



Artículo Original

Estimación de riesgos a la salud asociados a cáncer por presencia de benceno en aire en la Refinería “Hermanos Díaz”

Estimation of cancer health risks in the “Hermanos Díaz” Oil Refinery due to the presence of benzene in air

Kleidys Irsula Marén¹, Airen Fernández Cadete², Jorge Luis Santana Romero³  <https://orcid.org/0000-0001-9344-4783>

Historial del artículo

Recibido: 15 agosto 2020

Aceptado: 16 septiembre 2020

¹Refinería de Petróleo “Hermanos Díaz”, Santiago de Cuba, Cuba;

²Central Termoeléctrica “Antonio Maceo”, Santiago de Cuba, Cuba;

³Instituto Superior de Tecnología y Ciencias Aplicadas, Universidad de la Habana, La Habana, Cuba.

Email: santana@instec.cu

Artículo de acceso abierto bajo licencia Creative Commons Atribución NoComercial CompartirIgual (CC-BY-NC-SA) 4.0.



Resumen: Se valora la exposición a tóxicos como el benceno, contenidos en los Contaminantes Orgánicos Volátiles, para pronosticar el riesgo de cáncer en personas con exposición prolongada durante los procedimientos productivos establecidos. Se asoció al riesgo de los efectos cancerígenos con la concentración de benceno en el aire, las características geográficas del lugar y la caracterización de la posible ruta de entrada al organismo, por medio de la metodología de cálculo de riesgos a contaminantes ambientales. Se determina la expresión del riesgo de enfermedades en trabajadores con exposición crónica y se recomiendan medidas para perfeccionar la gestión ambiental empresarial al respecto.

Palabras clave: exposición, contaminante, riesgo, cáncer.

Abstract: Exposure to toxins such as benzene, contained in Volatile Organic Pollutants, is assessed to predict the risk of cancer in people with prolonged exposure during established production procedures. The risk of carcinogenic effects was associated with the concentration of benzene in the air, the geographical characteristics of the place and the characterization of the possible route of entry to the organism, through the methodology for calculating risks to environmental pollutants. The expression of disease risk in workers with chronic exposure is determined and measures are recommended to improve business environmental management in this regard.

Keywords: exposure, pollutant, risk, cancer.

Citación recomendada para este artículo: Irsula Marén, K., Fernández Cadete, A., Santana Romero, J. L. (2020). Estimación de riesgos a la salud asociados a cáncer por presencia de benceno en aire en la Refinería “Hermanos Díaz”. *Monteverdia*, 13 (2), pp. 57-66. Recuperado de: <https://revistas.reduc.edu.cu/index.php/monteverdia/article/view/3603>

Introducción

La actividad industrial que gira alrededor del petróleo es altamente contaminante y generadora de residuos peligrosos. Se caracteriza principalmente por ser emisora de compuestos orgánicos contaminantes en diferentes estados de agregación, constituyendo dentro de ellos, los compuestos volátiles o de bajo punto de ebullición aquellos que difunden más rápido en el aire y provocan un impacto en lo que se conoce como contaminación atmosférica (Fernández, Irsula y

Santana, 2019). Los trabajadores de cualquier refinería se encuentran en posición de vulnerabilidad ya que son expuestos ocupacionalmente por la vía inhalatoria fundamentalmente a concentraciones y efectos de las emanaciones en fase gaseosa de un grupo o familia de sustancias (hidrocarburos de petróleo), cuyo manejo en condiciones nacionales y con la tecnología existente, es difícil de controlar. Dentro de estos compuestos volátiles se encuentran el benceno, el tolueno y en xileno (BTX), (Muñoz y Padilla, 2018) compuestos de estructura aromática,

relativamente resistentes a la degradación ambiental mediante fotodescomposición o degradación microbiana y que persisten en el aire a temperatura ambiente algunos días, tiempo suficiente para ocasionar daños a la salud de trabajadores expuestos por cercanía a las fuentes de emisión y a aquellos que, incluso indirectamente pueden ser afectados por estas emisiones. Dentro de los múltiples contaminantes presentes en el aire ambiente, la determinación de riesgo total incluiría la cuantificación de riesgos no cáncer y de riesgos cáncer, los cuales metodológicamente se diferencian en su apreciación (Ministerio del Ambiente de Perú, 2015)

La determinación de los hidrocarburos que se ejecuta por análisis directo en el aire ambiente puede considerar la presencia de contaminantes orgánicos volátiles (COV) a partir de expresar sus concentraciones totales en equivalentes de benceno ya que es uno de los compuestos más tóxico en las emanaciones. Con el conocimiento de la expresión de la concentración de este contaminante en diferentes lugares de interés, es posible identificar el riesgo presente a la salud que se asocia al proceso productivo por presencia de contaminantes. Es conocido que el benceno es considerado como sustancia cancerígena por su demostrada capacidad de provocar leucemia amiloide y pertenece a la clasificación toxicológica A1 de la agencia de protección ambiental de los EEUU (Office of Superfund Remediation and Technology Innovation, 2009).

