

Exposición a compuestos orgánicos volátiles, tipo benceno, tolueno y xileno, en trabajadores de estaciones de expendio de combustible

Exposure to volatile organic compounds, type benzene, toluene and xylene, in workers of fuel extension stations

Christian Albornoz V¹, Rolando Vilasau D¹, Juan Alcaíno L¹

1. Instituto de Salud Pública de Chile, Departamento de Salud ocupacional, Subdepartamento de ambientes laborales.

Christian Albornoz Villagra, calbornoz@ispch.cl

RESUMEN

La gasolina es una mezcla de compuestos alifáticos y aromáticos de bajo peso molecular donde se liberan vapores de gasolina. El efecto en la salud humana debido a la inhalación de vapores de gasolina varía desde la tos, dolor de garganta, irritación ocular e incluso la muerte. **Objetivo:** Evaluar la exposición ocupacional a compuestos orgánicos volátiles, tipo BTX (Benceno, Tolueno, Xileno) en trabajadores de estaciones de expendio de combustible, en comparación a los límites permisibles según la normativa chilena, en la Región Metropolitana. **Materiales y métodos:** Estudio descriptivo, basado en las mediciones de 6 estaciones de expendio de combustible de la Región Metropolitana. Mediante el criterio de grupos de exposición similar se seleccionaron los puestos de trabajo, para luego a partir de los métodos oficiales establecidos por el Instituto de Salud Pública de Chile tomar muestras de aire de larga (9 muestras) y corta duración (9 muestras). Los resultados de las muestras tomadas fueron analizados utilizando los criterios de Hornung and Reed (1990) para muestras por debajo de límite de cuantificación. **Resultados:** Todas las muestras analizadas de BTX se encontraron bajo el límite de cuantificación (<10 mg/m³ para benceno y <1 mg/m³ para tolueno y xileno). La media Geométrica de la concentración promedio ponderada fue de 0,5 mg/m³ para benceno y 5 mg/m³ para el xileno y tolueno. **Discusión:** Si bien las concentraciones se encontraban por debajo de los límites permisibles regulados en Chile en el DS N°594/99, es necesario tener en cuenta que en sustancias cancerígenas no existe un nivel de exposición ocupacional o dosis segura. Se presume que las bajas concentraciones ambientales pueden deberse a las diversas medidas preventivas adoptadas a nivel nacional e internacional, tales como reducción en la cantidad de benceno en la gasolina e instalación de sistemas de recuperación de vapores. Futuros estudios podrían analizar la relación entre las concentraciones de BTX y resultados específicos de salud, en esta población de especial riesgo, considerando adicionalmente otros factores de riesgo y vías de ingreso.

Palabras Claves:

Compuestos orgánicos volátiles; Gasolina; BTX; Límites de detección; Estaciones de expendio de combustible; Exposición ocupacional; Salud ocupacional.

Keywords:

Volatile organic compounds; Gasoline; BTX; Fuel stations; Limit of Detection; Occupational exposure; Occupational medicine.

ABSTRACT

The gasoline is a mixture of low molecular weight aliphatic and aromatic compounds where gasoline vapors are released. The effect on human health due to the inhalation of these vapors varies from cough, sore throat, eye irritation and even death. **Objective:** To evaluate the occupational exposure to volatile organic compounds, BTX type (Benzene, Toluene, Xylene) in workers of gas stations, in comparison to the permissible limits according to Chilean regulations, in the Metropolitan Region. **Materials and methods:** Descriptive study, based on the measurements of 6 fuel stations of the Metropolitan Region. By means of the criterion of similar exposure groups, the work stations were selected, and then, based on the official methods established by the Public Health Institute of Chile, to take samples of long air (9 samples) and short duration (9 samples). The results of the samples taken were analyzed using the criteria of Hornung and Reed (1990) for samples below the limit of quantification. **Results:** All analyzed samples of BTX were below the limit of quantification (<10 mg / m³ for benzene and <1 mg / m³ for toluene and xylene). The Geometric mean of the weighted average concentration was 0.5 mg / m³ for benzene and 5 mg / m³ for xylene and toluene. **Discussion:** Although concentrations were below the permissible limits regulated in Chile in Supreme Decree No. 594/99, it is necessary to take into account that in carcinogenic substances there is no level of occupational exposure or safe dose. It is presumed that the low environmental concentrations may be due to the various preventive measures adopted nationally and internationally, such as reduction in the amount of benzene in gasoline and installation of vapor recovery systems. Future studies could analyze the relationship between BTX concentrations and specific health outcomes, in this population of special risk, considering additionally other risk factors and income pathways.

