



**DIVISION CIENCIAS DE LA SALUD**

**DEPARTAMENTO DE SALUD PUBLICA**

**PROYECTO DE GRADO II**

**MONOGRAFIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE MÉDICO**

**COMBUSTIBLES, IMPACTO AMBIENTAL Y EN LA SALUD DE TRABAJADORES  
EXPUESTOS A HIDROCARBUROS**

**PRESENTADO POR:**

**JUAN MANUEL MANOSALVA FONSECA**

**ASESOR METODOLÓGICO: MARIANELA LECHUGA**

**ASESOR CIENTÍFICO: EDGAR NAVARRO LECHUGA**

**BARRANQUILLA, COLOMBIA**

**NOVIEMBRE 2020**

**UNIVERSIDAD DEL NORTE  
DIVISIÓN CIENCIAS DE LA SALUD  
PROYECTO DE GRADO II**

**Barranquilla, Noviembre 2020.**

**Asesor Científico:**

Firma: \_\_\_\_\_

**Asesor Metodológico:**

Firma: \_\_\_\_\_

**Jurado:**

Firma: \_\_\_\_\_

## TABLA DE CONTENIDO

LISTADO DE TABLAS.....	6
LISTADO DE FIGURAS.....	7
INTRODUCCION.....	10
<b>CAPITULO I. HIDROCARBUROS.....</b>	<b>12</b>
<i>1.1. Propiedades de los hidrocarburos.....</i>	<i>12</i>
<i>1.2. Composicion y características del petroleo y refinados.....</i>	<i>12</i>
<i>1.4. Hidrocarburos saturados.....</i>	<i>14</i>
1.4.1. Parafinicos.....	14
1.4.2. Naftenos.....	14
<i>1.5. Hidrocarburos no-saturados.....</i>	<i>14</i>
1.5.1. Oleofinas.....	14
1.5.2. Aromaticos.....	15
<i>1.6. Los compuestos aromaticos.....</i>	<i>15</i>
<b>CAPÍTULO II. NORMATIVIDAD NACIONAL.....</b>	<b>17</b>
<i>2.1. Normativa del los combustibles.....</i>	<i>17</i>
2.1.1. Calidad de combustibles – gasolina.....	17
2.1.2. Calidad del aire.....	19
<i>2.2. Normativa de Enfermedad Laboral.....</i>	<i>20</i>
<b>CAPITULO III. COMPUESTOS CONTAMINANTES DE LA COMBUSTION DE GASOLINA Y DIESEL Y SUS EFECTOS EN LA SALUD.....</b>	<b>21</b>
<i>3.1. Monóxido de carbono.....</i>	<i>21</i>
3.1.1. Propiedades físico químicas.....	21
3.1.2. Usos del monóxido de carbono.....	22
3.1.3. Riesgos y consejos de prudencia en su manipulación....	23
a) Frases de Riesgo.....	23
b) Consejos de prudencia.....	23
3.1.4. Mecanismos de acción.....	23
3.1.5. Vías de penetración.....	23

a) Inhalación.....	23
b) Piel.....	24
c) Ojos.....	24
d) Ingestión.....	24
<b>3.1.6. Cuadro clínico.....</b>	<b>24</b>
a) Intoxicación aguda.....	25
b) Intoxicación crónica.....	25
<b>3.1.7. Vigilancia.....</b>	<b>25</b>
<b>3.2. Benceno y sus derivados.....</b>	<b>27</b>
<b>3.2.1. Propiedades fisicoquímicas.....</b>	<b>27</b>
<b>3.2.2. Usos del benceno y sus derivados.....</b>	<b>27</b>
<b>3.2.3. Riesgos en su manipulación.....</b>	<b>28</b>
Frasas de Riesgo.....	28
<b>3.2.4. Mecanismos de acción.....</b>	<b>29</b>
<b>3.2.5. Vías de penetración.....</b>	<b>30</b>
a) Inhalación.....	30
b) Contacto piel / ojos.....	30
c) Ingestión.....	30
<b>3.2.6. Cuadro clínico.....</b>	<b>30</b>
a) Intoxicación aguda.....	30
b) Intoxicación crónica.....	31
<b>3.2.7. Efectos sistémicos.....</b>	<b>32</b>
a) Cardiovasculares.....	32
b) Hematológicos.....	32
c) Neurológicos.....	32
<b>3.2.8. Efecto cancerígeno.....</b>	<b>32</b>
a) Concentración permisibles de exposición ocupacional.....	32
b) Niveles de permisibles de exposición ocupacional.....	32
<b>3.2.9. Equipo de protección personal.....</b>	<b>33</b>
<b>3.3. Azufre.....</b>	<b>34</b>
<b>3.2.1. Propiedades fisicoquímicas del azufre.....</b>	<b>35</b>
<b>3.2.2. Usos y presentación del azufre.....</b>	<b>35</b>
<b>3.2.3. Mecanismos de acción.....</b>	<b>36</b>
<b>3.2.4. Metabolismo del Azufre en el organismo.....</b>	<b>36</b>
a) Absorción.....	36
b) Distribución.....	37

c) Excreción.....	37
<b>3.2.5. Cuadro clínico.....</b>	<b>38</b>
a) Intoxicación aguda del SO <sub>2</sub> .....	38
b) Intoxicación crónica.....	39
<b>3.2.6. Efectos del SO<sub>2</sub> en asmáticos.....</b>	<b>40</b>
<b>3.2.7. Tumorigénesis y Carcinogénesis.....</b>	<b>40</b>
<b>3.2.8. Vigilancia en salud.....</b>	<b>40</b>
<b>3.2.9. Protección respiratoria.....</b>	<b>40</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>46</b>

## LISTADO DE TABLAS

<b>Tabla 1. Estándares progresivos para el contenido de azufre en Colombia.....</b>	<b>18</b>
<b>Tabla 2. Propiedades del Monóxido de carbono.....</b>	<b>21</b>
<b>Tabla 3. Propiedades del Azufre.....</b>	<b>34</b>
<b>Tabla 4. Resumen de los factores de riesgos de los agentes químicos según ocupación laboral.....</b>	<b>40</b>

## **LISTADO DE FIGURAS**

**Ilustración 1. Emisiones de CO y HC según velocidad promedio...20**

## RESUMEN

La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que en 2012 la contaminación del aire en el mundo generó tres millones de muertes prematuras al año, en esta monografía se ilustró el Impacto en la salud de las personas causado por la exposición de combustibles y su proceso de combustión.

En el primer capítulo se abordó las propiedades, características y clasificación de los hidrocarburos. En el segundo capítulo se abordó la normatividad en la calidad de los combustibles en Colombia, para ajustar progresivamente los niveles máximos permisibles de contaminantes, considerando los lineamientos dados por la organización mundial de la salud.

En el tercer capítulo se abordaron los principales contaminantes del proceso de combustión de la gasolina y diésel. Su identificación, propiedades fisicoquímicas, presentación, mecanismo de acción y su efecto en salud, del benceno y xileno, usados como aditivo de alto octanaje; azufre un material particulado que produce irritación pulmonar y en la atmosfera combinado con agua produce ácido sulfúrico “lluvia acida”; el monóxido de carbono un gas inoloro e incoloro conocido como “el gran simulador” por sus efectos a nivel sistémico. Y por último se abordaron algunos agentes químicos de la tabla de enfermedades del decreto 1477 del 2014 según los agentes etiológicos revisados en este apartado y las pautas del decreto 1507 del 2014 del manual único para la calificación de la perdida de la capacidad laboral y ocupacional, como la valoración del rol laboral y ocupacional y la valoración de deficiencias por trastornos cardiovasculares y respiratorios.

El problema son los parámetros de la calidad de la gasolina en Colombia, ya que no permiten la incorporación de tecnologías de baja emisiones como: 10 PPM de azufre, numero de octano RON de 89; y no se puede implementar la normativa EURO 6, ya que es indispensable el suministro de combustibles con estas características mencionadas.



Palabras claves: combustibles, hidrocarburos, intoxicación, contaminación, monóxido de carbono, benceno, azufre.

## INTRODUCCION

La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que en 2012 la contaminación del aire en el mundo generó tres millones de muertes prematuras al año, teniendo un impacto mayor en las grandes ciudades. (4)

Los materiales particulados por combustión, refinación o destilación de los hidrocarburos generaran complicaciones en la salud las personas y en los trabajadores según su rol laboral expuestos a ella, por su alta cronicidad de exposición.

La calidad de los combustibles está definida en función de los de parámetros físico-químicos y operativos que cuantifican su desempeño ambiental al final del proceso de combustión. (1)

En Colombia desde los años 90, cuando el diésel tenía 5000 partes por millón (ppm) de contenido de azufre, se fueron haciendo reducciones significativas en las emisiones de contenido de azufre, a 1200 ppm para Bogotá con su transporte masivo (Transmilenio) y el resto del territorio nacional de 3000 ppm de azufre en el año 2001. Luego en julio del 2008 se empezó a distribuir en Bogotá diésel con menos de 500 ppm de contenido de azufre y para el resto del país con menos de 3000 ppm de azufre. luego desde el primero de enero del 2009, se repartía por todo el territorio nacional diésel de 2500 ppm de contenido de azufre de acuerdo a lo establecido hasta ese momento por la ley 1205, que regula el contenido de azufre en el diésel. (3)

En el caso de las gasolinas, ha habido una mejora desde los años 90 con la eliminación del plomo y una reducción sustancial de los aromáticos. El “Reid Vapor Pressure” o RVP por sus siglas en ingles es la forma de medir la tendencia de evaporarse de las fracciones más livianas, pasando de 11.5 a 9 en el año 1991 y en el año 1993 paso de 9 a 8.5 RVP hasta llegar a 8 RVP en el año 1997. En el año 2005, se regulo una adición de etanol del 10% y para el 2010 se tuvo proyectada una reducción de contenido de azufre de 900 ppm a menos de 300 ppm. (3)

En el caso del contenido aromáticos en la gasolina para el año 2007 Colombia se situó entre las mejores gasolinas del mundo con un contenido de aromáticos para la gasolina corriente de 20% y gasolina extra 22%. (3)

En el caso del benceno, hay estudios que lo califican como uno de los posibles cancerígenos a nivel mundial. Colombia tiene un 0.7% para el caso de las dos gasolinas extra y corriente, mientras que la norma dice que el máximo permitido para la gasolina corriente es de 1% y para la extra de un 2% (3,6)

Las intoxicaciones y morbilidades a causa de la contaminación de los materiales particulados de la combustión están subestimados y muchas veces subdiagnosticados en las historias clínicas, por lo que surgió el interés de realizar una búsqueda para exponer las deficiencias en salud que causan en el rol laboral en los diferentes sistemas cardiovascular, respiratorio, circulatorio y neurológico.

