

Exposición ocupacional a agentes químicos en la construcción de edificios

Occupational exposure to chemicals in the construction of buildings

Gabriela Hernández Gómez¹

Esteban Arias Monge²

Carlos Mata Montero³

M^a de Lourdes Medina Escobar⁴

Gabriela Rodríguez Zamora⁵

Fecha de recepción: 13 de noviembre del 2011

Fecha de aprobación: 29 de junio del 2012

Hernández, G; Arias, E; Mata, C; Medina, M; Rodríguez, G. Exposición ocupacional a agentes químicos en la construcción de edificios. *Tecnología en Marcha*. Vol. 25, N° 3. Julio-Setiembre 2012. Pág 81-95.

1 Ingeniera en Seguridad Laboral e Higiene Ambiental, Tecnológico de Costa Rica. Correo electrónico: mgabrielahdez@gmail.com

2 Ingeniero en Seguridad Laboral e Higiene Ambiental, Tecnológico de Costa Rica. Correo electrónico: ariasmonge@gmail.com

3 Investigador, Escuela de Ingeniería en Seguridad Laboral e Higiene Ambiental, Tecnológico de Costa Rica. Teléfono: 2550-2163. Correo electrónico: camata@itcrac.cr

4 Coordinadora, Laboratorio de Higiene Analítica, Tecnológico de Costa Rica. Teléfono: 2550-2723. Correo electrónico: mmedina@itcrac

5 Investigadora, Escuela de Ingeniería en Seguridad Laboral e Higiene Ambiental, Tecnológico de Costa Rica. Teléfono: 2550-2800. Correo electrónico: garodriguez@itcrac.cr

Resumen

Objetivos: (i) estimar los niveles de exposición ocupacional a humos y polvos de cromo, hierro y manganeso y polvo inhalable de madera en tareas asociadas a la construcción de edificios; (ii) generar una propuesta de matriz de exposición ocupacional a los agentes estudiados.

Materiales y métodos: el estudio fue exploratorio e incluyó nueve proyectos de construcción de edificios de cinco empresas. Se utilizaron los métodos de muestreo y análisis descritos en OSHA ID121 y MDHS 14/03. Se determinaron los niveles de exposición ocupacional para el análisis de cumplimiento con el estándar nacional INTE 31-08-04-01. Se estimó la influencia de los posibles determinantes de exposición mediante pruebas de asociación estadística.

Resultados: La media de los niveles de exposición ocupacional para polvo inhalable de madera en carpintería fue de 3.55 mg/m³; se encontró relación entre el tiempo de muestreo y las concentraciones obtenidas. No se detectó la presencia de cromo en las muestras recolectadas. La media de hierro fue de 0.78 mg/m³; no se encontró relación entre las concentraciones y los posibles determinantes de la exposición. En manganeso, la media fue de 0.04 mg/m³; la temperatura fue el factor con mayor influencia.

Conclusiones: los niveles de exposición ocupacional a hierro, manganeso y polvo inhalable de madera variaron entre constructoras y proyectos. Las concentraciones de polvo se asociaron al tiempo de muestreo y no se encontró evidencia estadística significativa para los determinantes de la exposición a metales.

Palabras clave

Exposición ocupacional, matriz de exposición ocupacional, polvo de madera, polvo y humos metálicos de cromo, hierro y manganeso, construcción de edificios.

Abstract

Objectives: (i) To estimate occupational exposure levels to chromium, manganese and iron fumes, and from wood dust in tasks related to building construction. (ii) To propose an occupational exposure matrix to agents in study.

Materials and methods: An exploratory study was carried including nine construction projects from five companies. Analytical Methods were based on documents: OSHA ID121 and MDHS 14/03. Occupational exposure levels to the chemical agents were compared to the threshold limit values of the national standard INTE 31-08-04-01. Influence of some possible determinants of exposure by statistical association tests was calculated.

Results: Mean for occupational exposure levels of inhalable wood dust was 3.55 mg/m³; relationship was found between sampling time and the concentrations. Chromium was not detected in collected samples. Mean for iron was 0.78 mg/m³; no relationship was found between concentration values and possible exposure determinants. Mean for manganese concentration was 0.04 mg/m³; temperature was the most influential factor.

Conclusions: Occupational exposure levels for iron, manganese and inhalable wood dust were different among projects and companies. Dust concentrations were associated with sampling time and no statistical significance was found for metal exposure determinants.

Key words

Occupational exposure, exposure matrix, wood dust, chromium, manganese and iron fumes, buildings construction.

Introducción

En Costa Rica, la construcción ha ocupado en los últimos años un lugar privilegiado en la economía nacional. Según información suministrada por el Departamento de Estadística Macroeconómica del Banco Central de Costa Rica (2008), el aporte del sector construcción al Producto Interno Bruto (PIB) en 2007 fue de 5,1% y en 2008 y 2009 de 5,4%, mientras que para el 2010 y el 2011 se proyecta que esta cifra disminuya a 5,2%.

Las exposiciones ocupacionales en la industria de la construcción pueden variar considerablemente (Spee *et al.*, 2007) en el tiempo y entre los trabajadores en el mismo puesto de trabajo (Rappaport *et al.*, 1999). El seguimiento de la exposición de un trabajador en un turno de trabajo completo, en un día elegido al azar, puede resultar en niveles no detectables o subestimación de los niveles de exposición (Kromhout, 2002), desestimándose las exposiciones altas para periodos cortos de tiempo. Además, el valor límite umbral no sería representativo de un día a otro sobre los niveles de exposición, debido a la alta variabilidad en las actividades de trabajo diario de estos trabajadores (Verma *et al.*, 2003).

Es razonable suponer que, debido a los diferentes lugares y actividades de trabajo, las distribuciones de exposición ocupacional experimentadas por estos grupos serán diferentes (Weaver *et al.*, 2001), por lo cual el enfoque del muestreo estaría en el desempeño de la tarea en las actividades que se producen de forma intermitente (Kromhout, 2002).

