

**Instituto Tecnológico de Costa Rica**

**Informe Final**

**Evaluación de exposición ocupacional a isocianatos en procesos  
de aplicación de lacas y pintura en mueblerías y talleres de  
enderezado y pintura de vehículos**

**Preparado por:**  
**BQ. María Gabriela Rodríguez**  
**Ing. Ignacio del Valle**  
**Ing. Carlos Mata Montero**  
**MQI. Lourdes Medina Escobar**

Asistentes de investigación:  
Ing. Esteban Arias Monge  
Ma. Gabriela Hernández Gómez.

**Enero 2010 - Diciembre 2012**

## Índice de Contenidos

1. Resumen .....	2
2. Introducción.....	3
3. Estado del Arte .....	5
<b>3.1 Objetivo general</b> .....	6
<b>3.2 Objetivos específicos</b> .....	6
4. Metodología y herramientas de análisis.....	7
<b>4.1 Tipo de estudio</b> .....	7
<b>4.2 Selección de la muestra</b> .....	7
<b>4.3 Herramientas de diagnóstico</b> .....	7
<b>4.4 Herramientas de análisis</b> .....	8
5. Resultados y Discusión.....	10
<b>5.1 Descripción de los procesos</b> .....	10
<b>5.2 Descripción de las condiciones de talleres de enderezado y pintura</b> .....	11
<b>5.3 Descripción de las condiciones de ebanisterías y mueblerías</b> .....	13
<b>5.4 Análisis de datos</b> .....	15
<b>5.5 Exposición ocupacional a diisocianatos</b> .....	16
<b>5.6 Sistemas de control</b> .....	20
6. Conclusiones y Recomendaciones.....	23
<b>6.1 Conclusiones</b> .....	23
<b>6.2 Recomendaciones</b> .....	23
7. Agradecimientos .....	24
8. Bibliografía.....	25
9. Apéndices .....	28
Distribución de planta para talleres visitados .....	28

## Índice de Cuadros

Cuadro 1. Proceso de pintura de vehículos.....	10
Cuadro 2. Proceso de pintura de vehículos.....	11
Cuadro 3. Condiciones de talleres de enderezado y pintura .....	13
<b>Cuadro 4.</b> Condiciones de ebanisterías y mueblerías .....	15
Cuadro 5. Concentraciones de diisocianatos de las muestras por empresa .....	17
Cuadro 6. Parámetros de tendencia central (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de las concentraciones obtenidas para cada diisocianato .....	18

## Índice de Figuras

Figura 1: Esquema del plan de análisis para el objetivo 3.2.1 .....	8
Figura 2: Esquema del plan de análisis para el objetivo 3.2.2.....	8
Figura 3. Ejemplos de cabinas utilizadas para pintar automóviles .....	12
Figura 4. Ejemplos de áreas utilizadas para laqueado de piezas de madera .....	14
Figura 5. Histogramas de los datos de concentración de los isocianatos estudiados.....	16

## TÍTULO

**Evaluación de exposición ocupacional a isocianatos en procesos de aplicación de lacas y pintura en mueblerías y talleres de enderezado y pintura de vehículos**

## AUTORES Y DIRECCIONES

MARÍA DE LOURDES MEDINA ESCOBAR, MÁSTER EN QUÍMICA INDUSTRIAL,  
[MMEDINA@ITCR.AC.CR](mailto:MMEDINA@ITCR.AC.CR) (PRINCIPAL)

ING. IGNACIO DEL VALLE, MÁSTER EN ADMINISTRACIÓN DE LA INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA, CON ÉNFASIS EN ADMINISTRACIÓN DE LA ENERGÍA,  
[IDELVALLE@ITCR.AC.CR](mailto:IDELVALLE@ITCR.AC.CR)

MARIA GABRIELA RODRIGUEZ ZAMORA, BACHILLER EN QUÍMICA.  
[GARODRIGUEZ@ITCR.AC.CR](mailto:GARODRIGUEZ@ITCR.AC.CR)

ING. CARLOS MATA MONTERO, MÁSTER EN ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS. [CAMATA@ITCR.AC.CR](mailto:CAMATA@ITCR.AC.CR)

## 1. Resumen

La exposición a isocianatos ha sido identificada como una de las causas más frecuentes de asma ocupacional en países desarrollados y está asociada con irritación de piel, ojos, membranas mucosas y del sistema respiratorio. Con respecto a este último, los síntomas pueden variar desde tos y dificultad para respirar hasta edema pulmonar y muerte; razón por la cual se torna esencial el monitoreo de la exposición ocupacional a este agente. El objetivo de este estudio fue evaluar los niveles de exposición ocupacional a isocianatos en trabajadores de un grupo piloto de mueblerías y talleres de enderezado y pintura de vehículos y hacer una comparación entre empresas y entre sectores. Se propuso además un cálculo de los caudales necesarios de aire de ventilación para aquellos casos donde los resultados de las muestras generaron alertas con respecto a la cantidad de isocianatos. En total la muestra incluyó 16 talleres, nueve dedicados al enderezado y pintura de vehículos y siete a ebanistería y laqueado. Se utilizó como referencia el método OSHA 42 para la recolección y análisis de las muestras. La cuantificación de los tres diisocianatos (2,4-TDI, 2,6-TDI y 1,6-HDI) se realizó por medio de la técnica de cromatografía líquida de alta resolución (HPLC). Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Higiene Analítica, ubicado en la Escuela de Ingeniería en Seguridad Laboral e Higiene Ambiental, del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Como resultado se obtuvo que, para las concentraciones en general, los promedios no sobrepasaron la normativa nacional; sin embargo, en dos de los centros de trabajo se encontraron concentraciones por encima de los valores permitidos en la normativa vigente. Debido a que la mayoría de las concentraciones obtenidas fueron no detectables, no fue posible realizar comparaciones estadísticas entre los talleres ni por sector, aunque se pudo observar que las mueblerías y ebanisterías reportaron un mayor número de valores cuantificables (el 25% de 1,6-HDI, el 75% de 2,4-TDI y el 100% de 2,6-TDI).

**Palabras Clave:** isocianatos, pinturas, madera, talleres de enderezado y pintura, exposición ocupacional.

## 2. Introducción

Los diisocianatos son químicos industriales que contienen grupos  $N=C=O$  insaturados y son utilizados en productos de poliuretano tales como espumas, pinturas, lacas, tintas, barnices, materiales aislantes, caucho y agentes enlazantes y vulcanizantes (Pronk, A; Preller, L; Raulf-Heimsoth, M; et al, 2007) (Lesage, J; Goyer, N; Desjardins, F; et al, 1992). En la literatura consultada se señala que la industria del poliuretano se está incrementando y con ella también el número de trabajadores expuestos a estas sustancias (Pronk, A; Preller, L; Raulf-Heimsoth, M; et al, 2007).

Las pinturas a base de poliuretano son comúnmente usadas en la industria de reparación de vehículos por sus propiedades técnicas como durabilidad, estabilidad del color, resistencia a la abrasión y a cambios extremos en el clima. Los diisocianatos están presentes en todas las capas de pintura que se aplican: desde el *primer* hasta el transparente o brillo (Boutin, M; Dufresne, A; Ostiguy, C; et al, 2006). Un estimado de la prevalencia de estos compuestos en los trabajadores expuestos ronda entre el 5-10% (Torling, G; Alexandersson, R; Hedenstierna, G; et al, 1990) (Deschamps, F; Prevost, A; Lavaud, F; et al, 1998), aunque algunos estudios indican rangos más altos (hasta 20-30%) en las labores más riesgosas (Vandenplas, O; Cartier, A; Lesage, J; et al, 1993). Además de la aplicación de pintura, se reportan concentraciones de isocianatos en el rango de 1,07-9,8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para procesos de corte y de 0 – 1,29 para lijado dentro de los talleres (Boutin, M; Dufresne, A; Ostiguy, C; et al, 2006).

