

ARTÍCULO ORIGINAL

Evaluación de la exposición a solventes orgánicos en pintores de carros de la ciudad de Bogotá

Marien Palma¹, Leonardo Briceño², Álvaro J. Idrovo³, Marcela Varona²

¹ Grupo de Salud Ocupacional y del Ambiente, Instituto Nacional de Salud, Bogotá, D.C., Colombia

² Facultad de Salud Pública, Universidad del Rosario, Bogotá, D.C., Colombia

³ Departamento de Salud Pública, Escuela de Medicina, Facultad de Salud, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia; Programa de Fisioterapia, Universidad Manuela Beltrán, Bucaramanga, Colombia

Introducción. Los pintores de vehículos automotores están expuestos a solventes puros o mezclas, los cuales se han asociado con efectos neurológicos, mutagénicos y cancerígenos.

Objetivo. Caracterizar las condiciones de salud y de trabajo de individuos expuestos a solventes orgánicos empleados en talleres de lámina y pintura de carros de Bogotá.

Materiales y métodos. Se hizo un estudio transversal descriptivo en el que se caracterizaron las condiciones de salud y de trabajo de individuos expuestos a solventes orgánicos en talleres de lámina y pintura en Bogotá. Se comparó un grupo de trabajadores expuestos a solventes orgánicos con un grupo no expuesto. Se determinaron las concentraciones de benceno, tolueno y xileno en el aire, se hizo una encuesta individual y se midieron los ácidos fenil-mercaptúrico, hipúrico, orto y para-metilhipúrico en orina. Los resultados de las mediciones y de la encuesta se correlacionaron para establecer el panorama de exposición.

Resultados. Hubo diferencias estadísticamente significativas entre la población expuesta y la no expuesta a solventes ($p < 0,001$) en cuanto a los tres metabolitos de benceno, tolueno y xileno. Se encontraron correlaciones positivas entre el tolueno en el aire y el ácido hipúrico en la orina de los individuos expuestos ($r = 0,82$), y entre el xileno en el aire y el ácido o-metilhipúrico ($r = 0,76$). Los valores del ácido hipúrico estuvieron por encima de los límites permisibles en 11 trabajadores y, los de ácido p-metilhipúrico, en ocho de ellos. No se registraron valores de ácido fenil-mercaptúrico por fuera del límite permitido.

Conclusión. Los pintores de carros están expuestos a niveles altos de solventes orgánicos en sus sitios de trabajo, y no tienen condiciones adecuadas de higiene y seguridad industrial para realizar sus labores.

Palabras clave: solventes, benceno, tolueno, exposición ocupacional.

doi: <http://dx.doi.org/10.7705/biomedica.v35i0.2268>

Evaluation of exposure of auto painters to organic solvents in the city of Bogota

Introduction: Painters of automobiles are exposed to pure and mixed solvents that have been associated with neurological effects and carcinogenic mutations.

Objective: To characterize the health and work conditions of individuals who are occupationally exposed to organic solvents used in sheet metal and auto body shops in Bogota.

Materials and methods: Descriptive, cross-sectional study that characterizes the health and work conditions of individuals exposed to organic solvents in sheet metal and auto body shops in Bogota. A group exposed to the solvents was compared to an unexposed group. Air concentrations of benzene, toluene and xylene (BTX) were determined, individual questionnaires were administered and phenylmercapturic, hippuric and ortho- and para-methylhippuric acids were measured in urine. The results of the measurements and the questionnaires were correlated to determine the exposure panorama.

Results: For the three BTX metabolites, statistically significant differences ($p < 0.001$) were found between the population exposed to the solvents and the unexposed population. For the exposed population, positive correlations were found between toluene in air and hippuric acid in urine ($\rho = 0.82$) and between xylene in air and o-methylhippuric acid in urine ($\rho = 0.76$). Hippuric acid values exceeded permissible levels in 11 workers and p-methylhippuric acid exceeded permissible levels in 8 workers. None of the phenylmercapturic values exceeded the limit.

Contribución de los autores:

Ruth Marien Palma: elaboración del protocolo y trabajo de campo

Todos los autores participaron en el análisis estadístico de los datos y en la escritura del manuscrito.

Conclusion: Auto painters are exposed to high levels of organic solvents at the workplace and do not have adequate industrial health and safety conditions to perform their jobs.

Key words: Solvents, benzene, toluene, occupational exposure.

doi: <http://dx.doi.org/10.7705/biomedica.v35i0.2268>

En repetidas oportunidades, la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha llamado la atención sobre la exposición a sustancias químicas en los lugares de trabajo, y las enfermedades y accidentes resultantes de esta situación (1). Entre la gran cantidad de productos químicos utilizados en el mundo, los solventes orgánicos ocupan un papel relevante, ya que son compuestos con múltiples usos industriales y representan un factor de riesgo para los trabajadores que laboran con ellos. Los pintores de vehículos automotores están expuestos a sustancias nocivas como los solventes puros, a mezclas complejas como el diluyente, o a pinturas elaboradas con pigmentos que contienen solventes como el benceno, el tolueno y el xileno, los cuales se han asociado con efectos mutagénicos, carcinógenos y teratogénicos (2,3) y otros trastornos principalmente de tipo neurológico (4-6).

Los solventes orgánicos son sustancias de naturaleza orgánica que se utilizan solos o en combinación con agentes tensoactivos, como los plastificantes o los conservantes, para pegar, desengrasar, limpiar, plastificar, flexibilizar, pintar y lubricar (7). Son hidrocarburos de alta movilidad en el ambiente, que se presentan en forma líquida o gaseosa (8) y pueden actuar como reguladores de la expresión de algunos genes (9). Además, pueden alcanzar el sistema nervioso central o periférico después de haber sido inhalados y absorbidos, produciendo alteraciones neurológicas y psicológicas, afectivas y de la personalidad (10). Son muy volátiles, liposolubles y, una vez que ingresan al organismo, sufren diferentes reacciones metabólicas (11,12) que logran incrementar su solubilidad y facilitan su excreción en la orina (13,14).