INTRODUCCIÓN

La gasolina es una mezcla de compuestos alifáticos y aromáticos de bajo peso molecular, constituido principalmente de hidrocarburos parafínicos, nafténicos, olefínicos y con un punto de ebullición en el intervalo de los 25 a 210°C (1). Producto del vapor de gasolina, compuesto predominantemente de hidrocarburos ligeros altamente volátiles, se liberan Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) (2), los cuales, son altamente contaminantes para el ambiente y pueden traer consigo una diversa gama de efectos adversos para la salud (3).

Los efectos en la salud humana debido a la inhalación del vapor de gasolina varía desde la tos, dolor de garganta, irritación ocular e incluso la muerte (4). Entre los componentes de mayor peligrosidad para la salud se encuentra el Benceno, Tolueno y Xileno (BTX), siendo el primero de estos de especial importancia debido a sus propiedades carcinógenas según el Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (IARC) (5). Específicamente, la fracción bencénica de la mezcla BTX, una vez introducida al organismo penetra al torrente circulatorio y pueden dañar especialmente la médula ósea; las concentraciones que pueden alcanzar en tejidos como la médula ósea, son casi 20 veces mayores que a nivel sanguíneo (6). En cuanto al tolueno, este pasa al torrente circulatorio y es distribuido a tejidos ricos en contenido graso, asentándose en la médula ósea, el efecto principal del tolueno es sobre el cerebro y el sistema nervioso (7). Por otra parte, el xileno se absorbe y distribuye de manera primaria en tejido adiposo, exposiciones breves como prolongadas a altas concentraciones de xileno pueden producir numerosos efectos sobre el sistema nervioso, como por ejemplo dolor de cabeza, falta de coordinación muscular, mareo, confusión y pérdida del sentido del equilibrio (7,8).

Los trabajadores de estaciones de expendio de combustible se ven especialmente expuestos a este factor de riesgo para la salud. Durante la carga de gasolina en una estación de expendio de

combustible los trabajadores pueden exponerse fácilmente a niveles extremadamente altos de vapor de gasolina (9). En 1997 Periago concluyó que el volumen de gasolina generado en las operaciones de reabastecimiento y la temperatura ambiental pueden aumentar significativamente los vapores de gasolina (3). De este modo, sin las medidas preventivas necesarias, los COV, pueden encontrarse en sectores de almacenamiento y expendio, afectando así a la salud de los trabajadores que se desempeñan en estos lugares de trabajo (10). Así mismo, existen otras fuentes de exposición como son los vapores que emanan de los estanques de combustible de vehículos, trapos empapados de combustible, ropa accidentalmente sucia y las emisiones de los tubos de escape de vehículos que se desplazan dentro del área de la estación de servicio (2,11,12).

A partir del reconocimiento de que las estaciones de expendio de combustible como fuente de especial de riesgo para la salud producto de la presencia de BTX (3), las especificaciones técnicas y mezclas de gasolinas se han modificado, además se han diseñado sistemas de control para reducir el riesgo de exposición (9)

En Chile 2009 se realizaron modificaciones legales en lo que respecta a la calidad de la gasolina expendida en la región metropolitana (13), principalmente en el contexto del "Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para la Región.". Posteriormente, en el año 2012 se reguló un contenido máximo de benceno de 1% (v/v) en todo el país (14). Por otra parte, se estableció la obligación de instalar Sistemas de Recuperación de Vapores (SRV) en estanques de almacenamiento y distribución. Estos SRV deben asegurar la captura de al menos el 90% del total de vapores desplazados en la transferencia desde camiones a los estanques de almacenamiento y de 80% en la carga de reabastecimiento en vehículos (13). Pese a esto, actualmente la gasolina en el país no tiene asignado un valor límite de exposición ocupacional (15), debido principalmente a que su término describe un número de mezclas muy diversa (14).