Agentes químicos y sus efectos en la salud

Los trabajadores de este sector están expuestos a una variedad de sustancias perjudiciales para la salud. Distintos estudios de higiene industrial señalan el polvo de madera (Kauppinen *et al.*, 2006, Osman *et al.*, 2009, Spee *et al.*, 2007) y los humos y polvos metálicos (Cavallari *et al.*, 2008, Lillienberg *et al.*, 2008; Rappaport *et al.*, 1999) como agentes químicos comunes a los que se exponen estos trabajadores (Seel *et al.*, 2007, Verma *et al.*, 2003). Como señalan Mwaiselage *et al.* (2005), la mayoría de los determinantes vinculados con niveles de exposición ocupacional se relacionan con el agente en sí mismo, la tarea realizada, la complejidad del entorno de la construcción y el modo en que la producción tiene lugar. Estudios epidemiológicos validan la asociación existente entre la exposición ocupacional y los

efectos en la salud, relacionando la exposición laboral durante el desempeño de las actividades de la construcción con la aparición de cáncer y otras enfermedades profesionales que se pueden prevenir (Verma *et al.*, 2003).

La Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC, por sus siglas en inglés) clasificó el polvo de madera como cancerígeno para los seres humanos (IARC, 1995), principalmente entre los trabajadores expuestos al polvo de madera dura (Kauppinen *et al.*, 2006, Spee *et al.*, 2007). En general, la exposición al polvo de madera deteriora la función pulmonar; aumenta la prevalencia de enfermedades respiratorias y agrava las enfermedades existentes (Osman *et al.*, 2009).

Varios estudios han demostrado que la exposición ocupacional a humos y polvos metálicos es un factor de riesgo para los trastornos respiratorios, asociándose con asma ocupacional, fiebre de los humos metálicos, bronquitis crónica, alteraciones de la función pulmonar y cáncer de pulmón (Erkinjuntti-Pekkanen *et al.*, 1999, Lillienberg *et al.*, 2008).

Matriz de exposición ocupacional por tarea

Para algunos autores, las matrices son herramientas semiautomáticas empleadas en la evaluación de la exposición ocupacional en distintos tipos de estudios, extendiendo su aplicación más allá de la epidemiología clásica (Haro *et al.*, 2006, Liljelind *et al.*, 2001). De esta manera, los higienistas industriales cuentan con un instrumento que permite establecer la relación entre las tareas y el riesgo de exposición a algún agente presente en el ambiente laboral, a través de la asignación de valores de orden cualitativo y cuantitativo.

La estructura de una matriz de exposición se puede utilizar como un marco analítico para casi cualquier proceso de evaluación de la exposición (Seixas *et al.*, 1995). De acuerdo con varios autores, una matriz de exposición corresponde a una configuración multidimensional definida por uno o más determinantes de exposición y una serie de agentes químicos (Benke *et al.*, 2000; Partanen *et al.*, 2005). Su principio general se basa en la construcción de una base de datos que asocia las ocupaciones, puestos de trabajo o estaciones de trabajo con los datos sobre la exposición a diversos peligros (Goldberg *et al.*, 2002).

En la epidemiología ocupacional moderna, la determinación de la exposición se basa en diferentes determinantes de exposición, cuya validez es indispensable para obtener resultados confiables para la elaboración de matrices (Espinosa *et al.*, 2005, Haro *et al.*, 2006). Por consiguiente, los determinantes de la exposición corresponden a los factores que la aumentan o disminuyen, los cuales se pueden identificar mediante el uso del análisis mixto de los efectos del modelo de la varianza, teniendo en cuenta la correlación de las mediciones repetidas de los trabajadores (Hagström *et al.*, 2008).

En estudios experimentales con diseño factorial completo, se utilizan todas las combinaciones posibles de las variables, por lo cual las interacciones entre los factores determinantes se pueden probar fácilmente en los modelos posteriores. En las mediciones, es probable que ciertas combinaciones de los factores determinantes de la exposición no se puedan observar (Burstyn *et al.*, 1999).

La posibilidad de detectar una asociación entre la exposición a un factor determinado y una enfermedad está estrechamente relacionada con la calidad de la evaluación de la exposición, ya que una deficiente evaluación perjudicaría la calidad del estudio. Dependiendo del contexto, la matriz podría tener datos de la exposición individual retroactiva que hacen posible la realización de análisis de caso-control o estudios de cohortes, así como también podría incluir datos descriptivos provenientes de muestreos de la exposición cuando los datos individuales de trabajo proceden de una muestra representativa (Kauppinen *et al.*, 2009).

La complejidad de los factores con potencial para influir en las exposiciones demanda cuidadosas elecciones para el diseño de estudios óptimos (Burstyn *et al.*, 1999). La documentación de las fuentes de exposición potencial y el control es simplemente una adición a los estudios de medición de la misma, que promete enriquecer el conocimiento de los lugares de trabajo y proporcionar información vital para controlar la exposición ocupacional (Guéguen *et al.*, 2004, Liljelind *et al.*, 2001).

Ante la poca información disponible sobre las condiciones de exposición ocupacional a los agentes químicos anteriormente mencionados a nivel nacional, el Tecnológico de Costa Rica (TEC) y el Instituto Nacional de Seguros (INS), por medio

de la Escuela de Ingeniería en Seguridad Laboral e Higiene Ambiental y del Departamento de Gestión Empresarial en Salud Ocupacional, respectivamente, están desarrollando una investigación orientada al mejoramiento de las condiciones de seguridad e higiene laboral en el sector de la construcción en Costa Rica.

El presente estudio forma parte de esta investigación y tiene por objetivos: (i) estimar los niveles de exposición ocupacional a humos y polvos metálicos y a polvo de madera en tareas asociadas a la construcción de edificios y (ii) generar una propuesta de matriz de exposición ocupacional a estos agentes químicos.

Materiales y métodos

Muestreo ocupacional y análisis

Las mediciones de polvo inhalable de madera y humos y polvos de cromo, hierro y manganeso se realizaron en nueve construcciones de edificios pertenecientes a cinco empresas constructoras (ver cuadro 1). Se recolectaron 88 muestras personales en total: 27 de madera y 61 de metales.

Los trabajadores que voluntariamente participaron en las mediciones de los niveles de exposición ocupacional fueron informados previamente acerca de la naturaleza del estudio.

La observación se centró en la tarea vinculada con la exposición ocupacional a estos agentes químicos. Las muestras provenientes de trabajadores evaluados más de una vez fueron analizadas de forma independiente. Se realizaron recorridos durante el muestreo para recabar datos asociados con las tareas realizadas.

El tiempo de muestreo dependió de la duración de las tareas previamente seleccionadas para el estudio, sin embargo, se procuró muestrear al menos el 70% de la jornada laboral. Para cada agente químico se empleó un blanco de campo por muestreo.