Según la *Internacional Agency for Research in Cancer* (IARC) y la *Environmental Protection Agency* (EPA), el benceno es considerado cancerígeno y la exposición prolongada puede producir leucemia mieloide aguda (10,15). Algunas

investigaciones efectuadas en población expuesta a vapores de gasolina durante largos períodos, también han demostrado una mayor incidencia de cáncer de esófago, ovario, testículo, colon y riñón (16-19). El tolueno, por su parte, es un hidrocarburo aromático, líquido, incoloro y de olor agradable; sus vapores son más densos que el aire, por lo que es más fácil de inhalar. Es un inhibidor neuronal asociado con daño progresivo del sistema nervioso central y periférico, y pérdida de la memoria (20). La OMS no lo considera genotóxico ni carcinógeno en humanos ni animales, pero se ha reportado que en dosis bajas durante largo tiempo puede producir disfunción neurológica y daño hematológico (21). El xileno puede producir efectos neurotóxicos, así como hepatotoxicidad y nefrotoxicidad, y aunque existe controversia sobre su efecto hematotóxico, se sabe que cuando se absorbe por inhalación la exposición prolongada a isómeros de xileno lleva a la formación de productos tóxicos intermedios y finales semejantes a los del benceno, con efectos tóxicos en la médula (22,23).

En Colombia, estos hidrocarburos se producen en la planta de aromáticos de la Empresa Colombiana de Petróleos (Ecopetrol) y, también, se importan. En el país no se tienen datos precisos sobre la exposición a solventes, ya que son productos fáciles de obtener, muy baratos y están al alcance de la población general; además, existen pocos estudios y referencias en que se evalúen los efectos específicos sobre la salud de las personas que trabajan en la pintura de carros.

A pesar de la alta exposición a solventes orgánicos en muchos sectores económicos en el mundo, no se han llevado a cabo muchos estudios para evaluar la exposición en pintores de carros. En Valencia, Venezuela, se hizo un estudio en una empresa manufacturera de pintura automotriz en 43 trabajadores, 25 de ellos expuestos a solventes orgánicos y 18 no expuestos, y se determinaron los niveles de fenol y ácido hipúrico en orina. Se encontró que, en el grupo expuesto, la concentración media de fenol en orina fue de 5,54 mg/g de creatinina, en tanto que la de tolueno fue de 325 ppm, significativamente inferior ($p < 0,05$) al límite fijado para este contaminante, que es de 1.400 ppm. No se encontraron diferencias

Correspondencia:

Ruth Marien Palma, Grupo de Salud Ocupacional y del Ambiente, Instituto Nacional de Salud, Avenida calle 26 N° 51-20, Bogotá, D.C., Colombia

Teléfono: (571) 220 7700, extensiones 1471 y 1216

rpalma@ins.gov.co

Recibido: 07/02/14; aceptado: 18/03/15

significativas en los valores de fenol y ácido hipúrico en orina entre el grupo expuesto y el no expuesto ($p > 0,05$) (24).

En Italia, se hizo un estudio en el cual se hicieron mediciones ambientales de solventes orgánicos y mediciones urinarias de sus metabolitos en pintores de carros, y se encontró que las concentraciones en el aire se correlacionaban positivamente con los niveles urinarios de los productos originales (25).

En Bogotá se llevó a cabo un estudio con una muestra de 190 trabajadores de fábricas de pinturas y pegantes, en el cual se encontraron niveles elevados de fenol en el 8,3 % de los participantes, de ácido hipúrico en el 25,4 % y de ácido metilhipúrico en el 35,3 % (26). En otro estudio de 157 sujetos, se evaluaron los efectos de los solventes orgánicos en el sistema nervioso de trabajadores expuestos; la evaluación neurológica y conductual reveló que las principales diferencias entre los grupos de estudio se registraron en los procesos de atención, percepción o codificación y memoria (27). En otro estudio en el que participaron 33 trabajadores expuestos a solventes orgánicos y 28 individuos no expuestos, se determinó que el 3,3 % de los trabajadores expuestos presentaron concentraciones de fenol por encima de los valores de referencia, y en una de las empresas participantes se encontraron concentraciones de benceno en el aire por encima de los límites aceptados (28).

Teniendo en cuenta este panorama, el presente estudio se llevó a cabo con el propósito de evaluar el grado de exposición a benceno, tolueno y xileno en pintores de carros de la localidad de Barrios Unidos de Bogotá, caracterizando las condiciones de salud y de trabajo de los individuos expuestos a pinturas, mediante la determinación de biomarcadores en muestras biológicas y de solventes en muestras ambientales.

Materiales y métodos

Durante el 2012, en Bogotá, se llevó a cabo un estudio transversal cuya muestra estuvo conformada por dos grupos de individuos: uno expuesto a pinturas (solventes orgánicos) y uno constituido por residentes de la misma localidad no expuestos a solventes. Con ayuda de los ediles de la localidad se conoció el universo de la población expuesta, se visitaron las empresas y se incluyeron en el estudio aquellas que voluntariamente aceptaron participar hasta completar la muestra. Esta se calculó con base en estudios previos (29) según la fórmula de Pagano y Gauvreau (30), asumiendo que la

prevalencia de síntomas en el grupo expuesto era de 45 % y en el grupo no expuesto de 20 %, con un poder de 80 %, alfa de 0,05 y una relación 1:1 entre ellos. De esta manera, el cálculo fue de 62 individuos en cada grupo.

Recolección de datos

Todos los participantes contestaron un cuestionario con preguntas sobre aspectos sociales, demográficos, de salud, toxicológicos y otros relacionados con el ambiente de trabajo. Entre estas preguntas se incluyeron algunas sobre síntomas neurológicos provenientes del cuestionario Q16, el cual es un cuestionario de tamización, traducido y validado en varios países, que facilita la detección temprana de personas que sufren efectos por exposición a solventes orgánicos: más de seis síntomas registrados en el cuestionario son indicio de un incremento en la absorción y en la dosis interna de estas sustancias (31).

A los participantes se les tomó una única muestra de orina en frasco de polipropileno con tapa de rosca durante el último día de la semana laboral, para determinar los metabolitos de benceno, tolueno y xileno (ácido fenil-mercaptúrico, ácido hipúrico, ácido orto y para-metilhipúrico), respectivamente.

La determinación de los biomarcadores se hizo mediante cromatografía líquida de alta resolución acoplada a espectrometría de masas, según el método desarrollado para estos metabolitos en el *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH) (32), el cual incluye el perfil de valoración para benceno, tolueno y xileno, y es aplicable a muestras en las que estos compuestos están presentes solos o en mezclas. Los valores de los metabolitos en orina se corrigieron con los niveles de creatinina (33).

