel N°2 Gasoil- sin especificar.	68476-34-6	100%
Nonano	111-84-2	0-5%
Naftaleno	91-20-3	0-1%
1.2.4 Trimetilbenceno	95-63-6	0-2%
Xileno	1330-20-7	0-26%
Azufre	7704-34-9	15 ppm máximo

Tomado y adaptado de CAMEO chemicals <https://cameochemicals.noaa.gov/chemical/11452>

La reducción de la emisión de azufre en el entorno se debe a los estándares internacionales preferenciales que han impuesto a las refinerías de petróleo la necesidad de disminuir significativamente los niveles de azufre en los combustibles diésel. Durante la combustión, el azufre presente en el combustible se oxida, generando dióxido de azufre y trióxido de azufre, que, en presencia de agua, se transforman rápidamente en ácido sulfúrico.

Este proceso químico es uno de los responsables de la formación de la lluvia ácida. Aunque los niveles elevados de azufre en el diésel resultan dañinos para el medioambiente, la reducción del azufre también implica una disminución en la lubricidad del combustible, lo que implica que se deben añadir aditivos al mismo para garantizar una adecuada lubricación de los motores

Tabla 2 Componentes Diesel y valores límites permisitos según la ACGIH

COMPONENTES DIESEL Y VALORES LÍMITES PERMITIDOS SEGÚN LA ACGIH				
Componente	TWA	STEEL	Minas de carbón subterráneas	Minas metálicas y no metálicas
Dióxido de carbono	5000 ppm	30,000 ppm	5000 ppm (9000 mg/m ³), TWA de 8 horas: 30000 ppm (54000 mg/m ³), STEL	5000 ppm (9000 mg/m ³), TWA de 8 horas: 15000 ppm (27000 mg/m ³), STEL
Monóxido de carbono	25 ppm	—	50 ppm (55 mg/m ³), TWA de 8 horas; 400 ppm (400 mg/m ³), STEL	35 ppm (40 mg/m ³), TWA de 8 horas; 200 ppm (230 mg/m ³), techo (sin tiempo mínimo)
Formaldehído	0.1 ppm	0.3 ppm	2 ppm (3 mg/m ³), techo	0.016 ppm (0.020 mg/m ³), TWA de 8 horas; 0.1 ppm (0.12 mg/m ³), techo 15 min
Dióxido de nitrógeno	0.2 ppm	—	5 ppm (9 mg/m ³), techo	1 ppm (1.8 mg/m ³), techo 15 min
Óxido nítrico	25 ppm	—	25 ppm (30 mg/m ³), TWA de 8 horas; 37.5 ppm (46 mg/m ³), STEL	25 ppm (30 mg/m ³), TWA de 10 horas

Dióxido de azufre	—	0.25 ppm	5 ppm (13 mg/m ³), TWA de 8 horas; 20 ppm (52 mg/m ³), STEL (5 min)	0.5 ppm (1.3 mg/m ³), TWA de 10 horas
Polvo respirable	3.0mg/m ³ *	—	2 mg/m ³	Sin límite
Polvo respirable cuando el contenido del cuarzo es superior al 5 % del total	—	—	10 mg/m ³ % cuarzo	10 mg/m ³ % cuarzo+2
Volátiles de brea de alquitrán de hulla	3 mg/m ³	—	No se considera relevante	No se considera relevante
Hidrocarburos aromáticos policíclicos	—	—	Sin PEL	Sin PEL

Tomado de COMPONENTES DIESEL Y VALORES LÍMITES PERMITIDOS SEGÚN LA ACGIH
 Límites de OSHA, MSHA y NIOSH relevantes para la exposición ocupacional a la fracción de partículas del escape de diésel <https://www.cdc.gov/niosh/docs/88-116/default.html>

Las emisiones de los motores diésel contienen una mezcla de compuestos gaseosos y partículas, incluyendo hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP). La NIOSH recomienda considerar todo el escape de diésel como un posible carcinógeno ocupacional potencial, con el objetivo de reducir la exposición y los riesgos asociados en el lugar de trabajo. Se estima que aproximadamente 1,35 millones de trabajadores en Estados Unidos están expuestos a los productos de combustión del diésel en diversos sectores. Las partículas de hollín en el escape de diésel contienen compuestos orgánicos adsorbidos, incluyendo HAP. Las concentraciones de HAP se pueden determinar mediante análisis con solventes como benceno o ciclohexano. La presencia de equipos diésel contribuye a la carga total de polvo respirable en el entorno laboral. En resumen, es esencial tomar medidas para reducir la exposición al escape de diésel en el lugar de trabajo debido a los posibles riesgos cancerígenos asociados. Debido a que la clasificación realizada por la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer indica que el escape de diésel se considera probable carcinógeno para los seres humanos, principalmente debido a la evidencia relacionada con el cáncer de pulmón y que el escape de gasolina se clasifica como un posible

carcinógeno se considera necesario complementar a través de evidencia científica que estudie la relación entre estos combustibles y la aparición de cáncer, se requiere estudios epidemiológicos adicionales para abordar las limitaciones de investigaciones anteriores en términos de la caracterización de la exposición y el control de la posible influencia de factores de confusión, como el consumo de tabaco y otras exposiciones ocupacionales. (20)

4.4.2 Gasolina

La gasolina, conocida por diferentes nombres en diversas regiones, es una sustancia compuesta por una mezcla volátil de hidrocarburos líquidos derivados del petróleo, y se le añaden diferentes aditivos. Contiene más de 500 hidrocarburos saturados e insaturados que contienen entre 3 y 12 átomos de carbono. La composición de esta mezcla puede variar según el origen del petróleo, los métodos de procesamiento y las combinaciones utilizadas, así como los aditivos necesarios para cumplir con los requisitos de rendimiento específicos.

En general, la gasolina típica es una mezcla de parafinas, naftenos y olefinas, aunque la proporción exacta varía según la refinería de petróleo que la produce. En la búsqueda de reducir la contaminación de los vehículos, se ha eliminado el plomo y muchos hidrocarburos tóxicos de la gasolina, y se han incorporado oxigenados como alcoholes y éteres derivados del alcohol. Esto ha llevado al desarrollo de combustibles reformulados con menos benceno y compuestos aromáticos, sin la necesidad de utilizar aditivos de metales pesados. Una formulación común de gasolina incluye aproximadamente un 62% de alcanos, un 7% de alquenos y un 31% de compuestos aromáticos, junto con alcoholes, éteres y otros aditivos. La composición porcentual puede variar según las regulaciones en diferentes países, no solo entre las gasolinas con plomo y sin plomo, sino también entre las variantes reformuladas y oxigenadas. (21) El octanaje se utiliza para medir la capacidad de combustión de la gasolina y se compara con una mezcla de 2,2,4-trimetilpentano y n-heptano. Existen diferentes métodos de medición, lo que resulta en varios índices de octano para un mismo combustible. La importancia del octanaje aumentó cuando se buscaban motores de aviones más potentes en las décadas de 1930 y 1940. Un mayor índice de octano permite una relación de compresión más alta, lo que se traduce en mayor potencia de salida. Se ha sugerido que una nación con suministro de gasolina de alto octanaje tendría ventaja en el poder aéreo.

La gasolina se caracteriza por su alta volatilidad en comparación con el diésel, Jet-A o queroseno. Para controlar la volatilidad, se mezcla con butano, cuyo punto de ebullición es de $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. La prueba de presión de vapor Reid (RVP) se utiliza para determinar su volatilidad, que depende de la temperatura ambiente. En climas cálidos, se utilizan componentes de gasolina con mayor peso molecular y menos volátiles. Un exceso de volatilidad en climas cálidos puede causar bloqueo de vapor, afectando la eficiencia de la bomba de combustible y privando al motor de combustible. Este efecto se aplica principalmente a las bombas de combustible accionadas por árbol de levas y no se aplica a vehículos con inyección de combustible. Además de ser utilizado como combustible en motores de combustión interna, la gasolina también se usa como disolvente para aceites y grasas. (21)

Inicialmente, la gasolina se obtenía destilando las fracciones más volátiles del petróleo crudo. Luego se desarrollaron procesos como el cracking, que separaba los componentes de alto peso molecular en productos de bajo peso molecular, aumentando así la producción de gasolina. En la actualidad, se utilizan métodos como el craqueo térmico y catalítico, la polimerización, la alquilación, la isomerización y el reformado para mejorar la calidad y el suministro de gasolina.

El valor energético de la gasolina es de alrededor de 35 MJ/L o 13 kWh/kg , pero puede variar según la mezcla y el productor. Muchos países imponen límites a los componentes aromáticos y olefinas de la gasolina, lo que ha llevado a una preferencia por componentes de parafina pura de alto octanaje, como los alquilados. Además, se agregan aditivos a la gasolina para reducir la acumulación de carbón en el motor, mejorar la combustión y facilitar el arranque en climas fríos.

La gasolina puede contener éteres orgánicos y pequeñas cantidades de contaminantes, como compuestos orgánicos de azufre, que generalmente se eliminan en la refinería. También se agregan desactivadores de metales para prevenir la formación de residuos gomosos. Sin embargo, los vapores de gasolina son perjudiciales para la salud humana y se consideran cancerígenos, por lo que existen regulaciones para controlar su emisión.