Para el muestreo y análisis de los agentes químicos se siguieron los protocolos LHA-PA-01 y LHA-PA-02 del Laboratorio de Higiene Analítica del TEC, basados en los métodos OSHA ID121 y MDHS 14/3 respectivamente. Los flujos de las

Cuadro I. Datos de las empresas que participaron en el estudio

Empresa	Proyecto	Tipo de construcción	Etapa constructiva
A	A01	Comercial	Acabados
	A02	Residencial	Obra gris
B	B01	Comercial	Obra gris
	B02		Acabados
	B03		Obra gris
	B04		Obra gris
C	C01	Residencial	Obra gris
D	D01	Industrial	Acabados
E	E01	Comercial	Obra gris

bombas de muestreo personal¹ fueron verificados con un calibrador primario.² Durante los diferentes recorridos por los puestos de trabajo se recabaron datos de las condiciones ambientales.³

Los niveles de exposición ocupacional a los agentes químicos evaluados se compararon con su respectivo valor límite umbral (TLV-TWA) reportado en la norma nacional INTE-31-08-04-01 del Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO): "Concentraciones máximas permisibles en ambientes de trabajo" (2001), los cuales coincidieron con la versión divulgada por la American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH, 2009). En el caso particular del polvo inhalable de madera, se utilizó el TLV-TWA reportado por la normativa nacional.

El Límite de Exposición Ocupacional (LEO) fue ajustado a partir de la aplicación del modelo de Brief y Scala (1975) para corregir el TLV por el incremento del tiempo de exposición de los trabajadores, debido a que la jornada laboral de las empresas fue superior a ocho horas.

Métodos estadísticos

Las concentraciones se ponderaron en el tiempo de muestreo para así obtener los niveles de exposición ocupacional de cada trabajador para la tarea evaluada. Estos niveles fueron tratados por medio de la estadística descriptiva para calcular su dispersión y sus parámetros de tendencia central.

Para el análisis estadístico de las concentraciones reportadas como no detectables (ND) se tomó como base el trabajo de Hornung y Reed (1990) y se introdujo como valor de la concentración para estas lecturas el equivalente a 0.5 veces el límite de detección.

Para los casos en que, como consecuencia del análisis de cumplimiento con el estándar nacional, las concentraciones se encontraron en zona de indecisión, se procedió a aplicar una prueba de hipótesis con IC 95%. Se partió de la hipótesis nula (H_0) de que el promedio de las concentraciones o la máxima concentración probable (MLE) era mayor o igual al LEO según correspondiera a la distribución de estas.

Propuesta de matriz de exposición ocupacional

Las matrices de exposición ocupacional propuestas en este artículo constituyen una base para el reconocimiento formal de los determinantes de exposición. Al encontrarse en una fase previa, la escasez de datos fue una limitante.

Se extrajeron los determinantes de exposición ocupacional que se repitieron con mayor frecuencia en los artículos científicos consultados, los cuales presentaron similitudes en cuanto a las condiciones de

1 (MSA Escort, modelo D6170706)

2 (Gilian® Gibrator Sensidyne, modelo 800844-1)

3 Para ello se utilizaron un termo-anemómetro de hilo caliente (EXTECH Instruments, modelo 407123), un anemómetro (EXTECH Instruments, modelo CFM 407119^a), un medidor de presión y temperatura (Speedtech Instruments, modelo AE-1), un psicrómetro (Cole-Parmer Spirit, modelo EW-03322-22) y un medidor de humedad digital (Termo-Higro Control Company, modelo 4096).

construcción de edificios en el país, para trasladarlos como posibles factores asociados con los resultados del muestreo. Las coincidencias encontradas entre los determinantes se consideraron como posibles relaciones de exposición entre los agentes químicos estudiados, contemplando estas asociaciones en el diseño de la matriz.

Las columnas de las matrices se definieron según el tipo de prueba de asociación, mientras que las filas recogieron los determinantes de exposición. Cada uno de los resultados de asociación de la matriz se localizó en la intersección de una fila con una columna, constituyendo la caracterización (cuantitativa o cualitativa) del determinante de exposición ocupacional para una tarea específica.

Para determinar el grado de asociación entre los determinantes de exposición y los niveles de exposición ocupacional por tarea para los agentes estudiados, se calcularon coeficientes de determinación (r^2), pruebas de p-valor (p) e intervalos de confianza de la pendiente de la recta de mejor ajuste. Además, se elaboraron tablas de contingencia para relacionar estos niveles de exposición ocupacional con los determinantes de tipo discreto a través de la prueba de Fisher. Los procedimientos estadísticos se realizaron con el software MINITAB 15® y Microsoft Office Excel 2007.

La matriz permitió visualizar por columna los determinantes críticos y por filas el grado de

asociación con mayor influencia para el respectivo determinante. Los campos de la matriz destinados a los niveles de exposición ocupacional se completaron con la media aritmética reportada en estudios similares. En el caso de las evaluaciones que se llevaron a cabo, se calculó la media de los niveles de exposición ocupacional para la tarea.

Resultados y discusión

Polvo de madera

Se tomaron 27 muestras de polvo inhalable de madera en ocho trabajadores de la constructora A (50%), cuatro de B (25%), tres de C (19%) y uno de D (6%). Durante el periodo de evaluación, la tarea de carpintería se centró en la fabricación e instalación de formaletas y piezas de madera para ajustar los puntales.

La relación encontrada entre los límites de exposición ocupacional de la normativa nacional y las concentraciones promedio obtenidas se muestra en la figura 1. Una de las empresas mostró una situación claramente definida de incumplimiento y una de cumplimiento con el valor de la norma (A y C, respectivamente). En dos empresas, los datos no permitieron tomar una decisión concluyente a un IC 95%. Los valores MLE fueron superiores al de la norma en dos empresas.