Además, antes de establecer un panorama de riesgos para así seleccionar los sitios de muestreo, en cada taller participante se tomaron muestras de aire con bombas de muestreo con el fin de determinar los niveles de benceno, tolueno y xileno mediante el método 1500 del NIOSH (34). Se hizo una visita inicial de reconocimiento con el propósito de determinar las áreas y puestos de trabajo objeto de evaluación. Las muestras de aire se tomaron en el momento en que los trabajadores pintaban, mediante bombas que incluían cartuchos de vidrio con carbón activado (al cual se adhieren los contaminantes de interés para el estudio), debidamente marcados con el nombre del lugar, la fecha de la toma de la muestra y el tiempo de

muestreo. Durante los muestreos ambientales las bombas se colocaron en una posición fija representativa del ambiente general, con el objeto de conocer la distribución de los solventes en el área de trabajo. La estrategia empleada fue la toma de muestras de periodo parcial (35,36), cuatro horas al día por empresa, lo cual es representativo de una exposición y permitió que los resultados de las muestras en aire fueran válidos para el tiempo muestreado.

Durante el proceso analítico de las muestras, se participó en el Programa Interlaboratorios de Control de Calidad de Vapores Orgánicos del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo del Centro Nacional de Verificación de Maquinaria situado en Baracaldo, Vizcaya, España.

Métodos estadísticos

El análisis estadístico se hizo en la empresa y con los trabajadores. A nivel de empresa, se evaluó en primer lugar si los datos tenían o no distribución normal mediante la prueba de Shapiro-Wilk, para luego describir las variables continuas mediante medianas y mínimos y máximos. Posteriormente, se evaluaron la correlación y la asociación entre las concentraciones de benceno, tolueno y xileno, y los biomarcadores en muestras de orina, utilizando para ello las correlaciones de Spearman y regresiones (37), las cuales no se ven influidas por los valores fuera de rango (valores atípicos).

En los trabajadores, la descripción de las variables categóricas se hizo mediante porcentajes y, la de las variables continuas, mediante medidas de tendencia central y dispersión según la distribución observada. Se hicieron comparaciones con las pruebas de ji al cuadrado, la exacta de Fisher y la t de Student. Después se exploraron las asociaciones entre los niveles de los biomarcadores y las demás variables mediante regresiones; estos modelos se eligieron después de evaluar varios otros, como el de regresión lineal convencional y el de transformaciones diversas de las variables de las concentraciones de biomarcadores en orina. Todos los análisis se hicieron con el programa estadístico Stata 11™ (Stata Corporation, College Station, USA).

Con el fin de facilitar la interpretación de los datos por parte de los tomadores de decisiones, los valores de referencia seleccionados fueron los índices de exposición biológica del benceno, el tolueno y el xileno establecidos por la *American Conference of Governmental Industrial Hygienists*

(ACGIH), que son los siguientes: 25 µg/g de creatinina para el ácido fenil-mercaptúrico; 1,6 mg/g de creatinina para el ácido hipúrico, y 1,5 mg/g de creatinina para el ácido orto-metilhipúrico; de acuerdo con la ACGIH, los valores de referencia, o media ponderada en el tiempo (*Threshold Limit Value - Time Weighted Average*, TLV-TWA), para solventes en aire, son de 0,5, 20 y 100 ppm para benceno, tolueno y xileno, respectivamente (38).

Consideraciones éticas

El estudio sigue los lineamientos de la Declaración de Helsinki y la normatividad colombiana para investigaciones con humanos. El protocolo fue aprobado por los comités de investigaciones y de ética del Instituto Nacional de Salud y de la Universidad del Rosario. Todos los participantes firmaron un consentimiento informado antes de la encuesta y de la toma de muestras biológicas.

Resultados

Participaron en el estudio 125 trabajadores, 62 de ellos laboraban en talleres de lámina y pintura y estaban expuestos a solventes, y 63 eran individuos no expuestos. Todos los trabajadores expuestos pertenecían al sexo masculino, con un promedio de edad de 42 años; en el grupo de los individuos no expuestos, el 50 % eran hombres menores de 40 años que trabajaban en labores administrativas, de investigación, como profesionales o como independientes. En la población de expuestos, el promedio de tiempo de exposición fue de 21 años; 9 (15 %) de ellos se desempeñaban como coloristas, 10 (16 %) como latoneros, 13 (21 %) como mecánicos y 24 (39 %) como pintores; el resto laboraba en áreas administrativas.

En 47 (76 %) de los trabajadores encuestados, el tipo de ropa más frecuentemente utilizada para trabajar era el uniforme y 34 (55 %) refirieron cambiarse la ropa de trabajo una vez por semana. De igual manera, 48 (77 %) trabajadores manifestaron lavar la ropa de trabajo en su casa y 60 (98 %) se cuidaban de no mezclarla con otras prendas de la familia.

En cuanto al uso de elementos de protección personal, en el grupo de trabajadores expuestos, 38 (61 %) utilizaban guantes, 45 (73 %) usaban tapabocas desechables y 12 (19 %) usaban botas de seguridad. De los encuestados, 23 (37 %) manifestaron que se quitaban los restos de pintura de las manos con diluyente y solo 17 (27 %) de ellos se duchaba al finalizar la jornada de trabajo. Al preguntarles sobre el consumo de alimentos en

el sitio de trabajo, 31 (50 %) respondieron que lo hacían y 39 (63 %) manifestaron que se lavaban las manos antes de hacerlo.

Otros aspectos relacionados con el tipo de exposición laboral a solventes de los individuos participantes en el estudio, se presentan en el cuadro 1, en el cual se puede apreciar que los grupos eran similares en cuanto a sus características sociodemográficas y a las actividades que hacían por fuera del trabajo, pero se diferenciaban en lo concerniente a la exposición laboral. En lo relativo a la contratación, se encontró que casi la mitad de los individuos expuestos (n=30) trabajaban por prestación de servicios, sin vínculo laboral con los talleres.