Los vapores de gasolina son nocivos para la salud humana y son cancerígenos por naturaleza, por lo que existen ciertas regulaciones para controlar su emisión. En Canadá, la volatilidad está regulada en las grandes ciudades para reducir la emisión de hidrocarburos no quemados mediante el uso de la llamada gasolina reformulada que es menos propensa a la evaporación. Los automóviles modernos también están equipados con un sistema de control de emisiones por evaporación (sistema EVAP en la jerga automotriz), que recolecta el combustible evaporado del tanque de combustible en un recipiente lleno de carbón mientras el motor está detenido y luego libera los vapores recolectados en el motor, para quemar cuando el motor está funcionando (generalmente solo después de que haya alcanzado la temperatura normal de funcionamiento). El sistema de control de emisiones por evaporación también incluye una tapa de gasolina sellada para evitar que los vapores se escapen a través del tubo de llenado de combustible. (22)

La gasolina contiene sustancias químicas tóxicas y aditivos, como el azufre, se regula en cada país. En Colombia, se estableció una política para mejorar la calidad del aire y se implementaron medidas específicas para reducir el contenido de azufre en los combustibles distribuidos a los vehículos del país. A principios de 2019, el Ministerio de Minas y Energía y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible adoptaron estándares normativos progresivos para la reducción del contenido de azufre. Estos estándares establecen que para el año 2020, el diésel debe tener un contenido de 20 ppm de azufre y la gasolina de 100 ppm. Para el año 2021, el diésel debe tener entre 10 ppm y 15 ppm de azufre y la gasolina de 50 ppm. Antes de finalizar el año 2025, el diésel debe tener un contenido de 10 ppm de azufre y entre 2026 y 2030, la gasolina debe tener un contenido de 10 ppm de azufre. (23)

Tabla 3 Componentes de la gasolina y valores límites permitidos según la ACGIH

COMPONENTES DE LA GASOLINA Y VALORES LÍMITES PERMITIDOS SEGUN LA ACGIH				
Componente	Número CAS	Porcentaje de concentración por peso	TWA	STEEL
Benceno	71-43-2	2 0.1 a 4.9 (0.1 a 1.3 para gasolina reformulada)	0.5ppm (con intensidad de cambio)	2.5ppm (con intensidad de cambio)
Etilbenceno	100-41-4 100 - 41 - 4	menos de 3	20ppm	
n - Hexano	110-54-3	0.5 a 4	50ppm	
Éter metil-butílico terciario	1634-04-4	0.5 a 15	50ppm	
Tolueno	108-88-3	1 a 15	20ppm	
1,2,4 Trimetilbenceno	95-63-3	Menor de 6		
Xileno, mezcla de isómeros	1330-20-7	1-15	20ppm	

Concentración de partes por millón (ppm) por peso				
Compuestos aromáticos policíclicos	PACs	17	BEI 2.5µg/L**	Notation B
Benzoperileno	191-24-2	2.55		Nq
Plomo	743992-1	0.079	0.05mg/m ³	

Tomado de <https://www.cdc.gov/niosh/pel88/8006-61.html>
(24)

Desde la década de 1920, se usaron aditivos de plomo en la gasolina para mejorar el rendimiento de los motores. Sin embargo, se descubrió que el plomo era perjudicial para el medio ambiente y la salud, y no era compatible con los convertidores catalíticos de los automóviles modernos. A partir de la década de 1980, se redujo gradualmente el uso de plomo en la gasolina debido a regulaciones gubernamentales y diferencias en las tasas impositivas.

En Estados Unidos de Norte América - EEUU, se implementaron estándares para eliminar la gasolina con plomo a partir de 1973. En la actualidad, la mayoría de los países han eliminado por completo el uso de plomo en los combustibles, sustituyéndolo por aditivos alternativos como hidrocarburos aromáticos, éteres y alcoholes como el etanol o metanol. (25)

4.4.3. Combustible jet

En aviación, se utilizan dos categorías principales de combustibles: la gasolina de aviación para motores de combustión interna (AVGAS) y los combustibles de turbinas de aviación (Jet-fuels). Los Jet-fuels son los más comunes debido al uso predominante de motores de turbina o de reacción en la mayoría de los aviones modernos, que ofrecen mayor potencia, seguridad y capacidad de vuelo a altitudes y velocidades más altas.

Los combustibles Jet se obtienen mediante la destilación, principalmente del queroseno en el rango de las naftas. Aunque inicialmente, los combustibles para aviones se basaban en queroseno o una mezcla de gasolina y queroseno, en la actualidad la mayoría se basa exclusivamente en queroseno.

En la aviación militar se emplea el combustible Jet B, que se obtiene mediante una mezcla de nafta (65%) y queroseno (35%). Este combustible, conocido como de "corte amplio" debido a su distribución de átomos de carbono entre 5 y 15, también se utiliza en la aviación comercial en regiones con climas muy fríos como Alaska y Canadá.

En la aviación comercial, los combustibles más utilizados son el Jet A y el Jet A1, con una distribución de átomos de carbono entre 8 y 16. El Jet A ha sido utilizado en Estados Unidos desde la década de 1950, mientras que el Jet A-1 se emplea en el resto del mundo, con pocas excepciones. Las principales diferencias entre el Jet A y el Jet A-1 radican en el punto de congelación más bajo del Jet A-1 (-47 °C en comparación con -40°C para el Jet A) y la necesidad de agregar un aditivo antiestático al Jet A-1. Se han realizado ajustes en las especificaciones, como el punto de congelación mínimo, para equilibrar los requisitos de rendimiento y la disponibilidad de los combustibles. (26)

Los combustibles de aviación tipo Jet deben conservar sus propiedades durante el almacenamiento y el vuelo. Es esencial prevenir la contaminación por agua, ya que las bajas temperaturas en la atmósfera superior pueden causar la precipitación y congelación del agua disuelta en el combustible, lo cual puede obstruir las tuberías de entrada de combustible. Sin embargo, eliminar completamente el agua del combustible no es viable. En los aviones comerciales se emplean calentadores de combustible para evitar la congelación del agua presente. Se han desarrollado métodos para detectar la presencia de agua en el combustible de aviones, como inspecciones visuales que detectan altas concentraciones de agua suspendida, y pruebas químicas que utilizan una almohadilla de filtro sensible al agua, la cual cambia de color si el combustible excede el límite de especificación de 30 ppm (partes por millón) de agua libre. (26)

A nivel internacional, el combustible Jet A-1 debe cumplir con los estándares DEF STAN 91-091, ASTM D1655 y CGSB-3.23, que establecen los requisitos de control de calidad y evaluación de conformidad para los combustibles utilizados en motores de tipo turbina. En Colombia, las especificaciones para el tratamiento de este combustible se rigen por la norma técnica colombiana NTC 1899. (27)

La normativa busca propiedades fisicoquímicas precisas, lo que genera expectativas en la industria y en los análisis de laboratorio. Estas expectativas se ven influenciadas por consideraciones económicas debido a la necesidad de realizar numerosos análisis. Se espera que la información obtenida sea confiable, rápida y económica, aunque esto no siempre se logra.

La producción de combustible Jet A1 en las refinerías actuales implica una serie compleja de procesos interdependientes que se benefician de los avances en química, ingeniería y metalurgia. Estos procesos se pueden clasificar en tres categorías principales: separación, mejora y conversión. (26)

En una refinería moderna, se destaca el proceso de producción del combustible de aviación Jet-A1, el cual se basa principalmente en la fracción de queroseno obtenida por destilación directa. Esta fracción se somete a procesos de mejora que incluyen reacciones químicas y eliminación de compuestos no deseados, como contaminantes. Los métodos comunes de tratamiento son el endulzamiento, hidrotratamiento y tratamiento con arcillas. Para incrementar el rendimiento del combustible Jet, se utiliza el craqueo con hidrógeno de las corrientes AGO y VGO, obtenidas de las columnas de destilación atmosférica y al vacío, respectivamente. El resultado es un combustible de aviación Jet que consiste en una mezcla de hidrocarburos de las tres series más estables presentes en el petróleo crudo: parafínicos y aromáticos. También puede contener hidrocarburos aromáticos más complejos, como naftaleno y sus derivados, junto con indanos, indenos y tetralinas.

El 2% de las emisiones de la industria del transporte aéreo generadas por el ser humano corresponde al dióxido de carbono. El combustible utilizado en aviones, debido a su contenido relativamente alto de compuestos aromáticos (entre el 10% y el 20%), conlleva riesgos ambientales tanto a corto como a largo plazo. Los compuestos como benceno, tolueno y xilenos presentes en el combustible Jet son tóxicos para la vida acuática, especialmente en áreas confinadas. El contacto directo de los organismos acuáticos, como aves marinas y nutrias, con la capa de aceite derramado puede ser peligroso a corto plazo, al igual que los riesgos asociados a la inhalación. Estos compuestos también pueden causar narcosis.

Dado que el Jet A-1 es una mezcla de destilados medios y gasolina, comparte algunos compuestos similares a los presentes en la gasolina. Por lo tanto, los efectos tóxicos resultantes de los derrames de combustible Jet y los derrames de gasolina pueden ser similares. En el corto plazo, los hidrocarburos derramados tienden a flotar en la superficie del agua.

