



**MAESTRÍA EN SEGURIDAD Y SALUD  
OCUPACIONAL**

# **Evaluación de la exposición laboral a vapores de benceno en un laboratorio de análisis de aguas en la Ciudad de Guayaquil. Un caso de estudio**

Propuesta de artículo presentado como requisito para la obtención del título:

## **Magíster en Seguridad y Salud Ocupacional**

Por la estudiante:

**Héctor Alejandro Murzi Pérez**

Bajo la dirección de:

**Alywin Hacay Chang León**

Universidad Espíritu Santo  
Maestría en Seguridad y Salud Ocupacional  
Samborondón - Ecuador  
Enero de 2019

## ***Evaluación de la exposición laboral a vapores de benceno en un laboratorio de análisis de aguas en la ciudad de Guayaquil. Un caso de estudio.***

Assessment of the occupational exposure to benzene vapors in a wastewater analysis laboratory in the city of Guayaquil. Case Study

**Héctor Alejandro Murzi Pérez<sup>1</sup>**  
**Alywin Hacay Chang León<sup>2</sup>**

### Resumen

El benceno es una sustancia de alta peligrosidad a la cual están expuestos los analistas de laboratorio en los ensayos de tensoactivos para el análisis de aguas residuales en Ecuador. El objetivo del presente estudio fue evaluar el nivel de exposición a benceno de los analistas de un laboratorio de aguas residuales. Se realizaron ocho dosimetrías de jornada completa, obteniéndose concentraciones promedio ponderadas en el tiempo que superaron el límite de exposición en tres ocasiones. También se midió el biomarcador del benceno: ácido trans, trans-mucónico al final de cada jornada, obteniéndose valores que superaron el Índice Biológico de Exposición en dos periodos donde los analistas no utilizaron equipos de protección respiratoria. Adicionalmente se realizaron dosimetrías puntuales durante dos fases del análisis de tensoactivos, con el fin de determinar la actividad específica donde existe mayor exposición. Del estudio se obtiene el nivel de exposición a benceno de los analistas, las actividades de mayor exposición durante el análisis y la eficacia de los medios de protección personal actualmente utilizados.

### Palabras clave:

Benceno, Exposición, Biomarcador, Ácido trans, trans-mucónico

### Abstract

Benzene is a high dangerousness substance which the wastewater laboratory analysts in Ecuador are exposed during surfactant analysis. Occupational exposure to benzene was assessed in analysts of a waste water laboratory. For this assessment, eight full-shift exposure measurements were completed, obtaining Time Weighted Average concentrations over the exposure limit in three of these periods. Also, the biomarker: trans, trans-muconic acid was measured at the end of each shift, determining values over the Biological Exposure Index in two periods when the analysts didn't use respiratory protection equipment. Additionally, short-term exposure measurements were performed during two specific tasks of the surfactant analysis, determining the task with higher exposure levels. The study determines the analysts exposure level to benzene, the tasks with the higher exposure levels, and the efficacy of the personal protection equipment used.

### Key words

Benzene, Exposure, Biomarker, trans, trans-muconic acid.

<sup>1</sup> Estudiante de Maestría en Seguridad y Salud Ocupacional, Universidad Espíritu Santo – Ecuador. E-mail: [hmurzi@uees.edu.ec](mailto:hmurzi@uees.edu.ec).

<sup>2</sup> Magíster en Gestión Integrada de Prevención, Ambiente y Calidad. Profesor de la Maestría en Seguridad y Salud Ocupacional Universidad Espíritu Santo- Ecuador.

## INTRODUCCIÓN

De acuerdo a la Organización Internacional del Trabajo (OIT, 2015), cada año, a nivel mundial, dos millones de muertes son provocadas por enfermedades profesionales. Periódicamente, este organismo establece una lista de enfermedades profesionales, entre las que destacan las enfermedades causadas por el benceno y sus homólogos (N°1.1.12), y el cáncer causado por el benceno (N°3.1.8).

La exposición a benceno en la actividad industrial actual es mucho menor de lo que era en un pasado reciente (Brugnone, y otros, 2001); sin embargo, aún se identifican grupos de población que pudieran estar expuestos, entre estos se incluyen: trabajadores en la producción del benceno, trabajadores en la industria química que utilizan benceno como intermediario, trabajadores en industrias que producen materiales que contienen benceno, y en otras industrias donde el benceno es una impureza dentro del proceso (Maltoni, Ciliberti, Cotti, Conti, & Belpoggi, 1989).