Para la búsqueda de la bibliografía se utilizó la siguiente estrategia de búsqueda: “combustibles” AND “intoxicación” AND “contaminación”. Esto junto al periodo de búsqueda: 1990- 2020, en 2 idiomas distintos; inglés y español. Para consultar en los siguientes motores de búsqueda: Google scholar, Pubmed, los estudios de tipo: Observacional analíticos; casos y controles, estudios de cohorte y estudios observacionales descriptivos; transversales y revisión sistemática.

## **CAPITULO I. HIDROCARBUROS**

### **1.1. Propiedades de los hidrocarburos**

Se denominan hidrocarburos a aquellos compuestos fundamentalmente por carbono e hidrogeno. Se le conoce de forma generica como petroleo a los hidrocarburos extraidos como liquidos, mientras que a los extraidos en forma gaseosa se denominan gas natural. Ambos son las principales fuentes fosiles de combustibles .  
(11)

El crudo es el componente liquido del petroleo, ya que tambien existen gases asociados al petroleo como lo son el propano o el butano y formas solidas como el asfalto y el betum. Cualquiera de estas combinaciones pueden coexistir, dependiendo del yacimiento del petroleo. El crudo es una mezcla de compuestos organicos e inorganicos, cuya composicion puede variar enormemente de un yacimiento a otro, e incluso en un mismo pozo de extraccion en funcion del tiempo o de la profundidad. De esta forma, existe una enorme variedad de crudos. (11)

Mediante procesos de refinado como la destilacion o el craqueado, el crudo es separado en diferente productos. Cada producto refinado tendra una temperatura o punto de ebullicion asociado, siendo los mas energeticos y volatiles los mas valiosos economicamente.

### **1.2. Composicion y caracteristicas del petroleo y refinados.**

El petroleo es aquella materia liquida natural, inflamable y oleaginosa, de color negro y olor fuerte, insoluble y mas ligera que el agua; constiuida por una mezcla compleja de hidrocarburos y otras especies quimicas. (11)

El petroleo se forma por la descomposicion anaerobia de la materia organica, especialmente originario del plancton marino, acumulado bajo ciertas condiciones especiales de temperatura y presion en las plataformas continentales. De esta forma la composicion atomica del petroleo generico podria ser de un 85% de carbono (C),

un 12% de hidrogeno (H), 8% de azufre (S), 1% nitrogeno (N) y hasta un 0.5% de oxigeno (O). (11)

El compuesto principal del petroleo son los hidrocarburos. La proporcion de estos compuestos quimicos, puede variar entre un 50% y un 95% del total. Y la fraccion restante(no-hidrocarburos) esta constituida por compuestos orgánicos que contienen nitrógeno, azufre, oxígeno y metales pesados como níquel y vanadio. (11)

Cada region o zona geografica de extraccion proporciona una variedad especifica de un mismo crudo; aun siendo de la misma categoria (ligero, medio o pesado) por ejemplo, un crudo proveniente de venezuela se caracteriza por contener mas vanadio, mientras que uno de Kuwait, mas azufre. (11)

### 1.3. Clasificacion de los hidrocarburos

Los hidrocarburos presentes en los crudos del petroleo y sus refinados se pueden clasificar en dos grandes familias, los saturados y los no saturados, según el numero de enlaces. A su vez cada familia se distingue en los de cadenas abiertas o cerradas. (11)

- Hidrocarburos saturados (enlaces simples C-C)
  - Cadena abierta: **parafinicos** (ano-alcanos)
    - Ejemplo: metano, propano
  - Cadena cerrada: **naftenicos** (alicyclicos)
    - Ejemplo: ciclo-pentano
  
- Hidrocarburos no saturados ( existen enlaces dobles C=C o triples)
  - Cadena abierta: **oleofinicos** (eno-alquenos)
    - Ejemplo: propeno
  - Cadena cerrada **aromáticos** (bencénicos)
    - Ejemplo: benceno, naftaleno

El grupo mas presente en el crudo son los saturados, es decir las parafinas y los naftenos. Generalmente se suele hacer distincion entre los compuestos aromaticos y

los alifáticos (que no tienen ningún anillo bencénico) por comportamiento y características de reactividad química. Los hidrocarburos aromáticos son compuestos más solubles, más tóxicos, susceptibles por sus propiedades mutagénicas. Son mucho menos biodegradables pero más foto-oxidables. (11)

## **1.4. Hidrocarburos saturados**

### **1.4.1. Parafínicos**

Los parafínicos, están constituidos por cadenas abiertas de hidrocarburos, denominados con la terminación “ano” (alcanos). Los compuestos sin ramificaciones son los normales (n-alcanos), y los parafínicos ramificados se denominan isoalcanos. En función del número de carbonos (peso molecular), a temperatura ambiente los podemos encontrar en forma de:

- Gases (con # menor de 5), como el metano, propano y butano
- Líquidos (# entre 5 y 15)
- Sólidos o semisólidos (# mayor de 15)

Son claramente el constituyente principal de los petróleos y gases naturales. Las ceras, un tipo particular de parafinas, están constituidas por cadenas muy largas de hidrocarburos: su alto peso molecular hace que tengan un elevado punto de reblandecimiento (entre los 20°C), lo que provoca que suelen cristalizarse a temperatura ambiente. De esta forma los crudos parafínicos tienen temperaturas de reblandecimiento menores que otros tipos de crudos. (11)

### **1.4.2. Naftenos**

Los naftenos o compuestos alicíclicos saturados (cicloalcanos) están formados por anillos simples, cadenas cerradas de enlaces de carbono. Son estables y relativamente insolubles en agua. Su temperatura de ebullición suele estar entre 10 y 20 °C por encima del alcano correspondiente (el mismo # de carbono). (11)

## **1.5. Hidrocarburos no-saturados**

### **1.5.1. Oleofinas**

Las oleofinas o alquenos, se caracterizan por cadenas, ramificadas o no, similares a los alcanos, pero incluyendo enlaces dobles entre átomos de carbono. Estos compuestos no suelen encontrarse en el petróleo crudo y son más tóxicos que sus equivalentes alcanos.

### **1.5.2. Aromaticos**

Los aromaticos se caracterizan por los anillos de benceno, elemento formado por 6 carbonos con enlaces no saturados. Pueden contener un anillo (benceno y derivados BTEX) o hasta 6 anillos (policiclicos aromaticos o HAP). Son los constituyentes más tóxicos, siendo los de menor peso molecular los más solubles; son considerados los más peligrosos para el medio acuático, con efectos cancerígenos a largo plazo.

Esta clasificación no es más que una simplificación de la realidad, puesto que en un producto petrolífero existen multitud de compuestos que combinan las características de las familias anteriores. Por ejemplo, existe una subcategoría de compuestos nafteno-aromaticos, o aquellos compuestos de una familia con una ramificación añadida (los llamados derivados alquiles).

Las tres grandes categorías de crudos, “ligero, medio y pesado”, se determinan en función del contenido en compuestos ligeros (# de carbonos entre C1 y C10), medios (C11 y C22), y pesados (mayor de C23). Los compuestos ligeros son más volátiles, y los pesados son los más remanentes (inertes); así, su toxicidad asociada puede ser a corto plazo (por vías respiratorias) o a largo plazo (por efectos crónicos) para los compuestos ligeros y pesados respectivamente. (11)

## **1.6. Los compuestos aromaticos**

El benceno, el tolueno, el etilbenceno y los xilenos, reagrupados en los denominados BTEX, forman el conjunto de hidrocarburos monoaromaticos bencenicos. Estos forman la fracción más soluble y móvil de los productos petrolíferos. En los derrames terrestres (fallos en oleoductos) penetran fácilmente los sedimentos y terreno, contaminando aguas freáticas debido a su solubilidad, especialmente el benceno.

Los BTEX son potencialmente cancerígenos y neurotóxicos, clasificados en la gran mayoría de normativas como contaminantes peligrosos de control prioritario.

Se definen como hidrocarburos policíclicos aromáticos (HAP), los que contienen varios anillos bencénicos, empezando por el naftaleno con dos anillos. A mayor número de ciclos, mayor complejidad de su estructura, mayor peso molecular y por consiguiente mayor permanencia en el medio ambiente (menor solubilidad y degradabilidad) (11)



## **CAPÍTULO II. NORMATIVIDAD NACIONAL**

### **2.1. Normativa de los combustibles**

Los Ministerios de Ambiente y Desarrollo Sostenible y de Minas y Energía deben definir los parámetros mínimos de calidad, en materia ambiental y técnica respectivamente, de los combustibles que se han de importar, producir, distribuir y consumir en todo el territorio nacional, de conformidad con lo definido en el artículo 2.2.5.1.4.5 del Decreto 1076 de 2015. (1)

En 2017 fue adoptada la Resolución 2254, la cual incorporó un ajuste progresivo de los niveles máximos permisibles de contaminantes considerando los lineamientos dados por la Organización Mundial de la Salud. (1)

Para el desarrollo de estas acciones, en 2018 se adoptó el CONPES 3943 "Política para el mejoramiento de la calidad del aire", cuyo objetivo general era reducir la concentración de contaminantes en el aire que afectan la salud y el ambiente. (7)

Según los inventarios de emisiones que se han realizado en las grandes ciudades del país, el material particulado es emitido principalmente por la quema de combustibles fósiles en el sector transporte y en el sector industrial. Se estima que, en los centros urbanos, aproximadamente el 80 % de las PPM son generadas por las fuentes móviles mientras que el 20 % restante lo aportan las fuentes fijas. (1)

Las emisiones generadas por las fuentes móviles dependen de tres aspectos principales:

1. Tecnología de emisión del parque automotor.
2. Calidad de los combustibles.
3. Condiciones de mantenimiento preventivo.