Las manifestaciones clínicas más frecuentes en la población de los individuos expuestos, fueron el dolor de cabeza en 26 (42 %), la dermatitis de

contacto en 33 (54 %), la somnolencia en 21 (34 %), la irritación de la piel en 11 (18 %), el zumbido en los oídos en 15 (24 %) y la disminución de la libido en 9 (15 %). Cuatro (6 %) refirieron haberse intoxicado alguna vez con solventes. Con respecto a las manifestaciones neurológicas evaluadas mediante el cuestionario Q16, 25 (40 %) respondieron que eran olvidadizos, 17 (27 %) tenían dificultad para concentrarse, 25 (40 %) se enojaban sin motivo, 18 (27 %) permanecían tristes, 19 (31 %) se sentían anormalmente cansados, 24 (39 %) tenían dificultad para dormir, 21 (34 %) sentían hormigueo y adormecimiento en las manos, y 5 (8 %) presentaban dificultad para abrocharse los botones.

Aunque no se observaron diferencias estadísticamente significativas en los síntomas del grupo expuesto, comparado con el de los no expuestos, sí se encontró una mayor frecuencia en la

Cuadro 1. Características de los individuos participantes en el estudio según el tipo de exposición laboral a solventes (n=125)

Variable	No expuestos (n=59)		Expuestos (n=60)		p*
	n	%	n	%	
Edad (años)					
22 a 32	16	27,12	15	25,00	0,106 [‡]
33 a 42	18	30,51	12	20,00	
43 a 49	14	23,73	16	26,67	
50 a 70	11	18,64	17	28,33	
Tabaquismo					
Nunca	28	47,46	18	30,00	0,117 [‡]
Sí, no actualmente	19	32,20	29	48,33	
Sí, actualmente	12	20,34	13	21,67	
Tipo de contrato					
Prestación de servicios	23	38,98	30	50,00	<0,001
Indefinido	25	42,37	11	18,33	
Fijo	9	15,25	3	5,00	
Otro (a destajo)	2	3,39	16	26,67	
Exposición ocupacional					
Disolvente	1	1,69	55	91,67	<0,001
Varsol	2	3,39	27	45,00	<0,001
Gasolina	5	8,47	32	53,33	<0,001
Acetonas	1	1,69	7	11,67	0,061
Pegantes	1	1,69	30	50,00	<0,001
Pinturas	0	0	49	81,67	<0,001
Solventes de pinturas	0	0	49	81,67	<0,001
Desengrasantes	1	1,69	43	71,67	<0,001
Limpiadores	6	10,17	40	66,67	<0,001
Protección e higiene personal					
Uso de ropa de trabajo	7	11,86	45	75,00	<0,001
Uso de guantes	5	8,47	38	63,33	<0,001
Uso de respirador	2	3,39	45	75,00	<0,001
Actividades en tiempo libre					
Mecánica	2	3,39	6	10,00	0,272
Carpintería	3	5,08	3	5,00	1
Pintura	5	8,77	13	21,67	0,073
Lavandería	1	1,69	1	1,67	1
Vitales	0	0	1	1,67	1
Cerámica	0	0	4	6,67	0,119

* Prueba exacta de Fisher; [‡] prueba t de Student con varianzas diferentes; [†] prueba de ji al cuadrado

aparición de algunos síntomas en los individuos expuestos, como eritema, descamación de la piel, somnolencia, dificultad para percibir olores y temblor en las extremidades inferiores. Estos resultados concuerdan con los reportados en el estudio de Torres, *et al.* (29). También hubo mayor frecuencia de los síntomas incluidos en el cuestionario Q16, en estos mismos trabajadores.

En cuanto a los antecedentes toxicológicos, 13 (21 %) refirieron que fumaban y 3 (5 %) de ellos lo hacían en el trabajo; con respecto a bebidas alcohólicas, 59 (95 %) las consumían y 29 (48 %) lo hacían semanalmente.

La concentración de benceno en aire fue de 0,1 a 0,45 mg/l (mediana de 0,1 mg/l; desviación estándar de 0,11 mg/l); la de tolueno estuvo entre 8,25 y 27,22 mg/l (mediana de 14,5 mg/l; desviación estándar de 1,76 mg/l) y la de xileno estuvo entre 19,34 y 150,15 mg/l (mediana de 70,12 mg/l; desviación estándar de 29,13 mg/l). En el cuadro 2 se muestran las concentraciones de benceno, tolueno y xileno en aire, y el respectivo índice de riesgo, obtenido al dividir el valor de la sustancia química por su TLV (*Threshold Limit Value*) con cuatro horas de exposición. En el cuadro se incluyen cuatro talleres con un total de diez trabajadores, en 8 (80 %) de los cuales las concentraciones de tolueno y xileno estuvieron por encima del índice de exposición biológica, es decir, un índice de riesgo superior a 1.

En relación con los niveles de metabolitos en orina en el grupo de los expuestos, la mediana fue de 886 mg/g de creatinina para el ácido hipúrico (mínimo

de 242,5 y máximo de 1716,5 mg/g), y 322 mg/g de creatinina para el ácido orto-metilhipúrico (mínimo de 29 y máximo de 1.620 mg/g); los niveles de ácido para-metilhipúrico fluctuaron entre no detectables y 1.620 mg/g de creatinina. Solo un trabajador presentó niveles de ácido fenil-mercaptúrico por encima del valor límite permisible (33,36 µg/g de creatinina). Se encontraron niveles de ácido hipúrico por encima de los límites permisibles en 11 (18 %) de los trabajadores, y de ácido para-metilhipúrico, en 8 (13 %) de ellos. Las concentraciones de los biomarcadores de exposición a solventes orgánicos observadas en los grupos de exposición, se resumen en el cuadro 3.

Por otra parte, se observaron diferencias estadísticamente significativas entre la población expuesta (media=1,35) y la no expuesta a solventes (media=0,00), con un valor de $p=0,01$ para el ácido s-fenil-mercaptúrico. De la misma manera, hubo diferencias para el metabolito de tolueno, con una media de 956,26 en individuos expuestos y de 403,44 en no expuestos ($p=0,00$). Para el xileno, la media en los individuos expuestos fue de 475,22 y en los no expuestos, de 0,91 ($p=0,00$). Igualmente, se encontraron correlaciones positivas entre el tolueno medido en el aire y el ácido hipúrico en la orina de las personas expuestas, con un coeficiente de correlación de Spearman de 0,82, así como entre el xileno en el aire y el ácido orto-metilhipúrico, con un coeficiente de correlación de Spearman de 0,76, según se muestra en las figuras 1 y 2.