El Convenio de la Organización Internacional del Trabajo C136: Convenio relativo a la protección contra los riesgos de intoxicación por el benceno, entrado en vigor en julio de 1973, y ratificado por el Ecuador en marzo de 1975, en su Artículo 2 establece que, "Siempre que se disponga de productos de sustitución inocuos o menos nocivos, deberán utilizarse tales productos en lugar del benceno o de los productos que contengan benceno"; sin embargo, el mismo artículo en el párrafo 2, también condiciona que esto no aplicaría a los trabajos de análisis o de investigación realizados en laboratorios.

Precisamente, en los laboratorios de análisis físico químico de aguas naturales y residuales uno de los ensayos que se lleva a cabo con mayor frecuencia es la determinación de la concentración total de surfactantes Aniónicos como Sulfonato de Alquibenceno Lineal (Tensoactivo). El parámetro tensoactivos es uno de los parámetros incluidos dentro de la Norma Nacional Ecuatoriana que rige el monitoreo y control de las aguas residuales industriales

(Ministerio del Ambiente, 2015). Este monitoreo y control debe realizarse mensualmente en la ciudad de Guayaquil (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Guayaquil. Dirección de Ambiente, 2019). La Normativa ecuatoriana también establece que todos los parámetros listados deben ser analizados por laboratorios acreditados bajo la Norma ISO 17025 (Ministerio del Ambiente, 2015); por lo tanto, los parámetros deben ser analizados mediante métodos estándares validados y reconocidos internacionalmente.

Uno de los métodos adoptados y utilizados para tal análisis es el método HACH 8028: Método de cristal violeta, basado en el método SM5540C del Standard Methods.

En este ensayo se utiliza Benceno grado ACS como medio de extracción del tinte catiónico desde el medio acuoso hacia la fase de solvente orgánico y el posterior análisis mediante espectrofotometría. Durante la manipulación de este solvente se generan vapores que pueden ingresar al organismo de los analistas expuestos mediante inhalación y absorción dérmica. Con base a esta premisa se realizó un trabajo de investigación cuyo objetivo principal es evaluar la exposición a benceno de los analistas de un laboratorio que regularmente realizan este ensayo.

La exposición a benceno en el trabajo incrementa el riesgo de padecer leucemia (Khalade, Jaakkola, Pukkala, & Jaakkola, 2010). Este contaminante puede ingresar al organismo por inhalación y por vía dérmica (Semple, 2004). Estas características específicas en conjunto con las cantidades y frecuencias de uso en los laboratorios de análisis de aguas residuales, establecen la necesidad de evaluar el nivel de exposición por parte de los analistas, revisar la eficacia de los equipos de protección respiratoria utilizados, y determinar las tareas específicas donde existe mayor exposición durante las actividades de análisis de tensoactivos en aguas residuales.

Para realizar esta evaluación se ha escogido uno de los principales laboratorios de análisis de

aguas residuales y naturales de la ciudad de Guayaquil, que tiene una participación aproximada en el mercado local del 30%, y realiza un promedio de 2000 análisis anuales. Este laboratorio ha adoptado y validado el método HACH 8028, y lo incluye dentro de su alcance de acreditación de la Norma ISO 17025.

## MARCO TEÓRICO

### Exposición

Según la Norma Europea EN 689:1996, vigente para la fecha del presente estudio, la exposición es la presencia de un agente químico en el aire de la zona de respiración del trabajador. Se expresa en términos de la concentración del agente, obtenida de las mediciones de exposición, y referidas al mismo período de referencia que el utilizado para el valor límite.

### Benceno

El benceno también conocido como benzol es un líquido incoloro de aroma dulce (Agency for Toxic Substances and Disease Registry), es el químico aromático más simple y es un excelente solvente (Smith, 2010). La exposición humana a altas concentraciones de benceno afecta el sistema nervioso central y causa los mismos efectos agudos que la mayoría de los solventes orgánicos: mareos, náusea, irritabilidad, insomnio y dolor de cabeza. Estos efectos, normalmente son de corta duración y disminuyen cuando termina la exposición (Nordlinder & Ramnäs, 1987); sin embargo, son los efectos de la exposición prolongada a bajas concentraciones, lo que genera la mayor preocupación: daños en el sistema hematopoyético (Snyder, Kocsis, & Drew, 1975), efectos adversos en la médula ósea (Santesson, 1897) y Leucemia (Vigliani & Forni, 1976).