#### **2.1.1. Calidad de combustibles – gasolina**

La reglamentación colombiana en materia de calidad de combustibles tiene su raíz en la Resolución 898 de 1995 "Por la cual se regulan los criterios ambientales de

calidad de los combustibles líquidos y sólidos utilizados en hornos y caldera de uso comercial e industrial y en motores de combustión interna de vehículos automotores”.

A partir de esta norma, se han realizado varias modificaciones entre las que se encuentran la Resolución 1565 de 2004 “Por la cual se modifica parcialmente la Resolución 898 del 23 de agosto de 1995, que regula los criterios ambientales de calidad de los combustibles líquidos y sólidos utilizados en hornos y calderas de uso comercial e industrial y en motores de combustión interna”.

El CONPES 3943, definió líneas de acción específicas, dedicadas al plan de mejoramiento de los combustibles para la actualización de parámetros de calidad de los combustibles y biocombustibles: En primer lugar, es necesario continuar avanzando en la reducción en el contenido de azufre de los combustibles que se distribuyen al parque automotor del país. Para ello, en el primer trimestre de 2019, el Ministerio de Minas y Energía y el Ministerio el Ambiente y Desarrollo Sostenible adoptarán en conjunto los estándares normativos progresivos para lograr la reducción del contenido de azufre en los combustibles a nivel nacional de la siguiente manera: en 2020, diésel de 20 ppm y gasolina de 100 ppm; en 2021, diésel de 10 ppm a 15 ppm y gasolina de 50 ppm; antes de finalizar 2025, diésel de 10 ppm, y entre 2026 y 2030, gasolina de 10 ppm. Por su parte, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, en el primer semestre de 2019, adoptará por resolución los estándares de emisión para vehículos, acordes con la calidad del combustible distribuido, como una medida para restringir el ingreso al país de tecnologías vehiculares contaminantes.” (7)

**Tabla 1. Estándares progresivos para el contenido de azufre en Colombia**

	<b>Gasolina</b>	<b>Diésel</b>
<b>31 de diciembre</b>	100 ppm	20 ppm
<b>2020</b>		
<b>31 de diciembre</b>	50 ppm	10 a 15 ppm
<b>2021</b>		
<b>2025</b>	50 ppm	10 ppm
<b>2026-2030</b>	10 ppm	10 ppm

Ejemplo tomado de: Política para el mejoramiento de la calidad del aire (18).

### **2.1.2. Calidad del aire**

La calidad del aire es un problema que afecta no solo a una región determinada, sino que es un problema mundial, porque el aire no tiene límites geográficos y los contaminantes pueden ser dispersados por la acción de los vientos, de este modo pueden alcanzar zonas geográficas menos contaminadas o con menor producción de contaminación, y de esta manera producir efectos dañinos no solo en las personas, sino también en las plantas y animales. (10)

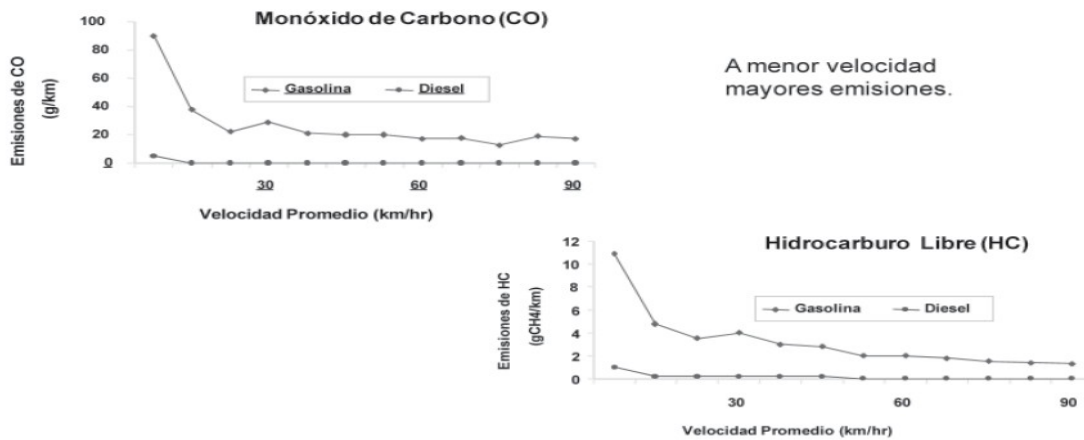
la organización mundial para la salud ha liderado mundialmente nuevas políticas en la detección de este tipo de contaminación y medidas para mejorar la calidad del aire, por la presión ejercida del aumento de la población mundial, que demanda mas el uso de combustibles fósiles y no fósiles tanto para los vehículos como para la industria.

En Colombia el ente encargado de hacer vigilancia en la calidad del aire es el instituto de hidrología, meteorología y asuntos ambientales (IDEAM), el cual se encarga de monitorear la calidad del aire en gran parte del país por medio de estaciones localizadas en diferentes municipios. A partir de esas estaciones se ha encontrado que los municipios de Colombia en los que hay mayor contaminación ambiental son Bogotá, Medellín, Cali, Barranquilla, el Valle de Sogamoso, Bucaramanga, Cartagena y Pereira; en estas ocho regiones de Colombia se genera el 41% de material contaminante del aire en Colombia, de acuerdo al informe del estado de la calidad del aire emitido por el IDEAM en el año 2012 y que corresponde al periodo de monitoreo del 2007 al 2010. (10)

Respecto a la calidad de aire, la calidad de los combustibles tiene una importante incidencia, pero no se trata del factor principal: hay otros más críticos.

La movilidad, los hábitos de uso, el estado de la malla vial, la edad del parque automotor, la industria que usa carbón y otros combustibles para la generación de vapor y las quemas son de los mayores aportantes a las emisiones fijas que, en el caso de la capital, afectan sensiblemente la contaminación ambiental.

Las emisiones de monóxido de carbono se producen en mayor nivel antes de los 30km/h de velocidad. Esto ocurre en todos los semáforos: cada vez que se arranca el vehículo, se produce este mismo efecto, que es mucho más pronunciado para la gasolina. (3)



### Ilustración 1. Emisiones de CO y HC según velocidad promedio

Ejemplo obtenido de: Calidad de los combustibles en Colombia (3).

## 2.2. Normativa de Enfermedad Laboral

Según el artículo 4º de la Ley 1562 de 2012 define como enfermedad laboral como resultado de la exposición a factores de riesgo inherentes a la actividad laboral o del medio en el que el trabajador se ha visto obligado a trabajar. (18)

Se determinará las enfermedades que se consideran como laborales según la tabla de enfermedades laborales del Decreto 1477 de 2014, y en los casos en que una enfermedad no figure, pero se demuestre la relación de causalidad con los factores de riesgo ocupacionales será reconocida como enfermedad laboral. (18)

## **CAPITULO III. COMPUESTOS CONTAMINANTES DE LA COMBUSTION DE GASOLINA Y DIESEL Y SUS EFECTOS EN LA SALUD**

### **3.1. Monóxido de carbono**

El monóxido de carbono es un gas tóxico, inodoro, incoloro que se produce por la combustión incompletas de materias orgánicas y que produce hipoxia tisular. Clínicamente le llaman el gran simulador por toda la variabilidad de signos y síntomas que ocasiona, pudiendo confundirse con otras entidades clínicas. (4)

#### **3.1.1. Propiedades físico químicas**

En la siguiente tabla se resumen las propiedades físicas del monóxido de carbono

**Tabla 2. Propiedades del Monóxido de carbono**

<b>Peso molecular</b>	<b>28</b>
<b>Punto de ebullición</b>	<b>-191°C</b>
<b>Punto de Fusión (a 37 atm)</b>	<b>- 202°C</b>
<b>Punto de inflamación:</b>	
<b>Temperatura de auto-ignación</b>	<b>609°C</b>
<b>Densidad de vapor (aire:1)</b>	<b>0,97</b>
<b>Solubilidad en agua (gr/100cc)</b>	<b>0,004</b>
<b>Límites de inflamabilidad: (%en volumen en aire)</b>	<b>de 12,5 - 74</b>

Ejemplo tomado de: Intoxicación ocupacional por monóxido de carbono Trastornos otoneurológicos y cardiovasculares

A temperatura ordinaria, es un producto estable. Se disocia en carbono y anhídrido carbónico, entre 400° y 800°C y a partir de ahí la reacción se estabiliza. Quema en presencia de oxígeno con llama azul, dando anhídrido carbónico y con desprendimiento de calor, por ello es un combustible utilizado en la industria. Se trata de un agente reductor, que reacciona con diversos óxidos metálicos (de cobre, hierro, cobalto, plomo, etc) formándose anhídrido carbónico y el metal correspondiente. Puede combinarse con el cloro en presencia de catalizadores o por acción de la luz, formándose fosgeno. Con metales tales como hierro, níquel, cromo, manganeso, cobalto, etc., finamente divididos, reaccione formando compuestos metal- carbonilos, poco estables y muy tóxicos. Con las siguientes sustancias pueden tener lugar reacciones exotérmicas o de descomposición, con riesgos de inflamación y explosión: Trifluoruro de bromo, óxido de cesio, heptafluoruro de yodo, trifluoruro de cloro, litio, oxígeno, óxido de plata, potasio en presencia de oxígeno, sodio y amoníaco, trifluoruro de nitrógeno, etc.