El objetivo del presente trabajo es aplicar la metodología de identificación y evaluación de riesgos para la salud en sitios contaminados con probable presencia de agentes cancerígenos (Díaz, 1999; Ministerio del Ambiente de Perú, 2015), identificar los principales vías y rutas de la contaminación, así como ejecutar una encuesta de salud en la etapa analizada dentro de los trabajadores en 2018 de la refinería “Hermanos Díaz”, contrastar los problemas de salud identificados y proponer gestionar ambientalmente aquellos procesos fabriles que inciden en el deterioro de la misma.

El municipio Santiago de Cuba, pertenece a la provincia con el mismo nombre, se ubica en la zona oriental del país y es la segunda ciudad de importancia en la República de Cuba por el número de habitantes, su potencial industrial-productivo y las vías de comunicación que posee en la zona oriental del país.

En esta ciudad, la zona industrial se ubica preponderantemente alrededor de la bahía de Santiago de Cuba, accidente geográfico de importancia estratégica con un gran peso en los servicios ambientales que brinda para el desarrollo de la ciudad. La empresa refinería de petróleo “Hermanos Díaz” es una de las entidades industriales enmarcadas en el área y una de las potencialmente más contaminantes por el importante volumen de petróleo que maneja.

La refinería se ubica en la zona industrial al oeste de la ciudad, en la carretera de Mar Verde km 7 ½ esquina Punta de Sal del municipio Santiago de Cuba. El terreno es irregular con una extensión de 131 hectáreas a orillas de la bahía santiaguera con una costa de altitud de 2 a 2,5 metros sobre el nivel del mar. Se encuentra en la península de Renté, limita al norte con la carretera de Mar Verde, al sur con la bahía de Santiago de Cuba y la Central termoelectrica “Antonio Maceo” (Renté), al este por la cuenca del río San Miguel de Parada, al oeste con la empresa forestal integral Sierra Maestra (Plan de reforestación) y la carretera de la periferia de la Socapa.

El benceno es un líquido incoloro de olor característico. Se evapora al aire rápidamente y es poco soluble en agua. Es sumamente inflamable y se forma tanto de procesos naturales como de actividades humanas. Los volcanes e incendios forestales constituyen algunas fuentes naturales. Se emplea para hacer ciertos tipos de gomas, lubricantes, tinturas, detergentes, medicamentos y pesticidas. El benceno es también un constituyente natural del petróleo crudo, la gasolina y el humo de cigarrillos (Agency for Toxic Substances and Disease Registry & Division of Toxicology and Human Health Sciences, 2007).

Los procesos industriales constituyen la principal fuente de benceno en el medio ambiente, puede pasar al aire desde el agua y desde el suelo. Reacciona en el aire con otros productos químicos y se degrada en unos pocos días, puede adherirse a lluvia o nieve y así ser transportado de nuevo al suelo (Real Decreto 374/2001). Se degrada lentamente en agua y en el suelo, y puede pasar a través del suelo a aguas subterráneas. No se tiene información de su posible acumulación en plantas o en animales.

El aire libre, generalmente contiene niveles bajos de benceno provenientes del humo de cigarrillos, gasolineras, emisiones industriales y del tubo de escape de automóviles, entre otras fuentes. El aire

interior de muchos establecimientos industriales generalmente contiene niveles de benceno más altos; estos provienen de productos que contienen benceno tales como pegamentos, pinturas, cera para muebles, y detergentes por lo que se insta a que el monitoreo de la calidad del aire sea un proceso sistemático. El aire en los alrededores de vertederos o de gasolineras contiene niveles de benceno más altos. Las personas que trabaja en industrias que fabrican o usan benceno pueden presentar más altos niveles de exposición.

Respirar elevados niveles de benceno en episodios agudos puede causar la muerte, mientras que niveles altos pueden causar somnolencia, mareo, aceleración del latido del corazón, cefalea, temblores, confusión y pérdida del conocimiento (Asprilla y Córdoba, 2013). La ingestión de altos niveles puede causar vómitos o convulsiones; rápidos latidos cardíacos e incluso la muerte. La exposición de larga duración (365 días o más) en lo que se conoce como exposición crónica, produce alteraciones en la médula de los huesos y puede causar anemia y leucemia (Calera, Roel, Casal, Gadea y Rodrigo, 2005; Calera, 2006) por lo que la gestión de enfermedades asociadas al cáncer debe constituir una prioridad (Evans & Laloo, 2002; Laloo, Bronwyn, Friedman & Gareth, 2005).

Hay varios exámenes que pueden revelar si las personas han estado expuestas al benceno, pero las mismas se acompañan de grandes dificultades prácticas en su instrumentación. La determinación de benceno en el aliento debe hacerse poco después de la exposición. También se puede medir el benceno en la sangre, sin embargo, debido a que el benceno desaparece rápidamente de la sangre, las mediciones son precisas sólo en casos de exposiciones recientes (Asprilla y Córdoba, 2013).