### Valor Umbral Límite Promedio Ponderado en el Tiempo (TLV-TWA)

Es la concentración promedio ponderada en el tiempo para una jornada diaria convencional de 8 horas y una jornada semanal de 40 horas, a la cual se cree que la mayoría de los trabajadores

pueden exponerse repetidamente, día tras día, durante su vida de trabajo sin tener efectos adversos (The American Conference of Governmental Industrial Hygienists [ACGIH], 2018)

### Marcador biológico

También llamado biomarcador, es una característica que puede ser objetivamente medida y evaluada como un indicador de un proceso biológico normal, de un proceso patológico, o una respuesta farmacológica a una intervención terapéutica (Puntmann, 2009).

### Ácido trans, trans-mucónico

El Ácido trans, trans-mucónico es un metabolito urinario del benceno y ha sido introducido por algunas asociaciones reguladoras en ambiente y salud ocupacional como un índice biológico para la evaluación de la exposición a benceno (Jalal, Ramezani, & Ebrahim, 2017).

### Análisis de tensoactivos en aguas residuales

Uno de los métodos para la determinación de tensoactivos en aguas residuales es el HACH 8028 basado en el método SM5540C del Standard Methods. El procedimiento de análisis tiene las siguientes fases:

#### - Fase 1: Preparación

Adición de solución búfer a la muestra contenida en un embudo. El embudo es agitado hasta verificarse disolución completa.

#### - Fase 2: Tratamiento

- **Adición de benceno:** el embudo es llevado al interior de una sorbona de extracción de gases y vapores. Ya dentro de la Sorbona, se agregan 30 ml de benceno a la muestra mediante un dispensador automático. El embudo es tapado y se agita manualmente, hasta lograrse homogeneizar.
- **Reposo:** El embudo es destapado y se deja reposando durante 30 minutos dentro de la sorbona cerrada. En este

período se forman dos capas en la muestra.

- **Drenado:** La capa inferior (fase acuosa) es drenada desde el embudo hasta un recipiente donde se almacena para su posterior descarte. De la capa restante se extraen 10 ml en un tubo de vidrio cerrado.

- **Fase 3: Análisis**

El tubo de vidrio se lleva a un espectrofotómetro, donde se analiza, obteniéndose un resultado en unidades de absorbancia, con el cual se calcula el contenido de tensoactivos de la muestra.

- **Fase 4: Lavado de material**

Al culminarse el ensayo, el mismo analista lleva el embudo con el resto de la muestra a un lavabo en un área abierta donde descarta el resto y limpia el material con detergente especial.

## METODOLOGÍA.

Se llevó a cabo un estudio cuantitativo, transversal y descriptivo. En la investigación se utilizaron técnicas de recolección y análisis de datos obtenidos en un período de tiempo determinado. El diseño de la investigación fue planteado con base en la consideración de ciertos factores operativos del laboratorio evaluado. Los resultados permitieron establecer el nivel de exposición de los analistas.

En el laboratorio existen tres analistas cualificados para el tipo de ensayo. Cada día actúa un analista diferente. Aparte del ensayo de tensoactivos, los analistas realizan al menos otros 10 tipos de ensayos, pero en ningún otro se utiliza benceno. La cantidad de muestras analizadas diariamente varía de forma significativa, dependiendo de la demanda del servicio. En un período de un mes se observó que el análisis se realizó cada dos días, procesándose un mínimo de 9 muestras y un máximo de 27 cada día. El laboratorio tiene la capacidad de analizar 9 muestras simultáneamente; es decir, cuenta con nueve

embudos para procesar muestras, que luego son lavados y reutilizados para el siguiente lote.

En cuanto a los controles existentes cabe decir que el laboratorio cuenta con una sorbona de extracción de gases y vapores dentro de la cual se ejecuta la fase 2 del análisis: tratamiento de la muestra. Por su parte, los analistas utilizan respiradores de media cara 3M 6200 con filtros para COVs 3M 6003, la mayoría de las veces durante la fase 2, y siempre durante la fase 4.