### **3.1.2. Usos del monóxido de carbono**

El monóxido de carbono se utiliza en una amplia gama de aplicaciones, disponibles en cilindros y entregas en tanques de trailer.

Las aplicaciones más comunes del monóxido de carbono envasado incluyen:

- Fabricación de metal: utilizado en mezclas de gas combustible con hidrogeno y otros gases para la calefacción domestica e industrial.
- Químico: utilizado en la fabricación de variedad de químicos como ácidos, esteres y alcoholes. El monóxido de carbono también produce y regenera catalizadores como el carbonilo de níquel.
- Alimentos y bebidas: utilizado en la conservación de alimentos incluyendo el envasado en atmosfera modificada.
- Minería y metalurgia: para la reducción de mineral y en la fabricación de carbonilos metálicos

### **3.1.3. Riesgos y consejos de prudencia en su manipulación.**

Su número CAS es 630-08-0 y sus TLV-TWA: 50 ppm-55mgr/m3 y TLV-STEL: 400ppm-440mgr/m3

- OSHA: El PEL es de 50 ppm como promedio durante un turno laboral de 8 horas.
- NIOSH: El REL es de 35 ppm como promedio durante un turno laboral de 10 hora y de 200 ppm, que nunca debe excederse durante ningún periodo laboral de 15 minutos.
- ACGIH: El TLV es de 25 ppm como promedio durante un turno laboral.

#### *Riesgo de cáncer*

La agencia internacional para la investigación del cáncer (IARC) no ha clasificado al monóxido de carbono en cuanto a carcinogenicidad en seres humanos, no existe indicios que el monóxido de carbono cause cáncer en animales, según los resultados de pruebas presentadas en estudios publicados y actualmente disponibles.

#### *a) Frases de Riesgo*

- **R12:** Extremadamente inflamable.
- **R23:** Tóxico por inhalación.
- **R48:** Puede causar daños severos en la salud, por exposición prolongada.

#### *b) Consejos de prudencia*

- **S45:** En caso del accidente, o en el caso de que se encuentre indispuerto, busque consejo médico inmediato.
- **S53:** Se debe evitar la exposición y obtener las instrucciones especiales antes de utilizar.

#### **3.1.4. Mecanismos de acción**

El monóxido de carbono se une a la hemoglobina produciendo carboxihemoglobina, que es el marcador diagnóstico de la intoxicación de este compuesto. La OMS indica que los niveles normales de carboxihemoglobina en no fumadores esta entre 0.3 y 0.7% y de los fumadores entre un 3% y 8%. Su diagnóstico es clínico y puede confirmarse con una prueba de laboratorio en sangre o aire espirado. (4)

Las exposiciones leves a moderadas al monóxido de carbono pueden provocar náuseas, mialgias y mareos y en concentraciones mayores o por más tiempo prolongado pueden ocasionar disnea, dolor torácico, cansancio, vértigo, adinamia, irritabilidad y alteraciones en el ECG como taquicardia sinusal, anormalidades de onda T y segmento ST, fibrilación auricular, disfunción de los músculos papilares, prolapso de la válvula mitral, fibrilación y aleteo ventricular. (4)

La OMS no descarta que se produzcan estos efectos con concentraciones menores 2.9% carboxihemoglobina. (4)

### **3.1.5. Vías de penetración**

#### *a) Inhalación*

Tiene una acción muy definida ya que fija la hemoglobina de la sangre formando carboxihemoglobina con lo que se dificulta el aporte de oxígeno a los tejidos a través del torrente sanguíneo. En altas concentraciones (cuando ya los dos tercios de la hemoglobina se han saturado), puede sobrevenir rápidamente la muerte a partir de unas 5.000 ppm. Afecta a la sangre y al sistema nervioso. En casos graves se pueden producir trastornos respiratorios, asfixia, alteraciones del ritmo cardíaco, del sistema cardiovascular, paralización muscular progresiva, etc. Los síntomas se pueden presentar muy rápidamente y son: dolor de cabeza, vértigos, náuseas, confusión mental, respiración acelerada e inconsciencia.

#### *b) Piel*

No le afecta.

#### *c) Ojos*

No les afecta.

#### *d) Ingestión*

No aplicable

### **3.1.6. Cuadro clínico**

Las primeras manifestaciones observables de la intoxicación por CO consisten en síntomas neurológicos: cefalea (de tipo constrictiva a nivel frontal, acompañado de latido perceptible de la arteria temporal) a la que se agrega disminución de la agilidad



mental, con un estado de somnolencia, acompañado de ataxia y mareos. Este cuadro, se presenta clínicamente como un síndrome de hipertensión endocraneana, caracterizado por náuseas y vómitos en chorro. Suele estar acompañado de dolor abdominal y diarreas. Los lactantes suelen estar irritables, con llanto continuo y rechazo del alimento, seguido de obnubilación y depresión del SNC, siendo frecuente la observación de hipertensión de la fontanela anterior, cuadro clínico semejante a un síndrome meníngeo. Todas las manifestaciones del sistema nervioso central son típicas de lesiones por isquemia hipóxica. Si la intoxicación se prolonga en el tiempo, aparecen mareos, trastornos de la visión, disnea, astenia, fatiga a los mínimos esfuerzos, dolor de pecho, isquemia coronaria, arritmias cardíacas, frecuentemente taquicardia, hipotensión, alteración del estado de conciencia y marcada impotencia muscular, imposibilitando al intoxicado abandonar el ambiente contaminado. En las intoxicaciones severas se pueden presentar convulsiones, depresión del estado de conciencia hasta coma profundo, que suele acompañarse de hiperreflexia e hipertermia. Es muy frecuente la rabdomiólisis por la lesión muscular secundaria a la excesiva actividad del músculo esquelético o por la acción tóxica directa del CO. Este cuadro severo puede evolucionar a la muerte, la mayoría de las veces causada por paro cardiorrespiratorio. (13,14,15)

*a) Intoxicación aguda*

Nos referimos a intoxicación aguda cuando aparecen signos o síntomas de enfermedad como consecuencia de una exposición única o de duración inferior a las 24 horas.

Es necesario destacar que las intoxicaciones leves o moderadas pueden tener síntomas inespecíficos y tan sólo la sospecha clínica, o epidemiológica, en el contexto en el que estuvo o se encontró al enfermo (incendios, exposición a braseros, estufas, calefones u otros artefactos a combustión, en ambientes carentes de ventilación), llevará a indagar en búsqueda de antecedentes y datos clínicos o de laboratorio que permitan realizar el diagnóstico de intoxicación por CO.

*b) Intoxicación crónica*

Las exposiciones crónicas, producidas generalmente de manera intermitente, con una duración de semanas o incluso años, se manifiesta a través de sintomatología que puede diferir de las intoxicaciones agudas, pudiendo incluir lesiones cerebrales por anoxia repetida. Presentan deterioro intelectual, convulsiones, trastornos de la memoria, trastornos sensoriales y síndrome piramidal o extrapiramidal. En TAC o RM se puede observar atrofia cortical y dilatación ventricular. (13,14,15)

### **3.1.7. Vigilancia**

Las intoxicaciones por monóxido de carbono (CO) es la causa de enfermedad y muerte en cientos de personas por año. En su gran mayoría son el resultado de exposiciones no intencionales intradomiciliarias a diversas fuentes de combustión, y constituyen eventos prevenibles.

Están relacionadas con la contaminación en el ámbito doméstico, derivada principalmente de las actividades diarias como cocinar y calefaccionarse en ambientes mal ventilados, o laboral, así como también con la contaminación ambiental producto de las emisiones industriales y del parque automotor.

Las mujeres embarazadas, lactantes, niños pequeños, personas mayores y las que sufren de anemia, problemas cardíacos o respiratorios pueden ser mucho más sensibles al CO.

La vigilancia de la aparición de casos de intoxicación por estos agentes permite detectar su ocurrencia y posibilita el seguimiento de los mismos, así como la detección precoz de las posibles fuentes de emisión de dichos compuestos al ambiente con riesgos para la población.

Alertar en forma temprana ante la ocurrencia de casos de Intoxicación por Monóxido de carbono para Brindar tratamiento precoz a los afectados Identificar las fuentes, buscar activamente otros casos asociados de exposición a la misma fuente, para la prevención, el monitoreo o la detección y el tratamiento precoz de los casos. (15)

### **3.2. Benceno y sus derivados**

Las principales fuentes de hidrocarburos aromáticos son la destilación de la hulla y una serie de procesos petroquímicos, en particular la destilación catalítica, la destilación del coque, destilación de petróleo crudo y la alquilación de hidrocarburos aromáticos de las series más bajas. (6)

#### **3.2.1. Propiedades fisicoquímicas**

Los hidrocarburos aromáticos BTX-EB, son en general líquidos (incolores o ligeramente amarillos) a temperatura ambiente (20°C), poseen olor característico (aromático). El benceno solidifica a temperatura igual o inferior a 5,5 °C y el p-xileno a temperatura mayor o igual a 13oC. (6)

Son insolubles o ligeramente solubles en agua (benceno). Son líquidos inflamables, (categoría 3 según las Naciones Unidas, ONU), sus vapores son más densos que el aire, pueden desplazarse a ras del suelo y alcanzar sitios distantes de ignición con peligro de inflamación. Reaccionan con sustancias oxidantes y halógenos causando peligro de fuego y explosión. El benceno líquido puede emitir vapores a temperaturas tan bajas como -11°C. Por ello, si no se observan las precauciones durante el almacenamiento, la manipulación o el uso del benceno líquido, es seguro que, a las temperaturas normales de trabajo, se formarán concentraciones inflamables. Este riesgo aumentará cuando se produzcan salpicaduras o derrames accidentales. (6)

#### **3.2.2. Usos del benceno y sus derivados**

Los principales usos de los hidrocarburos aromáticos como productos puros son: la síntesis química de plásticos, caucho sintético, pinturas, pigmentos, explosivos, pesticidas, detergentes, perfumes y fármacos. También se utilizan, principalmente en forma de mezclas, como disolventes y como constituyentes, en proporción variable, de la gasolina. (6)