En el organismo, el benceno es convertido en productos llamados metabolitos. Ciertos metabolitos pueden medirse en la orina. Sin embargo, este examen debe hacerse con prontitud después de la exposición y su resultado no indica con confianza a cuanto benceno estuvo expuesto el individuo, ya que los metabolitos en la orina pueden originarse de otras fuentes. De lo anterior se puede concluir que el abordaje toxicológico de la estimación de dosis de contaminantes en el organismo humano puede ejecutarse a partir de considerar la vía y ruta de entrada de los mismos al organismo a partir de considerar la dosis de exposición ambiental a la cual

el mismo está sometido y la clasificación del compuesto contaminante en cancerígeno o no. Esta clasificación define la existencia en los estudios toxicológicos la presencia de un umbral de respuesta de los organismos en estudio y también define los métodos de evaluación y cálculo del riesgo para la salud (Ministerio del Ambiente de Perú, 2015). Tal es el caso de la investigación del presente trabajo en el cual el enfoque se realiza en la identificación y estimación del riesgo asociado a cáncer a partir del conocimiento de la presencia de benceno entre los contaminantes presentes en el aire.

Es necesario destacar que Cuba se rige por las normas internacionales para la protección de la salud a los trabajadores por lo que mantener una vigilancia actualizada de las condiciones de exposición de los mismos es necesario. A manera de guías internacionales de referencia se estima por ejemplo por el comité científico de la Unión Europea para la determinación de límites de exposición ocupacionales (SCOEL) establece para el benceno un límite de exposición en el aire del lugar de trabajo de 1 parte por millón (1 ppm) en una jornada de 8 horas de trabajo y 40 horas semanales.

Materiales y métodos

La refinería ocupa un área de 131 hectáreas de terreno. Construida en lo fundamental hace más de 60 años, la refinería hoy posee una tecnología obsoleta, fugas en algunos ductos y los procesos de la gestión ambiental que se sostienen no son totalmente eficaces.

Dentro de ella, los puntos emisores o la fuente de las emisiones gases a la atmósfera con alta concentración de benceno y que constituyen fuente de impacto directo a los trabajadores son:

- Cargaderos de camiones (automotor) y ferrocarril (carro tanques)
- Laboratorio de combustible
- Plantas productivas (Combinadas 1 y 2)
- Área de tanques (principalmente tanques de gasolina)
- Muelle marítimo

El método para el estudio de la exposición a contaminantes tóxicos (benceno) se realizó mediante una valoración de exposición de los trabajadores en contacto con el mismo mediante la metodología de

identificación y evaluación de riesgos para la salud en sitios contaminados (Díaz, 1999). Para estimar la importancia del contaminante, se comparará su concentración en el aire contra un valor de referencia denominado “Valor Guía de evaluación para medios ambientales” (EMEG por sus siglas en inglés). Los valores han sido propuestos por la ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry). La EMEG no es una norma ambiental, su única función es servir como referencia para definir los posibles contaminantes críticos del sitio. Para su cálculo, se toma en cuenta la dosis con la cual el contaminante no causa daño alguno (Agency for Toxic Substances and Disease Registry & Division of Toxicology and Human Health Sciences, 2007), convirtiéndose en una guía de máxima seguridad. Un contaminante cuya concentración en el ambiente previsiblemente supere a la EMEG en cualquiera de los medios ambientales deberá ser sujeto a un análisis toxicológico. Si no rebasa el contaminante a la guía de referencia en alguno de los medios analizados podría ser descartado (Díaz, 1999). Es importante destacar que la estimación toxicológica puede ser realizada a partir de diferentes modelos científicos descritos en la bibliografía.

Los datos empleados corresponden a los sitios o puntos generadores más significativos de las emanaciones de COV. Las muestras de análisis fueron obtenidas por el Centro de Investigación del Petróleo en sus campañas de servicio de monitoreo el día 15 de noviembre de 2018. Las muestras fueron tomadas y analizadas con equipo Multiwarn II de la firma alemana Draeger. Para la determinación de estos contaminantes en aire ambiente, que utilizan 3 sensores electroquímicos (SO₂, NO_x, H₂S), un sensor IR (hidrocarburos) y un sensor Cat-Ex (COV). Con relación a los COV, el sensor Cat-Ex del analizador combina dos métodos de medición, lecho catalítico y conductividad térmica, por lo que determina estos compuestos aromáticos y además otras sustancias presentes con alta probabilidad en los vapores inflamables que se encuentran en la composición del gas licuado, tales como los compuestos C3 hasta C7, los cuales contribuyen a los valores obtenidos en la práctica y aunque pueden ser tóxicos, su rol y potencia como agentes cancerígenos no está determinada. Esta condición hace que los datos estimados por este método sobreestimen los valores reales de benceno determinado, aunque metodológicamente se expresen como cantidad de este contaminante. Los datos

meteorológicos se determinaron in situ con un flujómetro SKAWATCH de medición de velocidad y rumbo de viento, temperatura ambiente y presión barométrica. Los datos experimentales se muestran en la Tabla 1. y constituyen la expresión de los datos promedios para cada variable determinada el día de la ejecución del muestreo.

Durante el muestreo, las zonas de la refinería más activas en la emisión de contaminación estaban fuera de servicio por problemas técnicos (destilación y reformación), solo se laboraba en las calderas, los cargaderos automotor y ferrocarril, y el muelle.