Al año 2014, en la Región Metropolitana existían 419 estaciones de expendio de distintos tipos de gasolina(16). De este modo y en consideración a los antecedentes presentados el objetivo del presente fue Evaluar la exposición ocupacional a COV, tipo BTX en trabajadores de estaciones de expendio de combustible, en comparación a los límites permisibles según la normativa chilena, en la Región Metropolitana.

MATERIALES Y METODOS

Estudio descriptivo de un muestreo no probabilístico (por conveniencia)(17), para conocer las concentraciones ambientales de BTX en 6 estaciones de expendio de combustible de la región Metropolitana, en contraposición con el límite permisible regulado en el D.S. 594/99.

Las estaciones de expendio de combustible se ubicaban en las comunas de Ñuñoa, Macul, Cerro Navia y Recoleta. La selección de las estaciones se realizó de acuerdo a la cercanía de estas a una avenida de alto tránsito vehicular. En la tabla N°1 se detalla el número de trabajadores por estación muestreada.

Normativa

El D.S. N°594/99, del Ministerio de Salud, Aprueba el Reglamento Sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo (15). Este establece en su artículo N° 60, que el límite permisible ponderado puede ser superado momentáneamente, pero en ningún caso superar cinco veces el valor del límite. Adicionalmente, en su artículo N°59, señala que el Límite Permisible Temporal no debe ser excedido en ningún momento de la jornada de trabajo (Tabla 2).

Siendo el límite Permisible Ponderado el valor máximo permitido para el promedio ponderado de concentraciones ambientales de contaminantes químicos existente en los lugares de trabajo durante la jornada normal de 8 horas diarias, con un total de 45 horas semanales. Y límite Permisible Temporal el valor máximo permitido para el promedio ponderado de las concentraciones ambientales de contaminantes químicos en los lugares de trabajo, medidas en un período de 15 minutos continuos dentro de la jornada de trabajo.

Tabla 1.
 Consolidado de la población de estudio.

Estación	Comuna	N° de Muestras	Género	
			Hombre	Mujer
1	Macul	1	1	0
2	Ñuñoa	2	2	0
3	Cerro Navia	2	2	0
4	Ñuñoa	1	1	0
5	Recoleta	2	1	1
6	Cerro Navia	1	1	0

Tabla 2.
Límites Permisibles para Benceno, Tolueno y Xileno en Chile.

Sustancia	Límite Permissible Ponderado		Límite Permissible Temporal		Observaciones
	<i>p.p.m.</i>	<i>mg/m3</i>	<i>p.p.m.</i>	<i>mg/m3</i>	
Benceno	1,0	2,7	5	15	Piel - A.1
Tolueno	87	328	150	560	Piel - A.4
Xileno	87	380	150	651	A.4

* Las sustancias que llevan calificativo "Piel" son aquellas que pueden ser absorbidas a través de la piel humana. Con ellas deberán adoptarse todas las medidas necesarias para impedir el contacto con la piel de los trabajadores y se extremarán las medidas de protección y de higiene personal. (Artículo N° 67, D.S. N° 594/99 MINSAL).

** Las sustancias calificadas como "A.1" son comprobadamente cancerígenas para el ser humano. (Artículo N° 68, D.S. N° 594/99 MINSAL).

Muestras

Selección de los Puestos de Trabajo: Los puestos de trabajo fueron seleccionados a través del criterio de grupos de exposición similar (18), es decir, grupos de trabajadores que realizan una misma tarea, usando las mismas materias primas, herramientas y durante el mismo tiempo de trabajo. Todos los trabajadores muestreados realizaban labores de carga de gasolina, bajo los lineamientos considerados en el criterio de un GES (horario de trabajo, surtidores automáticos y sistema de recuperación de vapores).