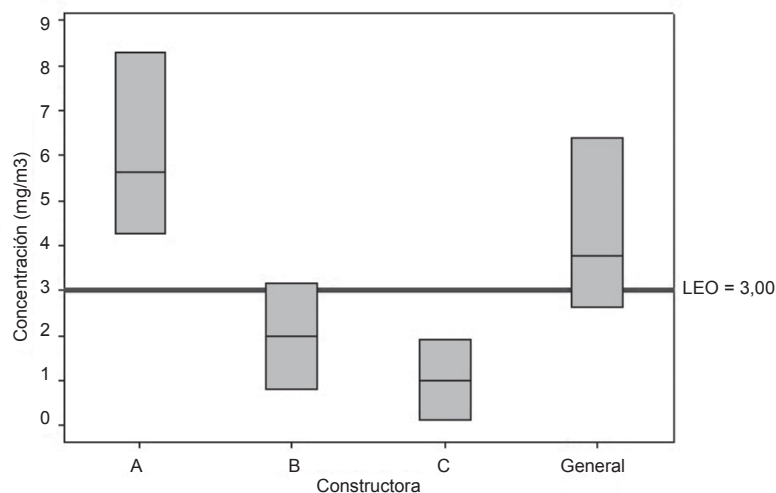


Figura 1. Gráfico de cajas de los niveles de exposición ocupacional al polvo de madera por constructora.

Como se observa en la figura 2 y el cuadro 2, la variabilidad de los datos fue mayor entre proyectos que entre constructoras, indicando posibles cambios en las condiciones de exposición de los trabajadores durante el desempeño de la tarea, posiblemente porque el tiempo de muestreo pudo haber influido en estas.

Cuadro 2. Resultados del análisis estadístico de las concentraciones ponderadas de polvo inhalable de madera por proyecto

Proyecto	n	\bar{x} (mg/m ³)	DE	CV (%)
A01	5	6.29	4.65	74
A02	12	5.29	2.09	39
B04	5	2.00	1.00	50
C01	4	1.00	0.53	53
D01	1	1.50	-	-

Nota: n=Número de muestras, \bar{x} =Media aritmética, DE=Desviación estándar

Las desviaciones estándar de los niveles de exposición ocupacional para la tarea mostraron que la dispersión de los datos entre los proyectos no presentó una tendencia a disminuir al aumentar el número de muestras.

En el proyecto B04 se presentaron menos variaciones en las condiciones de exposición de los trabajadores que en el A01, aunque se contó con el mismo tamaño de muestra. Lo anterior pudo deberse a lo sistemático de las actividades efectuadas en B04 (que consistieron en corte, colocación y desmontaje de piezas de madera que formaban parte de las formaletas), mientras que los trabajadores de A01 realizaron otras tareas además de la carpintería.

Era poco probable que las muestras solo tuvieran polvo de madera, lo cual ha sido discutido por varios autores (Demers *et al.*, 2000, Fransman *et al.*, 2003, Teschke *et al.*, 1999). El método de análisis empleado en este estudio no permitió discriminar entre los componentes del polvo capturado en el filtro (Demers *et al.*, 2000, Teschke *et al.*, 1999).

Como se muestra en el cuadro 3, las pruebas estadísticas realizadas para la comprobación del grado de influencia de los determinantes de

exposición a los niveles de exposición ocupacional obtenidos, señalaron el tiempo de muestreo como el que estadísticamente presentó mayor asociación, ya que para el 79,6% de los datos de concentración de polvo de madera fue un factor determinante, lo cual se confirmó con el valor de probabilidad *p* que evidenció estadística de asociación entre las variables.

El *r*² mostró que el 45% de las variaciones de las concentraciones de polvo inhalable de madera se relacionaron con la edad del trabajador, mientras que el *p* señaló que las variables fueron independientes y no se pudo probar asociación entre ellas.

El rango de temperatura fue un determinante que estadísticamente se catalogó como significativo a partir de los resultados de *r*² y *p*; sin embargo, no se pudo comprobar que las temperaturas máxima y mínima fueran determinantes de exposición.

Las pruebas estadísticas realizadas no encontraron relaciones significativas entre los demás determinantes y las concentraciones obtenidas.

Los bajos valores de las relaciones obtenidas entre los determinantes de exposición y las concentraciones de polvo de madera por tarea pueden ser producto de la cantidad de muestras, las cuales posiblemente no fueron suficientes para determinar patrones de comportamiento reales.

Los determinantes de exposición sin completar (ver cuadro 3) no pudieron evaluarse, debido a que los proyectos de construcción no cumplían con todas las variables requeridas. A pesar de no contar con información para estimar su efecto, se incluyeron en esta investigación por la asociación que encontraron distintos autores en estudios similares (Demers *et al.*, 2000, Fransman *et al.*, 2003, Kauppinen *et al.*, 2006, Teschke *et al.*, 1999).

La media de los niveles de exposición ocupacional fue de 3.55 mg/m³, mientras que la obtenida en estudios semejantes fue de 1.01 mg/m³ (Fransman *et al.*, 2003, Teschke *et al.*, 1999). La diferencia entre ambos niveles de exposición puede deberse al número de muestras que se emplearon en estos estudios, así como a las particularidades de las condiciones de exposición.

Polvos y humos metálicos

El muestreo de exposición ocupacional a cromo (Cr), hierro (Fe) y manganeso (Mn) se efectuó

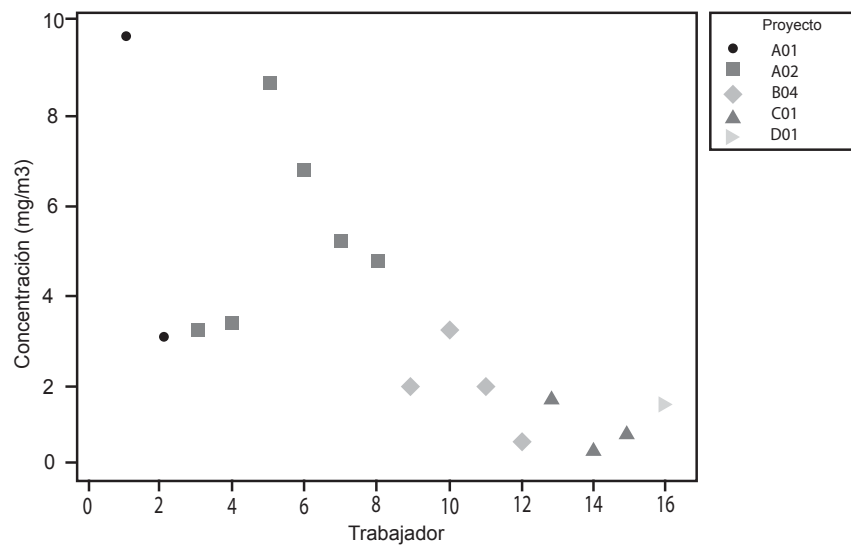


Figura 2. Gráfica de dispersión de los niveles de exposición a polvo de madera.