Resultados y discusión

a) Identificación del contaminante crítico con peligro a la salud

En la Tabla 1., se muestran las concentraciones de gases contaminantes en las zonas de trabajo, expresadas como promedio diario de las determinaciones en ppm. Por lo general fueron emplazados los puntos de muestreo en los sitios cercanos a la fuente o punto emisor con riesgo de contaminar. Estos resultaron:

Punto 1. Zona separador API.

Punto 2. Área de compresores (Combinada 2).

Punto 3. Casa de bombas.

Punto 4. Laboratorio de combustibles.

Punto 5. Cargadero de camiones y edificio del despacho.

Punto 6. Estación edificio metrología y edificio central.

Tabla 1. Muestreo de la calidad del aire en la refinería. Datos promedios diarios

| Puntos muestreo | H ₂ S mg/m ³ | SO ₂ mg/m ³ | NO _x mg/m ³ | HC ppm CH ₄ | COV ppm C ₆ H ₆ | Presión hPa | T(°C) |
|-----------------|---------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------|---|----------------|-------|
| 1 | 0,147 | ND | 0,022 | 2075 | 507 | 1017 | 33 |
| 2 | 0,012 | 0,043 | 0,025 | 953 | 272 | 1017 | 33 |
| 3 | 0,532 | 0,153 | 0,030 | 1787 | 262 | 1017 | 33 |
| 4 | 0,294 | 0,087 | 0,012 | 2518 | 359 | 1017 | 34 |
| 5 | 0,488 | 0,071 | 0,033 | 2332 | 178 | 1015 | 33 |
| 6 | 0,086 | 0,029 | 0,051 | 1412 | 78 | 1016 | 33 |

Para evaluar los riesgos provocados por los contaminantes, en específico el benceno, se consideró

un valor de referencia, reportado en los diferentes modelos. Para ello se comparó la concentración en aire del benceno, determinada en la práctica, con el valor reportado en la EMEG para esta sustancia.

$$\text{EMEG} = \frac{\text{MRL (mg/Kg/día)} \cdot \text{PC (Kg)}}{\text{TI (Kg/día)}} \quad \text{ec. 3.1}$$

Donde MRL es la dosis de referencia para vía inhalatoria reportada por ATSDR que aún no se asocia a riesgos de salud establecida en 0,003 ppm (Agency for Toxic Substances and Disease Registry & Division of Toxicology and Human Health Sciences, 2007). Para el benceno se consideró, a partir de las recomendaciones del análisis toxicológico que, para un adulto de peso corporal, (PC) de 70 kg y una tasa de ingestión de aire de 23 m³ diarios, la EMEG para aire contaminado con benceno y estudio de vía inhalatoria, es igual 0,3 ppm.

Como se puede observar de la tabla anterior, las concentraciones ambientales determinadas sobrepasan tanto la EMEG como el valor de concentración ambiental de exposición máxima permisible determinado en 1ppm. Es posible entonces considerar al benceno un contaminante crítico dentro del sistema refinera y se justifica iniciar los estudios de riesgo toxicológico. Estudios anteriores (Acevedo, 2006) han demostrado que la exposición prolongada a concentraciones inferiores a la máxima concentración ambiental permitida entre 40-60 ppb, puede provocar efectos graves en la salud, en particular afectaciones a la médula ósea y cáncer.

En la práctica, el menor valor determinado en los análisis realizados correspondió al punto 6 con una concentración promedio diaria de 77,2 ppm de COV expresados como benceno, correspondería a 61,76 mg/m³ de benceno en el aire. Aunque esta zona está un poco distante de los puntos emisores, es una zona que tiene una relativamente alta concentración de personas ocupacionalmente expuestas. El lugar para el cual se determinó la concentración promedio máxima de benceno correspondió al separador API 507,5 ppm de COV (406 mg/m³ de benceno equivalente). En todos los puntos existe la influencia de los vientos predominantes en el área de dirección este y que se corresponden como promedio en el municipio donde se ubica la refinera objeto de estudio, con una velocidad de 4m/seg.

b) Estimación preliminar del riesgo

De acuerdo con la metodología empleada, al ser mayor la concentración determinada experimentalmente que el valor de referencia en el punto 6, incluso cuando este punto corresponde al menor valor de concentración de los determinados en el ambiente de la refinera. Por sus niveles de concentración alcanzados en la práctica, se consideró al valor de COV, expresado en este trabajo como benceno en calidad de contaminante crítico, lo cual implicó un compromiso mandatorio para continuar el análisis hasta determinar el riesgo de las personas presentes en el área, a desarrollar una enfermedad, en este caso cáncer, ya que el analito considerado como modelo en el estudio clasifica como sustancia cancerígena según la Organización Mundial de la Salud (International Programme on Chemical Safety, 1993; International Labour Organization & World Health Organization, 2016). Las etapas seguidas por los autores a partir de las recomendaciones ofrecidas en la literatura científica fueron:

1. Identificación de la ruta preferencial de entrada al organismo.
2. Estimación de la exposición
3. Análisis de dosis
4. Características del riesgo
5. Factores asociados al riesgo.