Con base en estos factores se plantearon las siguientes acciones:

- Se evaluó la exposición a benceno, para lo cual se realizaron 8 dosimetrías del ambiente de exposición en jornada completa, divididas de la siguiente manera: dos analistas con tres dosimetrías cada uno, y un analista con dos mediciones.
- Se evaluó el biomarcador: Ácido trans, trans-mucónico, para determinar la posible inhalación y metabolización del benceno por parte de los analistas. Para esto, se tomaron 8 muestras de orina al final de cada jornada; en las mismas jornadas donde se evaluó la exposición a benceno.
- En la jornada 4, en cada lote de muestras, se realizaron dosimetrías puntuales durante las fases 2 y 4 del análisis. En cada fase se realizaron tres mediciones.

Al final de cada jornada de mediciones se entrevistaron a los analistas con el fin de conocer si se presentaron eventos o si existieron factores no contemplados que pudieran haber influenciado en los resultados.

Para el muestreo de benceno en el aire ambiente laboral se aplicó el método de la National Institute for Occupational Safety and Health: NIOSH 1501, para lo cual se instaló una bomba personal en los analistas utilizándose los medios de absorción indicados. Las muestras fueron enviadas a un laboratorio en Estados Unidos, acreditado ante la

American Industrial Hygiene Association AIHA, donde fueron analizadas mediante cromatografía de gases con detector FID. Los resultados de las dosimetrías de jornada completa fueron analizados con base en el límite de exposición TLV-TWA establecido por ACGIH para el benceno, que es de 0,5 ppm (The American Conference of Governmental Industrial Hygienists [ACGIH], 2018) y a los criterios establecidos en el estándar europeo EN 689:1996 sobre la evaluación de la exposición por inhalación de agentes químicos para la comparación con los valores límite.

Las muestras de orina para el análisis del Ácido trans, trans-mucónico se tomaron al final de cada jornada, y se analizaron en un laboratorio especializado en Quito mediante HPLC. Los resultados fueron comparados con el Índice de Exposición Biológica (BEI) establecido por ACGIH para el biomarcador, que es de 500 µg/g de creatinina (The American Conference of Governmental Industrial Hygienists [ACGIH], 2018).

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la tabla 1 se presentan los resultados de las mediciones de exposición a benceno, así como los resultados del biomarcador Ácido trans, trans-mucónico al final de cada jornada.

Tabla 1.  
Niveles de exposición ambiental a benceno y nivel de exposición biológica en cada jornada

Jornada	AA <sup>(1)</sup>	#AT <sup>(2)</sup>	TWA <sup>(3)</sup>	IE <sup>(4)</sup>	ttMA <sup>(5)</sup>
1	A	28	3,50	7,00	397
2	B	9	0,28	0,56	1698
3	C	18	0,36	0,72	346
4	A	27	3,39	6,78	242
5	B	9	0,50	1,00	243
6	B	9	2,31	4,62	434
7	C	12	0,48	0,96	1098
8	C	12	0,12	0,24	187

Nota: <sup>(1)</sup> Analista, <sup>(2)</sup> Número de análisis de tensoactivos en la jornada, <sup>(3)</sup> Concentración de benceno promedio ponderada en el tiempo de 8 horas de jornada (ppm), <sup>(4)</sup> Índice de Exposición: calculado como la relación entre el TWA y el Límite de Exposición TLV-TWA del benceno de 0,5 ppm establecido por ACGIH (2018), <sup>(5)</sup> Resultado del biomarcador: Ácido trans, trans-mucónico en orina expresado en µg/g de creatinina

Elaborado por: El autor

En tres de las ocho muestras las concentraciones TWA de benceno superaron el límite de exposición, llegando incluso a ser hasta 7 veces mayor. En cuatro muestras los resultados superaron el 50% del límite; y en una sola muestra el resultado no superó el 25%. Los resultados varían significativamente de una jornada a otra, dependiendo de factores, tales como: el número de análisis de tensoactivos realizados en la jornada, corrientes de aire, y temperatura y presión atmosférica. Otros factores que influyen son las pequeñas variaciones no registradas dentro de las actividades específicas; por ejemplo, tiempos de agitación de las muestras, tiempos de drenado, tiempos de lavado de material, distancias entre la zona de respiración del analista y las fuentes de emisión de benceno, entre otros.