Cuadro 3. Propuesta de matriz de exposición para polvo de madera en carpintería

Niveles de exposición ocupacional (mg/m³)	Revisión de la literatura	1.01 ^a	
	Muestreo	3.55	
Determinantes de exposición	Prueba de asociación		
	r ² (%)	p	IC 90% de la pendiente
Edad	45.0	.085	NA
Grado de confinamiento	-	.202	-
Herramientas manuales (eléctricas/no energizadas)	-	.450	-
Humedad relativa	4.73	.467	NA
Lluvia			
Máquinas alrededor			
Método de limpieza (compresor, escoba, aire ambiente)			
Presión atmosférica	0.31	.802	NA
Proximidad de la fuente			
Rango temperatura	62.3	.002	NA
Sexo			
Temperatura máxima	38.1	.019	NA
Temperatura mínima	24.7	.084	NA
Temperatura promedio	2.45	.591	NA
Tiempo de muestreo	79.6	.003	NA
Tiempo laborado en carpintería	10.5	.304	NA
Velocidad máxima del viento	10.4	.261	NA
Velocidad mínima del viento	6.61	.421	NA
Velocidad promedio del viento	9.00	.414	NA

Nota: NA= No existe asociación
^aFransman et al., 2003, Teschke et al., 1999.

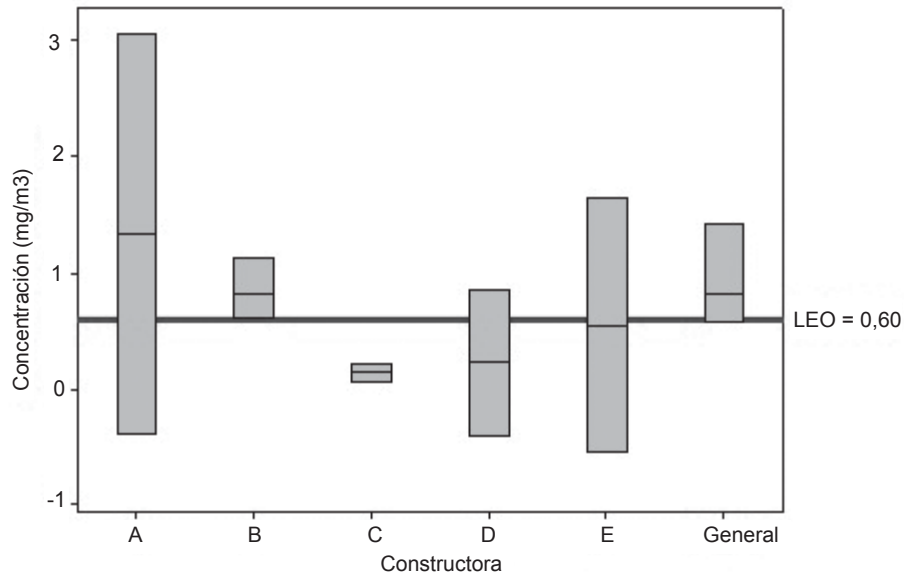


Figura 3. Gráfico de cajas de los niveles de exposición ocupacional a Fe por constructora.

con 38 trabajadores que realizaron la tarea de esmerilado o soldadura de piezas metálicas para techo, tubería y zonas de acceso. Se recolectó un total de 61 muestras.

Cromo

En investigaciones similares efectuadas por Rappaport *et al.* (1999) y Seel *et al.* (2007), se evaluaron varios tipos de soldadura por arco con electrodos compuestos primordialmente de Fe y Mn, por lo que los resultados de Cr alcanzaron promedios bajos o no se reportaron por ser no detectables en las muestras.

En este estudio no se detectó la presencia de cromo en las muestras recolectadas, posiblemente por la composición química de los electrodos empleados por los trabajadores durante la tarea de soldadura de arco, lo cual sugiere bajos contenidos de metal.

Hierro

En el análisis del cumplimiento con la normativa nacional se encontró que de las cinco empresas muestreadas, la constructora B sobrepasó el LEO ($0,60 \text{ mg/m}^3$), en tanto que para la constructora C se determinó su cumplimiento. Al aplicar pruebas de hipótesis para los datos de las empresas A, D y E, se

concluyó que no se rechaza la prueba, por lo cual no se descarta la posibilidad de sobreexposición para la empresa A. El estudio general de las muestras evidenció un incumplimiento con la norma nacional.

Los niveles de exposición ocupacional de las muestras de 15 trabajadores superaron el nivel máximo permitido: tres trabajadores de los proyectos A01 y B01, cuatro de los proyectos B03 y B04 y uno del proyecto E01.

El nivel de exposición ocupacional más alto sobrepasó el LEO más de 7,5 veces. Este pico de exposición correspondió a un trabajador que esmeriló y soldó con arco en un entepiso de altura reducida, por lo tanto debía inclinarse sobre las piezas metálicas para realizar la tarea.

Tres de los proyectos de la empresa B obtuvieron una desviación estándar similar, sin embargo, el CV de B03 y B04 fue distinto del de B01, evidenciando una posible similitud en las condiciones de exposición de los trabajadores de los primeros dos proyectos, ya que contaban con un taller de soldadura para realizar sus trabajos, mientras que en el proyecto B01 los trabajadores estaban dispersos en la edificación (ver cuadro 4).

Cuadro 4. Datos estadísticos de Fe y Mn de los niveles de exposición ocupacional para la tarea por proyecto

Proyectos	Total de muestras por proyecto	DE		CV (%)	
		Mn	Fe	Mn	Fe
A01	9	0.03	1.81	101	137
B01	13	0.05	0.57	125	83
B02	2	-	-	-	-
B03	10	0.07	0.63	119	64
B04	13	0.12	0.66	141	65
C01	4	0.01	0.06	48	50
D01	3	0	0.14	39	64
E01	7	0.01	0.94	83	173

En la figura 4 se presenta la dispersión intraproyectos de los niveles de exposición por trabajador, lo cual se confirmó con los altos valores de los CV por proyecto (ver cuadro 4).

Según los resultados de *p*, no existió evidencia estadística de asociación entre los determinantes y las concentraciones obtenidas, lo cual fue reafirmado con el resultado del IC 90% de la pendiente de la regresión lineal de los datos y los valores del *r*² (ver cuadro 5).

La media aritmética de los niveles de exposición ocupacional de las muestras de hierro reportada por Woskie *et al.* (2002) en su estudio fue similar a la obtenida en esta investigación, a pesar de que el

tamaño de las muestras difirió entre ambos estudios, así como el tipo de construcciones evaluadas.