En las pinturas de poliuretano, utilizadas en estos talleres, el componente endurecedor consiste principalmente de especies oligoméricas de baja volatilidad de diisocianato de hexametileno (HDI) y diisocianato de isoforona (IPDI), que comprenden más del 99% del total de grupos funcionales isocianato (NCO). El restante 1% corresponde a monómeros de HDI y/o IPDI (Bello, D; Woskie, S. R; Streicher, R. P; et al, 2004) (Sparer, J; Stowe, M. H; Bello, D; et al, 2004) (Pronk, A; Tielemans, E; Skarping, G; et al, 2006).

De acuerdo con datos estadísticos del Instituto Nacional de Seguros, en su sección de Riesgos del Trabajo, en el año 2005 existían 314 pólizas y 1.812 trabajadores asegurados para la actividad económica específica de mantenimiento y reparación de vehículos. Para el año 2006 las cifras ascendieron a 3.819 trabajadores y 503 pólizas, para un promedio de ocho trabajadores por póliza, lo cual representa un incremento, en un año, del 111% en la población laboral que se dedica a esta actividad (INS, 2007). Es importante considerar que estos datos pueden no corresponder al total real de trabajadores y talleres existentes, dado que es posible que algunos sean parte del sector informal. Aunado al incremento del sector, la cantidad de vehículos que circulan en el país y el número de accidentes de tránsito, según estadísticas del Seguro Obligatorio Automotor de COSEVI, fue de 705.546 y 14.184 respectivamente para el 2005 y ascendió a 797.902 y 15.615 para el 2007, lo cual representa un aumento cercano al 10% en el número de denuncias durante esos dos años.

Otro sector en el que es frecuente el uso de lacas y barnices a base de poliuretanos, es el de fabricación de muebles. Dentro de los procesos de acabado final se encuentran la aplicación de tintes y abrillantadores que podrían estar generando sensibilización a isocianatos en la población, lo que aunado a la exposición a polvo de madera, puede potenciar la incidencia de enfermedades respiratorias.

La industria de fabricación de muebles en Costa Rica se compone en forma prioritaria de pequeñas y micro empresas con pocas posibilidades de inversión en sistemas de extracción para los contaminantes que se generan, por lo que los procesos de pintura con frecuencia se realizan en espacios compartidos con otras tareas y donde la ventilación es deficiente.

En Costa Rica no se han publicado estudios sobre los niveles de exposición a isocianatos de los trabajadores que se dedican a la aplicación de lacas y pinturas en mueblerías y talleres de enderezado y pintura de vehículos. Sin embargo, debido a que un sector importante de la población laboral se dedica a estas actividades, se consideró necesario realizar un estudio exploratorio para ofrecer un panorama general de la situación de exposición actual a estas sustancias y hacer recomendaciones acerca de las medidas preventivas o correctivas necesarias, con el fin de que la exposición de los trabajadores se mantenga dentro de los niveles requeridos. Además, con la información obtenida a partir del análisis de las muestras, se propuso establecer una comparación de los niveles de exposición ocupacional entre empresas y entre sectores, para determinar si existía diferencia significativa entre éstos.



### 3. Estado del Arte

Se ha reportado que la exposición ocupacional a isocianatos puede producir asma, hipersensibilidad, neumonitis y pérdida de la función pulmonar (Vandenplas, O; Cartier, A; Lesage, J; et al, 1993) (Bernstein, 1996) (Wisnewski y Redlich, 2001).

Los trabajadores que utilizan pinturas en spray se encuentran entre los grupos con la mayor incidencia de asma ocupacional en países industrializados (McDonald, J. C.; Keynes, H. L; Meredith S. K, 2000) (Karjalainen, A; Kurppa, K; Virtanen, S; et al, 2000) (Ameille, J; Pauli, G; Calastreng-Crinquand, A; et al, 2003) (Di Stefano, F; Siriruttanapruk, S; McCoach, J; et al, 2004). Muchos estudios reportan casos de asma en talleres de enderezado y pintura (Cockcroft y Mink, 1979) (Belin, L; Hjortsberg, U; Wass, U; 1981) (Clarke y Aldons, 1981).

Debido a que el asma es la principal consecuencia por exposición a isocianatos, tradicionalmente se ha considerado más importante la exposición inhalatoria. Por lo anterior, y con el fin de reducir el potencial tóxico de estos compuestos en trabajadores expuestos, la mayoría de países han reducido sus estándares permitidos hasta concentraciones de 5ppb para periodos de 8 horas y se han sustituido los monómeros de diisocianatos por polímeros.

Actualmente se emplean oligómeros de los diisocianatos, principalmente del diisocianato de hexametileno (HDI) y el diisocianato de difenil-metano (MDI), ya que poseen presiones de vapor considerablemente menores a las de los monómeros, con lo cual se reduce la exposición por inhalación. Sin embargo, la exposición a estos compuestos sigue siendo objeto de estudio por la alta incidencia de asma en los trabajadores que utilizan este tipo de compuestos (Berode, M; Jost, M; Ruegger, M; et al, 2005). Pruebas de inhalación específica, realizadas a trabajadores expuestos a estas sustancias, confirman que los oligómeros también pueden causar asma (Bello, D; Woskie, S. R; Streicher, R. P; et al, 2004) (Vandenplas, O; Malo, J. L; Saetta, M; et al, 1993).

Además de los efectos conocidos por exposición inhalatoria, se han realizado estudios que demuestran que la exposición dérmica a isocianatos produce hipersensibilización, irritación de piel y alergias por contacto (Bello, D; Herrick, C. A; Smith, T. J; et al, 2007) (Goossens, A; Detienne, T; Bruze, M, 2002) (Redlich, C. A; Bello, D; Wisnewski, A, 2006).

A pesar de la gran cantidad de estudios sobre este agente químico, hay poca literatura disponible con respecto a los mecanismos biológicos para relacionar exposición con enfermedad por varias razones, entre las que se incluye la complejidad de la evaluación de exposición inhalatoria debido a la gran variedad de compuestos de isocianato que se utilizan en los procesos productivos, lo cual dificulta la identificación de los componentes específicos responsables de efectos adversos a la salud en trabajadores expuestos (Pronk, A; Preller, L; Raulf-Heimsoth, M; et al, 2007) (Kimber, 1996) (Kimber y Dearman, 2002)

La *American Conference of Governmental Industrial Hygienist* (ACGIH) recomienda un valor límite de concentración en el aire para el diisocianato de isoforona y el diisocianato de hexametileno de 5 ppb. Este dato corresponde al valor umbral límite (TLV-TWA), que es la concentración a la cual los trabajadores pueden estar expuestos sin presentar efectos adversos a la salud durante su vida laboral (8 horas diarias, cuarenta horas semanales, durante 40 años) (ACGIH, 2011). En Costa Rica, estos valores límite están

normados por el Instituto de Normas Técnicas (INTECO) en la norma INTE 31-08-04-01, y para estas sustancias el valor máximo permitido (TLV-TWA) también es de 5 ppb (INTECO 2001).