Identificación del contaminante y su ruta preferencial de entrada

La ruta de exposición más importante considerada para el benceno en el análisis que nos ocupa es a través de la inhalación del aire contaminado con benceno por parte de los trabajadores ocupacionalmente expuestos. En comparación con otras rutas como la ingestión oral o la dérmica, la inhalación en la presente investigación es predominante ya que se considera a las personas que laboran en el sitio como potencialmente expuestos a las emisiones gaseosas se generan en los sitios estudiados, y van a parar a la atmósfera por lo que pueden ser respirados. Dado que el personal emplea ropa de trabajo adecuada y no ingiere bebidas o comidas durante la faena, las posibles rutas de entrada por ingestión o transdérmica, fueron desestimadas. La exposición en los trabajadores por lo general, tiene una frecuencia de cinco días a la semana y 8 horas/día. Esto equivale aproximadamente a 160 horas/mes. Se

consideró para el cálculo un tiempo promedio aproximado de 30 años de trabajo en la entidad. Las personas principalmente expuestas son los trabajadores técnicos de la refinera.

Estimación de la dosis de exposición

Para determinar aproximadamente la dosis de benceno que está siendo absorbida por un individuo expuesto, se tuvo en cuenta los medios ambientales para los que se cuenta con datos analíticos confiables, resumidos en 6 puntos. En cada punto se obtuvo con el muestreo analítico la concentración mínima, máxima y promedio del contaminante crítico, en este caso el benceno, para los ambientes o puntos seleccionados. Se analizó además la vía de exposición para la ruta crítica solo para el caso de inhalación por aire contaminado. Teniendo en cuenta que el grupo de mayor riesgo en el sitio son los trabajadores de la refinera que respiran un aire con alta concentración de sustancias volátiles en las que el benceno es determinante. Se calculó la dosis por la siguiente expresión (Ministerio del Ambiente de Perú, 2015):

$$\text{Dosis exp. (mg/kg/d)} = C_{\text{benceno}} \times \text{TI} \times \text{FE} / \text{PC} \quad \text{ec. 3.2}$$

Donde:

C_{benceno} es la concentración ambiental de benceno.

TI es la tasa de ingestión de aire al respirar (23 m³/día).

FE es el factor de exposición crónica

PC es el peso corporal para adultos (70 kg)

El factor de exposición se determinó como la relación entre la frecuencia de exposición temporal entre el tiempo de exposición laboral a lo largo de alrededor de 30 años para una persona ocupacionalmente expuesta que arriba a la edad de jubilación, 65 años. Expresa que parte de su vida estuvo expuesta esta persona a concentraciones ambientales de posibles contaminantes ambientales.

$$\text{FE} = \frac{5 \text{ días/semana}}{7 \text{ días/semana}} \cdot \frac{48 \frac{\text{semanas}}{\text{año}}}{52 \frac{\text{semanas}}{\text{año}}} \cdot \frac{30 \text{ años}}{65 \text{ años}} \quad \text{ec. 3.3}$$

$$\text{FE} = 0,304$$

Si se considerara que sólo la tercera parte de las concentraciones de COV determinadas

experimentalmente corresponden realmente a benceno, dadas las incertidumbres asociadas al método de la determinación analítica empleado en el monitoreo y la influencia de las altas temperaturas presentes que pudieran estar incrementando la volatilidad de los congéneres de bajo punto de ebullición como C₃-C₇, el cálculo de la dosis mínima de benceno que se recibe en el punto 6, correspondiente al lugar de muestreo menos contaminado de los determinados en la refinera, se pudiera expresar de la manera siguiente:

$$\text{Dosis exp. (benceno) min} = \frac{20,6 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \cdot 23 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \cdot 0,32}{70 \text{ kg}} \quad \text{ec. 3.4}$$

$$\text{Dosis exp. (benceno) min} = 2,16 \text{ mg/kg/día}$$

La dosis mínima estimada de exposición de la concentración de benceno en un año, para un hombre de 65 años, con un tiempo de trabajo promedio de 30 años y un peso corporal de 70 kg, en el punto de menor concentración experimentalmente determinada en un día de trabajo es de 2,16 mg/kg/día. Si se sigue el mismo esquema de trabajo, es posible determinar la dosis de exposición humana en el punto 1 que es el que refiere mayor concentración de benceno en el aire 507,5 ppm (406 mg/m³), para calcular la dosis de exposición al benceno si se asume sólo la tercera parte del valor de determinación total de COV (136 mg/m³) en adultos ocupacionalmente expuestos, es de 14,2 mg/kg/día. Para todo el personal de la refinera, a partir de los valores promedio de las determinaciones ejecutadas, la dosis aproximada de exposición a benceno sería de 7,74 mg/kg/día a partir de considerar que las condiciones meteorológicas propician la mezcla de las emisiones provenientes de los diferentes puntos de contaminación.