Los derrames de combustible representan una amenaza para los diversos usos del agua, como la recreación, la pesca, la industria y el riego. Además, los compuestos aromáticos más livianos, volátiles y solubles en agua presentes en el combustible Jet pueden contaminar el agua subterránea, generando riesgos a largo plazo. (28)

Los compuestos aromáticos, como el benceno, tolueno, xilenos y naftalenos, presentes en los combustibles para aviones, pueden tener efectos crónicos en diversos órganos y sistemas del cuerpo, como el hígado, los riñones, el corazón, los pulmones y el sistema nervioso. Aunque los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), como el naftaleno, no constituyen una gran proporción del peso total de los combustibles para aviones, pueden contribuir a los riesgos crónicos en suelos contaminados, sedimentos y aguas subterráneas debido a su persistencia y efectos potenciales, incluyendo la capacidad carcinogénica.

Los HAP, que pueden representar hasta el 3% del peso de los combustibles para aviones, están asociados principalmente con riesgos crónicos, como el desarrollo de cáncer, debido a la exposición a mezclas complejas de compuestos aromáticos de riesgo crónico. Uno de los componentes más tóxicos identificados es el metil hexano cíclico, que puede representar del 2 al 16% del combustible para aviones. La exposición a los vapores del combustible para aviones puede ocasionar síntomas neuroconductuales como mareos, dolor de

cabeza, náuseas y fatiga. Algunos HAP pueden ser transferidos a las plantas, donde pueden tener efectos perjudiciales o beneficiosos.

Los compuestos aromáticos en los combustibles para aviones, como los hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH), pueden ser más tóxicos cuando se exponen a la luz solar. La gravedad de los efectos depende de la duración, la dosis y la forma de exposición, así como de factores individuales. Los trabajadores expuestos y las personas cerca de áreas contaminadas corren un mayor riesgo. La inhalación de sustancias químicas evaporadas también puede ser peligrosa.

La exposición a través de los pulmones, el sistema digestivo o la piel permite que los componentes ingresen al torrente sanguíneo y se distribuyan por todo el cuerpo, incluyendo órganos como el cerebro, los pulmones y el hígado. Los compuestos se eliminan del cuerpo a través de la orina, las heces o la respiración. La exposición a JP-8 puede afectar el sistema nervioso. En seres humanos, se han observado efectos adversos como cambios en el tiempo de reacción y pruebas neurológicas. La ingestión accidental de queroseno ha causado problemas respiratorios, digestivos y neurológicos como tos, dificultad para respirar, dolor abdominal, vómitos, somnolencia, agitación y convulsiones. Se han llevado a cabo estudios para evaluar la toxicidad de los combustibles JP-5, JP-8 y Jet A en animales, mediante la exposición a través de la inhalación, ingestión y contacto dérmico. En estos estudios, se han utilizado niveles de exposición que generalmente son más altos que los niveles a los que la población podría estar expuesta por contacto con agua o suelo contaminado, o por la ingestión de agua contaminada. Se han observado efectos adversos en el hígado, supresión del sistema inmunológico, alteraciones neurológicas y auditivas en estos estudios. También se ha observado dermatitis y daño en la piel en animales expuestos a estos compuestos.

Para diagnosticar la exposición a los combustibles JP-5, JP-8 y Jet A, así como a sus productos de degradación (metabolitos), se pueden medir en sangre y orina. El Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS) y la Agencia de Protección Ambiental (EPA) no han clasificado a los combustibles JP-5, JP-8 y Jet A en términos de su capacidad carcinogénica. La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) los ha clasificado en el Grupo 3, lo que indica que no se puede determinar su capacidad carcinogénica en seres humanos. (29)

4.4.4. Gas natural

El gas natural es un tipo de combustible fósil en estado gaseoso compuesto principalmente por hidrocarburos, siendo el metano su componente principal. Además del metano, también contiene otros hidrocarburos como etano, propano, butano y hasta octano. Asimismo, pueden encontrarse dióxido de carbono, nitrógeno, helio y sulfuro de hidrógeno en cantidades variables. (Tabla 4.1) Se puede encontrar tanto asociado al petróleo en yacimientos de petróleo como en reservorios de gas natural independientes y en formaciones de carbón, conocido como metano de lechos de carbón. Antes de poder utilizarse, el gas natural debe someterse a un proceso exhaustivo de refinamiento para eliminar impurezas y otros componentes diferentes al metano. Este proceso de refinamiento también puede generar otros productos, como etano, propano, butanos, pentanos e hidrocarburos de mayor peso molecular, así como azufre elemental, helio y nitrógeno en algunos casos. (30)

Tabla 4 Rango de composición (% v/v) del gas natural

Metano	CH ₄	70 – 90 %
Etano	C ₂ H ₆	0 - 20 %
Propano	C ₃ H ₈	
Butano	C ₄ H ₁₀	
Pentano e Hidrocarburos de mayor punto de ebullición	C ₅ H ₁₂ +	0 – 10 %
Dióxido de carbono	CO ₂	0 – 8 %
Nitrógeno	N ₂	0 – 5 %
Sulfuro de hidrógeno, sulfuro de carbonilo	H ₂ S, COS	0 – 5 %
Oxígeno	O ₂	0 – 0.2 %
Gases raros: argón, helio, neon y xenón	A, He, Ne, Xe	Trazas

Tabla. Rango de composición (% v/v) del gas natural, tomado de Speight, JG (2019).Hydrocarbons from Petroleum. Handbook of Industrial Hydrocarbon Processes.

El procesamiento del gas natural implica eliminar impurezas como petróleo, agua, azufre, helio, dióxido de carbono y líquidos. Se utilizan diferentes métodos, como limpieza en el pozo, instalación de equipos de limpieza y calentadores, y refinamiento químico, que dependen de la composición del gas, concentración de contaminantes, selectividad requerida, temperatura, presión y consideraciones económicas y ambientales. Se utilizan separadores de gas-petróleo, filtración y adsorción para obtener un gas natural de calidad. El gas procesado se compone principalmente de metano, pero también se pueden obtener otros hidrocarburos como etano, propano, butano y pentano, además de combustibles líquidos alternativos. El gas natural, las arenas bituminosas y el carbón se consideran fuentes alternativas para producir combustibles líquidos en el futuro.

La escasez proyectada de petróleo destaca la necesidad de fuentes alternativas de combustibles líquidos. Aunque el gas natural es una opción similar, sus

tecnologías de extracción no están tan avanzadas como las del petróleo. El alto costo de los procesos de conversión del gas natural en gas de síntesis ha limitado su implementación a gran escala. Sin embargo, se están descubriendo nuevas reservas de gas natural a un ritmo más rápido que la tasa de producción. Aunque muchas empresas de gas natural operan en áreas ricas en petróleo crudo, existen amplias reservas en diferentes regiones, lo que brinda acceso a países con escasez de petróleo. El gas natural a menudo se encuentra en áreas remotas, lo que resulta en altos costos de transporte. Por lo tanto, existen incentivos estratégicos y económicos para convertir el gas en líquidos, especialmente cerca de las fuentes de extracción para reducir los costos de transporte. (30)

Hay varios tipos de gases combustibles, incluyendo:

- Gas natural: Es una mezcla de hidrocarburos en forma gaseosa, siendo el metano el componente principal. También contiene cantidades menores de otros hidrocarburos como etano, propano, pentano y butano. Se utiliza tanto en instalaciones domésticas e industriales en su forma gaseosa, como en forma comprimida (GNC) para vehículos.
- Gas Natural Licuado (GNL): Es gas natural que se ha enfriado a una temperatura muy baja (-160°C) para convertirlo en líquido y facilitar su transporte y almacenamiento. Se encuentra en barcos metaneros y camiones cisterna, y puede utilizarse como combustible en vehículos y embarcaciones.
- Gas propano comercial: Es parte de los Gases Licuados del Petróleo (GLP) y está compuesto principalmente por propano (80%) y butano. A diferencia de otros gases combustibles, el propano puede licuarse a presiones relativamente bajas y almacenarse en forma líquida a temperatura ambiente. Se obtiene mediante la destilación del petróleo crudo o el secado de pozos de gas natural. En su forma gaseosa, el propano es más denso que el aire. (31)

La combustión del gas natural genera menos emisiones y subproductos contaminantes en comparación con otros combustibles fósiles como el carbón y el petróleo, lo que lo convierte en una opción más limpia y respetuosa con el medio ambiente. Sin embargo, se utilizan tecnologías de control de emisiones para reducir aún más su impacto ambiental y disminuir las emisiones de contaminantes. Estas tecnologías incluyen sistemas de tratamiento de gases de combustión, catalizadores y métodos de combustión más eficientes, con el objetivo de minimizar las emisiones y mejorar la eficiencia energética durante la

quema del gas natural (30)

El gas natural, compuesto principalmente por metano (CH_4) y con presencia de otros gases como etano, propano, butano, nitrógeno y dióxido de carbono en cantidades menores, tiene una composición variable según la ubicación, estación del año y procesos de producción y transporte. Los vehículos que utilizan gas natural emiten niveles más bajos de contaminantes como óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono e hidrocarburos en comparación con los vehículos diésel. Esto se debe a la proporción baja de carbono/hidrógeno del gas natural, lo cual resulta en una menor emisión de dióxido de carbono por unidad de energía liberada. Además, los vehículos a gas natural emiten menos partículas y hollín negro en comparación con los vehículos diésel. Estudios han demostrado que el uso de catalizadores de oxidación en autobuses a gas natural reduce de manera significativa las emisiones reguladas, los compuestos carbonílicos y los hidrocarburos aromáticos policíclicos. Asimismo, investigaciones realizadas en autobuses y camiones que utilizan diferentes formulaciones de combustibles alternativos han evidenciado el potencial del gas natural para reducir las emisiones de material particulado y óxidos de nitrógeno en comparación con otros combustibles. (32)

El gas natural y el gas propano son sustancias inflamables utilizadas como combustibles en diversos contextos, como hogares, industrias y motores. No obstante, su exposición puede ser perjudicial para las personas. Uno de los principales riesgos asociados a estos gases es su capacidad de formar mezclas explosivas al entrar en contacto con el aire, lo que implica que una chispa o una llama podría desencadenar una explosión. Los límites de inflamabilidad varían para el gas natural y el gas propano. Además, existe el peligro de acumulación de electricidad estática durante el transporte o manipulación de estos gases, lo cual incrementa el riesgo de una ignición peligrosa debido a su alta inflamabilidad.