En Costa Rica, las pinturas a base de poliuretano tienen cerca de 15 años de ser las más utilizadas entre los dos sectores estudiados, y según se indica en las publicaciones científicas, éste es el periodo de sensibilización que tienen los isocianatos, por lo que es posible que en el corto plazo los trabajadores desarrollen problemas de vías respiratorias debido a la exposición a estos compuestos.

### **3.1 Objetivo general**

Contribuir con la valoración de las condiciones de salud de los trabajadores dedicados a la aplicación de pinturas y lacas, mediante la determinación de los niveles de exposición a isocianatos, en una muestra de mueblerías y de talleres de enderezado y pintura de vehículos ubicados en la Gran Área Metropolitana de Costa Rica.

### **3.2 Objetivos específicos**

- 3.2.1 Estimar los niveles de exposición ocupacional a isocianatos para aplicadores de pinturas y lacas en labores de fabricación de muebles y reparación de vehículos.
- 3.2.2 Establecer una comparación de los niveles de exposición ocupacional a isocianatos entre las empresas y sectores participantes.
- 3.2.3 Proponer lineamientos y mejoras básicas para los sistemas de control, existentes en las empresas, tendientes a disminuir la exposición a isocianatos.

## **4. Metodología y herramientas de análisis**

### **4.1 Tipo de estudio**

Se llevó a cabo un estudio de tipo exploratorio, pues en Costa Rica no existen datos sobre los niveles de exposición ocupacional a isocianatos en empresas de reparación de vehículos y mueblerías.

### **4.2 Selección de la muestra**

Se seleccionaron 16 empresas como grupo piloto a estudiar. En el sector de fabricación y acabado de muebles de madera se contactó un grupo de tres mueblerías en Cartago (San Rafael y Orosi) y cuatro talleres de artesanía y muebles en Sarchí.

También se visitaron 9 talleres de enderezado y pintura de vehículos, distribuidos en la Gran Área Metropolitana. Se trató de incorporar en la muestra talleres de diferentes tamaños y con diversos tipos de cabinas o espacios destinados para la pintura de los vehículos.

Con el fin de garantizar la confidencialidad de los talleres que participaron en la investigación, a cada uno se le asignó un código utilizando las letras del abecedario (A–P).

### **4.3 Herramientas de diagnóstico**

#### **4.3.1 Observación no participativa**

Se utilizó la técnica de observación no participativa, con el fin de recopilar información acerca de las empresas participantes, como: número de trabajadores, jornada laboral, descripción del proceso, tareas que se realizaban, puestos de trabajo más críticos, tipo de laca o pintura, ingredientes activos, entre otros.

Se procedió a plantear la estrategia de muestreo, para la cual se utilizó una aproximación de “peor caso”, de modo que se incluyera a uno o dos trabajadores con la mayor exposición a los agentes químicos en estudio dentro de cada taller.

Se hizo uso de bitácoras de muestreo en las que se registraron en forma detallada las actividades realizadas por los trabajadores durante los muestreos, con el fin de tener la mayor cantidad de información posible para poder caracterizar la exposición a isocianatos.

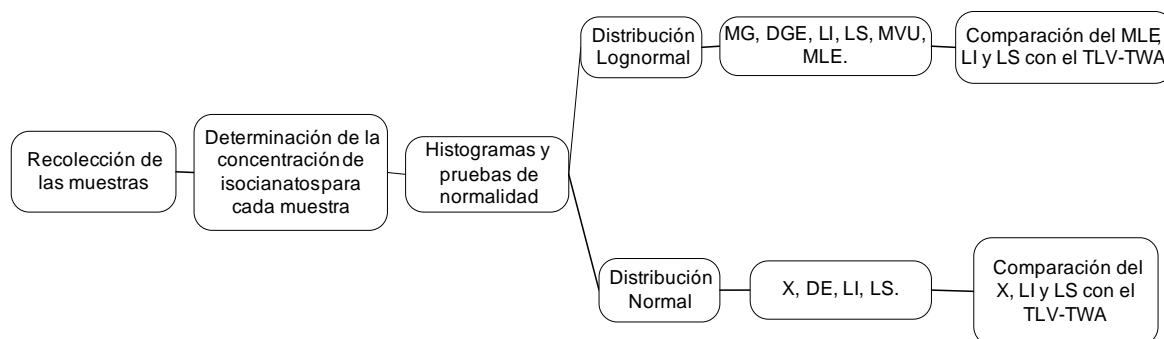
#### **4.3.2 Método de muestreo**

Se utilizó como referencia el método OSHA 42 para la recolección y análisis de las muestras. La cuantificación de los tres isocianatos se realizó por medio de la técnica de cromatografía líquida de alta resolución (HPLC). Para efectuar el muestreo se requirieron disoluciones derivatizantes, filtros de fibra de vidrio, bombas de muestreo personal a un flujo recomendado de 1 L/min, tubos flexibles y calibrador.

#### 4.4 Herramientas de análisis

Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Higiene Analítica, ubicado en la Escuela de Ingeniería en Seguridad Laboral e Higiene Ambiental, del Instituto Tecnológico de Costa Rica. A continuación se representan diagramas de flujo, con las herramientas de análisis necesarias para alcanzar cada uno de los objetivos planteados.

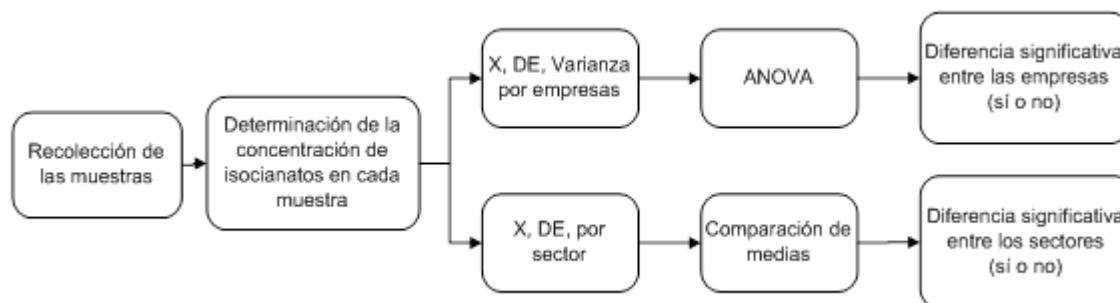
4.4.1 Objetivo específico 3.2.1: Estimar los niveles de exposición ocupacional a isocianatos para aplicadores de pinturas y lacas en labores de fabricación de muebles y reparación de vehículos.



**Figura 1:** Esquema del plan de análisis para el objetivo 3.2.1

Fuente: Equipo de trabajo

4.4.2 Objetivo específico 3.2.2: Establecer una comparación de los niveles de exposición ocupacional a isocianatos entre las empresas y sectores participantes.



**Figura 2:** Esquema del plan de análisis para el objetivo 3.2.2

Fuente: Equipo de trabajo

4.4.3 Objetivo específico 3.2.3: Proponer lineamientos y mejoras básicas para los sistemas de control existentes en las empresas, tendientes a disminuir la exposición a isocianatos.

Durante las observaciones no participativas realizadas en los talleres, se llevó a cabo un registro de los tipos de sistemas de extracción de aire disponibles en las empresas.

Se propuso un cálculo de los caudales necesarios de aire de ventilación para aquellos casos donde los resultados de las muestras generaron alertas con respecto a la cantidad de isocianatos.

## 5. Resultados y Discusión

En total se evaluó la exposición ocupacional a isocianatos en 16 talleres, nueve dedicados al enderezado y pintura de vehículos y siete a ebanistería y laqueado.