Manganeso

Los hallazgos encontrados con respecto al análisis de la exposición ocupacional a Mn señalaron el cumplimiento de las empresas A, C, D y E con el LEO (0.12 mg/m³). El estudio general demostró que no se excedió el LEO (figura 5).

La distribución de los niveles de exposición ocupacional de los proyectos presentó varios picos significativos: un trabajador en los proyectos B01 y B03 y dos trabajadores en el proyecto B04 (figura 6). Las muestras de estos cuatro trabajadores fueron las

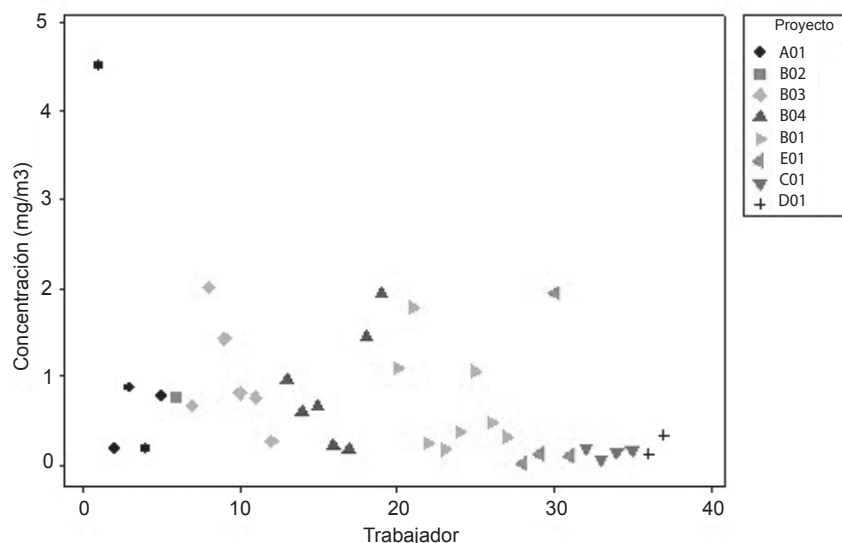


Figura 4. Gráfico de dispersión de los niveles de exposición a Fe.

Cuadro 5. Propuesta de matriz de exposición para Fe en soldadura y esmerilado

Niveles de exposición ocupacional (mg/m ³)	Revisión de la literatura		0.77 ^a
	Muestreo		0.78
Determinantes de exposición	Prueba de asociación		
	r ² (%)	p	IC 90% de la pendiente
Día/noche			
Grado de confinamiento	-	.091	-
Humedad relativa	12.6	.213	NA
Presión atmosférica	4.81	.291	NA
Rango temperatura	4.21	.466	NA
Temperatura máxima	1.90	.383	NA
Temperatura mínima	4.53	.326	NA
Temperatura promedio	4.00	.310	NA
Tipo de respirador			
Tipo de soldadura	-	.512	-
Tipo de trabajo	-	.252	-
Tiempo laborado en soldadura	5.35	.205	NA
Velocidad máxima del viento	0.10	.866	NA
Velocidad mínima del viento	1.00	.854	NA
Velocidad promedio del viento	0.36	.702	NA

Nota: NA= No existe asociación, EA= Existe asociación
^aWoskie et al. (2002).

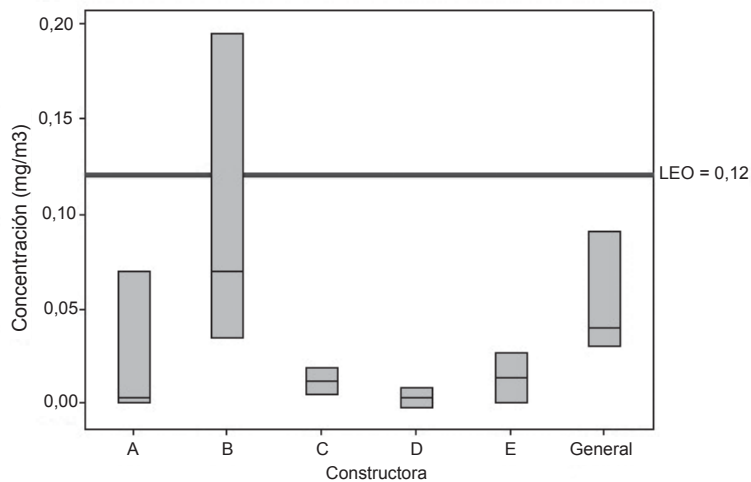


Figura 5. Gráfico de cajas de los niveles de exposición ocupacional a Mn por constructora.

únicas que incumplieron el LEO; la concentración de la muestra de uno de ellos lo sobrepasó 2.5 veces.

La empresa B presentó altos valores de CV, mientras que la distribución de los niveles de exposición ocupacional para la tarea no mostró un comportamiento uniforme intraconstructora porque las condiciones de exposición ocupacional

fueron distintas, a pesar de que las tareas de estos trabajadores involucraron soldadura de arco y esmerilado.

Como se muestra en el cuadro 6, los CV de las concentraciones de los trabajadores por proyecto mostraron valores mayores al 100% para cuatro de los seis casos. El valor más bajo para este coeficiente

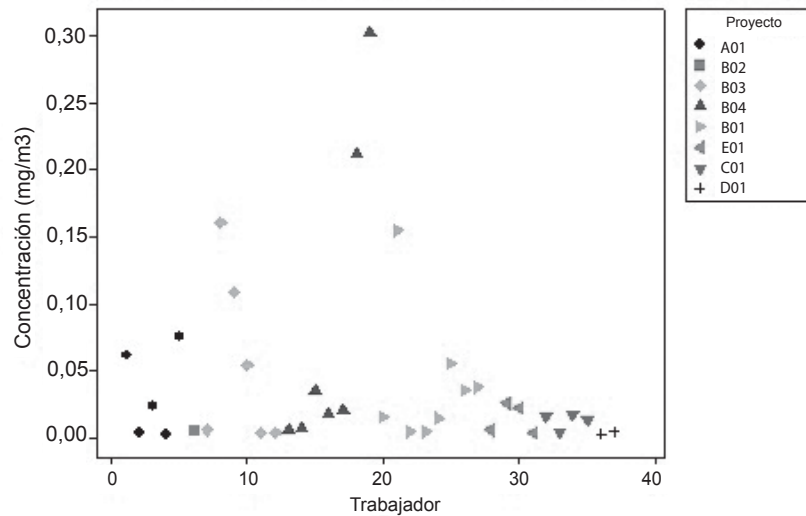


Figura 6. Gráfico de dispersión de los niveles de exposición a Mn.