Asimismo, los gases combustibles tienen el potencial de desplazar el oxígeno del aire respirable, ocasionando asfixia al generar una carencia de oxígeno en el ambiente, conocida como anoxia. Por otro lado, en el caso del gas natural licuado, que se encuentra a una temperatura extremadamente baja, existe el riesgo de quemaduras por frío al entraren contacto con la piel. En resumen, los efectos perjudiciales de la exposición al gas natural y al gas propano incluyen inflamabilidad, riesgo de ignición por electricidad estática, asfixia debido al desplazamiento de oxígeno y la posibilidad de sufrir quemaduras por frío. Es

fundamental tomar precauciones adecuadas al manipular y utilizar estos gases para prevenir accidentes y proteger la salud. (31)

El gas natural es una fuente de energía eficiente y una mezcla natural y limpia de gases de hidrocarburos. Sin embargo, si se produce una liberación no planificada seguida de ignición, puede generar riesgos como incendios, explosiones, radiación térmica y sobrepresión, tanto para las personas como para el medio ambiente y los activos. El gas natural está compuesto principalmente por metano (CH_4) y su composición varía según la ubicación del yacimiento. Aproximadamente un tercio de los recursos de gas natural en el mundo se considera "amargo", lo que implica que contiene niveles elevados de sulfuro de hidrógeno (H_2S) por metro cúbico. El H_2S es altamente tóxico, inflamable y corrosivo, pudiendo resultar mortal incluso en concentraciones bajas. El metano es más liviano que el aire, mientras que el H_2S es ligeramente más pesado que el aire estándar. La mayoría de los accidentes relacionados con el gas natural ocurren en ductos, representando el 70% de los incidentes asociados a este combustible. Las fallas mecánicas en los ductos y los cambios en el entorno circundante son las causas más comunes de estos accidentes. Se estima que alrededor del 90% de las emisiones de gas natural amargo pueden generar nubes tóxicas con posibles consecuencias. Esto enfatiza la importancia de manejar el gas natural de manera adecuada y tomar precauciones para prevenir fugas y liberaciones no controladas. (33)

Las tuberías que transportan gas natural plantean inquietudes en términos de seguridad debido a las características físicas y químicas del gas y las propias tuberías. Los incidentes que ocurren en estas tuberías pueden dar lugar a pérdidas importantes de vidas y propiedades, especialmente en las redes de gasoductos. Por lo tanto, es de vital importancia evaluar el riesgo asociado a estas tuberías con el fin de proteger a las personas y sus bienes. Para lograr esto, se utiliza el análisis de riesgos, que tiene como objetivo identificar posibles accidentes, examinar sus causas y proponer mejoras para reducir el riesgo. Es crucial tener en cuenta que la toma de decisiones relacionadas con los riesgos no se limita únicamente a aspectos técnicos. También involucra procesos políticos, psicológicos y sociales que desempeñan un papel fundamental en dichas decisiones. (34)

5. METODOLOGÍA

Se realizó una revisión sistemática de la literatura utilizando un diseño específico para este estudio. Se llevaron a cabo búsquedas exhaustivas en bases de datos reconocidas, como Medline, Pubmed, Scielo, Doaj, Esbco, Embase, Science direct y Lilacs, MeSH terms Denmark / epidemiology, Environmental Exposure / adverse effects, Female, Human Multiple Myeloma / epidemiology, Multiple Myeloma / etiology, Sweden / epidemiology, Vehicle Emissions / adverse effects, Aging, Premature* / metabolism Ceramides / metabolism, Fibroblasts / metabolism, Matrix Metalloproteinase 3 / metabolism, Phosphates / metabolism, Signal Transduction, Skin / metabolism, Skin Aging, Ultraviolet Rays / adverse effects, Ultraviolet Rays / adverse effects, Urinary Bladder Neoplasms / epidemiology Urinary Bladder Neoplasms / etiology, Vehicle Emissions / adverse effects Odds Ratio Central Nervous System / drug effects HSP72 Heat-Shock Proteins / genetics HSP72 Heat-Shock Proteins / metabolism, Insect Proteins / genetics, Insect Proteins / metabolism Memory Nitric Oxide / toxicity, Nitrogen Dioxide / toxicity, Stress, Physiological, Vehicle Emissions / toxicity, Lung Neoplasms / epidemiology, Air Pollutants, Occupational / analysis, Occupational Exposure / statistics & numerical data, Vehicle Emissions / analysis, Canada / epidemiology, Carcinoma, Squamous Cell / epidemiology, Case-Control Studies, Gasoline / analysis con el fin de recopilar la información necesaria.

Se establecieron términos y definiciones de búsqueda precisos para asegurar la relevancia de los resultados obtenidos. Luego, se realizó una revisión independiente de los resúmenes de los artículos encontrados, aplicando criterios predefinidos de inclusión y exclusión. Estos criterios fueron utilizados para seleccionar los estudios que cumplieran con los objetivos y la temática de la revisión, descartando aquellos que no se ajustaban a los criterios establecidos.

En resumen, se siguió un proceso metodológico riguroso para llevar a cabo esta revisión sistemática de la literatura. Se realizaron búsquedas minuciosas en diversas bases de datos y se aplicaron criterios de inclusión y exclusión para seleccionar los estudios relevantes. Esto garantiza la calidad y la coherencia de los resultados obtenidos en el estudio.

5.1 Efectos perjudiciales en la salud, asociados a los combustibles fósiles: Diesel, gasolina, jet y gas natural

Los efectos por la exposición a diésel se pueden observar de forma aguda y crónica, Los principales sistemas afectados son:

5.1.1 Sistema respiratorio

La exposición crónica como la generada a los gases de escape Diesel puede generar cáncer de pulmón, en estudios de Garshick et al, de casos y controles en períodos extensos entre los años 1900 y 1982 se observó que de los 1256 trabajadores que habían fallecido por cáncer de pulmón, la mayoría correspondían a trabajadores que por sus ocupaciones estaban más expuestos, como ingenieros, bomberos, guardafrenos, conductores y trabajadores de reparación de las locomotoras diésel.

Sin embargo, en el estudio anterior como en otros, los trabajadores fuman cigarrillo (35) lo cual es un elemento potencializado para el desarrollo de complicaciones respiratorias, lo que demuestra una interacción entre el tabaquismo y la exposición al escape de diésel constituido por el material particulado del escape de los automóviles (36) aumentar el riesgo de cáncer de pulmón en los seres humanos, con implicaciones importantes para la salud pública (35) Para recopilar información sobre la exposición a emisiones de diésel los higienistas han recomendado realizar un cuestionario autoadministrado, en el que se registró un historial ocupacional de por vida, incluidas las tareas generales e información sobre otros factores de riesgo potenciales. (37) El incremento de la tecnología en la fabricación de escapes de diesel con menor concentración de dióxido de nitrógeno (NO₂), ha ayudado a comprender el papel del dióxido de nitrógeno como factor impulsor de los efectos biológicos observados, en estudios realizados en ratas se encuentra que los animales expuestos a las emisiones diésel de 2007 no provocaron un incremento significativo en la formación de tumores ni efectos tóxicos graves, se observaron algunas lesiones leves en los pulmones, aunque fueron menos severas que las encontradas en ratas expuestas a motores diésel más antiguos. (38) Estudios de emisiones han mostrado diferencias significativas entre el material particulado de nueva tecnología y el escape diésel tradicional, también se han identificado diferencias químicas y físicas entre las partículas de escape diésel tradicional anteriores a 2007 y las de nueva tecnología. (39)