Por otra parte, se determinó que, en dos de las ocho muestras de orina, el ácido trans, trans-mucónico superó el índice biológico (BEI) de 500 µg/g de creatinina. Acorde a las entrevistas realizadas a los analistas, precisamente, estas muestras corresponden a jornadas en las cuales los trabajadores no usaron equipos de protección respiratoria durante la fase 2: tratamiento de la muestra; es decir, se observa una relación directa entre el uso del respirador y el marcador biológico.

En las tres jornadas donde determinaron concentraciones TWA de benceno mayores a 1 ppm, los niveles de ácido trans, trans-mucónico fueron: 397, 242 y 434 µg/g de creatinina, respectivamente. En un estudio realizado por Ong, Kok, Lee, Shi, Ong, Chia, Lee, Luo (1995), en una muestra de 26 trabajadores expuestos a concentraciones TWA de benceno entre 1 y 5 ppm, que no usaban equipos de protección respiratoria, se determinaron niveles entre 1490 y 24870 µg/g de creatinina. Esta comparación confirma la eficacia de los respiradores utilizados por los analistas en el control del ingreso de benceno por la vía de la inhalación. (Ong, y otros, 1995)

Adicionalmente, con el fin de establecer cuáles serían los momentos de mayor exposición a

benceno, se realizaron dosimetrías puntuales en las fases 2 y 4 del análisis de tensoactivos. En cada fase se realizaron tres mediciones. Los resultados se presentan en la tabla 2.

Tabla 2  
Niveles de concentración de benceno en la zona de respiración del analista

Muestra	Fase	tiempo de tarea (min)	Concentración de benceno (ppm)	contribución al TWA (%)
1	2	80	0,63	3,0
2	2	78	1,5	6,9
3	2	83	0,4	2,0
4	4	15	33	29,3
5	4	11	44	28,6
6	4	17	30	30,2

Nota: La concentración TWA calculada para la jornada es de 3,52 ppm

Elaborado por: El autor

Los niveles de concentración de benceno en la zona de respiración de los analistas es hasta 110 veces mayor durante la fase 4: lavado de material. En conjunto, la exposición durante esta fase tuvo una contribución del 88% en la concentración TWA de la jornada. La fase 2, se lleva a cabo dentro una sorbona, y la manera como se realiza el proceso, minimiza las emisiones de benceno; mientras que durante el lavado de material los recipientes son abiertos y vaciados, permitiendo la volatilización del contaminante.

## CONCLUSIONES

Aplicándose los criterios establecido en el estándar europeo EN 689:1996, es posible concluir que el nivel de exposición a benceno por parte de los analistas de tensoactivos supera el límite establecido por ACGIH. En base a este resultado, se hace necesario establecer medidas de control para eliminar o minimizar esta exposición.

Tomando en cuenta los resultados de los niveles de ácido trans, trans-mucónico en orina se pudo demostrar que uso de equipos de protección respiratoria por parte de los analistas controla eficazmente la inhalación de benceno.

Dentro del análisis de tensoactivos la tarea donde existe mayor exposición a benceno es durante el lavado del material, obteniéndose concentraciones ambientales de benceno hasta 110 veces mayores a las obtenidas durante la tarea de adición, agitación de muestra y drenado.

Los resultados presentados en la tabla 2 se obtuvieron en una jornada en la cual se analizaron 27 muestras de agua (3 lotes de 9 muestras cada uno). La concentración TWA calculada para esta jornada es de 3,52 ppm. Si en esta misma jornada se hubieran analizado solo dos lotes de muestras de agua (18 muestras), la concentración TWA calculada habría sido de 2,39 ppm. De este análisis se concluye que a menor cantidad de muestras de agua analizadas, menor será la exposición.

Siendo el benceno un comprobado cancerígeno, y siguiendo la jerarquía de controles, la medida recomendada sería la sustitución del método de análisis de tensoactivos por otro donde no se utilice ningún material o reactivo cancerígeno, mutagénico o teratogénico. Para esto se requerirán estudios de factibilidad, inversión, desarrollo de procedimientos, validación y acreditación. Sin embargo, de continuarse aplicando el método de ensayo HACH 8028, se recomienda aplicar controles ambientales, administrativos y personales, tales como:

- Mejorar la ventilación del área de lavado de material, o rediseño del área y proceso.
- Reducir el número máximo de muestras a analizarse en una jornada por cada analista.
- Mantener la disposición de uso de equipos de protección respiratoria durante todo el ensayo.

Este estudio da cabida a evaluaciones futuras de otros ensayos de laboratorio para la prevención de la exposición a benceno.