Por último, las regresiones permitieron explorar la asociación entre el tiempo de exposición a solventes (meses) y las concentraciones de biomarcadores. Se observó que por cada mes de exposición las concentraciones de ácido hipúrico se incrementaban en 1,11 µg/g ($IC_{95\%}$ 0,24-1,99), y en 0,70 µg/g de creatinina ($IC_{95\%}$ 0,66-0,74). En los otros biomarcadores no se observaron asociaciones.

Discusión

En Colombia, como en muchos países del mundo, la exposición a solventes orgánicos entre los trabajadores informales de talleres de lámina y pintura de vehículos automotores, es bastante alta y frecuente, y a lo largo del tiempo los pintores de automóviles se exponen a diversas mezclas de solventes sin saber mucho sobre los riesgos inherentes a la manipulación de estas sustancias químicas. Entre estos trabajadores informales,

Cuadro 2. Niveles de benceno, tolueno y xileno (ppm) en el aire e índices de riesgo para un muestreo de cuatro horas

Empresa	Benceno	IR	Tolueno	IR	Xileno	IR
1	0,33	0,66	10,74	0,537	28,92	0,28
2	0,31	0,62	27,22	1,36	115,20	1,15
3	0,45	0,9	26,25	1,31	150,15	1,50
4	0,43	0,86	21,5	1,07	108,35	1,08
5	0,3	0,6	25,27	1,26	101,54	1,01
6	0,43	0,86	15,9	0,79	90,89	0,90
7	0,18	0,36	9,55	0,47	19,34	0,19
8	0,1	0,2	14,5	0,72	67,3	0,67
9	0,1	0,2	13,2	0,66	52,6	0,52
10	0,34	0,68	8,25	0,41	70,12	0,70
11	0,2	0,4	12,8	0,64	35,7	0,35

Valores límite permisibles en el aire: benceno: 0,5 ppm, tolueno: 20 ppm, xileno: 100 ppm

IR: índice de riesgo resultante de dividir la concentración promedio por los límites permisibles. Si el valor resultante es mayor de 1, el valor límite se ha excedido. Si el valor resultante es igual o mayor de 0,5 pero inferior a 1, se ha superado el nivel de acción pero no el valor límite. Si el valor resultante es menor de 0,5, la situación está controlada.

Cuadro 3. Concentraciones de los biomarcadores de exposición a solventes orgánicos según el tipo de exposición laboral a solventes

Biomarcador	Concentraciones							Valor de p	
	Media	DE	Mínima	25	50	75	90	Máxima	M-W
Ácido fenil- mercaptúrico µg/g de creatinina									
Expuestos	1,2	4,72	ND	ND	ND	ND	3	33	0,0131
No expuestos	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
Ácido hipúrico mg/g de creatinina									
Expuestos	956,32	83400	ND	2425	822,5	1397,5	1746	4533	<0,001
No expuestos	403,42	462,13	ND	123	252	488	960	2283	
Acido orto-metilhipúrico mg/g de creatinina									
Expuestos	475,22	585,17	ND	485	229	615,5	1534	2159	<0,001
No expuestos	0,88	2,14	ND	ND	ND	1	4	10	
Ácido para-metilhipúrico mg/g de creatinina									
Expuestos	20,48	78,30	ND	ND	ND	ND	2,5	442	0,0131
No expuestos	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	

M-W: prueba U de Mann-Whitney; ND: no detectable

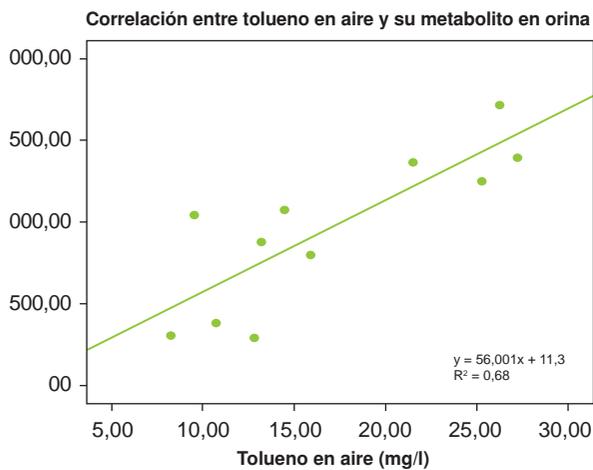


Figura 1. Correlación entre tolueno en el aire y su metabolito en orina

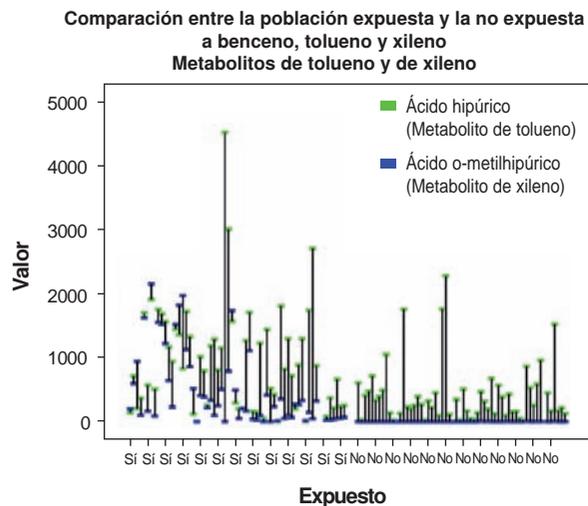


Figura 2. Comparación entre los metabolitos de tolueno y xileno en la población expuesta y la no expuesta

el tiempo de trabajo no está estandarizado, pues varía de acuerdo con la carga de trabajo diaria; tampoco reciben capacitación relacionada con sus labores, y con cumplimiento de las normas de higiene, seguridad industrial y protección individual (25), lo cual contribuye a aumentar la probabilidad de producir efectos adversos sobre su salud.

En muchos estudios se ha observado que los trabajadores de talleres de pintura están expuestos a un sinnúmero de solventes, algunas veces en cantidades que no sobrepasan los límites establecidos a nivel mundial para estos contaminantes. Sin embargo, se ha reportado que, incluso con concentraciones por debajo de estos límites, se pueden presentar efectos adversos sobre la salud, debido a que la interacción de un solvente en una mezcla no es fácil de caracterizar, como tampoco sus efectos biológicos (39).