Análisis de los riesgos asociados a exposición de agentes cancerígenos

La incapacidad de los análisis toxicológicos en animales empleados en calidad de modelos biológicos para detectar pequeños riesgos (a partir de exposiciones continuadas a pequeños niveles de dosis) presenta una de las dificultades más grandes para la aplicación de datos toxicológicos en la evaluación de riesgos (cita). En el caso de los contaminantes cancerígenos, no existe todavía un consenso a nivel internacional sobre cuál es la mejor forma de abordar la cuantificación de la relación dosis-respuesta. El método más extendido hasta la fecha consiste en el

desarrollo de modelos matemáticos a partir de datos experimentales en el rango de efectos observables, a partir de los cuales se elabora una curva que relaciona la dosis de exposición con la respuesta carcinogénica de los organismos. Para estimar la respuesta a dosis mucho menores de las que generan cáncer, se simplifica la curva a una recta en el rango de bajas dosis. De ahí se obtienen los valores del Factor de Pendiente de Curva para cáncer [FPC, (mg/kg/día)⁻¹] o el Factor de Riesgo Unitario [FRU, (mg/l o mg/m³)⁻¹], utilizados para caracterizar a efectos prácticos la relación dosis-respuesta y que los mismos puedan ser empleados con efectos predictivos. En la práctica, estos factores pueden ser obtenidos para cada contaminante de interés del banco de datos IRIS (<http://www.epa.gov/ngispgm3/iris>) o de la información bibliográfica distribuida por ATSDR (<http://www.tera.org/ITER>).

Para la estimación del riesgo individual de cáncer se calculó el índice de riesgo (IRc) a partir de los datos establecidos para los dos modelos existentes.

Las expresiones seleccionadas fueron:

$$\text{IR} = D \exp. (\text{benceno}) \times \text{FPC} (\text{benceno}) \quad \text{ec. 3.5}$$

$$\text{IR} = C (\text{ambiental benceno}) \times \text{FRU} \quad \text{ec. 3.6}$$

De la literatura fueron tomados los valores de FPC [$2,9 \times 10^{-2} (\text{mg/kg/día})^{-1}$] y de FRU [$4 \times 10^{-6} (\text{mg/m}^3)^{-1}$] para el contaminante de interés benceno.

Los trabajadores expuestos a la dosis máxima determinada durante su vida laboral, presentan un índice riesgo individual según el modelo FPC de 0,41, lo cual es bastante alto. Para el trabajador promedio de la refinería, la probabilidad se reduce, a partir de las condiciones de muestreo un IR individual igual a 0,22. Físicamente, indica la probabilidad que, sobre el riesgo base existente, los trabajadores expuestos desarrollen cáncer por verse sometidos a determinadas dosis de exposición con un 95% de certidumbre.

Según el modelo de riesgo unitario (FRU), el índice de riesgo individual calculado para la exposición a concentraciones máximas es de 5×10^{-4} , cuyo significado es la probabilidad de aparición de cáncer por unidad de medio de exposición, o sea aire con una concentración de 1 mg/ m³ de contaminante. El IR individual para los trabajadores de la refinería, calculada a partir de la concentración promedio (220,8 mg/m³) de benceno calculada es de 2×10^{-4} . El significado de estos datos desde el punto de vista

epidemiológico se refiere a la alta probabilidad de que 2 personas de cada 10 000, enfermen de cáncer por concepto de la influencia sistemática de esta contaminación, por encima de la concentración ambiental base. Es ligeramente superior al rango de toma de decisiones para la mitigación de los efectos de contaminación (10^{-6} - 10^{-4}) que provoca la afectación cancerígena lo que alerta sobre posibles efectos de cáncer en la población receptora, pero dadas las incertidumbres de la determinación es probable colocarla en la zona de indeterminación a la espera de profundizar de manera acelerada en los análisis con mejores procedimientos y mejorar la gestión ambiental de la entidad. Es necesario considerar que, en las condiciones deseadas para el trabajo en cualquier entidad, incluyendo el medio ambiente natural este valor es de 10^{-6} o menor.

El riesgo poblacional de la refinería, si se asume que el colectivo de trabajadores fijos alcanza la cifra de 700, es el resultado del producto del IR individual promedio y el número total de trabajadores. El riesgo total calculado indica que el número de afectados son 14, o sea, es posible que 14 trabajadores de por vida, con largos tiempos de trabajo en la refinería y una alta exposición a la contaminación, hayan enfermado de cáncer o enfermarán en un periodo de vida de aproximadamente 78 años, que es el valor estimado de la esperanza de vida en Cuba.

De acuerdo con la literatura (Office of Superfund Remediation and Technology Innovation, 2009) el incremento anual de los casos de cáncer por exposición a benceno en la refinería sería aproximadamente de 0,2 lo que significa como promedio un caso nuevo cada 5 años, por encima de la morbilidad basal, propia de la localidad.

La aplicación de la metodología de identificación de riesgos no excluye la valoración de la influencia de otros factores en el riesgo de cáncer de la población estudiada. Estos factores pueden ser de naturaleza positiva o mitigadora de estos efectos, pero también lo pueden ser de naturaleza negativa. En este sentido se debe considerar la presencia de otros contaminantes en el sitio que pueden provocar irritación de las mucosas, incremento en la adsorción del contaminante, incrementar la sensibilidad de las personas afectadas y disminuir la resistencia individual de cada persona ante la acción mutagénica del contaminante, los cuales pudieran actuar de

manera sinérgica en el sistema metabólico, acondicionando la posibilidad de un incremento de las condiciones de toxicidad.