## Referencias Bibliográficas

- Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (s.f.). *Benzene*. Obtenido de [https://stacks.cdc.gov/view/cdc/45771/cdc\\_45771\\_DS1.pdf](https://stacks.cdc.gov/view/cdc/45771/cdc_45771_DS1.pdf)
- Bisesi, M. S. (2004). *Industrial Hygiene Evaluation Methods*. EEUU: Lewis Publishers.
- Brugnone, F., Perbellini, N., Cerpelloni, M., Franceschi, A., Pasini, F., & Romeo, L. (2001). Benzene in blood and urine and t,t-muconic acid in urine of occupationally exposed workers. *Exposure Assessment in Epidemiology and Practice* (págs. 181-183). Goteborg: ARBETE OCH HÄLSA.
- Capleton, A. C., & Levy, L. S. (2005). An overview of occupational benzene exposures and occupational exposure limits in Europe and North America. *Chemico-Biological Interactions*, 43-53.
- Egeghy, P. P., Tornero-Velez, R., & Rappaport, S. (2000). Environmental and Biological Monitoring of Benzene during Self-Service Automobile Refueling. *Environmental Health Perspectives*, 1195-1202.
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Guayaquil. Dirección de Ambiente. (20 de Enero de 2019). Monitoreos Ambientales correspondientes al año 2019. *El Universo*.
- Jalai, A., Ramezani, Z., & Ebrahim, K. (2017). Urinary Trans, Trans-Muconic Acid is Not a Reliable Biomarker for Low-level Environmental and Occupational Benzene Exposures. *Safety and Health at Work*, 8(2), 220-225.
- Khalade, A., Jaakkola, M., Pukkala, E., & Jaakkola, J. (2010). Exposure to benzene at work and the risk of leukemia: a systematic review and meta-analysis. *Environmental Health*, 9(31), 1-8.
- Maltoni, C., Ciliberti, A., Cotti, G., Conti, B., & Belpoggi, F. (1989). Benzene, an Experimental Multipotential Carcinogen: Results of the Long-Term Bioassays Performed at the Bologna Institute of Oncology. *Environmental Health Perspectives*, 82, 109-124.
- Ministerio del Ambiente. (Noviembre de 2015). Anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Nordlinder, R., & Ramnäs, O. (1987). Exposure to benzene at different work places in Sweden. *The annals of occupational hygiene*, 31(3), 345-355.
- OIT. (28 de Abril de 2015). *Tendencias Mundiales sobre accidentes de Trabajo y Enfermedades Profesionales*. Obtenido de [https://www.ilo.org/legacy/english/osh/es/story\\_content/external\\_files/fs\\_st\\_1-ILO\\_5\\_es.pdf](https://www.ilo.org/legacy/english/osh/es/story_content/external_files/fs_st_1-ILO_5_es.pdf)
- Ong, C. N., Kok, P. W., Lee, B. L., Shi, C. Y., Ong, H. Y., Chia, K. S., . . . Luo, X. W. (1995). Evaluation of biomarkers for occupational exposure to benzene. *Occupational and Environmental Medicine*, 52, 528-533.
- Peberllini, L., Faccini, G. B., Fasini, F., Cazzoli, F., Pistoia, S., Rosellini, R., . . . Brugnone, F.