Se encontró que, en los talleres grandes, donde el flujo de trabajo era constante, los pintores dedicaban gran parte de la jornada a la aplicación de pintura. Sin embargo, en talleres pequeños era posible que se pintara solamente una vez a la semana y la cantidad de piezas variaba según la demanda. Bajo este panorama, se decidió tomar las muestras únicamente durante los lapsos de tiempo en que se realizaban las aplicaciones.

Se debe considerar que en estas empresas la rotación de los trabajadores dedicados a labores de aplicación es muy alta. La edad de la mayoría de los trabajadores evaluados rondaba entre 20-30 años, por lo cual se puede considerar como una población muy joven.

### 5.1 Descripción de los procesos

El proceso de pintura de vehículos consta de varias partes, como se muestra a continuación.

**Cuadro 1.** Proceso de pintura de vehículos

<b>Tarea</b>	<b>Descripción</b>
Aplicación del premier	Esta operación normalmente se realiza fuera de las cámaras de pintura, sobre la pieza acabada y lijada.
Empapelado	En las áreas del vehículo que no van a ser pintadas.
Limpieza de las piezas	Los pintores revisan el acabado de la pieza y limpian con thinner la superficie para eliminar grasa o impurezas que puedan deteriorar la pintura.
Preparación de la pintura y llenado de las pistolas	El pintor prepara la pintura mezclando el disolvente y el acelerante o catalizador con el pigmento y luego lo vierte en el contenedor de la pistola.
Aplicación del pigmento	Regularmente se administran 3 capas del pigmento y se espera entre 5 y 10 minutos por aplicación.
Aplicación del transparente	Es la última de las capas del proceso. Se aplica con la boquilla de la pistola abierta, de modo que se obtenga una niebla pareja sobre toda la superficie. Pueden darse de 2 a 3 aplicaciones.
Secado de la pieza	Se deja secar la pieza.

Fuente: Equipo de trabajo

El proceso de laqueado de muebles y piezas de madera contempla las partes que se presentan en el Cuadro 2.

**Cuadro 2.** Proceso de pintura de vehículos

Tarea	Descripción
Preparación de las piezas	Se liján las piezas de madera.
Teñido	El proceso puede ser aplicación de tinte de forma manual o con pistola.
Preparación de la mezcla de poliuretano	Se prepara con el catalizador y se procede a llenar las pistolas.
Laqueado	Una pieza de madera lleva de 3 a 4 manos de laqueado, pero depende del acabado deseado y de los porcentajes de componentes utilizados por el trabajador para la preparación de la laca. En algunas ocasiones el proceso es seguido de otro lijado, dependiendo de la calidad de la primera mano de laqueado.

Fuente: Equipo de trabajo

En los talleres que fueron visitados, se observó que la preparación de las mezclas para pintar se realizaba según las instrucciones del fabricante. Las herramientas utilizadas eran muy variadas (medidores de volumen, coladores, removedores y embudos).

En los talleres y mueblerías grandes se contaba con herramientas desechables para evitar la contaminación del producto y garantizar la calidad del acabado, mientras que en los de menor tamaño se utilizaban adaptaciones de materiales de desecho, como por ejemplo: la parte superior de una botella como embudo, un colador de cocina como filtro y latas de pintura viejas como medidores.

Por lo general, la mezcla se realizaba en el cuarto destinado para el almacenamiento de la pintura, donde se daba la tarea de limpieza del equipo. Sólo uno de los talleres de enderezado y pintura (I) contaba con un área específica para la limpieza de equipo, equipada con una campana de extracción de vapores y pilas especializadas.

## 5.2 Descripción de las condiciones de talleres de enderezado y pintura

El volumen de trabajo en los talleres de enderezado y pintura está determinado por la época del año. Las fechas posteriores a las vacaciones o los “fines de semana largos” suelen ser los periodos en que los talleres reciben más vehículos.

Dentro de la muestra de talleres se incluyeron siete con cabinas presurizadas, los dos restantes no contaban con este elemento de control. Se registró en cinco de los talleres, que el mantenimiento y estado general de las cabinas era irregular (ventanas quebradas (1), filtros desgastados y sucios (2), puertas que no cerraban de forma hermética (1) y condiciones de higiene y almacenamiento que podrían afectar el rendimiento de los sistemas de extracción (1)).

Uno de los factores determinantes de la exposición a isocianatos, contenidos en las sustancias para el pintado de vehículos, podría ser la inexistencia o no funcionamiento de las cabinas presurizadas de pintura, ya que las mismas están diseñadas para adsorber los residuos emanados del proceso.



(3a) (3b) (3c)  
**Figura 3.** Ejemplos de cabinas utilizadas para pintar automóviles

Fuente: Equipo de trabajo

En la figura 3 se ejemplifican tres tipos diferentes de estaciones donde se realizaba la pintura de vehículos. En la figura 3a, se observa una cabina con extracción en la parte inferior, la cual permite despejar los vapores generados durante la aplicación de forma rápida, con el beneficio de que además los aleja de la zona respiratoria del trabajador. La figura 3b, consiste en un área dentro del taller donde se realiza la pintura, pero que no cuenta con ningún sistema adicional de control mecánico de la ventilación o separación física con el resto del espacio (aunque en algunos casos se colocan cortinas plásticas como barrera), y la figura 3c presenta un espacio cerrado (horno de secado) que no cuenta con sistema de extracción localizada, por lo que cuando el trabajador cierra las puertas y realiza las aplicaciones, los vapores permanecen por mayor tiempo en el ambiente, incluso dificultando la visibilidad.

En el siguiente cuadro se muestran las condiciones generales de cada uno de los talleres de enderezado y pintura. La descripción de las tareas corresponde a las labores llevadas a cabo por el personal durante el muestreo; la información del equipo de protección personal (EPP) y los controles fue tomada de los registros de las visitas de observación no participativa.



**Cuadro 3.** Condiciones de talleres de enderezado y pintura

Código del taller	Número de muestras	Observaciones		
		Tareas	EPP	Controles
A	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Preparación de pintura</li> <li>Aplicación de pintura</li> <li>Mueve fuera del horno el vehículo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mascarilla</li> <li>Respirador</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cabina de pintado con inyección y extracción</li> </ul>
B	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Preparación de vehículo</li> <li>Aplicación de pintura dentro de horno</li> <li>Lijado de piezas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Respirador 3M con filtros</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cabina de pintado</li> </ul>
D	4	<ul style="list-style-type: none"> <li>Preparación de pintura</li> <li>Aplicación de pintura y premier</li> <li>Lijado de piezas</li> <li>Limpieza de vehículo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aplicadores: respirador con cartuchos 6001</li> <li>No aplicadores: respirador 3M N95</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dos cabinas de pintado: sólo una cabina tiene extractores</li> </ul>
H	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aplicación de pintura</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Respirador 3M con cartuchos 6001</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sin cabina</li> <li>Sin sistema de extracción</li> </ul>
I	9	<ul style="list-style-type: none"> <li>Preparación de piezas</li> <li>Aplicación de premier y pintura</li> <li>Lijado de piezas</li> <li>Limpieza de pistola</li> <li>Pulido de pieza</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>No utilizó</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mesa de lavado de pistolas con campana de extracción</li> <li>Cabinas de pintado (3)</li> </ul>
J	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Preparación de vehículos</li> <li>Aplicación de pintura en horno y cabina</li> <li>Lijado de piezas dentro de horno</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mascarilla N95</li> <li>Respirador</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dos cabinas de pintado</li> <li>Horno presurizado aire y calefacción</li> <li>Extractores en techo en área de alistado.</li> </ul>
L	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aplicación pintura y acabado</li> <li>Preparación de mezcla</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Para pintar usan respirador 3M con cartucho 6001</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cabina de pintado con extracción</li> </ul>
M	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aplicación de pintura</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mascarilla</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cabina de pintado con inyección y extracción</li> </ul>
O	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aplicación de pintura</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mascarilla desechable</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hay un extractor</li> <li>No hay horno</li> </ul>

Fuente: Equipo de trabajo

En ocho de los talleres evaluados se utilizó pintura para automóviles a base de poliuretano, mientras que en uno de ellos (J) se empleó pintura a base de agua, pero el componente del transparente sí contenía poliuretano.