Es importante tener en cuenta que, cuando las actividades laborales implican contacto con solventes orgánicos, las medidas de higiene y seguridad industrial juegan un papel muy importante en la prevención de los efectos asociados a su uso y de enfermedades de alto costo social. En este estudio se evidenció el uso deficiente de elementos de protección personal en la población expuesta, lo que hace que estas sustancias puedan penetrar fácilmente por vía inhalatoria y dérmica, con graves consecuencias en la salud debidas a la exposición crónica. Igualmente, se observaron fallas en las medidas de higiene, ya que algunos de los trabajadores expuestos reportaron consumir alimentos y fumar en el sitio de trabajo, lo que incrementa la absorción.

En cuanto a los datos de higiene industrial encontrados, es relevante señalar que se determinó la presencia de benceno, tolueno y xileno en las empresas participantes, lo cual resalta la importancia de vigilar la exposición y los potenciales efectos adversos asociados entre los trabajadores de este tipo de empresas. Los datos sugieren que la exposición a mezclas es más frecuente que la exposición a solventes aislados. El sobrepasar los valores límites puede ser señal de eventuales efectos; sin embargo, al ser transversal, en el estudio no se pudo evaluar si estas condiciones se presentaban siempre de la misma forma, ya que la frecuencia de exposición puede ser muy variable en una misma jornada porque depende de la carga de trabajo diaria. Los trabajadores no se dedicaban a la misma actividad durante las ocho horas de jornada laboral, lo que resulta en fluctuaciones de los contaminantes durante una misma jornada y entre jornadas, de manera que los resultados de las muestras en aire son válidos para el tiempo muestreado.

Es importante aclarar que los muestreos de área o estacionarios no siempre resultan representativos de la exposición, a menos que el trabajador bajo observación permanezca estático en el puesto de trabajo, con desplazamientos muy breves (entre 1 y 2 minutos, como máximo).

Otra de las limitaciones de este tipo de muestreo es que los resultados son válidos para el tiempo muestreado, que en el caso de este estudio fue de cuatro horas.

Se encontraron bajas concentraciones de ácido fenil-mercaptúrico y ácido para-metilhipúrico. Las diferencias entre el grupo expuesto y el no expuesto, fueron evidentes en todos los casos, observándose mayores concentraciones entre los individuos expuestos.

Las correlaciones entre las concentraciones en aire y algunos biomarcadores demostraron un desempeño adecuado para evaluar la exposición; esto fue evidente con relación al tolueno en el caso del ácido hipúrico en orina, y con relación al xileno en el caso del ácido orto-metilhipúrico. Las otras correlaciones esperadas no se observaron, quizá porque no se presentaron o porque la variabilidad no fue suficiente para poder evaluar su desempeño.

La mediana de los valores de los biomarcadores fue variable; fue notoria la presencia del ácido hipúrico y del ácido orto-metilhipúrico como

metabolitos del tolueno y el xileno en el 50 % de los individuos expuestos, con valores entre 0-4532,7 y 0-2158,6 mg/g de creatinina, respectivamente. Los otros biomarcadores, aunque presentes entre los individuos expuestos, no sobrepasaron los valores límites permisibles, lo cual pudo haberse debido a que el uso de benceno es realmente muy poco, pues en los talleres de pintura los solventes más empleados son el tolueno y el xileno.

Es importante tener en cuenta que la presencia del ácido hipúrico puede deberse a algunos factores como la ingestión de enlatados con conservantes a base de ácido benzoico o benzoato de sodio, que pueden producir un aumento en las concentraciones de ácido hipúrico en orina, pues se transforman en este mismo ácido en el organismo (25).

Entre las características importantes que deben ser objeto de vigilancia en este grupo de población, está la contratación, pues se observó un número importante de trabajadores informales expuestos, que, por serlo, están desprotegidos ante la presencia de potenciales efectos adversos. También, es de resaltar que el tipo de contratación fue diferente en los dos grupos. El hecho de haber encontrado varios de los síntomas incluidos en el cuestionario Q16 en muchos de los trabajadores expuestos, debe resaltarse, pues esto no había sido valorado en otros estudios llevados a cabo en el país. En varios estudios se han relacionado los daños hematológicos y neurológicos en los trabajadores expuestos a solventes orgánicos o a sus mezclas, lo cual, considerando los hallazgos de este estudio, debe ser tema de investigaciones futuras.

Vale la pena aclarar que los biomarcadores de exposición son indicadores de la dosis interna y no cuantifican el grado de exposición crónica ni de su acumulación. Por esto, son útiles solo para exposiciones recientes o actuales, dado que tienen muy poca vida media (incluso, puede ser menor de una hora bajo ciertas circunstancias) y su utilidad se restringe a verificar si existió o no biotransformación en el momento de la observación de trabajadores crónicamente expuestos a benceno, tolueno y xileno, o bien, a estudios epidemiológicos en los que, de todas maneras, deberán incluirse las diferencias entre individuos en lo relativo a la farmacocinética y el metabolismo de los diferentes constituyentes de la mezcla, así como al problema de salud bajo estudio (40). Sin embargo, a pesar de no tener un soporte biológico claro, se incluyeron los resultados de la variable 'tiempo de exposición', suponiendo que era posible que la exposición

medida correspondiera, en alguna medida, a la exposición durante todo el tiempo en el que la persona había trabajado en el lugar (41,42).

Otro aspecto relevante es que se trató de una población de trabajadores informales con poca claridad sobre el tiempo que llevaban en el oficio, por lo cual la información obtenida no permitió establecer grupos de exposición similares, ni tiempos de exposición recientes medidos de manera exacta, como un TWA (*Time Weighted Average*) en jornadas laborales de ocho horas, que posibilitara establecer relaciones directas con el tiempo de exposición a largo plazo. A este respecto, hay suficiente evidencia sobre las dificultades de llevar a cabo estudios científicos similares en la población trabajadora informal.

Debe trabajarse mucho más en el área de higiene industrial para prevenir los posibles efectos en la salud de la exposición prolongada, a sabiendas de que no existen niveles seguros de exposición y que se deben vigilar los factores de riesgo para evaluar los sitios de trabajo y los individuos expuestos a sustancias químicas en concentraciones inadecuadas para, así, controlarlos. También, debe adoptarse una normativa más estricta que haga obligatoria la aplicación de medidas de protección colectiva y la utilización de equipos de protección individuales en el lugar de trabajo, y apunte hacia la sustitución o reducción de los disolventes más tóxicos en estos productos.