El benceno se ha utilizado ampliamente en la fabricación de estireno, fenoles, anhídrido maléico, detergentes, explosivos, productos farmacéuticos y colorantes. Se ha empleado además como combustible, reactivo químico y agente de extracción para semillas y frutos secos. (6)

El benceno debido a su efecto cancerígeno fue prohibido para uso como disolvente industrial en varios países, entre ellos Colombia, por recomendación de la Organización Internacional del Trabajo (OIT). (6)

El benceno se encuentra como impureza en combustibles como la gasolina, disolventes, pegantes y otros productos químicos. La gasolina para automóviles puede contener de 0-7% de benceno, comúnmente de 2 a 3 %. (6,3)

El tolueno es un disolvente de aceites, resinas, caucho natural (mezclado con ciclohexano) y sintético, alquitrán de hulla, asfalto, brea y acetilcelulosas (en caliente, mezclado con etanol). Se utiliza como disolvente y diluyente de pinturas y barnices de celulosa y como diluyente de tintas de fotograbado. El tolueno está presente en mezclas utilizadas como productos de limpieza en distintas industrias y en artesanía. También se emplea en la fabricación de detergentes y cuero artificial y es una importante materia prima para síntesis orgánicas, como las de cloruro de benzoilo y bencilideno, sacarina, cloramina T, trinitrotolueno y un gran número de colorantes. El tolueno en mezcla con benceno y xileno (BTX) es un componente del combustible para aviones y de la gasolina para automóviles. (6)

Existen tres isómeros del xileno: orto- (o-), para- (p-) y meta- (m-). El producto comercial es una mezcla de estos isómeros, con el isómero meta- en mayor proporción (60 a 70 %) y el para- en menor proporción (hasta un 5 %). El xileno se utiliza como diluyente de pinturas y barnices, en productos farmacéuticos, como aditivo de alto octanaje en combustibles de aviones; en la síntesis de colorantes y en la producción de ácidos ftálicos. El xileno se utiliza en técnicas histológicas de laboratorio por ser un buen disolvente de la parafina, el bálsamo de Canadá y el poliestireno.

### **3.2.3. Niveles y concentración permisibles de exposición ocupacional**

- a) *Concentraciones permisibles de exposición ocupacional (N° CAS 71-43-2)*
- **TLV** (TWA; ACGIH): 10 ppm (1992 - 1993). (Valor Límite Umbral). (16)
  - **PEL** (TWA; 8 horas; OSHA para la industria general): 1 ppm (Fecha de estudio no reportada) (Límite Permisible de Exposición). (16)

- **STEL** (TWA; 15 minutos; OSHA): 5 ppm (Fecha de estudio no reportada) (Límite de Exposición en Periodos Cortos). (16)
- **IDLH** (NIOSH): 500 ppm (Fecha de estudio no reportada) (Peligroso Inmediatamente para la vida y la Salud). (16)

#### *Frases de Riesgo*

- **R45**: Puede causar cáncer.
- **R11**: Fácilmente inflamable.
- **R48/23/24/25**: Tóxico: riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por inhalación, contacto con la piel e ingestión.

#### **3.2.4. Mecanismos de acción**

La absorción, distribución, metabolismo y excreción del Benceno se ha investigado en gran forma, tanto en animales como en humanos. El Benceno se absorbe rápidamente por ingestión y por inhalación. La absorción por contacto con la piel también es muy rápida, pero se considera inferior debido a la rápida volatilización del Benceno en contacto con el aire. El Benceno se distribuye rápidamente a través del cuerpo después de cualquier tipo de exposición o contacto con la sustancia y se observa acumulación en los tejidos grasos. (6)

Respirar niveles de Benceno muy altos puede causar la muerte, mientras que los niveles moderados pueden causar somnolencia, mareo, aceleración del ritmo cardíaco, dolor de cabeza, temblor, confusión y pérdida del conocimiento. Comer o tomar altos niveles de Benceno puede causar vómitos o irritación del estómago, mareo, somnolencia o convulsiones; en casos severos se presenta aceleración del ritmo cardíaco y la muerte. El efecto principal de la exposición de larga duración (365 días o más) al Benceno se presenta en la sangre. Produce efectos nocivos en la médula ósea y puede causar una disminución en el número de glóbulos rojos, lo que conduce a la generación de anemia. El Benceno también puede producir hemorragias y daño al sistema inmunológico, aumentando así las posibilidades de contraer infecciones. (6)

### **3.2.5. Vías de penetración**

#### *a) Inhalación*

La principal ruta de exposición a Benceno generalmente ocurre por inhalación directa o de materiales que contienen Benceno. Estudios consultados indican que la absorción de Benceno en humanos debida a una exposición por vía respiratoria es aproximadamente el 50% de la cantidad inhalada, aunque esta disminuye al incrementar los niveles de exposición debido probablemente a la saturación del metabolismo y, por lo tanto, la excreción de una mayor cantidad de Benceno sin metabolizar. Una exposición corta a concentraciones muy altas (10000 – 20000 ppm) puede causar la muerte. Bajos niveles de Benceno (700 – 3000 ppm) pueden provocar somnolencia, mareo, incremento del ritmo cardiaco, dolor de cabeza, temblores, confusión e inconciencia. En la mayoría de los casos, los síntomas desaparecen al dejar de respirar la sustancia y respirar aire fresco (16)

#### *b) Contacto piel / ojos*

Estudios consultados permitieron determinar que la absorción de Benceno a través de la piel es probable. El contacto con la piel, además de contribuir con la sintomatología presentada por la exposición por inhalación, causa enrojecimiento de la piel y generación de úlceras. El contacto de Benceno con los ojos causa irritación general y daño en la córnea. (16)

#### *c) Ingestión*

El consumo de alimentos o bebidas que contengan altos niveles de Benceno puede causar vómito, irritación del estómago, mareo, somnolencia, convulsiones, incremento del ritmo cardiaco, coma e incluso la muerte. No se conocen los efectos causados en la salud debido al consumo de alimentos o bebidas con niveles bajos de Benceno durante largos periodos de tiempo. (16)

### **3.2.6. Cuadro clínico**

#### *a) Intoxicación aguda.*

En cuanto a los efectos agudos los hidrocarburos aromáticos son generalmente grandes irritantes y anestésicos, pero la sustitución del benceno por tolueno, y xileno hacen esos efectos más ligeros, encontrando dentro de las más frecuentes euforias,

mareo, vértigo, cefalea, somnolencia, debilidad, temblor, incoordinación, delirio, pérdida de la conciencia (6)

Si la cantidad absorbida ha sido elevada, en un ambiente demasiado saturado se puede presentar confusión mental, alteración psicomotora, coma, edema pulmonar, paro respiratorio, muerte.

los efectos agudos pueden causar un síndrome de encefalopatía tóxica. Clínicamente se distinguen dos fases de este síndrome que aparecen a las pocas horas de exposición. La primera fase se caracteriza por una reacción de sobreestimulación que provoca un cuadro neuropsiquiátrico de euforia, reducción del nivel de inhibición del comportamiento motor y emocional, impulsividad, inestabilidad motora y alteraciones del lenguaje (interrupción del discurso) en asocio con cefalea, y mareo. La segunda fase se distingue por un período donde se impone la somnolencia generalizada, la alteración de las funciones motoras e intelectuales, particularmente de la memoria. La descripción de este síndrome que se basa fundamentalmente en la evaluación clínica (neurológica y psiquiátrica) ha mostrado sustanciales correlaciones con medidas electrofisiológicas del SNC, en especial con el EEG. (6)

*b) Intoxicación crónica*

Una exposición crónica a Benceno en el aire puede causar leucemia. Se ha asociado la exposición a esta sustancia con un tipo de leucemia en particular llamado Leucemia Aguda Aplásica (AML). No se conocen los efectos en la salud presentados después de una exposición crónica a comida y agua contaminada con Benceno. Se ha reportado que exposiciones crónicas a Benceno producen anormalidades neurológicas que sugieren que la sustancia puede inducir efectos tóxicos en el sistema nervioso. (16)

En los expuestos crónicamente se ha descrito una gran cantidad de signos clínicos conocidos como “síndrome orgánico cerebral” que afecta básicamente las funciones de la memoria operativa y reciente, la capacidad general de atención (vigilia), la capacidad intelectual y la coordinación motora. (6)

### **3.2.7. Efectos sistémicos**

#### *a) Cardiovasculares*

No se encontraron estudios relacionados con los efectos Cardiovasculares después de inhalación, ingestión o contacto con la piel con Benceno, sin embargo, se ha propuesto la fibrilación ventricular como la causa de la muerte en algunos envenenamientos en humanos. (16)

#### *b) Hematológicos*

El Benceno causa problemas en la sangre. Las personas que estén expuestas a Benceno durante períodos largos de tiempo pueden experimentar efectos perjudiciales, especialmente la médula ósea. Estos efectos pueden trastornar la producción normal de sangre y provocar un decrecimiento en los componentes importantes de la sangre. La reducción en otros componentes puede causar sangrado excesivo. La producción de sangre puede volver a la normalidad después de detener la exposición a Benceno. (16)

#### *c) Neurológicos*

Se han reportado casos en los cuales se presentaron síntomas que indicaron efectos adversos en el sistema nervioso central después de una exposición aguda. Estos síntomas se presentaron a niveles de Benceno de 300 a 3000 ppm, e incluyeron somnolencia, mareo, dolor de cabeza, vértigo, temblor, delirio y pérdida de la conciencia. La exposición aguda que produce la muerte está asociada con daños en los vasos sanguíneos en el cerebro

### **3.2.8. Efecto cancerígeno**

La exposición al benceno se ha asociado con el desarrollo de un tipo especial de leucemia llamada leucemia mieloide aguda. El Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS) ha determinado que el benceno es un carcinógeno (puede producir cáncer) reconocido. Tanto la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) como la EPA han determinado que el benceno es carcinogénico en seres humanos.