### 5.3 Descripción de las condiciones de ebanisterías y mueblerías

En el estudio participaron siete mueblerías o ebanisterías, de las cuales sólo dos contaban con un ritmo de producción fijo porque se dedicaban a exportar sus productos; los restantes eran talleres pequeños, dedicados a las artesanías o labores por encargo.

Las condiciones de los centros de trabajo fueron muy variadas, ya que eran áreas pequeñas donde se combinaban todas las labores necesarias para la elaboración de un mueble de madera y aunque existían áreas delimitadas para el laqueado de las piezas, no

siempre estaban en las mejores condiciones (ver apéndices K y N). Los talleres pequeños (E, F, K y N) contaban con algún tipo de sistema para mejorar la circulación del aire y remover las partículas suspendidas en el área: desde abanicos de pie hasta ventiladores dispuestos en alguna de las paredes; aunque el estado de los mismos: conexiones eléctricas, limpieza, antigüedad, etc., así como su ubicación (generando corrientes de aire que no propician la salida del contaminante) podrían contribuir con la exposición de los trabajadores a los diferentes agentes presentes durante las aplicaciones.

En las mueblerías pequeñas los tiempos de laqueado eran cortos, por lo que se programaban varios trabajos para un solo día, con la intención de economizar producto y tiempo en la labor.

En el caso de los talleres de mayor tamaño (C y G), éstos contaban con espacios diseñados para el laqueado, pero al momento de las visitas los trabajadores no realizaban la labor en esas áreas, ya que ellos manifestaron que el espacio era reducido e invertían más tiempo trabajando dentro de las áreas especiales. Esto implica, que aún cuando las empresas contaban con instalaciones con algún sistema de extracción, los trabajadores se exponían al contaminante de forma directa.

En la Figura 4 se presentan ejemplos de algunas áreas utilizadas por los trabajadores durante el laqueado de piezas de madera. Se puede observar que hay variabilidad en el diseño de los espacios destinados para la aplicación de pintura. En aquellos donde los espacios eran más cerrados (figura 4.a) es posible observar la acumulación de los vapores de la pintura. El orden y limpieza de los recintos (figura 4.b) puede estar asociado a accidentes y además podría contribuir a la exposición al permitir que el contaminante se acumule sobre las superficies y esté disponible para que ingrese al cuerpo por vía dermal.



**Figura 4.** Ejemplos de áreas utilizadas para laqueado de piezas de madera

Fuente: Equipo de trabajo

Cuando las operaciones de laqueado se hacían en exteriores (4c), dependiendo de la ubicación y del tipo de pieza, las corrientes de aire podían llevar el contaminante directamente hasta la zona respiratoria del trabajador, así como transportarlo hacia áreas aledañas, contaminando otras zonas de la empresa.

El volumen de trabajo estaba principalmente definido por las demandas del mercado. Sin embargo, la condición climática afectaba la realización de las tareas de laqueado, ya que en días lluviosos o muy fríos se suspendían para no afectar la calidad del acabado.

A continuación se presentan las condiciones generales de cada una de las ebanisterías y mueblerías. La descripción de las tareas corresponde a las labores llevadas a cabo por el personal durante el muestreo; la información del EPP y los controles fue tomada de los registros de las visitas de observación no participativa.

**Cuadro 4.** Condiciones de ebanisterías y mueblerías

Código de la empresa	Número de muestras	Observaciones		
		Tareas	EPP	Controles
C	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lijado de piezas</li> <li>Limpieza con aire comprimido</li> <li>Aplicación de barniz y tinte</li> <li>Encendido del horno</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mascarilla desechable</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cuarto de laqueado con sistema de extracción con chimenea</li> </ul>
E	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Limpieza del lugar</li> <li>Preparación de tinte</li> <li>Aplicación de tinte y barniz</li> <li>Lijado de piezas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Respirador 3M con cartucho 6001 (E-01)</li> <li>Lijado: mascarilla N95</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dos ventiladores</li> <li>Sin extracción</li> </ul>
F	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aplicación de laca</li> <li>Preparación de mezcla</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>No utilizó</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Inexistente</li> </ul>
G	3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Preparación de piezas</li> <li>Aplicación tinte y barniz</li> <li>Limpieza de piezas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Respirador 3M con cartuchos 6001</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cabina con extractores</li> </ul>
K	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Preparación de piezas</li> <li>Aplicación de laca</li> <li>Llenado de pistola</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Respirador 3M con cartuchos 6001</li> <li>Trabajador evaluado no usó</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Equipo de extracción (no funciona muy bien)</li> </ul>
N	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aplicación de pintura</li> <li>Limpieza de piezas con aire comprimido</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Respirador 3M con cartuchos 6001 para laquear</li> <li>Respirador 3M con cartuchos 2091 para lijar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Extractor sin chimenea</li> </ul>
P	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lijado de piezas</li> <li>Preparación de mezcla</li> <li>Laqueado y aplicación de pintura</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>No utilizó (mal estado de mascarilla)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Inexistente</li> </ul>

Fuente: Equipo de trabajo

#### 5.4 Análisis de datos

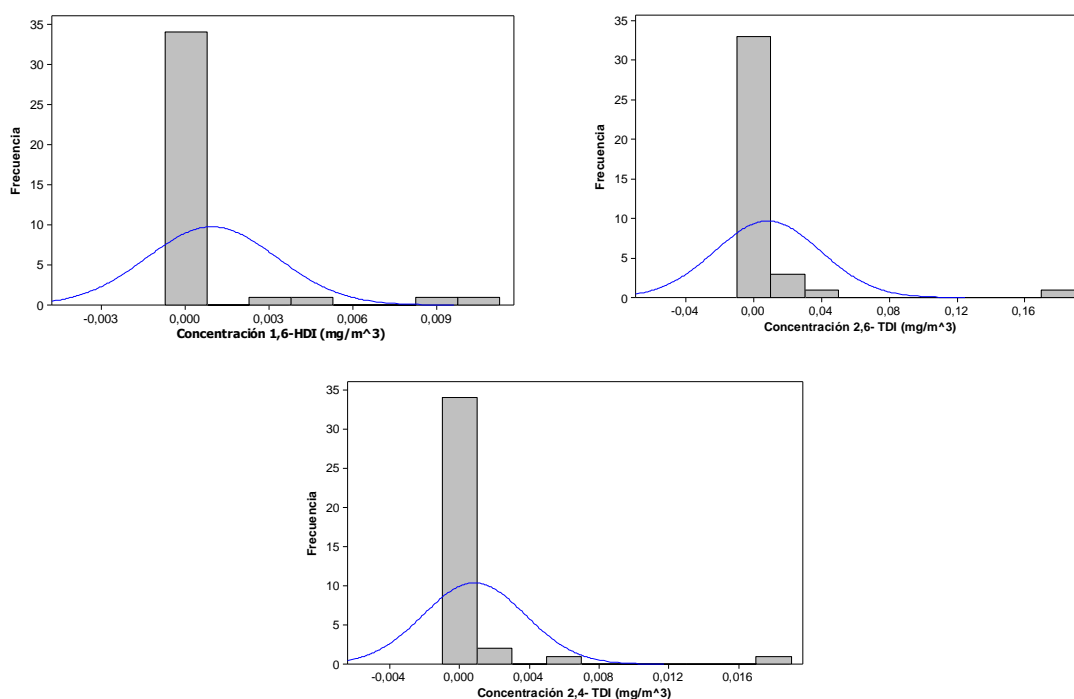
En total se recolectaron 33 muestras de isocianatos, 22 correspondientes a talleres de enderezado y pintura de vehículos y 11 a ebanisterías o mueblerías. En todas ellas se analizó la concentración obtenida de los diisocianatos 1,6-HDI, 2,6-TDI y 2,4-TDI.