- (1988). Environmental and occupational exposure to benzene by analysis of breath and blood. *British Journal of Industrial Medicine*, 345-352.
- Perkins, J. L. (2008). *Modern Industrial Hygiene: Volume 1: Recognition and Evaluation of Chemical Agents*. Cincinnati, Ohio, EEUU: ACGIH.
- Plog, B. A., & Quilan, P. J. (2012). *Fundamentals of Industrial Hygiene*. Itasca, IL, EEUU: National Safety Council.
- Puntmann, V. O. (2009). How-to guide on biomarkers: biomarker definitions, validation and applications with examples from cardiovascular disease. *Postgrad Med J*, 85, 538-545.
- Rubiano D., M., Marciales C., C., & Duarte A., M. (2002). Evaluación del Riesgo Ocupacional por Exposición a Benceno, Tolueno y Xilenos en un Industria de Pinturas en Bogotá DC. *Revista Colombiana de Química*, 33-43.
- Santesson, C. G. (1897). Chronic poisoning with benzene. *Arch Hyg*, 336.
- Semple, S. (2004). Dermal Exposure to Chemicals in the Workplace: Just How Important is Skin Absorption. *Occup Environ Med*(61), 376-382.
- Seyed Younes, H., Mansour Rezazadeh, A., Raana Taiefeh, R., & Elaheh, T. (2008). Occupational Risk Assessment of Benzene in Rubber Tire Manufacturing Workers. *International Journal Of Occupational Hygiene*, 220-226.
- Sherwood, R. J. (1972). Evaluation of Exposure to benzene vapour during the loading of petrol. *British Journal of Industrial Medicine*, 65-69.
- Smith, M. T. (2010). Advances in understanding benzene health effects and susceptibility. *Annual Review of Public Health*, 31, 133-48.
- Snyder, R., Kocsis, J. J., & Drew, R. (1975). Current Concepts of Chronic Benzene Toxicity. *CRC Critical Reviews in Toxicology*, 3(3), 265-288.
- The American Conference of Governmental Industrial Hygienists [ACGIH]. (2018). *Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents & Biological Exposure*. Cincinnati: Signature Publications.
- Toffel, M. W., & Birkner, L. R. (2002). Estimating and Controlling Workplace Risk: An Approach for Occupational Hygiene and Safety Professionals. *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, 477-485.
- Vigliani, E. C., & Forni, A. (1976). Benzene and Leukemia. *Environmental research*, 11(1), 122.
- Wallace, L. (1996). Environmental Exposure to Benzene: An Update. *Environmental Health Perspectives*, 1129-1136.
- Wallace, L. A. (1989). Major sources of benzene exposure. *Environmental Health Perspectives*, 165-169.
- Waydyanatha, S., Rothman, N., Fustinoni, S., Smith, M. T., Hayes, R. B., Bechtold, W., . . . Rappaport, S. M. (2001). Urinary benzene as a biomarker of exposure among occupational exposed and

- unexposed subjects. *Carcinogenesis*, 279-286.
- Weisel, C. P. (2010). Benzene exposure: An overview of monitoring methods and their findings. *Chem Biol Interact*, 58-66.
- Weisel, C., Yu, R., Roy, A., & Georgopoulos, P. (1996). Biomarkers of Environmental Benzene Exposure. *Environmental Health Perspectives*, 1141-1146.
- ACGIH. (2018). *Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents & Biological Exposure*. Cincinnati: Signature Publications.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (s.f.). *Benzene*. Obtenido de [https://stacks.cdc.gov/view/cdc/45771/cdc\\_45771\\_DS1.pdf](https://stacks.cdc.gov/view/cdc/45771/cdc_45771_DS1.pdf)
- Bisesi, M. S. (2004). *Industrial Hygiene Evaluation Methods*. EEUU: Lewis Publishers.
- Brugnone F., P. L., Cerpelloni N., F. A., & Pasini F., R. L. (2001). Benzene in blood and urine and t,t-muconic acid in urine of occupationally exposed workers. *Exposure Assessment in Epidemiology and Practice* (págs. 181-183). Goteborg: ARBETE OCH HÄLSA.
- Capleton, A. C., & Levy, L. S. (2005). An overview of occupational benzene exposures and occupational exposure limits in Europe and North America. *Chemico-Biological Interactions*, 43-53.
- Egeghy, P. P., Tornero-Velez, R., & Rappaport, S. (2000). Environmental and Biological Monitoring of Benzene during Self-Service Automobile Refueling. *Environmental Health Perspectives*, 1195-1202.
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Guayaquil. Dirección de Ambiente. (20 de Enero de 2019). Monitoreos Ambientales correspondientes al año 2019. *El Universo*.
- Jalai, A., Ramezani, Z., & Ebrahim, K. (2017). Urinary Trans, Trans-Muconic Acid is Not a Reliable Biomarker for Low-level Environmental and Occupational Benzene Exposures. *Safety and Health at Work*, 8(2), 220-225.
- Khalade, A., Jaakkola, M., Pukkala, E., & Jaakkola, J. (2010). Exposure to benzene at work and the risk of leukemia: a systematic review and meta-analysis. *Environmental Health*, 9(31), 1-8.
- Maltoni, C., Ciliberti, A., Cotti, G., Conti, B., & Belpoggi, F. (1989). Benzene, an Experimental Multipotential Carcinogen: Results of the Long-Term Bioassays Performed at the Bologna Institute of Oncology. *Environmental Health Perspectives*, 82, 109-124.
- Ministerio del Ambiente. (Noviembre de 2015). Anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Nordlinder, R., & Ramnäs, O. (1987). Exposure to benzene at different work places in Sweden. *The annals of occupational hygiene*, 31(3), 345-355.
- OIT. (28 de Abril de 2015). *Tendencias Mundiales sobre accidentes de Trabajo*