Carcinogenicidad Clasificado en el grupo 1A de la (IARC) el agente es carcinógeno para todos los seres humanos y mutagenicidad en las células germinales categoría 1A

*b) Concentraciones permisibles de exposición ocupacional*

- **TLV** (TWA; ACGIH): 10 ppm (1992 - 1993). (Valor Límite Umbral). (16)
- **PEL** (TWA; 8 horas; OSHA para la industria general): 1 ppm (Fecha de estudio no reportada) (Límite Permisible de Exposición). (16)
- **STEL** (TWA; 15 minutos; OSHA): 5 ppm (Fecha de estudio no reportada) (Límite de Exposición en Periodos Cortos). (16)
- **IDLH** (NIOSH): 500 ppm (Fecha de estudio no reportada) (Peligroso Inmediatamente para la vida y la Salud). (16)

### **3.2.9. Equipo de protección personal**

Se debe seleccionar la ropa de protección para químicos después de analizar los datos disponibles acerca del desempeño del material y evaluar la ropa bajo las condiciones de uso reales.

Los empleados deben estar provistos y obligados a usar ropa de protección para químicos, guantes, caretas y otros tipos de ropas protectoras necesarias para prevenir cualquier contacto de la piel con Benceno. Donde exista alguna posibilidad de contacto de Benceno con los ojos de los trabajadores, se debe ubicar una ducha lavaojos para emergencias en las cercanías inmediatas al lugar de trabajo. Donde exista alguna posibilidad de contacto de Benceno con el cuerpo de los trabajadores, se debe ubicar una ducha de emergencia para lavado general en el área inmediata del lugar de trabajo.

Se debe hacer énfasis en que el uso de respiradores es el último método que se debe usar para controlar la exposición de un trabajador y normalmente no debería ser utilizado como única vía de prevención o minimización de la exposición durante una operación de rutina. Sin embargo, existen algunas excepciones donde los respiradores pueden usarse para controlar la exposición. Se debe usar respiradores (máscaras de respiración) cuando las prácticas de control de ingeniería y de operación no son técnicamente alcanzables; cuando tales controles están en proceso

de instalación o cuando fallan y necesitan ser reemplazados. Los equipos de respiración pueden ser también usados para operaciones donde se requiere ingresar en tanques o recipientes cerrados y en situaciones de emergencia.

### **3.3. Azufre**

El azufre y sus compuestos ocupan un lugar destacado entre los productos químicos fundamentales en la industria química. Conocido desde la antigüedad, se lo menciona en la Biblia y en varios papiros egipcios donde se le adjudicaba propiedades medicinales. Como se encuentra en numerosos lugares de las costas del mar Mediterráneo, no pudo dejar de llamar la atención de los antiguos griegos y romanos. Tanto griegos como romanos quemaban azufre para blanquear telas con los productos de la combustión. (17)

Diversos microorganismos anaerobios reducen el azufre de sus sales y forman sulfuro de hidrógeno que se acumula en el agua de los yacimientos petrolíferos y en las zonas pantanosas, así como en muchos lagos y lagunas donde integran una masa negra y legamosa que se considera “barro curativo” y se utiliza para fines medicinales. (17)

El dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) son contaminantes precursores de las lluvias ácidas debido a la interacción con la radiación solar y la humedad atmosférica, creando especies de SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> y NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (ácido sulfúrico: H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y nítrico: HNO<sub>3</sub> diluidos). Su frecuencia en las ciudades afecta a la salud humana, al ecosistema y a los materiales. (5)

Este tipo de lluvias contienen contaminantes que pueden trasladarse cientos o miles de kilómetros por los vientos y causar daños en ciudades alejadas de la fuente de emisión.

#### **3.2.1. Propiedades fisicoquímicas del azufre**

El azufre es insoluble en agua y soluble en sulfuro de carbono. Se trata de una sustancia combustible que puede incendiarse por calor, fricción, chispas o llamas. Quema con llama azul pálido produciendo dióxido de azufre. Su temperatura de inflamación varía entre 168 y 180 °C, dependiendo del tamaño de las partículas. Si,

al menos, el 10% de las partículas dispersas en el aire tienen un diámetro menor a los 500  $\mu$ , forma una mezcla explosiva a la cual contribuyen las partículas de tamaño mayor.

La siguiente tabla resume las características más importantes del azufre.

**Tabla 3. Propiedades del Azufre**

<b>Fórmula de la sustancia</b>	<b>S8</b>
<b>simple gaseosa</b>	
<b>N° CAS</b>	007704-34-9
<b>Número Atómico</b>	16
<b>Clasificación periódica</b>	Grupo 16
<b>Masa atómica promedio</b>	32,064
<b>Isótopos naturales</b>	32, 33, 34, 36
<b>Forma estable a temperatura ambiente</b>	Sólido rómbico
<b>Color</b>	Amarillo a ocre
<b>Densidad</b>	2,07 g/cm <sup>3</sup>
<b>Presión de vapor</b>	0,001 torr.
<b>Punto de fusión</b>	112,8 °C
	119,0 °C (forma monoclinica)
<b>Punto de ebullición</b>	444,6 °C
<b>Calor específico</b>	0,175 cal g <sup>-1</sup> °C <sup>-1</sup>
<b>CMP</b>	10 mg/m <sup>3</sup>

### 3.2.2. Usos y presentación del azufre

El azufre se emplea como materia prima para la elaboración del ácido sulfúrico, como agente vulcanizador para el caucho en el procesamiento de la celulosa y en diversas actividades agrícolas. En el comercio se encuentra una variedad de azufres especiales que se aplican a distintos usos. Las características físicas y químicas de las diversas formulaciones se adaptan de manera tal que proveen condiciones óptimas para cumplir con la función buscada, ya sea como fertilizante, fungicida de contacto (al 99,5% y micronizado de modo que es “mojable”). También se lo emplea como corrector de pH del suelo (en este caso en forma granulada y al 80%). La presentación es variada: a granel en camiones de hasta 30 ton; envasado en bolsas

grandes de 300 kg, 800 kg, ó 1.000 kg, o en bolsas de 40 kg paletizadas en unidades de 1tm; y fundido en isotanques aislados y calefaccionados de 25 ton.

### **3.2.3. Mecanismos de acción**

Relativamente poco se sabe acerca de la distribución, metabolismo, y eventual destino de los iones sulfito y bisulfito en la especie humana. Experimentos usando SO<sub>2</sub> marcado, SO<sub>2</sub>, han confirmado que el grueso del SO<sub>2</sub> inhalado es absorbido y distribuido en el organismo. Sin embargo, la forma final del azufre es desconocido; muy probablemente es como sulfato, ya que la mayor parte de la radioactividad se excreta como sulfato. De aquí que se postulan que los efectos biológicos del SO<sub>2</sub> están relacionados con el aumento en la formación de sulfatos u óxidos de azufre superiores resultantes de la interacción entre SO<sub>2</sub> y agua o entre SO<sub>2</sub> y material particulado. Sin embargo, el diagnóstico de exposición es principalmente clínico, confirmado por la detección del SO<sub>2</sub> en el punto de exposición. (12)

### **3.2.4. Metabolismo del Azufre en el organismo**

#### *a) Absorción*

La mayoría de los estudios en humanos y animales muestran que de un 40 a más del 90% del SO<sub>2</sub> inhalado es absorbido en el tracto respiratorio superior, aunque la absorción es baja a concentraciones bajas. El SO<sub>2</sub> también puede ingresar por dilución en la saliva, y entrar al sistema gastrointestinal. Ciertos estudios indican absorción por la piel. Cantidades significativas de SO<sub>2</sub> pueden ser retenidas en los pulmones y tráquea por una semana o más.

La penetración del SO<sub>2</sub> a los pulmones es mayor durante la respiración por la boca que por las narices. Dos factores que afectan la eficiencia de la absorción son el modo de respiración (bucal vs buconasal) y la intensidad de la respiración. La nariz filtra la mayor parte del SO<sub>2</sub>, previniendo su pasaje a los receptores sensibles a la irritación en y bajo la laringe. En reposo, la mayoría de la gente (alrededor del 85%) respira por la nariz, resultando en una protección contra la toxicidad del SO<sub>2</sub>. Respiración por la boca, particularmente con alta intensidad, aumenta sustancialmente la fracción de SO<sub>2</sub> que alcanza los pulmones. Una hiperventilación voluntaria o ejercicio esforzado requiere respiración buconasal que disminuye el

umbral para síntomas respiratorios inducidos por el SO<sub>2</sub> y sensibilidad broncomotor. La penetración profunda pulmonar y la toxicidad son aumentadas por oxidación y adsorción a submicropartículas ácidas.

En las húmedas membranas mucosas, el SO<sub>2</sub> es rápidamente hidratado a ácido sulfuroso (H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>). Este ácido sulfuroso se disocia fácilmente en iones sulfito (SO<sub>3</sub><sup>-</sup>) y bisulfito (HSO<sub>3</sub><sup>-</sup>). Los iones bisulfito son entonces rápidamente convertidos en sulfato, mientras el bisulfito se une a proteínas plasmáticas y celulares para formar S-sulfonatos.