La mayoría de las muestras recolectadas presentaron valores de concentración por debajo de los límites de detección, establecidos en 0,5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para el 1,6-HDI y 2,6-TDI, y en 0,3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para el 2,4-TDI. Con el fin de definir el criterio de estas concentraciones, que no son iguales a cero, se tomó como base el trabajo de Hornung y Reed (1990), en el cual se estudia el error asociado con la estimación de la media de exposición cuando se

tienen lecturas inferiores a los límites de detección. Para efecto de poder realizar los cálculos necesarios y hacer inferencias estadísticas, se introdujo como valor de la concentración de estas lecturas el equivalente a 0,5 veces el límite de detección.

De las muestras que sí resultaron cuantificables, se obtuvieron cuatro para el 1,6-HDI, cuatro para el 2,4-TDI y siete para el 2,6-TDI.

Para conocer la distribución de las concentraciones evaluadas, se elaboraron histogramas de frecuencia por isocianato. La siguiente figura muestra la distribución sin tratamiento de los resultados y es posible observar con claridad un importante sesgo a la derecha, patrón que coincide con las distribuciones referidas en la literatura para los valores de concentraciones en ambientes laborales (Gilbert, 1987).



**Figura 5.** Histogramas de los datos de concentración de los isocianatos estudiados.

Fuente: Equipo de trabajo

Con la información presentada anteriormente, se concluye que los valores obtenidos de las concentraciones de isocianatos pueden ser descritos adecuadamente por una distribución lognormal, lo cual es consistente con los resultados de las investigaciones de Rappaport y Selvin para este tipo de datos (Rappaport *et al*, 1987). Por lo anterior, el análisis de cumplimiento con la norma se basó en parámetros que pudieran ser convenientemente comparados con este tipo de distribución.

## 5.5 Exposición ocupacional a diisocianatos

Las comparaciones de exposición a los diferentes diisocianatos analizados se realizaron utilizando como referencia la normativa nacional vigente (INTE 31-08-04-01), en la cual se establece un TLV-TWA de 0,005 ppm ( $35,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) para el 2,6 y 2,4-TDI y de 0,005 ppm ( $34,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) para el 1,6-HDI. Estos límites de exposición ocupacional corresponden a concentraciones ponderadas para una jornada laboral de 8 horas diarias.

Aunque si bien es cierto que en la mayoría de los talleres se laboraba 10 horas diarias, las tareas en las que los trabajadores se exponían a isocianatos fueron menores a 8 horas, por lo que sólo se tomaron muestras cuando los trabajadores realizaban las tareas de pintura o laqueado. Los resultados de las concentraciones se presentan a continuación.

**Cuadro 5.** Concentraciones de diisocianatos de las muestras por empresa

Empresa	Fecha	Código	Concentración ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )			Tiempo muestra (min)
			1,6-HDI	2,6-TDI	2,4-TDI	
A	27/09/2012	A-07	ND	ND	ND	330
B	19/04/2012	B-01	3,2	ND	ND	165
	14/05/2012	B-02	ND	ND	ND	186
C	26/04/2012	C-01	ND	ND	ND	310
	08/11/2012	C-02	ND	ND	ND	315
D	07/05/2012	D-01	NC	ND	ND	265
		D-02	ND	ND	ND	268
	07/11/2012	D-03	ND	ND	ND	285
		D-04	ND	ND	ND	275
E	10/05/2012	E-01	ND	6,4	ND	92
	16/05/2012	E-02	10,8	13,4	1,3	264
F	07/12/2012	F-01	ND	ND	ND	200
G	01/06/2012	G-01	NC	26,1	2,7	342
		G-02	ND	189	17,4	340
	09/08/2012	G-03	ND	13,1	ND	430
H	29/08/2012	H-01	3,8	ND	ND	424
I	13/09/2012	I-01	ND	ND	ND	327
		I-02	ND	ND	ND	308
		I-03	ND	ND	ND	310
		I-04	ND	ND	ND	299
	12/11/2012	I-05	ND	ND	ND	310
		I-06	ND	ND	ND	308
		I-07	ND	ND	ND	307
		I-08	ND	ND	ND	304
		I-09	ND	ND	ND	306
J	26/09/2012	J-01	NC	ND	ND	415
		J-02	NC	ND	5,6	400
K	04/10/2012	K-01	ND	5,5	ND	136
L	10/10/2012	L-01	9,6	ND	ND	180
M	11/10/2012	M-01	ND	ND	ND	75
N	25/10/2012	N-01	ND	46,4	ND	79
O	15/11/2011	O-01	ND	ND	ND	49
P	05/12/2012	P-01	ND	NC	ND	330

Fuente: Equipo de trabajo

Se calcularon los parámetros de tendencia central, propios de una distribución logarítmica, para la evaluación de la exposición de los trabajadores a los tres diisocianatos muestreados, con el fin de determinar el estado de cumplimiento con la norma (ver Cuadro 6).

**Cuadro 6.** Parámetros de tendencia central (en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de las concentraciones obtenidas para cada diisocianato

Parámetro	Tipo de diisocianato		
	1,6-HDI	2,6-TDI	2,4-TDI
LIC	0,3	0,6	0,2
MLE	0,6	3,8	0,5
LSC	1,8	138,8	1,9
TLV-TWA	34,4	35,6	35,6

**Nota:** MLE= Estimador sesgado de máxima probabilidad, LSC=Límite superior de confianza, LIC= Límite inferior de confianza, TLV= Valor umbral límite.

Fuente: Equipo de trabajo

Se puede observar que todos los parámetros de tendencia central se encuentran por debajo de la norma de referencia, indicando una situación de cumplimiento. Se calcularon los límites de confiabilidad al 95% en torno al MLE (mejor estimador del promedio para una distribución log-normal), con el fin de contar con una estimación probabilística, obteniendo que, para el caso del 1,6-HDI y el 2,4-TDI, los límites superiores se encontraron por debajo de los límites de exposición ocupacional (LEO).

En el caso del 2,6-TDI, el límite superior de confianza superó el TLV-TWA, esto debido a que dentro de las concentraciones cuantificables se encontraron muestras (correspondientes a las empresas G y N) que superaron el valor umbral límite.

A continuación, se hace un resumen de las principales observaciones recabadas durante los muestreos, que podrían explicar los resultados obtenidos en las muestras para cada diisocianato:

➤ *1,6-Diisocianato de hexametileno*

Para el 1,6-HDI, ninguna de las cuatro concentraciones cuantificables obtenidas superó el valor umbral límite.