- y *Enfermedades Profesionales*.  
Obtenido de  
[https://www.ilo.org/legacy/english/osh/es/story\\_content/external\\_files/fs\\_st\\_1-ILO\\_5\\_es.pdf](https://www.ilo.org/legacy/english/osh/es/story_content/external_files/fs_st_1-ILO_5_es.pdf)
- Ong, C. N., Kok, P. W., Lee, B. L., Shi, C. Y., Ong, H. Y., Chia, K. S., . . . Luo, X. W. (1995). Evaluation of biomarkers for occupational exposure to benzene. *Occupational and Environmental Medicine*, 52, 528-533.
- Peberllini, L., Faccini, G. B., Fasini, F., Cazzoli, F., Pistoia, S., Rosellini, R., . . . Brugnone, F. (1988). Environmental and occupational exposure to benzene by analysis of breath and blood. *British Journal of Industrial Medicine*, 345-352.
- Perkins, J. L. (2008). *Modern Industrial Hygiene: Volume 1: Recognition and Evaluation of Chemical Agents*. Cincinnati, Ohio, EEUU: ACGIH.
- Plog, B. A., & Quilan, P. J. (2012). *Fundamentals of Industrial Hygiene*. Itasca, IL, EEUU: National Safety Council.
- Puntmann, V. O. (2009). How-to guide on biomarkers: biomarker definitions, validation and applications with examples from cardiovascular disease. *Postgrad Med J*, 85, 538-545.
- Rubiano D., M., Marciales C., C., & Duarte A., M. (2002). Evaluación del Riesgo Ocupacional por Exposición a Benceno, Tolueno y Xilenos en un Industria de Pinturas en Bogotá DC. *Revista Colombiana de Química*, 33-43.
- Santesson, C. G. (1897). Chronic poisoning with benzene. *Arch Hyg*, 336.
- Semple, S. (2004). Dermal Exposure to Chemicals in the Workplace: Just How Important is Skin Absorption. *Occup Environ Med*(61), 376-382.
- Seyed Younes, H., Mansour Rezazadeh, A., Raana Taiefeh, R., & Elaheh, T. (2008). Occupational Risk Assessment of Benzene in Rubber Tire Manufacturing Workers. *International Journal Of Occupational Hygiene*, 220-226.
- Sherwood, R. J. (1972). Evaluation of Exposure to benzene vapour during the loading of petrol. *British Journal of Industrial Medicine*, 65-69.
- Smith, M. T. (2010). Advances in understanding benzene health effects and susceptibility. *Annual Review of Public Health*, 31, 133-48.
- Snyder, R., Kocsis, J. J., & Drew, R. (1975). Current Concepts of Chronic Benzene Toxicity. *CRC Critical Reviews in Toxicology*, 3(3), 265-288.
- Toffel, M. W., & Birkner, L. R. (2002). Estimating and Controlling Workplace Risk: An Approach for Occupational Hygiene and Safety Professionals. *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, 477-485.
- Vigliani, E. C., & Forni, A. (1976). Benzene and Leukemia. *Environmental research*, 11(1), 122.
- Wallace, L. (1996). Environmental Exposure to Benzene: An Update. *Environmental Health Perspectives*, 1129-1136.

Wallace, L. A. (1989). Major sources of benzene exposure. *Environmental Health Perspectives*, 165-169.

Waydyanatha, S., Rothman, N., Fustinoni, S., Smith, M. T., Hayes, R. B., Bechtold, W., . . . Rappaport, S. M. (2001). Urinary benzene as a biomarker of exposure among occupational exposed and unexposed subjects. *Carcinogenesis*, 279-286.

Weisel, C. P. (2010). Benzene exposure: An overview of monitoring methods and

their findings. *Chem Biol Interact*, 58-66.

Weisel, C., Yu, R., Roy, A., & Georgopoulos, P. (1996). Biomarkers of Environmental Benzene Exposure. *Environmental Health Perspectives*, 1141-1146.