Cuadro 6. Resultados estadísticos de los niveles de exposición a Mn para la tarea de los trabajadores evaluados más de una vez

Trabajador por proyecto	n	\bar{x} (mg/m³)	DE	CV (%)
A01-02	4	0.014	0.014	104
B01-10	4	0.014	0.001	8
B01-12	3	0.029	0.036	122
B01-13	3	0.019	0.022	112
B03-02	3	0.004	0.001	35
B04-08	5	0.169	0.189	112

Nota: n=Número de muestras, \bar{x} =Media aritmética, DE=Desviación estándar

se obtuvo en el trabajador B01-10, el cual realizó tareas similares los dos días de muestreo.

En el cuadro 7 se presenta la propuesta de matriz de exposición para manganeso en la tarea de soldadura y esmerilado. Según los valores de los r^2 , los determinantes con mayor influencia sobre los resultados de las concentraciones de manganeso fueron: temperatura mínima, temperatura máxima, promedio y rango de estas. El IC 90% de la pendiente señaló una posible asociación entre la temperatura máxima y las concentraciones, pero no así para los otros determinantes relacionados con la temperatura.

No se pudo comprobar relación entre los demás determinantes de exposición y las concentraciones,

debido a que los valores de r^2 y p evidenciaron una leve o casi nula relación, sin embargo, el IC 90% de la pendiente apuntó a la existencia de asociación entre el tiempo laborado en soldadura con los valores de las concentraciones, y las concentraciones con la velocidad promedio del viento.

En cuanto a las medias de las muestras de Mn, el nivel de exposición ocupacional obtenido a partir del muestreo sobrepasó la concentración reportada en el artículo de Rappaport *et al.* (1999), destacando las diferencias entre ambos estudios. Los investigadores evaluaron labores relacionadas con soldadura en un mismo tipo de construcción en actividades intermitentes, mientras que en este estudio se muestrearon construcciones industriales, comerciales y residenciales.

Cuadro 7. Propuesta de matriz de exposición para Mn en soldadura y esmerilado

Niveles de exposición ocupacional (mg/m ³)	Revisión de la literatura		
	Muestreo	0.02 ^a	
Determinantes de exposición	Prueba de asociación		
	r ² (%)	p	IC 90% de la pendiente
Día/Noche			
Grado de confinamiento	-	.417	-
Humedad relativa	0.90	.517	NA
Presión atmosférica	1.01	.463	NA
Rango temperatura	12.5	.236	NA
Temperatura máxima	12.0	.158	EA
Temperatura mínima	12.7	.311	NA
Temperatura promedio	15.1	.111	NA
Tipo de respirador			
Tipo de soldadura	-	.739	-
Tipo de trabajo	-	.157	-
Tiempo laborado en soldadura	6.42	.150	EA
Velocidad máxima del viento	0.32	.805	NA
Velocidad mínima del viento	3.50	.339	NA
Velocidad promedio del viento	7.90	.133	EA
Nota: NA= No existe asociación, EA= Existe asociación			
^a Rappaport et al. (1999).			

Conclusiones

Los niveles de exposición ocupacional a polvo inhalable de madera a los que se expusieron los trabajadores durante la tarea de carpintería variaron entre proyectos y entre constructoras. La matriz de exposición ocupacional reveló que las concentraciones de este agente estuvieron asociadas proporcionalmente con el tiempo de muestreo.

En el caso de polvo y humos metálicos en soldadura y esmerilado, los niveles de exposición ocupacional de los trabajadores a hierro y manganeso variaron entre proyectos y entre constructoras. No se detectó cromo en las muestras, posiblemente por el tipo de electrodos empleados.

No se encontraron asociaciones estadísticamente significativas entre algunos determinantes de exposición y las concentraciones de hierro. Para las concentraciones de manganeso, las pruebas estadísticas empleadas no mostraron relaciones entre los determinantes de exposición y las concentraciones de este metal.

A partir de los resultados contemplados en las propuestas de matrices de exposición ocupacional,

el estudio requerirá ampliar el número de muestras para encontrar asociaciones estadísticamente significativas y validaciones externas por expertos, puesto que los resultados presentados en este artículo se encuentran en exploración.

Bibliografía

- ACGIH. (2009). *Documentation of the Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices*. USA: Signature Publications.
- Banco Central de Costa Rica. (2008). *Producto Interno Bruto por industria a precios corrientes: composición porcentual*. Obtenido desde: <http://indicadoreseconomicos.bccr.fi.cr/indicadoreseconomicos/Cuadros/fmVerCatCuadro.aspx?idioma=1&CodCuadro=605>. Fecha de acceso: 15 de febrero del 2010.
- Benke, G.; Sim, M.; Fritschi, L. & Aldred, G. (2000). *Beyond the Job Exposure Matrix (JEM): the Task Exposure Matrix (TEM)*. *Annals of Occupational Hygiene* 44(6): 475-482.
- Brief, R.S. & Scala, R.A. (1975). *Occupational exposure limits for novel work schedules*. *American Industrial Hygiene Association Journal* 76: 467-476.