Se precisan de estudios adicionales para identificar y estimar la magnitud del riesgo total en todos los posibles escenarios, así como la influencia del riesgo no cáncer a partir de los niveles de contaminantes no cancerígenos determinados en el aire de la refinería.

Propuesta de plan de medidas para la gestión ambiental del proceso de refinación de crudo a partir del estudio del riesgo realizado

Dadas las condiciones de riesgo calculado, aun cuando parte significativa de las locaciones más contaminantes dentro de la refinería estuvieron inactivas durante el muestreo, constituye una alerta importante para ejecutar planes de medidas que estén destinadas a mejorar las condiciones ambientales de producción en la refinería y asegurar la salud de los trabajadores. Dentro de ellas la propuesta de un plan de medidas que contemple las siguientes medidas:

1. Acortar los tiempos de exposición de los trabajadores ocupacionalmente expuestos en los lugares más contaminados.
2. Ejecutar la inversión para la modernización del sistema de tratamiento de residuales líquidos, para evitar que los compuestos orgánicos volátiles vayan a la atmósfera para contaminar el aire.
3. Exigir a trabajadores mayormente expuestos (puntos caliente o emisores) que usen los medios de protección individual, necesarios para el cuidado de su salud.
4. Realizar una evaluación toxicológica de la exposición al benceno en sitios no evaluados en este estudio y repetir el estudio con el empleo de métodos analíticos más específicos para benceno.
5. Realizar la evaluación de la dosis de exposición individual para las mujeres. Velar por las condiciones de aquellas compañeras que resulten embarazadas.
6. Adquirir brazos de carga articulados o mangueras para que la carga de los carros tanques o carros cisternas se realice por la parte inferior, logrando hermeticidad, para evitar la emisión del benceno al medio.
7. Cambio de tecnología para tanques de crudo y gasolina por techo de domo geodésico.

8. Automatización del área de tanques y cargaderos para evitar o disminuir las emisiones del benceno a la atmósfera.

9. Caracterizar trimestralmente al menos las zonas o puntos emisores, con métodos analíticos más específicos para el benceno como la cromatografía gaseosa.

10. Implementar a corto plazo un cronograma por área que permita el chequeo y seguimiento regular a la salud de los trabajadores, especificando las enfermedades identificadas.

11. Realizar y ejecutar inmediatamente un sistema educativo para trabajadores y pobladores más cercanos sobre este tipo de contaminante y comunicar el riesgo al que son expuestos.

12. Proponer la adquisición de pailas o carros cisternas para gasolinas con la toma de carga por la parte inferior.

13. Realizar la caracterización del riesgo para cuantificar las personas con probabilidad de desarrollar enfermedades profesionales como cáncer, alergias y trastornos respiratorios dentro de la refinería.

La encuesta de salud desarrollada como parte del trabajo, permitió conocer que además de algunos casos de cáncer detectados en trabajadores expuestos, incluidos los jubilados, se manifiestan procesos de displasias, alergias, intoxicaciones y afectaciones respiratorias por lo que la aplicación de la metodología puede considerarse validada en la práctica y tiene el propósito de contribuir a la toma de decisiones de gestión para fortalecer el sistema de protección a la salud.

Conclusiones

Se aplicó la metodología de identificación y evaluación de riesgos de cáncer, en los trabajadores en la refinería “Hermanos Díaz” de Santiago de Cuba, a partir de considerar sólo la contribución a la contaminación del aire ambiente en el entorno laboral por benceno, reconocido agente cancerígeno.

Se pudo determinar que el benceno es un contaminante crítico o de preocupación en el área de estudio y que su principal vía de exposición al cuerpo del personal ocupacionalmente expuesto es por vía de inhalación de aire contaminado, aunque la vía de adsorción transdérmica pueda ser considerada como

otra vía significativa en el futuro. Se determinó de manera preliminar y no conclusiva el valor de la dosis exposición crónica sólo para la primera de las vías mencionadas y para los individuos que se encuentran expuestos de manera permanente en este sitio laboral. La misma alcanza los niveles riesgo al ubicarse sus valores en zona superior al rango de toma de decisiones ambientales (10^{-6} - 10^{-4}), por lo que, aunque la determinación realizada está asociada a incertidumbres importantes y se redujo el valor analítico del contaminante atendiendo a causas ambientales, el riesgo no es descartable. El riesgo poblacional indica que aproximadamente una decena de trabajadores pudo haber enfermado de cáncer bajo las condiciones de exposición crónica durante aproximadamente 30 años de labor. Prospectivamente se determinó que es probable que pueda aparecer un caso nuevo de cáncer cada 5 años vinculado a la contaminación, de continuar los niveles actuales en los mismos niveles, por lo que urge desarrollar un plan de medidas para incrementar los niveles de la gestión ambiental empresarial en el que se empleen métodos más específicos de determinación de benceno, para eliminar las incertidumbres declaradas en el trabajo y se mejoren las condiciones de monitoreo de la contaminación.