El trabajador de la mueblería E obtuvo la concentración más alta ( $10,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). El laqueado de las piezas era efectuado detrás del taller de ebanistería y sólo se contaba con la entrada de aire que ofrecía una puerta lateral; en este caso no existía ningún tipo de mecanismo de inyección o extracción, excepto un ventilador en posición estática colocado por el trabajador; sin embargo, las aplicaciones las efectuaba en diferentes sitios y a distintas alturas.

En el caso de los tres talleres de enderezado y pintura que obtuvieron concentraciones cuantificables del diisocianato 1,6-HDI, éstos presentaron la particularidad de que al momento del muestreo no estaban pintando dentro de la cabina (B y L) o no contaban con una en el taller (H), por lo cual no existían mecanismos de extracción de los contaminantes. Ante esta situación, no se descarta la posibilidad de que los demás trabajadores del taller también se estuvieran exponiendo a este contaminante, a pesar de que no estuvieran realizando la tarea de laqueado.

➤ *2,6-Diisocianato de tolueno*

En el caso de la exposición laboral al 2,6-TDI, aunque el estudio general señala que no existe sobrexposición de los trabajadores al contaminante, dos de las muestras obtenidas superaron el límite de exposición ocupacional establecido en  $35,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , y uno de los casos lo superó 5 veces. Se debe tomar en cuenta que todos los valores de concentración cuantificables corresponden a ebanisterías o mueblerías.

El valor de concentración más alto fue de  $189 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , correspondiente a un trabajador de la mueblería G, en la cual el proceso de laqueado de piezas era una tarea diaria y continua durante prácticamente toda la jornada laboral. En comparación con las demás ebanisterías y mueblerías consideradas en el estudio, ésta era la que producía más piezas con acabado final y en la cual se debía invertir mayor tiempo de laqueado.

Aunque la mueblería contaba con un cuarto diseñado para la tarea de laqueado, el trabajador evaluado laboraba fuera del mismo en un área cercana a la entrada de aire, pero como ya se señaló, la tarea de laqueado era continua y al momento del muestreo otros trabajadores realizaban de forma esporádica el laqueado de piezas junto a este trabajador.

La muestra de la empresa N presentó una concentración de exposición al agente por encima del límite permitido; cabe señalar que en este caso existía un sistema de extracción de aire artesanal, por lo cual se recomienda realizar más evaluaciones en el área para poder corroborar la eficiencia del mismo.

➤ *2,4-Diisocianato de tolueno*

Ninguna de las concentraciones cuantificables superó el valor umbral límite del contaminante ( $35,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). De las cuatro muestras que resultaron cuantificables, tres correspondían a las ebanisterías o mueblerías E y G, y una al taller de enderezado y pintura J.

La mueblería G presentó la concentración más alta para el 2,4-TDI, con un valor de  $17,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Aunque esta concentración está por debajo del valor umbral límite de exposición, con el estudio se pudo comprobar que los trabajadores de esta empresa se están exponiendo a más de un tipo de isocianato, ya que también se había reportado exposición a 2,6-TDI, por lo cual se debe considerar la posibilidad de efectos adversos a la salud provocados por la exposición combinada a estos contaminantes, principalmente considerando que el 2,4-TDI está cercano al nivel de acción.

En cuanto a exposiciones combinadas a isocianatos, y posibles efectos aditivos, debe considerarse también el caso del trabajador de la mueblería E, ya que éste resultó expuesto a los tres diisocianatos estudiados en la investigación.

Por último, en el taller de enderezado y pintura J, en el cual se encontró una concentración cuantificable de 2,4-TDI, cabe destacar que era un taller que utilizaba pinturas a base de agua, por lo cual se encontró que el hecho de utilizar este tipo de pintura no excluye a los trabajadores de la exposición a isocianatos. Sin embargo, se recomienda realizar más estudios, con el fin de contar con un mayor número de muestras,

que permitan demostrar si existe alguna diferencia en la exposición a isocianatos por el uso de pinturas a base de agua.

Dado que la mayoría de las muestras tuvieron valores de concentración por debajo del límite de detección, no fue posible hacer comparaciones estadísticas entre empresas o entre los sectores. Sin embargo, los resultados parecen indicar que la situación de exposición puede ser mayor en las ebanisterías que en los talleres de enderezado y pintura, muy probablemente por el tipo de instalaciones y la poca disponibilidad del sector para adquirir sistemas de extracción (cabinas) o acondicionar espacios de forma adecuada para evacuar los residuos del proceso. Además, es posible que el tipo de pieza y la forma en que se debe aplicar el producto (desde todos los ángulos con el fin de cubrir toda la superficie) pueda estar generando este aumento en las concentraciones.

Es importante mencionar que, aunque en la mayoría de los casos las concentraciones obtenidas para los diisocianatos evaluados no superaron los límites de exposición ocupacional, la susceptibilidad y tolerancia individual a estas sustancias puede variar y causar molestias, incluso a concentraciones bajas. También, se debe tomar en cuenta que existen otros tipos de isocianatos, con toxicidades distintas, que no fueron considerados en este estudio, ya que solamente se propuso la evaluación de los que, según la revisión bibliográfica, se encuentran presentes en la mayoría de las lacas y pinturas a base de poliuretano.

Los dueños de cuatro talleres (dos en el sector madera y dos en el sector automotriz) manifestaron haber desarrollado sintomatología asociada a la exposición a isocianatos como hipersensibilidad a la sustancia y asma, de forma que habían tenido que dejar de realizar este tipo de trabajos y coordinar para no asistir a los talleres cuando se iban a hacer aplicaciones. También se indicó que se habían dado casos en que los pintores que se contrataban debían ser reubicados o cesados pues no toleraban estar cerca del proceso sin desarrollar algún tipo de alergia o malestar respiratorio.

Por otro lado, aunque no se evaluaron condiciones relacionadas con el uso y mantenimiento del equipo de protección respiratoria, se pudo observar (con criterio profesional) en las visitas, que el manejo de los mismos (sobre todo en las ebanisterías), no es el recomendado (se dejan en el sitio de trabajo, están sucios, no hay procedimientos establecidos para el recambio de filtros, se reúsan mascarillas desechables, etc), con lo cual los trabajadores podrían estar teniendo una falsa percepción de protección. En otros casos, como se observa en la figura 4, los trabajadores del todo no portaban el equipo.

## **5.6 Sistemas de control**

Con el fin de complementar la información recolectada y analizada sobre las concentraciones de los diferentes isocianatos evaluados, se realizó el levantamiento de la distribución de planta de los talleres y los tipos de sistemas de ventilación presentes en cada uno.

Para esto, se observaron los procesos productivos que se realizan en el interior de los espacios. Durante las vistas a los talleres se advirtió, en términos generales (y en forma empírica), el flujo de los materiales y los procedimientos de uso.



Partiendo de la premisa de que el agente químico presente en las sustancias utilizadas en los talleres es cancerígeno, no se puede considerar seguro su uso en ninguna cantidad. De acuerdo con esto, lo que corresponde es controlar el proceso para evitar que las concentraciones aumenten; no obstante, en los casos en los que se observan valores cercanos al límite y se considera una situación peligrosa, se deben realizar acciones correctivas, tales como la implementación de sistemas de ventilación localizada y el uso de equipo de protección personal por parte de los trabajadores.