5.1.2 Sistema urinario:

Diversos estudios evalúan la posibilidad de que los trabajadores expuestos a gases de diésel en su entorno laboral puedan enfrentar un mayor riesgo de desarrollar cáncer de vejiga, así como otros tipos de cáncer como el adenocarcinoma de células renales asociado a la exposición a algunos componentes de la gasolina, sobre todo en gasolinas con mezclas de plomo inorgánico, cadmio y solventes no clorados . (40) Como resultado, sería beneficioso tomar medidas para reducir esta exposición. En un metaanálisis de 35 estudios, se encontró una mayor incidencia de cáncer de vejiga en trabajadores expuestos a los gases de escape diésel, como ferroviarios, conductores de camiones y conductores de autobuses. Se observaron relaciones positivas de dosis-respuesta y un mayor riesgo en aquellos con una exposición alta al diésel. Se sugiere que la exposición a los gases de escape diésel puede aumentar el riesgo de cáncer de vejiga (41) El riesgo de desarrollar cánceres de vejiga y riñón es leve de en ocupaciones de exposición baja, como conductores y es alta en otros grupos específicos de trabajadores, como los que tienen contacto directo. (42) Asimismo, existen investigaciones que evidencian conexión significativa entre la exposición a ese combustible y el riesgo de desarrollar enfermedad renal, un estudio en Canadá encontró que la exposición laboral a los gases de escape de motores diésel y de gasolina aumenta el riesgo de cáncer de riñón en hombres. La exposición a los gases de escape de gasolina mostró una relación dosis-respuesta consistente, y los hombres con alta exposición tuvieron un aumento del 76% en las probabilidades de desarrollar cáncer de riñón. Estos hallazgos destacan la importancia de limitar la exposición ocupacional a estos gases de escape para evitar la aparición de cáncer de riñón. (43)

5.1.3 Sistema gastrointestinal

En diversos países se han examinado los vínculos entre el diesel y los trastornos gastrointestinales, afectando tanto al estómago, hígado como al intestino delgado y grueso. En Corea se realizó un estudio utilizando datos del Servicio Nacional de Seguro de Salud de ese país con el objetivo de examinar el riesgo de cáncer en trabajadores del transporte por carretera expuestos a la contaminación del aire del tráfico y al escape de vehículos. Se identificaron un total de 3.074 casos de cáncer en este grupo de trabajadores. se observó un mayor riesgo de desarrollar cáncer de hígado, vías biliares intrahepáticas, otros órganos digestivos, tráquea, bronquios, pulmón y vejiga entre los trabajadores del transporte por carretera. (44) También, se han realizado estudios que investigan la relación entre el cáncer colorrectal y el género. En Canadá se examinó en hombres. Los resultados revelaron que la exposición a niveles altos

de dichas emisiones se asoció con un mayor riesgo de desarrollar cáncer de recto, especialmente entre aquellos expuestos durante un período de más de 10 años. (45) En países nórdicos se examinó la relación entre la exposición ocupacional al benceno y el riesgo de cáncer colorrectal. Se incluyeron más de 180,000 casos de cáncer de colon y más de 109,000 casos de cáncer de recto. Se encontró que la exposición acumulada al benceno se asoció con un mayor riesgo de cáncer colorrectal en general, especialmente en el colon ascendente y transversal. Esta asociación fue más pronunciada en mujeres. Estos hallazgos destacan la importancia de la exposición ocupacional al benceno como un factor de riesgo potencial para el cáncer colorrectal. (46)

Finalmente, existen investigaciones que han demostrado que ciertas labores ejercen un impacto negativo en la salud de los trabajadores, siendo algunas más perjudiciales que otras debido al nivel de exposición. En este estudio de cohorte retrospectivo utilizando la base de datos del Servicio Nacional de Seguro de Salud de Corea, se comparó el riesgo de desarrollar cáncer gastrointestinal en diferentes grupos industriales. Se calcularon los índices de incidencia estandarizados por edad y se encontró que el grupo de "Extracción de minas y canteras" presentaba el mayor riesgo de todos los cánceres gastrointestinales, seguido por el grupo de "Transporte y almacenamiento". Los mineros y canteros tenían un mayor riesgo de cáncer gástrico y cáncer de hígado y vías biliares intrahepáticas, mientras que los trabajadores del transporte presentaban un mayor riesgo de cáncer de labio, cavidad oral y faringe, así como cánceres de recto, ano y canal anal. Estos resultados sugieren la necesidad de desarrollar programas de prevención del cáncer específicos para cada sector industrial. (47)

En un estudio sobre la relación entre la exposición laboral a los gases de escape de diésel y el riesgo de cáncer de páncreas, se concluye que no hay pruebas que respalden dicha asociación. (48)

5.1.4 Sistema inmune

Estudios han demostrado la exposición prolongada a los vapores de gasolina y sus componentes puede generar estrés oxidativo debido a la producción excesiva de radicales de oxígeno como el malondialdehído (MDA) y el óxido nítrico (NO), así como en la relación entre NO y AMCase. Esto, a su vez, puede causar trastornos en el sistema inmunológico como aumento significativo de los niveles de factor de necrosis tumoral- α y de forma menor la elevación de una enzima llamada quitinasa ácida de mamíferos (AMCase), en los hallazgos de laboratorio se puede observar un aumento significativo en los recuentos totales de leucocitos y linfocitos, junto con una reducción significativa en la proporción de neutrófilos a linfocitos (NLR) y la proporción de plaquetas a linfocitos (PLR). También se observaron disminuciones significativas en la concentración de hemoglobina, dados por la reducción en los niveles de glutatión plasmático, la actividad de la enzima catalasa y las actividades de superóxido dismutasa en los glóbulos rojos de los trabajadores expuestos (49)

Los vapores de diésel también están asociados a alteración de la respuesta inmune, en estudios en pacientes con asma expuestos a niveles bajos de diésel se encontró incremento de forma ligera de la interleucina 4 y además resistencia e inflamación en las vías respiratorias (50) documentado a través de los hallazgos encontrados en el lavado broncoalveolar, biopsias bronquiales y esputo, donde se puede observar células inflamatorias como neutrófilos, eosinófilos, mastocitos y linfocitos, así como un aumento en la expresión y concentración de mediadores inflamatorios (51)

5.1.5 Sistema endocrino

las partículas de escape diésel para alterar el equilibrio hormonal. La exposición prenatal a niveles bajos de partículas de escape de diésel afectó negativamente la expresión de genes relacionados con el desarrollo de las gónadas y la producción de testosterona. Además, se observaron efectos en la producción de esperma y en el tejido cerebral en animales expuestos al DE durante la etapa fetal. Las partículas de escape diésel contienen compuestos con propiedades estrogénicas, antiestrogénicas y anti androgénicas. Evaluar el efecto de estos compuestos en la salud humana es una tarea importante. (52)

5.1.6 Sistema neurológico

La exposición al escape de diésel también tuvo un impacto en el rendimiento en pruebas de aprendizaje y en los comportamientos emocionales en ratones (53) en experimentos con abejas melíferas, se ha encontrado que la exposición al escape de diésel tiene efectos negativos en la capacidad de las abejas melíferas para tolerar factores de estrés adicionales. Además, afecta su aprendizaje y memoria asociativa, disminuye la capacidad de las abejas para aprender y recordar olores florales durante un período de 72 horas (54)

La exposición al escape diésel puede tener efectos indirectos en el sistema cardiovascular al afectar el sistema nervioso autónomo. Estudios han revelado que la inhalación de escape diésel provoca un rápido aumento en la actividad del nervio simpático muscular, lo cual podría explicar por qué las partículas relacionadas con el tráfico se asocian con eventos cardiovasculares adversos. Estos descubrimientos brindan evidencia directa de cómo la exposición al escape diésel afecta el sistema nervioso autónomo, respaldando los datos epidemiológicos que relacionan la contaminación del aire con problemas cardíacos agudos (55) Además, la afectación del sistema nervioso central se relaciona con una reducción en la conectividad funcional del cerebro. Aunque los mecanismos exactos no se conocen completamente hasta ahora, es probable que exista una conexión con la neuro inflamación, que es difícil de medir directamente en humanos. Esto podría ser resultado de la migración de partículas contaminantes a través del bulbo olfativo, tal como se ha observado en modelos animales.

Los cambios en la conectividad cerebral se han asociado con la disminución de la memoria de trabajo, el rendimiento conductual y el deterioro de la productividad laboral, los cuales también están relacionados con la contaminación del aire. (56)

5.1.7 Sistema hematológico

Los efectos en el sistema hematológico son principalmente causados por el benceno, una sustancia incluida en la lista de sustancias cancerígenas para los seres humanos por la OMS. Este compuesto se encuentra comúnmente en los combustibles. Por tanto, estudios epidemiológicos se han enfocado en investigar la posible relación entre la exposición ocupacional a los gases de escape diésel y enfermedades que afectan al sistema hematopoyético (50) Una asociación claramente definida es la que existe entre la exposición al benceno y la Leucemia Mieloide Aguda (57) En la Leucemia, se observa una relación inversamente proporcional entre los niveles de eritrocitos y leucocitos en la sangre. (57) Además, se han identificado la exposición a vapores de gasolina, emisiones de partículas de motores diésel y el tabaquismo como factores de riesgo importantes en la fisiopatología de esta enfermedad. (58)

Otro estudio realizado en Suecia examinó la asociación entre la exposición ocupacional a los gases de escape diésel y el riesgo de mieloma múltiple en trabajadores masculinos de la construcción en ese país. Aunque se encontró un pequeño riesgo de mieloma múltiple relacionado con la exposición a los gases de escape diésel, la falta de una tendencia clara de exposición-respuesta limita las conclusiones que se pueden obtener sobre una relación causal entre dicha exposición y el mieloma múltiple. (57). Otra asociación que se ha estudiado ha sido la del mieloma múltiple, pero en la revisión como el análisis de causalidad indican que no existe una relación causal entre el escape de diésel y el mieloma múltiple (57).