Financiamiento de la investigación

El desarrollo de esta investigación, se realiza bajo el auspicio de la refinería “Hermanos Díaz” de la ciudad de Santiago de Cuba, y el Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas de la Universidad de La Habana, Cuba.

Contribución de los autores

Irsula Marén: planeación de la investigación, conducción de la aplicación de la metodología, recopilación y procesamiento de la información, diseño de la encuesta, revisión documental, análisis de resultados, redacción del artículo y revisión final.

Fernández Cadete: planeación de la investigación, recopilación y procesamiento de la información, análisis de resultados, redacción del artículo y revisión final.

Santana Romero: Dirección y planeación de la investigación, conducción de la aplicación de la metodología, recopilación y procesamiento de la información, revisión documental, análisis de resultados, redacción del artículo y revisión final

Conflictos de intereses

No se expresan conflictos de intereses.

Referencias

- Acevedo García, J. (2006). *Evaluación del riesgo para la salud humana asociado a la exposición a BTEX en las gasolineras de Quito*. (Memoria Maestría. Universidad de San Francisco de Quito, Ecuador). Recuperado de <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/885/1/80847.pdf>
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry & Division of Toxicology and Human Health Sciences. (2007). *Benzene - ToxFAQs™*. Atlanta, USA. Recuperado de <https://www.atsdr.cdc.gov/toxfaqs/tfacts3.pdf>
- Asprilla Blandon, L. J. y Córdoba Zapata, P.A. (2013). *Leucemia por exposición a benceno en los trabajadores de las refinerías de petróleo*. (Memoria de Especialidad. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia). Recuperado de <http://www.udea.edu.co/wps/wcm/connect/udea/9aba54e9-6297-4095-b577-5d27823efc32/leucemia+por+exposic+i%C3%B3n+a+benceno.pdf?MOD=AJPERES>
- Calera Rubio, A. (2006). *Diagnóstico de la utilización de sustancias químicas en la industria española*. Madrid, España: Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud.
- Calera Rubio, A. A., Roel Valdés, J. M., Casal Lareo, A., Gadea Merino, R. y Rodrigo Cencillo, F. (2005). Riesgo químico laboral: Elementos para un diagnóstico en España. *Revista Española de Salud Pública* 79 (1), 283-295. Recuperado de <https://scielosp.org/pdf/resp/2005.v79n2/283-295/es>
- Díaz Barriga, F. (1999). *Metodología de identificación y evaluación de riesgos para la salud en sitios contaminados*. (OPS/CEPIS/PUB/99.34). Lima, Perú. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente-Organización Panamericana de la Salud-Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud. Recuperado de https://cidta.usa.es/riesgos/CD1/riesgos_ambientales/metodolo.pdf
- Evans, D. G. R. & Lalloo, F. (2002). Risk assessment

and management of high risk familial breast cancer. *Journal of Medical Genetic* 39 (12), 865-871. DOI: <http://dx.doi.org/10.1136/jmg.39.12.865>

Fernández Cadete, A., Irsula Marén, K. y Santana Romero, J. L. (2019). Diagnóstico ambiental de las concentraciones de dióxido de azufre producidas por la Termoeléctrica “Antonio Maceo”. *Monteverdia* 12 (2), 26-33. Recuperado de <https://revistas.reduc.edu.cu/index.php/monteverdia/article/view/2960/2951>

International Labour Organization & World Health Organization. (2016). *Benzene. (ICSC: 0015)*. Recuperado de https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_card_id=0015&p_version=2&p_lang=en

International Programme on Chemical Safety. (1993). *Environmental Health Criteria 150 Benzene*. World Health Organization. Recuperado de <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc150.htm>

Laloo, F., Bronwyn, K., Friedman, J.& Gareth, E. (eds.) (2005). *Risk Assessment and Management in Cancer Genetics*. Oxford, UK: Oxford University Press.

Ministerio del Ambiente de Perú. (2015). *Guía para la elaboración de estudios de evaluación de riesgos a la salud y el ambiente (ERSA) en sitios contaminados*. Lima, Perú: Autor. Recuperado de <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2015/02/Anexo-R.M.-N%C2%B0-034-2015-Guia-ERSA.pdf>

Muñoz Patiño, A. F. y Padilla Estrada, O. J. (2018). *Control ambiental: El control de COV en procesos industriales*. ISAGEN. Recuperado de <https://docplayer.es/73585261-Control-ambiental-el-control-de-cov-en-procesos-industriales.html>

Office of Superfund Remediation and Technology Innovation. (2009). *Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I: Human Health Evaluation Manual (Part F, Supplemental Guidance for Inhalation Risk Assessment)*. (EPA-540-R-070-002). Washington DC, USA. U.S. Environmental Protection Agency. Recuperado

de https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/partf_200901_final.pdf

Real Decreto 374/2001. [Ministerio de Empleo y Seguridad Social, Gobierno de España] *Guía para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con los agentes químicos presentes en los lugares de trabajo*. BOE No 104, de 1 de mayo de 2001.