Toma de muestras: Se tomaron un total de 18 muestras de aire, donde 9 (BTX) de ellas tuvieron una duración del 70% de la jornada de trabajo diaria (larga duración) y 9 (BX) de corta duración que cubrieron un periodo de 15 minutos.

La toma de muestra se efectuó entre el 17 de abril y el 03 de julio de 2013, durante este periodo las temperaturas promedio fluctuaron entre 10,2°C y 23,2°C.

No se consideró el tolueno en las muestras de corta duración, debido que en la fecha que se realizó la medición, esta sustancia no contaba con un límite permisible temporal en la legislación chilena.

Medición: La metodología de medición se realizó siguiendo lo establecido en el Manual Básico sobre Mediciones y Toma de Muestras Ambientales y Biológicas en Salud Ocupacional del Instituto de Salud Pública de Chile (ISP), mediante un tren de muestreo constituido por: bomba de muestreo portátil, reductor de caudal, tubo de carbón activo y manguera de conexión (18). Todas las muestras fueron analizadas por el Laboratorio de Toxicología Ocupacional del ISP, mediante el método analítico de Cromatografía Gaseosa (Methods 1501 NIOSH) (19). Este método de análisis permite determinar la concentración de hidrocarburos aromáticos. A partir de la masa de los analitos presentes en la muestra se obtienen las concentraciones ambientales.

Análisis de datos

En primera instancia se determinó si las muestras analizadas se encontraban por debajo del límite de cuantificación. La terminología estadística para estos resultados se conoce como datos censurados, es decir, valores distintos de cero que no pueden medirse pero que se sabe que están por debajo de algún umbral (20,21).

Como todas las muestras se encontraron bajo

el límite de cuantificación, se utilizó el criterio de Hornung and Reed (1990), recomendado en higiene ocupacional, para estimar una masa en relación al número de muestras.

Se asume que las muestras tomadas a lo largo del tiempo siguen una distribución lognormal. Dado este supuesto, se utiliza el criterio de Hornung and Reed para estimar la concentración a partir de datos que contienen valores no detectables (20).

Este criterio estadístico propone dos alternativas para estimar una concentración en relación al número de muestras que se encuentran bajo el límite de cuantificación. Cuando menos del 30% de las muestras se encuentran bajo el límite de cuantificación se utiliza $L/\sqrt{2}$ (2) y cuando más del 30% de las muestras se encuentran bajo el límite de cuantificación se utiliza $L/2$, donde L = el límite de cuantificación.

Para este caso como la totalidad de las muestras se encuentran bajo el límite de cuantificación, se utilizó y se obtiene la media geométrica.

RESULTADOS

De las 18 muestras analizadas de BTX, 9 de ellas correspondieron a la concentración encontrada para muestras de corta duración (benceno y xileno), mientras que los 9 restantes a concentraciones promedio ponderadas de muestras de larga duración (benceno, tolueno y xileno). (Tabla 3)

Tanto los resultados de las muestras de larga como de corta duración, se encontraron bajo el límite de cuantificación, es decir, la menor cantidad de analito de la muestra que puede ser determinada con precisión y exactitud aceptables, bajo condiciones experimentales establecidas por la técnica analítica pertinente. Concretamente, masa menor a 1 mg/m³ para el benceno y menor a 10 mg/m³ para tolueno y xileno. (Tabla 3)

Por otra parte, la media geométrica de la concentración promedio ponderada de fue de 0,5 mg/m³ para benceno y 5 mg/m³ para el xileno y tolueno. (Tabla 4)

Tabla 3.

Concentración encontrada muestras de corta duración y Concentración Promedio Ponderada para muestras de larga duración. Región Metropolitana.