Más que establecer predicciones sobre efectos futuros, el interés del grupo investigador fue evaluar el grado de exposición y la posible afectación en individuos potencial o efectivamente expuestos a solventes orgánicos. Con base en los resultados obtenidos, queda claro que se requieren políticas que establezcan medidas para prevenir los efectos adversos de dicha exposición en un mundo donde eliminar totalmente el riesgo no es posible.

En conclusión, la exposición a solventes orgánicos es ante todo ocupacional, aunque en el caso del tolueno la exposición también podría provenir de otras fuentes. Además, la toma de las muestras de orina antes y después de la exposición, es una estrategia útil para establecer diferencias en los resultados de futuros trabajos con población expuesta a solventes orgánicos.

Entre las limitaciones del estudio, debe mencionarse la recolección de los datos, específicamente los referentes al nombre de los solventes empleados, ya que fueron suministrados por los trabajadores,

lo que implicaría un posible sesgo de memoria. Otras limitaciones de los estudios en los que se utilizan biomarcadores, son el costo de los análisis y el tiempo requerido para el procesamiento de las muestras, que impiden contar con muestras de mayor tamaño.

Los resultados de este estudio señalan que las empresas deben minimizar la exposición a estas sustancias con medidas como la vigilancia biológica y ambiental para determinar la concentración de estos contaminantes en cada puesto de trabajo y en los individuos; las actividades educativas y de capacitación para concientizar a los trabajadores sobre los riesgos a los cuales están expuestos por el contacto con solventes, y el apego a las normas que garanticen el control de conductas inadecuadas, como el consumo de tabaco y alimentos en el puesto de trabajo.

Conflicto de intereses

Los autores de este artículo expresan que no tuvieron ningún conflicto de intereses durante la preparación de este documento ni para su publicación.

Financiación

Ninguna de las entidades participantes tuvo financiación externa para la preparación y el desarrollo de este trabajo.

Referencias

1. **Organización Mundial de la Salud.** Ambientes de trabajo saludables: un modelo para la acción para empleadores, trabajadores, autoridades normativas y profesionales. Ginebra: OMS; 2010.
2. **Rubin SM, Clapp R.** Patterns of mortality among Wisconsin Uniroyal tire manufacturing workers. *New Solut.* 2011;21:603-20. <http://dx.doi.org/10.2190/NS.21.4.h>
3. **Park J, Shin KS, Kim Y.** Occupational reproductive function abnormalities and bladder cancer in Korea. *J Korean Med Sci.* 2010;25(Suppl.):S41-5. <http://dx.doi.org/10.3346/jkms.2010.25.S.S41>
4. **Mediouni Z, Potherat G, Barrere X, Debure A, Descatha A.** Renal failure and occupational exposure to organic solvents: What work-up should be performed. *Arch Environ Occup Health.* 2011;66:51-3. <http://dx.doi.org/10.1080/1938.8244.2010.506501>
5. **Attarchi MS, Labbafinejad Y, Mohammadi S.** Occupational exposure to different levels of mixed organic solvents and colour vision impairment. *Neurotoxicol Teratol.* 2010;32:558-62. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ntt.2010.05.003>
6. **Wang R, Zhang Y, Lan Q, Holford TR, Leaderer B, Zahm SH, et al.** Occupational exposure to solvents and risk of non-Hodgkin lymphoma in Connecticut women. *Am J Epidemiol.* 2009;169:176-85. <http://dx.doi.org/10.1093/aje/kwn300>