5.1.8 Sistema Dérmico

El contacto con combustibles puede causar irritación, sequedad y grietas en la piel, así como irritación e inflamación en los ojos. En un estudio se describen tres casos de acné ocupacional causado por el contacto con aceites de corte derivados del petróleo. Los pacientes son trabajadores masculinos de la industria automotriz con malos hábitos de higiene y contacto prolongado con ropa impregnada de aceite. Presentaron síntomas como comedones, pápulas y nódulos inflamatorios, principalmente en áreas de contacto con la ropa sucia. El acné por hidrocarburos es una dermatosis ocupacional común que puede prevenirse mediante el uso de ropa protectora adecuada. El tratamiento incluye evitar el contacto con el químico, utilizar medicamentos tópicos y en casos más graves, antibióticos sistémicos o retinoides. Se enfatiza la importancia de tomar medidas preventivas en personas expuestas a riesgos laborales para esta

condición. (59) La exposición directa puede provocar problemas visuales, movimientos incontrolados y quemaduras en la córnea. Entre los combustibles probados, solo el diésel presentó una fuerte irritación en la piel, alcanzando una puntuación Draize de 6.8, lo cual indica que es "extremadamente irritante". (60) Tanto factores internos como externos influyen en el envejecimiento prematuro de la piel. La contaminación del aire y la radiación ultravioleta están relacionadas con el envejecimiento cutáneo. (61) Para prevenir estos riesgos, es importante evitar el contacto con áreas donde haya fugas de gasolina y tomar medidas de protección personal, ya que la exposición prolongada a estos productos químicos representa un peligro para la salud y la vida.

5.1.9 Sistema reproductivo

La exposición laboral al escape de diésel se relaciona con mayor riesgo de cáncer de ovario, especialmente en exposición alta. También hay mayor riesgo de cáncer de ovario en exposición media al escape de motores de gasolina. (62)

Tabla 5 Recomendaciones para la vigilancia epidemiológica

COMBUSTIBLE	COMPONENTE MÁS RELEVANTES	OCUPACIONES DE INTERÉS EPIDEMIOLÓGICO (DEC. 1477)	EFFECTOS EN LA SALUD	HALLAZGOS RELEVANTES EN EMO*	EXÁMENES COMPLEMENTARIOS PARA EL SEGUIMIENTO
DIESEL	Material particulado Carbón negro Carbono elemental y orgánico Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) Nitro-PAH Monóxido de carbono Óxido de nitrógeno Compuestos orgánicos volátiles: benceno, tolueno y xileno.	Industria minera Industria ferroviaria Industria de la construcción Transportes Industria petroquímica Soldadura Mecánica de motores, principalmente movidos a gasolina, en recintos semicerrados	BTEX* Trastorno mental orgánico o sintomático no específico (Tolueno y otros solventes aromáticos neurotóxicos) Episodios depresivos (Tolueno y otros solventes aromáticos neurotóxicos) Neurastenia: síndrome de fatiga (Tolueno y otros solventes aromáticos neurotóxicos) Encefalopatía tóxica crónica Hipoacusia ototóxica (Tolueno y xileno) Dermatitis de contacto por irritantes Efectos tóxicos agudos Efectos adversos de otros agentes que afectan los constituyentes de la sangre, y los no especificados Anemia aplásica	Antecedentes Laborales Trabajos previos con exposición a BTEX* Condiciones del ambiente de trabajo Uso de EPP* ATEL* Patológicos Asma, EPOC*, alergias respiratorias Enfermedades mielodisplásicas Cáncer en especial de pulmón, vejiga, piel Toxicológicos Fumador de cigarrillo o vapeadores. Ginecológicos FUM* SÍNTOMAS -SNC* y periférico: Insomnio, cefalalgias, temblor involuntario,	Analítica química Hemograma con recuento de plaquetas Glucometría Uroanálisis Biomarcadores de exposición Monóxido de carbono: Carboxihemoglobina Benceno: Ácido t, t-Mucónico en orina, Ácido S-Fenilmercapturico en orina, Fenol en orina Formaldehído: Ácido fórmico en orina Hidrocarburos aromáticos policíclicos: 1-Hidroxipireno en orina Imágenes Diagnósticas Radiografía de Tórax Tomografía de Tórax Electrocardiograma Espirometría

GASOLINA	Monóxido de carbono Plomo y platino Compuestos orgánicos volátiles: benceno, tolueno, etilbenceno, isómeros de xileno.		vértigo, somnolencia, mareo, adinamia, agitación, desmayo. - Oftalmológico y Otorrino: Conjuntivitis, epífora. Rinitis, laringitis. - S. Respiratorio: tos, disnea. - S. Cardiovascular: taquicardia, dolor torácico, edema distal. - S. Gastrointestinal: anorexia, náuseas, vómitos. - S. Hematológico: palidez, astenia. - S. Dermatológico: picazón, hinchazón, erupciones, lesiones como ampollas, descamación, fisuras, abones o úlceras, pústula. SIGNOS -Cabeza/cuello: Inyección conjuntival, úlcera de córnea, conjuntivitis química, epífora/Irritación de vías aéreas superiores, rinitis, edema de mucosa nasal y senos paranasales, faringitis, laringitis. -Tórax: Alteraciones del ritmo cardíaco, taquipnea, disnea, sibilancias, crépitos. -Abdomen: Hepatomegalia.	Análítica Química Hemograma con recuento de plaquetas Perfil hepático TGP, TGO, GGT Uroanálisis Beta-2-microglobulina en orina Urea Ácido úrico Creatinina sérica Espermograma Biomarcadores de exposición Carboxihemoglobina en la sangre Medición de niveles de plomo y el platino en sangre o la orina Niveles de benceno, tolueno, etilbenceno, isómeros de xileno y otros compuestos orgánicos volátiles en sangre u orina. Ayudas diagnósticas Electromiografía y velocidad de conducción.
----------	--	--	--	--

JET (Keroseno)	N-parafinas Iso-parafinas Naftenos Hidrocarburos aromáticos: alquilbencenos y alquilnaftalenos Olefinas	Aviación civil: Jet A-1/A Aviación militar: JP-8 y JP-5 Personal tripulante Personal de apoyo aeronáutico Personal encargado del suministro de combustible		-Neurológico/Esfera mental: Depresión del SNC, polineuropatía, Ataxia, temblores, alteraciones del comportamiento, polineuropatía sensitiva-motora, parestesias/Trastornos en el rendimiento psicomotor, depresión, alternancia de depresión e irritabilidad. -Osteomuscular: Mialgias, artralgias, pérdida de la fuerza muscular, alteración de los pulsos distales. -Genitourinario: poliuria, nicturia. -Piel y Faneras: Eritema, úlceras, máculas, pápulas, ampollas, placas descamativas, fisuras, abones. -Hematopoyético: Palidez, fiebre, gingivorragia, epistaxis, ictericia.	Análítica Química Hemograma con recuento de plaquetas Perfil hepático TGP*, TGO*, GGT* Albúmina sérica Glicemia Uroanálisis Creatinina y nitrógeno ureico sérico Biomarcadores de exposición Biomarcadores para BTEX* Biomarcador para n-hexano: Niveles de 2,5-hexanodiona en la orina Ayudas diagnósticas Electromiografía y velocidad de conducción
----------------	---	--	--	--	---

GAS NATURAL	Metano Etano Propano Butano Pentano e Hidrocarburos de mayor punto de ebullición Dióxido y Monóxido de carbono Nitrógeno Sulfuro de hidrógeno Sulfuro de carbonilo Oxígeno Gases raros: argón, helio, neón y xenón.	Trabajadores en contacto de gas de hulla Mineros Bomberos Población en general Lugares con alto tráfico de vehículos Expuestos al humo de cigarrillo Cocinas a gas o cocinas que queman madera y chimeneas Producción y distribución de gas obtenido de combustibles sólidos (gasificación de carbón) Soldadura con acetileno o por arco Calderas, industria química Siderurgia Fundición Uso de explosivos Control de incendios Control de tráfico automotriz Construcción de túneles Cervecerías	Demencia en otras enfermedades específicas Encefalopatía tóxica crónica Angina de pecho Infarto agudo de miocardio Paro cardíaco Arritmias cardíacas Efectos tóxicos agudos		Analítica Química Glicemia Biomarcadores de exposición Biomarcadores del BTEX* Carboxihemoglobina (monóxido de carbono) Ayudas diagnósticas Electrocardiograma
-------------	---	--	---	--	---

*EMO: Exámenes médico-ocupacionales *BTEX: Benceno, Tolueno, Etilbenceno, Xileno. *EPP: Elementos de protección personal *ATEL: Accidente de trabajo y Enfermedad laboral. *FUM: Fecha de última menstruación. *SNC: Sistema nervioso central *TGP: Transaminasa Glutámico-Pirúvica *TGO: Aspartato Aminotransferasa *GGT: Gamma-glutamyl transpeptidasa.