N° de Muestra	Concentración Encontrada Muestra de Corta Duración (mg/m ³)		Concentración Promedio Ponderada Muestra de Larga Duración (mg/m ³)		
	Benceno	Xileno	Benceno	Tolueno	Xileno
1	< 1	< 10	< 1	< 10	< 10
2	< 1	< 10	< 1	< 10	< 10
3	< 1	< 10	< 1	< 10	< 10
4	< 1	< 10	< 1	< 10	< 10
5	< 1	< 10	< 1	< 10	< 10
6	< 1	< 10	< 1	< 10	< 10
7	< 1	< 10	< 1	< 10	< 10
8	< 1	< 10	< 1	< 10	< 10
9	< 1	< 10	< 1	< 10	< 10

Tabla 4.

Media Geométrica (M) de la concentración de BTX para muestras de corta y larga duración en expendedores de combustible. Región Metropolitana.

	Media Geométrica Concentración Promedio Ponderada (mg/m ³)		
	Benceno	Xileno	Tolueno
Corta duración	0,5	5	-
Larga duración	0,5	5	5

DISCUSIÓN

Las concentraciones de BTX obtenidas en las 6 estaciones de expendio de combustible de la región Metropolitana analizadas se encontraban por debajo de los límites permisibles regulados en Chile en el DS N°594/99. Específicamente la media geométrica de la concentración promedio ponderada fue de 0,5 mg/m³ para benceno y de 5 mg/m³ para tolueno y xileno.

Si bien las concentraciones cumplen con la legislación, es necesario resaltar que no es posible determinar si se encuentran por debajo de un nivel seguro de exposición. Más aun, es cuestionable la existencia de un nivel seguro de exposición a recomendar, sobre todo en el caso de sustancia cancerígena (5).

De manera similar, si bien la inhalatoria (la cual fue utilizada en este estudio) es la principal vía de ingreso de vapores de BTX existen otras vías de ingreso que no fueron consideradas en este estudio y permiten cuantificar la exposición a estos compuestos. En concreto, la dérmica es la segunda vía de ingreso más importante (22), y es a través de esta que compuestos como el benceno son absorbido por el cuerpo(23). Estos agentes pueden ser absorbido por vía cutánea, ya sea por la manipulación directa del mismo o través del contacto de los vapores con las partes desprotegidas de la piel y su aporte puede resultar significativa al contenido corporal total del trabajador, por tanto la medición de concentración ambiental puede no ser suficiente para cuantificar la exposición global (24).

En el caso específico de los trabajadores de estaciones de expendio de combustible, se detectaron

durante el proceso de toma de muestra, prácticas habituales de trabajo que favorecen la manipulación de gasolina en algún momento de la jornada laboral. Por ejemplo, limpieza de manos con trapos con gasolina y revisiones de niveles de aceite o agua, actividades que involucra el contacto directo de las manos del trabajador con partes del motor, los cuales habitualmente contienen residuos de aceite y otros lubricantes que se impregnan y contaminan la superficie dérmica de las manos. Por lo señalado anteriormente, es fundamental fortalecer las medidas preventivas y procedimientos seguro de trabajo que ayuden a evitar estas prácticas habituales, como por ejemplo eliminar la limpieza de manos con trapos contaminados y exigir el uso de guantes de protección que no permita la penetración de la sustancia y el contacto con la piel, entre otras medidas que eviten la exposición de los(as) trabajadores(as) por la vía dérmica.

Se presume que las bajas concentraciones ambientales pueden deberse en gran medida a las diversas medidas preventivas adoptadas a nivel nacional e internacional, tales como reducción en la cantidad de benceno en la gasolina (actualmente por debajo del 1%) (9), instalación de sistemas de recuperación de vapores y la automatización de máquinas surtidora que permiten la no permanencia del trabajador en la fuente de exposición. Además, las bajas concentraciones es la condición ambiental favorable, dado que la carga de combustible se realiza en recintos abiertos que permiten la circulación de corrientes de aire, cuyo efecto positivo es la dilución de la sustancia (12).

Los resultados de las concentraciones de BTX

obtenidas en las muestras ambientales (vía inhalatoria) en este estudio demostraron que todos los valores encontrados estuvieron bajo los respectivos límites permisibles de las sustancias evaluadas y reguladas en Chile en el DS N°594/99. Para la comparación de los resultados obtenidos con estudios similares realizados en otros países, resulta bastante complejo, considerando que la calidad de los combustibles varía al igual que los porcentajes de benceno, las distintas condiciones ambientales y estrategias de muestreo, lo que hace muy difícil realizar comparaciones directas (2,4).