#### *b) Distribución*

Debido a su alta solubilidad, el SO<sub>2</sub> es rápidamente distribuido por el organismo. Una vez en el torrente sanguíneo, se distribuye por todo el organismo aparentemente ligado a proteínas séricas como S-sulfonato, es metabolizado, y excretado por las vías urinarias. El S-sulfonato se ha encontrado en niveles elevados en el plasma y aorta. La distribución se concentra en el hígado, bazo, esófago, y riñones. La presencia de bisulfito en la sangre puede ser responsable por la inducción de la broncoconstricción asociada con exposición al SO<sub>2</sub> (y sulfito en alimentos). Al alterar los enlaces disulfuro de las proteínas tisulares, el bisulfito puede llevar a una alteración de receptores neurotransmisores y la contracción subsecuente del tejido de los músculos en los pulmones. Parte del SO<sub>2</sub> inhalado es exhalado antes que el cuerpo lo absorba. Otra parte es transformada por conversión en ácido sulfuroso. Los iones bisulfito reaccionan por sulfonación o auto oxidación con moléculas tales como proteínas conteniendo cisteína y DNA, para formar S-sulfonatos. La formación de sulfonatos prolonga la presencia del SO<sub>2</sub> en el organismo. Por otra parte, los iones sulfito son rápidamente metabolizados a sulfato por el sulfito oxidasa, una enzima con baja actividad en tejido pulmonar. El sulfato se incorpora al pool endógeno de sulfato en el organismo. (12)

#### *c) Excreción*

El SO<sub>2</sub> es excretado como una variedad de compuestos conteniendo azufre y excretados principalmente por la orina en forma de sulfato. Los S-sulfonatos circulantes se descomponen lentamente a SO<sub>2</sub> o sulfatos. El SO<sub>2</sub> es exhalado en

tanto los sulfatos pasan a formar parte del pool endógeno del sulfato. Estos sulfatos son lentamente eliminados desde la sangre a la orina.

### **3.2.5. Cuadro clínico**

#### *a) Intoxicación aguda del SO<sub>2</sub>*

Exposición de corto plazo a concentraciones muy bajas de SO<sub>2</sub> causa una sensación de ardor en la nariz y garganta. Además, provoca una dificultad para respirar, incluyendo cambios en la habilidad del organismo para tomar un respiro, respirar profundamente, o respirar un mayor volumen de aire por bocanada. Existe abundante evidencia acerca de la toxicidad de corto plazo del SO<sub>2</sub> en humanos, además de evidencia de estudios llevados a cabo en animales de laboratorio. (12)

El SO<sub>2</sub> se disuelve en la humedad en la piel, ojos, y membranas mucosas para formar ácido sulfuroso (H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>), un irritante e inhibidor del transporte mucociliar. La mayoría del SO<sub>2</sub> inhalado es detoxificado por el hígado en forma de sulfatos y luego excretado en la orina. El ion bisulfito es muy probable que sea el principal iniciador de la broncoconstricción inducida por el SO<sub>2</sub>. (12)

A dosis suficientemente altas (por sobre 400 ppm o 1048180 µg/m<sup>3</sup>), la toxicidad aguda puede ser fatal. Excepto en casos de sensibilidad especial, para que ocurran efectos significativos en la salud la concentración debe ser relativamente alta, normalmente por encima del umbral de olor y muy por encima de los estándares de exposición para obreros regularmente expuestos. (12)

La inhalación es la ruta principal de exposición al SO<sub>2</sub>, produciendo irritación del tracto respiratorio superior. La irritación respiratoria induce síntomas tales como estornudo, garganta áspera, jadeo con silbido, respiración corta, estrechez del pecho, y una sensación de sofoco. El reflejo laríngeo con espasmo y edema pueden causar obstrucción aguda de las vías aéreas. Puede ocurrir broncoespasmo, neumonitis, y edema pulmonar. Los efectos agudos de una exposición incluyen rinorrea (descargas de la mucosa nasal), sofocamiento, expectoración, sangrado de nariz, dificultad para tragar, eritema orofaríngeo (enrojecimiento inflamatorio de la cavidad faríngea y oral), y tos. Después de una inhalación a dosis moderadas a altas de SO<sub>2</sub> también se presentan náuseas, vómitos y dolor abdominal. (12)

Dentro de los 5 a 10 minutos desde el comienzo de la exposición, las víctimas desarrollan reflejo de bronco constricción temporal y aumento de la resistencia de los pasajes aéreos. Una exposición continua puede resultar en ronquido de tono alto, dolor torácico, nasofaringitis, traqueítis, edema laríngeo, bronconeumonía química, edema pulmonar, cianosis, asfixia y muerte. Destrucción del epitelio ciliado también lleva a aumento de riesgos de infecciones pulmonares. La forma más común de muerte es por asfixia por constricción de la glotis y de los bronquios, de manera que es imperativa una protección inmediata de las vías respiratorias en toda víctima que presente síntomas pulmonares. (12)

El SO<sub>2</sub> junto a otros compuestos en la contaminación aérea, pueden exacerbar la enfermedad cardiopulmonar crónica. La exposición a altas concentraciones de SO<sub>2</sub> pueden resultar en un RADS, un tipo de asma que es inducida por sustancias químicas o irritantes. Los niños pueden ser más vulnerables que los adultos debido al diámetro relativamente menor de los pasajes aéreos, y al relativo mayor ventilación minuto por kg de peso. (12)

En áreas con alta concentración de SO<sub>2</sub> aéreo, tales como refinerías, plantas petroquímicas y de generación de energía termoeléctricas, se ha observado un marcado aumento en la incidencia de asma, enfisema, bronquitis, y otras enfermedades respiratorias. (12)

#### *b) Intoxicación crónica*

La exposición de largo plazo a SO<sub>2</sub> puede causar cambios en la función pulmonar y agravar enfermedad cardíaca existente. El SO<sub>2</sub> no está clasificado como cancerígeno humano (no ha sido demostrado que cause cáncer en humanos). (12)

La exposición laboral a SO<sub>2</sub> puede causar efectos agudos y crónicos, y la exposición a niveles muy altos puede ser potencialmente mortal. Con la exposición aguda a 5 ppm, la víctima se dará cuenta solo por la sequedad de la nariz y la garganta, sin embargo, ya está desarrollando un incremento mensurable en la restricción de las vías respiratorias. A niveles de 6 a 8 ppm (15720 a 20960 µg/m<sup>3</sup>) hay una disminución mensurable en el volumen tidal. A 10 ppm (26200 µg/m<sup>3</sup>) hay estornudos, tos, expectoración y los síntomas del ojo, mientras que exposición a 20

ppm (52140  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) causa graves broncoespasmo. A 50 ppm (131020  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), la víctima experimenta síntomas respiratorios superiores extremos, pero no se producirá lesión significativa con exposiciones limitadas a menos de 30 minutos. (12)

Los efectos en la salud por exposición al  $\text{SO}_2$  son afecciones respiratorias tales como asma y debilitamiento de las defensas pulmonares, agravamiento de enfermedades respiratorias y cardiovasculares ya existentes y muerte. Los niños y ancianos son comúnmente los más afectados. (5)

### **3.2.6. Efectos del $\text{SO}_2$ en asmáticos**

Personas con asma en ejercicio pueden experimentar crisis obstructivas con concentraciones de  $\text{SO}_2$  inferiores a 0,1 ppm (790  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Adultos sanos experimentan resistencia en la respiración a 5 ppm (13100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), estornudos y tos a 10 ppm (26200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), y bronco espasmos a 20 ppm (52410  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Exposición a 50 hasta 100 ppm (131020 hasta 262040  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) puede ser tolerada por más de 30 a 60 minutos, pero exposición más alta o más larga puede llevar a la muerte por obstrucción de las vías respiratorias. (12)

### **3.2.7. Tumorigénesis y Carcinogénesis**

RTECS ha clasificado al  $\text{SO}_2$  como tumorigénico y cocarcinógeno por inhalación en ratón y ratas de laboratorio.

El dióxido de azufre no está incluido en las listas del IARC y OSHA como carcinogénico.

#### *Concentraciones permisibles de exposición ocupacional*

- **STEL:** 0.25 ppm, 15 minutos
- **TWA:** 5 ppm, 8 horas o 13  $\text{mg}/\text{m}^3$ , 8 hora
- **ILDH:** 100 ppm

### **3.2.8. Vigilancia en salud**

En caso de síntomas o posible exposición excesiva, se recomienda:



- Pruebas de función pulmonar, los resultados pueden ser normales si la persona no sufre una crisis durante la prueba.
- Proporcionar a los empleados información y capacitación sobre los riesgos.
- Controle las concentraciones en el aire de las sustancias químicas.
- Utilizar controles de ingeniería si las concentraciones exceden los niveles de exposición recomendados.
- Proporcionar lavajos y duchas de emergencia
- Lavarse siempre de terminar el turno laboral
- Antes de entrar a un espacio confinado donde el azufre fundido pudiera estar presenta, verifique que no haya una concentración explosiva.
- Si se trata de azufre sólido, utilice una aspiradora o un método húmedo para reducir el polvo durante la limpieza. No barrer en seco

### 3.2.9. Protección respiratoria

Se debe hacer énfasis en que el uso de respiradores es el último método que se debe usar para controlar la exposición de un trabajador y normalmente no debería ser utilizado como única vía de prevención o minimización de la exposición durante una operación de rutina. Sin embargo, existen algunas excepciones donde los respiradores pueden usarse para controlar la exposición. Se debe usar respiradores (máscaras de respiración) cuando las prácticas de control de ingeniería y de operación no son técnicamente alcanzables; cuando tales controles están en proceso de instalación o cuando fallan y necesitan ser reemplazados. Los equipos de respiración pueden ser también usados para operaciones donde se requiere ingresar en tanques o recipientes cerrados y en situaciones de emergencia.

En la siguiente tabla se resume los factores de riesgos de los agentes químicos según la ocupación laboral:

**Tabla 4. Resumen de los factores de riesgos de los agentes químicos según ocupación laboral**

Agentes químicos		
Agentes etiologicos	Ocupaciones/industria	Enfermedades
Benceno y	• Industria petroquímica	*leucemias.

sus derivados	<ul style="list-style-type: none"> <li>• produccion/ manipulacion de adhesivos sinteticos.</li> <li>• Soldadura</li> <li>• Pintura por aspersion.</li> <li>• Produccion por colorantes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Sindrome mielodisplasico.</li> <li>*anemia aplasica debida a agentes. externos.</li> <li>*hipoplasia medular.</li> <li>*purpura citopenia.</li> <li>*agranoulositosis.</li> <li>*Otros trastornos específicos de los glóbulos blancos: leucocitosis.</li> <li>*trastornos, mentales derivados de lesión y disfunción cerebral y de enfermedad física.</li> <li>*Trastorno mental orgánico o sintomático no especifico.</li> <li>*encefalopatia toxica.</li> <li>*hipoacucia ototoxica.</li> <li>*dermatitis de contacto por irritantes.</li> <li>*efectos toxicos agudos.</li> <li>*anemia aplasica.</li> </ul>
Monoxido de carbono	<p>Producción y distribución de gas obtenido de combustibles sólidos (gasificación de carbón); mecánica de motores, principalmente movidos a gasolina, en recintos semicerrados; soldadura con acetileno o por arco; calderas, industria química; siderurgia, fundición; uso de explosivos; control de incendios; control de tráfico automotriz; construcción</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Angina de pecho.</li> <li>* infarto agudo de miocardio.</li> <li>*paro cardiaco.</li> <li>*arritmias cardiacas.</li> <li>*efectos toxicoa gudos.</li> </ul>

de túneles; cervecerías.