Fuente propia: referenciado de (63) (64) (65) (66) (67) (68) (69) (70) (71) (72) (73) (74)

6. CONCLUSIONES

- Los combustibles fósiles han sido indispensables en el progreso y desarrollo de la sociedad moderna, especialmente desde la revolución industrial, al proporcionar la energía necesaria para la industrialización, el transporte y la generación de electricidad en los hogares.
- La versatilidad de los combustibles fósiles ha sido crucial en diversos sectores industriales, como la automoción, la maquinaria industrial y la aviación, al proporcionar la energía mecánica requerida para su funcionamiento.
- Los hidrocarburos aromáticos cíclicos, como el benzopireno, el alifático n-Hexano han sido identificados como sustancias con potencial carcinogénico.
- Es fundamental tomar medidas preventivas en los lugares de trabajo para reducir la exposición a los hidrocarburos aromáticos y otros compuestos nocivos presentes en los combustibles. Implementar medidas de seguridad y control adecuadas, así como promover la conciencia y educación sobre los riesgos asociados a su uso y manipulación.
- La exposición a los combustibles, como el benceno, puede ocurrir a través de la inhalación y en menor medida a través de la piel.
- La exposición crónica a los hidrocarburos aromáticos puede tener efectos en el comportamiento, el estado de ánimo y la función cognitiva. También puede causar irritación y sequedad en la piel, daño al hígado, neuropatía periférica y aumentar el riesgo de cáncer, especialmente en relación con el benceno y la leucemia no linfocítica aguda.
- Es importante tomar medidas para reducir la exposición a los hidrocarburos aromáticos y prácticas de seguridad adecuadas en entornos laborales donde puedan estar presentes, con el fin de prevenir posibles efectos perjudiciales en la salud.

- La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer clasifica el escape de diésel como un probable carcinógeno para los seres humanos, especialmente con el cáncer de pulmón.
- Los vapores de gasolina son perjudiciales para la salud humana y se consideran carcinógenos. existen regulaciones para controlar su emisión y reducir el impacto en la calidad del aire.
- La tapa del tanque de gasolina también forma parte del sistema de control de emisiones por evaporación y ayuda a mantener sellado el sistema, evitando fugas de vapores de gasolina al ambiente.
- En la aviación, se utilizan dos categorías principales de combustibles: la gasolina de aviación (AVGAS) y los combustibles de turbinas de aviación (Jet-fuels). Los Jet-fuels son los más comunes debido al predominio de motores de turbina o de reacción en los aviones modernos.
- La exposición a los compuestos aromáticos presentes en los combustibles para aviones puede tener efectos crónicos en diferentes órganos y sistemas del cuerpo humano, como el hígado, los riñones, el corazón, los pulmones y el sistema nervioso. Además, la inhalación de vapores y la exposición dérmica pueden representar un peligro.
- Los derrames de combustible Jet representan una amenaza para los diferentes usos del agua y pueden contaminar tanto el agua superficial como el agua subterránea, generando riesgos a corto y largo plazo.
- Tanto el gas natural como el gas propano son combustibles inflamables utilizados en diversos contextos, pero su exposición puede ser perjudicial para las personas. Se debe tener precaución al manipular y utilizar estos gases para prevenir accidentes.
- Los gases combustibles pueden desplazar el oxígeno del aire respirable, lo que genera una carencia de oxígeno en el ambiente y puede llevar a la asfixia. Es importante garantizar una adecuada ventilación en áreas

donde se almacena,manipula o utiliza gas natural o propano.

- Las emisiones de gas natural amargo pueden generar nubes tóxicas con posibles consecuencias graves. Esto destaca la importancia de manejar el gas natural de manera adecuada y tomar precauciones para prevenir fugas y liberaciones no controladas.

7. RECOMENDACIONES

- Se debe fomentar y respaldar el uso de fuentes de energía renovables y alternativas, como la energía solar, eólica, hidroeléctrica y geotérmica, debido a los efectos negativos que los combustibles fósiles tienen en la salud y el medio ambiente. Esto permitirá disminuir la dependencia de los combustibles fósiles y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.
- Es necesario aplicar medidas de control de emisiones tanto en el sector industrial como en el transporte, promoviendo tecnologías más limpias y eficientes, así como fomentando el uso de vehículos eléctricos o híbridos.
- Se requiere fortalecer la investigación y el desarrollo de tecnologías limpias que permitan reemplazar los combustibles fósiles y reducir su impacto negativo en la salud y el medio ambiente.
- Es importante llevar a cabo campañas de sensibilización y educación ambiental para concientizar a la población sobre los efectos perjudiciales de los combustibles fósiles en la salud y el medio ambiente.
- Colombia, como miembro de la OCDE, puede establecer alianzas internacionales con otros países para intercambiar mejores prácticas y experiencias en la búsqueda de soluciones a los desafíos relacionados con los combustibles fósiles.
- La implementación de estas recomendaciones permitirá avanzar hacia una transición energética más sostenible, disminuyendo los impactos negativos de los combustibles fósiles en la salud y el medio ambiente, y mejorando la calidad de vida de la población.

8. Referencias

1. OECD BETTER POLICIES FOR BETTER LIVES. [Online]. Disponible en: <https://www.oecd.org/about/>.
2. Drioli , Barbieri , Brunetti. Membrane Engineering for the Treatment of gases; 2017.
3. Mckinney ML, Schoch RM, Miney GA. Enviromental Science Systems and solutions 6 , editor.; 2007.
4. Benavides Ballesteros HO, León Aristizabal GE. Información tecnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM.
5. Internatinal Agency for Reaserch on Cancer. IARC: DIESEL ENGINE EXHAUST CARCINOGENIC. Word Health Organization.
6. Products PCC Group. [Online]; 2020. Disponible en: <https://www.products.pcc.eu/es/k/extraccion-y-produccion-de-petroleo-y-gas-2/>.
7. Revista Semana. Semana. 2023.
8. United States Enviromental Protection Agency. Profile of the Fossil fuel electric power generation industry. EPA. 1997.
9. Birch EL. A Review of “Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability” and “Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change”. Reaserchgate. 2014;; p. 4.
10. Rocha Eiroa SJ, Ferreiro Losada MT, Regal Faraldo al. Cáncer cutáneo por exposición ocupacional a agentes químicos. Scielo. 2014; 60.
11. ¿Qué es el combustible fósil? La energía que se obtiene de la materia orgánica. Sostenibilidad y Banca responsable BBVA. 2022.
12. Viñuela. Estos son los tres tipos de combustible fósil que existen. Auto Bild. 2021.
13. González. Clasificación de los combustibles. Química. 2010.
14. ATSDR Agencia para las sustancias toxicas y el registro de enfermedades. Resumen de la salud publica, Hidrocarburos totales de petróleo. ATSDR. 1999;; p. 6.
15. Naturaleza y origen del carbón. Energía y minería en Castilla Y León. .
16. Ondarse Álvarez. Combustibles fósiles. 2021.
17. Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional. Efectos cancerígenos de la exposición al escape de diésel. 1988;(88- 116).
18. Zubizarreta Solá A, Martínez Menéndez J, Rivas Pérez , Gómez Iglesias , Sanz Borrás. Revisión de la literatura sobre efectos nocivos de la exposición laboral a hidrocarburos en trabajadores en ambiente externo. Scielo. 2018; 64.
19. Zubizarreta Solá A, Martínez Menéndez , Rivas Pérez , Gómez Iglesias , Sanz Borrás A. Revisión de la literatura sobre efectos nocivos de la exposición laboral a hidrocarburos en trabajadores en ambiente externo. Scielo. 2018; 64.
20. cachuri I, Villeneuve PJ, Madre MÉ, Johnson KC. Exposición en el lugar de trabajo a los gases de escape de los motores diesel y de gasolina y el riesgo de cáncer colorrectal en hombres canadienses. Pubmed. 2016.

21. Caprino L, Togna G. Efectos potenciales sobre la salud de la gasolina y sus componentes: una revisión de la literatura actual (1990-1997) sobre datos toxicológicos. National Library of medicine. 1998; 106.
22. ATSDR Agencia para las sustancias tóxicas y registro de enfermedades. Resúmenes de Salud Pública - Gasolina de automóvil (Automotive Gasoline). TSDR. .
23. MINISTERIOS DE MINAS Y ENERGÍA, RESOLUCIÓN 2604. [Online].; 2009.. Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/Resolucion-2604-de-2009.pdf>.
24. El instituto nacional para la seguridad y salud ocupacional. [Online]; 2011. Disponible en: <https://www.cdc.gov/niosh/pel88/8006-61.html>.
25. Refinación petrolera. Usmpetroleo y estadistico. Blog dedicado al petróleo y la estadística. [Online]. Disponible en: <https://usmpetrolero.wordpress.com/category/refinacion-petrolera-grupo-3-exposiciones/>.
26. Chaves , Yobany A. Evaluación teórica/experimental de las propiedades fisicoquímicas del combustible Jet-A1 y el efecto generado en dichas propiedades por la presencia de agua. Universidad Nacional de Colombia.
27. icontec. ICONTEC, 2018. NTC 1899:2022. Petróleo y sus derivados. Combustible de Aviación para motores a reacción..
28. Río Gállego. Derrames de petróleo en el mar. ¿Cómo afectan al medio ambiente? Markleen. .
29. ATSDR, Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades. Resúmenes de Salud Pública - Combustibles JP-5 y JP-8 (Jet Fuels JP-5 and JP-8). ATSDR. 2017.
30. Speight JG. Manual de Procesos Industriales de Hidrocarburos; 2019.
31. Instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo INSHT. Sector gasista: riesgos laborales en instalaciones de. 2015;; p. 1-6.
32. Karavalakis G, Haybabaie M, Durbin TD, Johnson KC, Zheng , MillerWayne J. El efecto de la composición del gas natural en las emisiones reguladas, los contaminantes gaseosos tóxicos y las emisiones de número de partículas ultrafinas de un vehículo de transporte de basura. IDEAS. 2013; 50: p. 280-291.
33. Nair SRR, Ogbeifun NO, Wen. Consideraciones de evaluación de consecuencias para el modelado de dispersión de gas natural tóxico. Revista de prevención de pérdidas en las industrias de procesos. 2022; 78(104792).
34. Han , Wenguo W. An integrated quantitative risk analysis method for natural gas pipeline network. Journal of loss prevention in the process industries. 2010; 23: p. 428-436.
35. Silverman DT, Samanic CM, Lubin JH, Blair AE, Stewart PA, Vermeulen , et al. The Diesel Exhaust in Miners Study: A Nested Case – Control. 2012;; p. 1-14.
36. Villeneuve PJ, Parent M, Sahni , Johnson KC. Occupational exposure to diesel and gasoline emissions and lung cancer in Canadian men. National Library of medicine. 2011; 4.
37. Gamble J. Lung cancer and diesel exhaust: a critical review of the occupational