La respuesta de cada organismo a la exposición de un agente exógeno es diferente y depende de numerosos factores individuales (25), por tanto, cierto nivel de exposición puede ser tolerado por un individuo pero no por otro (24). Así, futuras investigaciones podrían analizar la relación entre evaluaciones médicas de diversos indicadores biológicos y exposición de los trabajadores, con sus diversas características, considerando evaluaciones ambientales y vías de ingreso a cuerpo.

CONCLUSIONES

La exposición de los trabajadores a BTX se debe esencialmente a la composición de la gasolina y al volumen que se bombea durante las operaciones de suministro (12). Otras fuentes de exposición son los vapores que emanan de los estanques de combustible de los vehículos, los trapos empapados de combustible o la ropa accidentalmente sucia y los vehículos que se desplazan dentro del área de la estación de expendio (2,12).

Las medias geométricas de las concentraciones ambientales en las mediciones de corta y larga duración, se encuentran bajo el límite permisible temporal y bajo el límite permisible ponderado regulados por la legislación chilena, es decir que, bajo ese concepto, se estaría cumpliendo con la normativa nacional.

Las bajas concentraciones ambientales se pueden deber a las medidas preventivas adoptadas a nivel mundial y nacional durante los últimos años, como

una reducción en la cantidad de benceno en la gasolina por debajo del 1% (en lugar del 5% anterior, y también la regulaciones técnicas en la composición de la gasolina "sin plomo") (9), la instalación de sistemas de recuperación de vapores y la automatización de las máquinas surtidora han significado una disminución en la exposición al benceno por los trabajadores de las estaciones de expendio de combustible (12).

Cabe destacar que la implementación de sistemas de recuperación de vapores (SRV), se hace obligatorio solamente en la región metropolitana a partir del año 2009 y está asociado al Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para la Región, por lo tanto, sería importante replicar estudios similares en otras regiones del país, con el objetivo de conocer las concentraciones ambientales de BTX sin la existencia de esta medida de control (SVR).

Si bien no existe una obligación legal al resto de las regiones del país a la implementación del SVR en las diferentes proveedoras de combustible, consideramos que los resultados obtenidos pueden servir como información de referencia para que las empresas se incentiven en implementar los SVR en las diferentes estaciones de servicio de expendio de combustible, cuyo principal beneficio, desde el punto de vista de la higiene ocupacional es la protección de la salud y la vida de los trabajadores a través de la implementación de medidas de control que ayuden a disminuir la exposición a sustancias químicas.

Es fundamental el fortalecimiento de las medidas preventivas y generación de procedimientos seguros de trabajo que ayuden a evitar prácticas habituales de trabajo, como por ejemplo eliminar la limpieza de manos con trapos contaminados que realizan los trabajadores en algunas situaciones y el uso obligatorio de guantes de protección que no permita la penetración de la sustancia y el contacto con la piel, entre otras medidas que eviten la exposición de los(as) trabajadores(as) por la vía dérmica.

Este estudio solo se basó en conocer la concentración ambiental de BTX, por lo tanto, no se realizaron muestras de indicadores biológicos de los trabajadores muestreados.