7. **González G, Baena B, Gómez W, Mercado Y.** Riesgo de exposición a compuestos químicos en trabajadores de transformación de la madera. Hacia la promoción de la salud. *Revista de la Universidad de Caldas.* 2012;17:105-17.
8. **Mazzeo DE, Matsumoto ST, Levy CE, de Franceschi-de Angelis D, Marín-Morales MA.** Application of micronucleus test and comet assay to evaluate BTEX biodegradation. *Chemosphere.* 2013;90:1030-6. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.08.012>
9. **Fenech M.** *In vitro* micronucleus technique to predict chemosensitivity. *Methods Mol Med.* 2005;111:3-32.
10. **Zuluaga M, Valencia A, Ortiz I.** Efecto genotóxico y mutagénico de contaminantes atmosféricos. *Medicina UPB.* 2009;28:33-41.
11. **Barreto G, Madureira D, Capani F, Aon-Bertolino L, Saraceno E, Alvarez-Giraldez LD.** The role of catechols and free radicals in benzene toxicity: An oxidative DNA damage pathway. *Environ Mol Mutagen.* 2009;50:771-80. <http://dx.doi.org/10.1002/em.20500>
12. **Heuser VD, de Andrade VM, da Silva J, Erdtmann B.** Comparison of genetic damage in Brazilian footwear-workers exposed to solvent-based or water-based adhesive. *Mutat Res.* 2005;583:85-94. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mrgentox.2005.03.002>
13. **Costa C, Pasquale RD, Silvari V, Barbaro M, Catania S.** *In vitro* evaluation of oxidative damage from organic solvent vapours on human skin. *Toxicology in Vitro.* 2006;20:324-31. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tiv.2005.08.007>
14. **Heuser V.** Evaluation of genetic damage in Brazilian footwear-workers: Biomarkers of exposure, effect and susceptibility. *Toxicology.* 2007;232:235-47. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tox.2007.01.011>
15. **Partanen T, Monge P, Wesseling C.** Causes and prevention of occupational cancer. *Acta Médica Costarricense.* 2009;51:33-44.
16. **Guo J, Kauppinen T, Kyyrönen P, Heikkilä P, Lindbohm ML, Pukkala E.** Risk of esophageal, ovarian, testicular, kidney and bladder cancers and leukemia among Finnish workers exposed to diesel or gasoline engine exhaust. *Int J Cancer.* 2004;111:286-92. <http://dx.doi.org/10.1002/ijc.20263>
17. **Agency for Toxic Substances and Disease Registry.** El benceno y su impacto en la salud pública. *Revista Salud y Ambiente.* 2008;5:1.
18. **Zhu T, Lam C, Jiang C.** Lymphocyte ADN damage in bus manufacturing workers. *Mutat Res.* 2001;491:173-81. [http://dx.doi.org/10.1016/S1383-5718\(01\)00141-3](http://dx.doi.org/10.1016/S1383-5718(01)00141-3)
19. **Wong O, Fu H.** Exposure to benzene and non-Hodgkin lymphoma, an epidemiologic overview and an ongoing case-control study in Shanghai. *Chem Biol Interact.* 2005;153-154:33-41. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cbi.2005.03.008>
20. **Castellano J.** Tolueno y benceno tienen efectos nocivos sobre la salud y el medio ambiente. 2009. Fecha de consulta: 10 de octubre de 2013. Disponible en: <http://www.ecologistasenaccion.org/article12818.html>.
21. **Shih HT, Yu CL, Wu MT, Liu CS, Tsai CH, Hung DZ, et al.** Subclinical abnormalities in workers with continuous low-level toluene exposure. *Toxicol Ind Health.* 2011;27:691-9. <http://dx.doi.org/10.1177/0748233710395348>
22. **Haro-García L, Vélez-Zamora N, Aguilar-Madrid G, Guerrero-Rivera S, Sánchez-Escalante V, Muñoz SR, et al.** Alteraciones hematológicas en trabajadores expuestos ocupacionalmente a mezcla de benceno, tolueno y xileno (BTX), en una fábrica de pinturas. *Rev Perú Med Exp Salud Pública.* 2012;29:181-7. <http://dx.doi.org/10.1590/S1726-46342012000200003>
23. **Caro J, Gallego M, Montero R.** Diferentes metodologías para la evaluación de riesgos originados por compuestos orgánicos volátiles en ambientes laborales. *Seguridad y Medio Ambiente.* 2009;113:20-36.
24. **Brizuela J, Jiménez Y.** Niveles urinarios de fenol y ácido hipúrico en trabajadores de una empresa de pintura automotriz. *Salud Trabajador.* 2010;18:107-15.
25. **Vitali M, Ensabella F, Stella D, Guidotti M.** Exposure to organic solvents among handicraft car painters: A pilot study in Italy. *Ind Health.* 2006; 44:310-7. <http://dx.doi.org/10.2486/indhealth.44.310>
26. **Peña G, Varona M, Acosta H, Cárdenas O, Sánchez C, Cardozo M, et al.** Evaluación epidemiológica de la exposición a solventes orgánicos en fábricas de pinturas y pegantes en Santa Fe de Bogotá. Bogotá: Instituto Nacional de Salud; 1996. p. 1-28.
27. **Del Castillo N, Mayor J, Almira P.** Efectos neurotóxicos por exposición a solventes orgánicos. Indicadores cognitivos. *Revista Cubana de Salud y Trabajo.* 2003;4:17-23.
28. **Cárdenas-Bustamante O, Varona-Urbe M, Patiño-Flórez RI, Groot-Restrepo H, Sicard-Suárez D, Torres-Carvajal MM, et al.** Bogotá paint-industry workers' exposure to organic solvents and genotoxic effects. *Rev. Salud Pública.* 2007;9:275-88. <http://dx.doi.org/10.1590/S0124-00642007000200011>
29. **Torres C, Varona M, Lancheros A, Patiño R, Groot H.** Evaluación del daño en el ADN y vigilancia biológica de la exposición laboral a solventes orgánicos. *Biomédica.* 2008;28:126-38. <http://dx.doi.org/10.7705/biomedica.v28i1.115>
30. **Pagano M, Gauvreau K.** Principles of biostatistics. Second edition. Belmont, CA: Duxbury; 2000. p. 332-9.
31. **Jiménez I, Khuu S, Ying M.** Modificación del cuestionario de síntomas neurotóxicos Q16. *Ciencia y Tecnología para la Salud Visual y Ocular.* 2011;9:19-24.
32. **National Institute for Occupational Safety and Health.** Hippuric and methyl hippuric acids in urine. In: *Manual of Analytical Methods (NMAM).* Fourth edition. Atlanta: NIOSH; 2003.
33. **Faulkner WR, King JW.** Renal Function. En: Tietz NW, editor. *Fundamentals of Clinical Chemistry.* Philadelphia: WB Saunders; 1976. p. 1005-13.
34. **National Institute for Occupational Safety and Health.** Hydrocarbons, BP 36°-216 °C 1. In: *Manual of Analytical Methods (NMAM).* Fourth edition. Atlanta: NIOSH; 2003.
35. **Empresa Colombiana de Petróleos.** Evaluación de exposición a sustancias químicas. Fecha de consulta: 18 de noviembre de 2014. Disponible en: http://www.ecopetrol.com.co/documentos/71265_ANEXO_No_45_evaluacion_de_exposicion_a_sustancia_quimicas.pdf.

36. **Fundación Mapfre.** Métodos comparados: diferentes metodologías para la evaluación de riesgos originados por compuestos orgánicos volátiles (VOCs) en ambientes laborales. *Seguridad y Medio Ambiente.* 2009;29. Fecha de consulta: 18 de noviembre de 2014. Disponible en: <http://www.mapfre.com/fundacion/html/revistas/seguridad/n113/articulo2.html>.
37. **Berk RA.** A primer on robust regression. In: Fox J, Long JS, editors. *Modern methods of data analysis.* Newbury Park, CA: Sage; 1990. p. 292-332.
38. **American Conference of Governmental Industrial Hygienists.** TLVs® and BEIs®. Cincinnati, Ohio: ACGIH; 2012.
39. **Rutchik JS, Wittman RI.** Neurologic issues with solvents. *Clin Occup Environ Med.* 2004;4:621-56.
40. **Haro L, González C, Chacón R, Pérez C, Juárez C, Borja V.** Exposición ocupacional a mezcla de benceno-tolueno-xileno. Manifestaciones hematoinmunológicas. *Rev Med Inst Mex Seguro Soc.* 2008;46:643-50.
41. **Muntaner C, Solar O, Vanroelen C, Martínez JM, Vergara M, Santana V, et al.** Unemployment, informal work, precarious employment, child labor, slavery, and health inequalities: Pathways and mechanisms. *Int J Health Serv.* 2010;40:281-95. <http://dx.doi.org/10.2190/HS.40.2.h>
42. **Iriart JA, de Oliveira RP, Xavier Sda S, Costa AM, de Araujo GR, Santana VS.** Representações do trabalho informal e dos riscos à saúde entre trabalhadoras domésticas e trabalhadores da construção civil. *Cien Saude Colect.* 2008;13:165-74. <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-81232008000100021>