- epidemiology literature. National library of medicine. 2010;; p. 189-244.
38. macdonald jd, Doyle-Eisele , Seagrave , Gigliotti AP, Chow , Zielinska , et al. Part 1. Assessment of carcinogenicity and biologic responses in rats after lifetime inhalation of new-technology diesel exhaust in the ACES bioassay. National library of medicine. 2015;; p. 9-44.
 39. Hesterberg TW, Long CM, sax sn, Lapin CA, McClellan RO, Bunn GB, et al. El material particulado en el escape diésel de nueva tecnología (NTDE) es cuantitativa y cualitativamente muy diferente al que se encuentra en el escape diésel tradicional (TDE). National Library of Medicine. 2011;; p. 894-913.
 40. Partanen , Heikkilä , Hernberg S, Kauppinen , Moneta G, Ojajärvi. Cáncer de células renales y exposición ocupacional a agentes químicos. National Library of medicine. 1991.
 41. Peters CE, Parent MÉ, Harris SA, Bogaert , Latifovic , Kachuri , et al. Occupational Exposure to Diesel and Gasoline Engine Exhausts and the Risk of Kidney Cancer in Canadian Men. National Library of Medicine. 2018;; p. 978-989.
 42. Guo JG, Kauppinen , Kyyronen , Heikkilä , Lindbohm , Pukkala E. Riesgo de cáncer de esófago, ovario, testículo, riñón y vejiga y leucemia entre trabajadores finlandeses expuestos a gases de escape de motores diésel o de gasolina. National Library of medicine. 2004;; p. 92-286.
 43. Boffetta P, Silverman DT. A meta-analysis of bladder cancer and diesel exhaust exposure. National Library of Medicine. 2001;; p. 30-125.
 44. Parque H, Jang H, Kim , lee , Espinilla , Kim , et al. Descubrimiento de variantes patogénicas en una gran cohorte coreana de trastornos musculares hereditarios. National Library of medicine- Pubmed. 2017;; p. 403-410.
 45. Kachuri , Villeneuve PJ, Parent MÉ, Johnson KC. Workplace exposure to diesel and gasoline engine exhausts and the risk of colorectal cancer in Canadian men. National Library of medicine Pubmed. 2016;; p. 16-88.
 46. talibov , Sormunen , Hansen J, kjaerheim k, Martinsen JI, Tryggvadottir , et al. Exposición al benceno en el lugar de trabajo y riesgo de cáncer colorrectal en cuatro países nórdicos. National Library of medicine. Pubmed. 2018;; p. 156-161.
 47. Shin S, Choi JH, Lee KE, Yoon JH, lee w. Riesgo y estado del cáncer gastrointestinal según la Clasificación Industrial Internacional Uniforme en trabajadores coreanos. National Library of medicibne- Pubmed. 2022.
 48. Bofetta. Falta de asociación entre la exposición ocupacional a los gases de escape diésel y el riesgo de cáncer de páncreas: una evaluación sistemática de los datos disponibles. National Library of medicine- Pubmed. 2014.
 49. Tosón ESA, Saad EA, Abd H, Raouf. La exposición ocupacional a la gasolina en los asistentes masculinos de las gasolineras promueve la polarización M1 en los macrófagos. National Library of Medicine- Pubmed. 2022.
 50. Riedl MA, Diaz-Sanchez D, Linn WS, Gong Jr H, Clark KW, Effros RM, et al. Allergic inflammation in the human lower respiratory tract affected by exposure to diesel exhaust. National Library of medicine- Pubmed. 2012;; p. 5-43.
 51. Viejo Bañuelos JL. Infecciones agudas de la via aerea superior. National Library of

- medicine- Pubmed. 2010;; p. 271-278.
52. Takeda , sukue NT, Yoshida S. Endocrine-disrupting activity of chemicals in diesel exhaust and diesel exhaust particles. National librari of medicine. 2004;; p. 33-45.
 53. Gawryluk JR, Palombo DJ, Curran J, Parker A, Carlsten C. Brief diesel exhaust exposure acutely impairs functional brain connectivity in humans: a randomized controlled crossover study. National Library of medicine- Pubmed. 2023;; p. 14-22.
 54. Takeda , sukue NT, Yoshida S. Endocrine-disrupting activity of chemicals in diesel exhaust and diesel exhaust particles. National Library of medicine- Pubmed. 2004;; p. 33-45.
 55. Reitmayer CM, W. Ryalls JM, Farthing , Jackson CW, Girling RD, Newman TA. Acute exposure to diesel exhaust induces central nervous system stress and altered learning and memory in honey bees. Scientific reports. 2019.
 56. Wang Y, Jinfang , Jie-lu , tang m. Toxicidad de las partículas de escape de diesel en el sistema nervioso central. Researchgate. 2018.
 57. Wong O. ¿Existe una relación causal entre la exposición a los gases de escape diésel y el mieloma múltiple? National Library of medicine. 2003;; p. 91-102.
 58. Wong. Is there a causal relationship between exposure to diesel exhaust and multiple myeloma? National Library of medicine. 2003;; p. 91-102.
 59. Castro Grüber , Loyo ME, Oliver , Reyes , Piquero -Martín J. Acné por hidrocarburos: Elaiocniosis..
 60. Subcomité del Consejo Nacional de Investigación (EE. UU.). sobre niveles de exposición permisibles para combustibles militares. Washington (DC); 1996.
 61. Shin KO, Uchida , Kyung Ho. El extracto de partículas diesel acelera el envejecimiento prematuro de la piel en fibroblastos humanos a través de la vía de señalización mediada por ceramida-1-fosfato. National Library of medicine. 2022.
 62. Guo J, Kauppinen , Kyyronen P, Lindbohm ML, Pukkala. Riesgo de cáncer de esófago, ovario, testículo, riñón y vejiga y leucemia entre trabajadores finlandeses expuestos a gases de escape de motores diésel o de gasolina. Pubmed. 2004;; p. 92-286.
 63. Ministerio de trabajo. Decreto 1477 de 5 de agosto del 2014..
 64. DIESEL AND GASOLINE ENGINEEXHAUSTS AND SOME NITROARENES. Marc Monographs. ; 105.
 65. ToxFAQs™ - Gasolina de automóvil (Automotive Gasoline). ATSDR. 1996;; p. 1-2.
 66. Kimbrough ER. Toxicidad aguda de la gasolina y algunos aditivos. Ehp. 1993.
 67. MACRI , Sica , Moron. GUÍA DE ACTUACIÓN Y DIAGNÓSTICO..
 68. Albiano , Epelman. Toxicología laboral : criterios para la vigilancia de los trabajadores expuestos a sustancias químicas peligrosas. Catálogos UBA. 1999;; p. 241.
 69. ToxFAQs™ - Gasolina de automóvil (Automotive Gasoline)..
 70. Kimbrough ER. Toxicidad aguda de la gasolina y algunos aditivos. ehp. 1993.
 71. Maiyoh GK, Njorogeb RW, Martes VC. Efectos y mecanismos de la toxicidad relacionada con el uso de queroseno. Toxicología y Farmacología Ambiental. 2015; 40(1): p. 57-70.

72. ritchie g, todavía , Rossi , Bekkedal M, Bob , arfsten d. Efectos biológicos y sobre la salud de la exposición a combustibles para aviones a base de queroseno y aditivos de desempeño. Pubmed. 2003;; p. 357-451.
73. Maiyoh GK, Njoroge RW, Tuei VC. Effects and mechanisms of kerosene use-related toxicity. Environmental Toxicology and Pharmacology. 2015; 40: p. 57-70.
74. Fonseca Patiño PA, Heredia Villarroya JA, Navarrete Tarquino DM. VIGILANCIA MÉDICA PARA LOS TRABAJADORES..
75. Roperio Portillo. Ecología verde. [Online]; 2020. Disponible en: <https://www.ecologiaverde.com/impacto-ambiental-de-los-combustibles-fosiles-3191.html>.