RECONOCIMIENTOS

Agradecemos la permanente ayuda y cooperación de Marcela Oyarte Galvez, profesional del Subdepartamento de estudio y evaluación de proyectos del departamento de asuntos científicos, Instituto de Salud Pública de Chile.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Farrás M, Rey S Del, Simón N. Riesgos higiénicos de los trabajadores de estaciones de servicio [Internet]. INSHT España; 1998 p. 1–8. Recuperado a partir de: http://www.insht.es/inshtweb/contenidos/documentacion/fichastecnicas/ntp/ficheros/752a783/ntp_775.pdf
- Kountouriotis A, Aleiferis PG, Charalambides AG. Numerical investigation of VOC levels in the area of petrol stations. *Sci Total Environ*. 2014;470–471:1205–24.
- Periago J.F.; Zambudio A.; Prado C. Evaluation of environmental levels of aromatic hydrocarbons in gasoline service stations by gas Chromatography. *J Chromatogr*. 1997;778:263–8.
- Aidin R. Petrol-Vapour Poisoning. *Br Med J*. 1958;2(5092):369.
- IARC. IARC monographs Benzene. 1982;
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Addendum To the Toxicological Profile for Benzene. En: *Public Health*. 2015.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Interaction profile for Benzene , Toluene , Ethylbenzene , and Xylenes (BTEX). En: *Public Health*. 2004. p. 5, 13, 24, 31, 59.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological Profile for xylene. *Public Health*. 2013;
- Periago JF, Prado C. Evolution of occupational exposure to environmental levels of aromatic hydrocarbons in service stations. *Ann Occup Hyg*. 2005;49(3):233–40.
- Chakroun R, Kaabachi N, Hedhili A, Feki M, Nouaigui H, Ben Laiba M, et al. Benzene exposure monitoring of Tunisian workers. *J Occup Environ Med*. 2002;44(12):1173–8.
- Heibati B, Pollitt KJG, Karimi A, Yazdani Charati J, Ducatman A, Shokrzadeh M, et al. BTEX exposure assessment and quantitative risk assessment among petroleum product distributors. *Ecotoxicol Environ Saf*. Elsevier Inc.; 2017;144(May):445–9.
- Carrieri M, Bonfiglio E, Scapellato ML, Maccà I, Tranfo G, Faranda P, et al. Comparison of exposure assessment methods in occupational exposure to benzene in gasoline filling-station attendants. *Toxicol Lett*. 2006;162(2–3 SPEC. ISS.):146–52.
- Ministerio secretaría general de la presidencia. revisa, reformula y actualiza plan de prevención y descontaminación atmosférica para la región metropolitana. Decreto N°66 Chile; 2010.
- Ministerio de energía. establece especificaciones de calidad de Combustibles. Decreto N°60 Chile; 2012.
- Ministerio de Salud. Aprueba Reglamento sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo. Decreto N°594/99 Chile; 1999.
- GEO Research. Catastro Estaciones de Servicio en RM. Región Metropolitana; 2014.
- Otzen T, Manterola C. Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio Sampling Techniques on a Population Study. *Int J Morphol [Internet]*. 2017;35(1):227–32. Recuperado a partir de: <http://www.scielo.cl/pdf/ijmorphol/v35n1/art37.pdf>
- Instituto de Salud Pública de Chile. Manual Básico sobre Mediciones y Toma de Muestras Ambientales y Biológicas en Salud Ocupacional. Vol. 3. 2013. 97-197 p.
- NIOSH. Hydrocarbons, Aromatic (NIOSH-1501). *NIOSH Man Anal Methods*. 2003;127(3):1–7.
- Hornung, R.W. and Reed LD. Estimation of Average Concentration in the Presence of Nondetectable Value. *Appl Occup Environ Hyg*. 1990;4:46–51.
- Timotej Verbovšek. A comparison of parameters below the limit of detection in geochemical analyses by substitution methods. *RMZ – Mater Geoenvironment*. 2011;58(4):393–404.
- Gracia J. Higiene Ocupacional Evaluación de Agentes Químicos. España; 91 p.
- Uzma N, Khaja BM, Kumar BS, Aziz N, David MA, Reddy V, et al. Impact of Organic Solvents and Environmental Pollutants on the Physiological Function in Petrol Filling Workers. 2008;5(3):139–46.
- Porta M, Quesada P B de BM. Valores Limites de Exposición Ocupacional: Razones y Limitaciones. En: *Limites de los Limites*. Barcelona; 2009. p. 265.
- Hunter WJ, Aresini G, Haigh R, Papadopoulos P, Hude W Von Der. Occupational exposure limits for chemicals in the European Union. 1997;217–22.