- Burstyn, I. & Teschke, K. (1999). *Studying the Determinants of Exposure: A Review of Methods*. American Industrial Hygiene Association Journal 60: 57-72.
- Cavallari, J.M.; Eisen, E.A. & Fang, S.C. (2008). *Night Heart Rate Variability and Particulate Exposures among Boilermaker Construction Workers*. Environmental Health Perspectives 115: 1046-1051.
- Demers, P.A.; Teschke, K & Davies, H. (2000). *Exposure to dust, resin acids, and Monoterpenes in softwood lumber mills*. American Industrial Hygiene Association Journal 61(4): 521-528.
- Erkinjuntti-Pekkanen, R.; Slater, T. & Cheng, S. (1999). *Two year follow up of pulmonary function values among welders in New Zealand*. Occupational and Environmental Medicine 56: 328-333.
- Espinosa, M.T.; Rojas, M.P. & López, J.M. (2005). *Matriz de exposición laboral a carcinógenos de interés ocupacional para 10 sitios anatómicos*. Obtenido desde <http://www.unipaz.edu.co/actualidades/conferencias/documentacion/Varios/MEL%20carcinogenos%20Colombia.pdf>. Fecha de acceso: 29 de setiembre de 2009.
- Fransman, W.; McLean, D. & Douwes, J. (2003). *Respiratory symptoms and occupational exposures in New Zealand plywood mill workers*. Annals of Occupational Hygiene 47(4): 287-295.
- Goldberg, M. & Imbernon, E. (2002). *The use of job exposure matrices for cancer epidemiology research and surveillance*. Arch. Public Health 60: 173-185.
- Guéguen, A.; Goldberg, M.; Bonenfant, S. & Martin, J.C. (2004). *Using a representative sample of workers for constructing the SUMEX French general population based job-exposure matrix*. Occupational and Environmental Medicine 61: 586-593.
- Hagström, K.; Lundholm, C.; Eriksson, K. & Liljelind, I. (2008). *Variability and Determinants of Wood Dust and Resin Acid Exposure during Wood Pellet Production: Measurement Strategies and Bias in Assessing Exposure-Response Relationships*. Annals of Occupational Hygiene 52: 1-10.
- Haro, L.; Celis, G.; López, P.; Sánchez, F. R. & Juárez, C.A. (2006). *Matriz de exposición ocupacional genérica. Consistencia y validez al aplicarla en una pequeña empresa*. Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social 45(3): 255-263.
- Health and Safety Laboratory. (2000). *General methods for sampling and gravimetric analysis of respirable and inhalable dust MDHS 14/3*. Obtenido desde <http://www.hse.gov.uk/pubns/mdhs/pdfs/mdhs14-3.pdf>. Fecha de acceso: 10 de setiembre de 2009.
- Hronung, R. & Reed, L.D. (1990). *Estimation of average concentration in the presence of nondetectable values*. Appl. Occup. Env. Hyg. 5: 546-51.
- IARC. (1995). *Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans*. Volume 62. Wood dust and formaldehyde. Lyon: International Agency for Research on Cancer.
- INTECO. (2001). *INTE 31-08-04-01: concentraciones ambientales máximas permisibles en los centros de trabajo*. 2 ed. Costa Rica: INTECO.
- Kauppinen, T.; Heikkilä, P. & Plato, N. (2009). *Construction of job-exposure matrices for the Nordic Occupational Cancer Study (NOCCA)*. Acta Oncológica 48: 791-800.
- Kauppinen, T.; Liukkunen, T. & Vincent, R. (2006). *Occupational Exposure to Inhalable Wood Dust in the Member States of the European Union*. Annals of Occupational Hygiene 50(6): 549-561.
- Kromhout, H. (2002). *Design of Measurement Strategies for Workplace Exposures*. Occupational and Environmental Medicine 59: 349-354.
- Liljelind, I.E.; Rappaport, S.M. & Levin, J.O. (2001). *Comparison of self-assessment and expert assessment of occupational exposure to chemicals*. Scand J. Work Environment Health 27(5): 311-317.
- Lillienberg, L.; Zock, J.P. & Kromhout, H. (2008). *A Population-Based Study on Welding Exposures at Work and Respiratory Symptoms*. Annals of Occupational Hygiene 52(2): 107-115.
- Mwaiselage, J.; Bratveit, M.; Moen, B. & Yost, M. (2005). *Variability in Dust Exposure in a Cement Factory in Tanzania*. Annals of Occupational Hygiene, 1-9.
- Occupational Safety & Health Administration. (2008). *ID-121: Metal and Metalloid Particulates in Workplace Atmospheres: Atomic Absorption*. Obtenido desde <http://www.osha.gov/dts/sltc/methods/inorganic/id121/id121.html>. Fecha de acceso: 26 de mayo del 2009.
- Osman, E. & Pala, K. (2009). *Occupational Exposure to Wood Dust and Health Effects on the Respiratory System in a Minor Industrial Estate in Bursa/Turkey*. International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health 22(1): 43-50.
- Partanen, T.; Espinosa, M.T. & Piñeros, M. (2005). *Determinación del historial de exposiciones en la epidemiología ocupacional*. Revista Panamericana de Salud Pública 18(3): 187-196.
- Perkins, J. (1997). *Modern Industrial Hygiene*. Vol. 1. USA.
- Rappaport, S.M.; Weaver, M. & Taylor, D. (1999) *Application of Mixed Models to Assess Exposures Monitored by*

- Construction Workers During Hot Processes*. Annals of Occupational Hygiene 43(7): 457-469.
- Scheeper, B.; Kromhout, H. & Boleij, J. S. M. (1995). *Wood-dust exposure during wood-working processes*. Annals of Occupational Hygiene 39(2): 141-154.
- Seel, E.A.; Zaebs, D.D. & Hein, M.J. (2007). *Inter-Rater Agreement for a Retrospective Exposure Assessment of Asbestos, Chromium, Nickel and Welding Fumes in a Study of Lung Cancer and Ionizing Radiation*. Annals of Occupational Hygiene 51(7): 601-610.
- Seixas, N. S. & Checkoway, H. (1995). *Exposure assessment in industry specific retrospective occupational epidemiology studies*. Occupational and Environmental Medicine 52: 625-633.
- Spee, T.; van de Rijdt-van Hoof, E. & van Hoof, W. (2007). *Exposure to Wood Dust Among Carpenters in the Construction Industry in The Netherlands*. Annals of Occupational Hygiene 51(3): 241-248.
- Teschke, K.; Demers, P.A. & Davies, H.W. (1999). *Determinants of Exposure to Inhalable Particulate, Wood Dust, Resin Acids, and Monoterpenes in a Lumber Mill Environment*. Annals of Occupational Hygiene 43(4): 247-255.
- Verma, D.K.; Kurtz, L.A.; Sahai, D. & Finkelstein, M.M. (2003). *Current Chemical Exposures Among Ontario Construction Workers*. Applied Occupational and Environmental Hygiene 18: 1031-1047.
- Weaver, M.; Kupper, L. & Rappaport, S.M. (2001). *Simultaneous Assessment of Occupational Exposures from Multiple Worker Groups*. Annals of Occupational Hygiene 45(7): 525-542.
- Woskie, S.R.; Kalil, A.; Bello, D. & Virji, M.A. (2002). *Exposures to Quartz, Diesel, Dust, and Welding Fumes During Heavy and Highway Construction*. American Industrial Hygiene Association Journal 63: 447-457.