Sulfuro de carbono	<ul style="list-style-type: none"><li>• Fabricacion de sulfuro de carbono y sus derivados</li><li>• Extraccion de azufre, vulcanizacion en frio del caucho y empleo de sulfuro de carbono para disolver caucho, ceras, maetrias grasas</li><li>• Fabricacion y utilizacion de solvente, insecticidas, parasiticidas y herbicidas.</li><li>• Fabricacion de barnices, resinas, sales de amoniaco, tetracloruro de carbono.</li><li>• Limpieza en seco, galvanizacion, fumigacion de granos.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>* Angina de pecho.</li><li>* infarto agudo de miocardio.</li><li>*ateroesclerosis.</li><li>*efectos toxicos agudos.</li><li>*neurastenia.</li><li>*trastorno mental organico sintomatico.</li></ul>
--------------------	--	---

Ejemplo tomado de: Decreto 1477 de 2014 (18).

## CONCLUSIONES

Podemos ver el trabajo que ha venido realizando Ecopetrol y el gobierno nacional en materia de la calidad de los combustibles, para cumplir los parámetros dados por la organización mundial de la salud, en el ajuste progresivo de los niveles permisibles de contaminantes, desde los años 90 con contenidos de azufre de 5000 ppm al presente año 2020 con 50 ppm de azufre, lo que equivale a la reducción de un 99% de azufre en el diésel y con respecto a la gasolina desde los años 90 con la eliminación del plomo y la reducción de RVP de un 12% a 8% al y la reducción de contenido de azufre menor de 300 ppm en el año 2005.

Teniendo en cuenta que las emisiones de monóxido de carbono se producen en mayores niveles antes de los 30km/h de velocidad, representan un mayor riesgo de intoxicaciones por ejemplo en trabajadores de estaciones de servicio de combustible, donde la mayoría veces los motores de vehículos que funcionan con diésel no se apagan durante el tanqueo.

Los individuos con enfermedad respiratoria preexistente están a mayor riesgo de experimentar efectos en la salud asociados con SO<sub>2</sub> que la población general.

Toda persona que entre en contacto con un material químico peligroso debe estar atento a realizar medidas preventivas y también debe conocer acerca de procedimientos de emergencia, que pueden ayudar a evitar que un incidente menor se transforme en una catástrofe.

## **RECOMENDACIONES**

Las limitaciones mas importantes al realizar la revisión fue la escasa bibliografía sobre la calidad de los combustibles en Colombia y además que las investigaciones ya realizadas, fueron hechas por Ecopetrol que es la única empresa nacional de combustibles, por lo que queda en tela de juicio el conflicto de intereses.

Por lo que se sugiere que, en futuras investigaciones, las pruebas sean realizadas en laboratorios, externas al dominio de empresas relacionadas con la explotación, refinación y distribución de combustibles.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Colombia. Ministerio de Medio Ambiente. Resolución 898 de 1995, agosto 23, por el cual se regular los criterios ambientales de calidad de los combustibles líquidos y sólidos utilizados en hornos y caldera de uso comercial e industrial y en motores de combustión interna de vehículos automotores. Bogotá: El Ministerio; 1995.
2. Tapia Vilma, Carbajal Luz, Vásquez Vanessa, Espinoza Rocío, Vásquez-Velásquez Cinthya, Steenland Kyle et al . Reordenamiento vehicular y contaminación ambiental por material particulado (2,5 y 10), dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno en Lima Metropolitana, Perú. Rev. perú. med. exp. salud publica [Internet]. 2018 Abr [citado 2020 Nov 20]; 35( 2 ): 190-197. Disponible en: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1726-46342018000200003&lng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-46342018000200003&lng=es).  
<http://dx.doi.org/10.17843/rpmesp.2018.352.3250>.
3. Arango, Jorge Humberto. Calidad de los combustibles en Colombia. Rev. de Ing., Univ. de los Andes. [Internet] 2009 May 29 [citado 2020 Nov 29]; (29): 100-108. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/49620378\\_Calidad\\_de\\_los\\_combustibles\\_en\\_Colombia/citations](https://www.researchgate.net/publication/49620378_Calidad_de_los_combustibles_en_Colombia/citations)
4. Vargas-Martínez A, Reyna-López V, Rodríguez-Ortegac F. Intoxicación ocupacional por monóxido de carbono Trastornos otoneurológicos y cardiovasculares. Rev Med Inst Mex Seguro Soc [Internet]. 2014 [citado 2020 Nov 20];52(1):44-49. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=47608>
5. García G Mario, Ramírez S Hermes, Ulloa G Héctor, García G Omar, Meulenert P Ángel, Alcalá G Jaime. Concentración de contaminantes SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> y correlación con H<sup>+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> y NO<sub>3</sub><sup>-</sup> durante la temporada de lluvias en la Zona Metropolitana de Guadalajara, Jalisco, México. Rev. chil. enferm. respir. [Internet]. 2013 Abr [citado 2020 Nov 20]; 29(2): 81-88. Disponible en: <https://>

[scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0717-73482013000200004&lng=es](http://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-73482013000200004&lng=es). <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-73482013000200004>.

6. Ministerio de la Protección Social. Guía de atención integral de salud ocupacional para Trabajadores Expuestos a Benceno y sus derivados (GATISO-BTX-EB). [Internet]. 2007 [citado 2020 Nov 20]. Disponible en: [https://www.epssura.com/guias/guia\\_gatiso\\_exposicion\\_benceno.pdf](https://www.epssura.com/guias/guia_gatiso_exposicion_benceno.pdf)
7. Consejo nacional de política económica y social república de colombia departamento nacional de planeación (CONPES). Política para el mejoramiento de la calidad del aire. [Internet] 2018 Jul [citado 2020 Nov 20] Disponible en: <http://www.andi.com.co/Uploads/CONPES%203943%20Calidad%20del%20Aire.pdf>
8. The international council on clean transportation. Technical Background on India BS VI Fuel Specifications [Internet] 2016 Feb [citado 2020 Nov 20] Disponible en: <https://theicct.org/sites/default/files/publications/BS%20VI%20Fuel%20Spec%20Working%20Paper%20vF.pdf>
9. Colombia. Ministerio de Trabajo. Decreto 1507 del 2014, por el cual se expide el, Manual Unico para la Calificación de la Pérdida de la Capacidad Laboral y Ocupacional. Bogotá: El Ministerio; 2014.
10. JE Pérez-Cardenas. La calidad del aire en colombia: un problema de salud pública, un problema de todos. 2017 [citado 2020 Nov 20]. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1657-95502017000200005](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1657-95502017000200005)
11. Jimenez-Buitrago. Estudio de impacto ambiental generado por un derrame de hidrocarburos sobre una zona estuarina aledaña al terminal de Ecopetrol en Tumaco. [Trabajo de grado Ingeniería Ambiental y Sanitaria] Bogotá, Universidad de la Salle; 2006.
12. CENMA. Efectos del so2 en la salud de las personas. Universidad de Chile [Internet] 2015 [citado 2020 nov 20]. Disponible en [http://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2015/proyectos/vi\\_efectos\\_del\\_so2\\_en\\_la\\_salud\\_de\\_las\\_personas.pdf](http://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2015/proyectos/vi_efectos_del_so2_en_la_salud_de_las_personas.pdf)

13. A. Sibón Olano, P. Martínez-García, MA. Vizcaya Rojas y JL. Romero Palanco. Intoxicación por Monóxido de Carbono. Cuad Med Forense [Internet] 2007. [citado 2020 Nov 20];13 (47):65-69. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/28204411\\_Intoxicacion\\_por\\_Monoxido\\_de\\_Carbono](https://www.researchgate.net/publication/28204411_Intoxicacion_por_Monoxido_de_Carbono). DOI: 10.4321/S1135-76062007000100007
14. Bartolomé Navarro M<sup>a</sup> Teresa, Amores Valenciano Pilar, Cuesta Vizcaíno Encarnación, Gallego Giménez Nuria. Intoxicación por Monóxido de Carbono: una patología poco valorada en Urgencias. Rev Clin Med Fam [Internet]. 2010 Oct [citado 2020 Nov 26] ; 3( 3 ): 220-222. Disponible en: [http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1699-695X2010000300011&lng=es](http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1699-695X2010000300011&lng=es)
15. Ministerio de Salud de Argentina. Guía de prevención, diagnóstico, tratamiento y vigilancia epidemiológica de las intoxicaciones por monóxido de carbono. Buenos Aires: Programa Nacional de Prevención y Control de Intoxicaciones; 2014: 2
16. Instituto Nacional de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Propiedades del Benceno. Ministerio de Medio Ambiente Colombia. 2006 [citado 2020 Nov 20] 131-140. Disponible en <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/018903/Links/Guia7.pdf>
17. Katz M. Capítulo 4 Azufre. En Kirschenbaum JM. Materiales y materias primas. Argentina. Ministerio de Educación. 2011.
18. Colombia. Ministerio de Trabajo. Decreto 1477 de 2014, por el cual se expide la Tabla de Enfermedades Laborales. Bogotá: El Ministerio; 1995.