De acuerdo con las observaciones realizadas en las visitas de inspección, en el 66% de las mueblerías y el 22% de los talleres de enderezado y pintura, las instalaciones carecen de equipos de ventilación mecánica; sin embargo, las áreas de trabajo son abiertas y propician la ventilación natural, con renovaciones continuas del aire interior con aportes del aire atmosférico exterior. No obstante, no existieron mediciones que comprueben la aseveración de la dilución de los contaminantes en el aire de los recintos laborales, ni del uso o efectividad de las cabinas de pintado de automóviles, por lo que esta apreciación deberá validarse mediante un procedimiento de medición de la velocidad del aire para determinar la eficacia de la ventilación natural.

Dado que las concentraciones encontradas no superan el estándar, no fue necesario hacer un rediseño de las condiciones de ventilación existentes; sin embargo, se propone un cálculo de los caudales necesarios de aire de ventilación en función de las fuentes generadoras de agentes químicos para algunos de los talleres. El levantamiento gráfico se puede ver en los apéndices.

Se escogieron algunos de los casos más representativos de los problemas encontrados en cuanto al diseño de los sistemas de ventilación para ilustrar la situación de los talleres de enderezado y pintura así como de las mueblerías pequeñas. Se puede observar que para las empresas C y M los caudales existentes exceden el caudal requerido; en ambos casos las concentraciones de isocianatos fueron no detectables, corroborando la eficiencia de los sistemas de extracción.

En otros casos, como en las empresas G, H, K y N, los caudales requeridos son mayores a los existentes, por lo que la eficiencia de los sistemas presentes puede ser mejorada. En las empresas G y N se encontraron los valores más altos de exposición y para las empresas H y K se encontraron valores cuantificables, aunque por debajo del nivel de acción. Aunque no se cuenta con una cantidad de datos que permita hacer correlaciones específicas, es posible presumir (de acuerdo con otros estudios) que los sistemas de ventilación podrían tener un impacto importante en la exposición ocupacional.

El estado de los equipos, el mantenimiento, la limpieza, la antigüedad así como la ubicación en los recintos, podrían ser factores a considerar por los dueños de talleres y mueblerías para mejorar la calidad de vida de los trabajadores expuestos a los diversos agentes químicos que contienen las pinturas y lacas.

Los resultados obtenidos a partir de este estudio permiten tener un panorama general de las condiciones de los dos sectores estudiados. Como primer acercamiento al problema, se encontró que existe la posibilidad de que los trabajadores que utilizan productos de pintura con base en poliuretanos puedan estar expuestos a isocianatos; sin embargo, para poder hacer una mejor caracterización de esta exposición, es necesario que la variabilidad entre sectores, actividades, tiempos de exposición, formas de aplicación y condiciones generales de ventilación puedan ser abordados a partir de nuevos estudios

con una segregación de la población que permita analizar y correlacionar los cambios que pueden generar estas variables en la exposición.

Se encontraron algunos valores de concentración a isocianatos que originan una preocupación sobre posibles consecuencias a la salud de los trabajadores, por lo que un estudio donde se contemplen las fluctuaciones de la exposición a lo largo de un periodo de tiempo (estudio longitudinal) y considere diferentes escenarios de exposición (días de producción alta, media y baja), podría arrojar información valiosa, sobre todo tomando en cuenta que este tipo de sustancias químicas tienen un periodo de sensibilización cercano al que han estado en uso en Costa Rica.

La introducción de productos que no contengan estos agentes químicos podría ser un recurso que los dueños de talleres y ebanisterías podrían valorar; sin embargo, como fue posible evidenciar en este estudio, las pinturas a base de agua se utilizan con otros productos (premier y transparente) que podrían tener un impacto desfavorable sobre la reducción de la exposición a isocianatos.

## 6. Conclusiones y Recomendaciones

### 6.1 Conclusiones

Para las empresas estudiadas, en general, no se excedieron los valores límite umbral de exposición a los diisocianatos analizados. Sin embargo, existen condiciones especiales dentro de las labores de laqueado muestreadas que podrían introducir mucha variabilidad en los resultados y cambiar el panorama de exposición ocupacional.

La mayoría de las concentraciones cuantificables correspondieron al sector de mueblerías y ebanisterías: 25% de 1,6-HDI, el 75% de 2,4-TDI y el 100% de 2,6-TDI.

Dos de las cuatro muestras cuantificables de 2,6-TDI superaron el valor umbral límite de exposición. En ambos casos, el cálculo del caudal de aire requerido para la ventilación fue mayor que el existente.

Se encontraron casos de exposiciones combinadas a diisocianatos, las cuales podrían potencializar los efectos a la salud relacionados con los mismos, considerando que en estos casos se encontraron los valores de exposición más altos a los contaminantes.

En cuatro de las empresas donde la ventilación existente fue menor a la requerida, se encontraron concentraciones cuantificables de diisocianatos, por lo que no se descarta que éste sea un factor influyente sobre los niveles de exposición.

Se debe tomar en cuenta que, aunque no se evaluó el uso ni el tipo de equipo de protección respiratoria, se pudo observar en las visitas que no en todos los casos se utiliza o se le da el cuidado adecuado.

Se espera que este estudio sirva de base para futuras evaluaciones, en las que exista la posibilidad de una mayor segregación de la población expuesta y el estudio de variables que fueron identificadas como posibles fuentes de variación de la exposición.

### 6.2 Recomendaciones

Se recomienda realizar un estudio a profundidad de las condiciones y de los determinantes de exposición ocupacional a isocianatos, principalmente en ebanisterías y mueblerías, esto por la vulnerabilidad del sector y por los posibles indicios de riesgo encontrados en el estudio, y complementar las evaluaciones de exposición inhalatoria con estudios de exposición dermal y de absorción, por medio de monitoreo biológico y exámenes médicos (como pruebas de función pulmonar), que permitan valorar las condiciones de salud a través del tiempo de los colaboradores que se desempeñan en estos sectores productivos.

A partir de los resultados obtenidos se sugiere separar las empresas según su tamaño, su actividad laboral y/o los tipos de tareas realizadas, de modo que sea posible tener un mayor control de los tiempos de aplicación, los hábitos y prácticas de trabajo, las condiciones de ventilación tanto natural como forzada, el tipo y estado de las cabinas en aquellos casos en que se cuenta con las mismas, así como las condiciones climáticas y épocas del año.

Además, en futuras evaluaciones se considera importante contar con un mayor número de talleres que estén utilizando pinturas a base de agua, ya que la principal finalidad para los empresarios que están introduciendo este nuevo tipo de pinturas es precisamente minimizar la exposición de sus trabajadores a las sustancias tóxicas presentes en las mezclas; sin embargo, este estudio no contó con la cantidad de talleres ni de muestras suficiente para aceptar o rechazar estadísticamente el supuesto de que dichas pinturas son menos perjudiciales para la salud de los trabajadores.

Por otro lado, a pesar de que en la mayoría de los talleres los niveles de exposición a los diisocianatos valorados se encontraron por debajo de los límites permitidos, se considera necesario el uso de equipo de protección respiratoria, sobre todo considerando que estos contaminantes, aunque son de alta toxicidad, no son los únicos ni los que están presentes en mayor cantidad en las mezclas de pintura y lacas.

El uso del equipo de protección respiratoria debe acompañarse de capacitaciones adecuadas, tanto a patronos como a trabajadores, sobre la importancia del uso del mismo como medida no exclusiva pero sí de corto plazo para la protección de la salud, resaltando las características de uso, mantenimiento y disposición del equipo.

En los talleres que cuentan con cabinas o sistemas de extracción e inyección de aire, se recomienda hacer un estudio de las características de funcionamiento, con el fin de que se contribuya con la reducción de la exposición a los compuestos químicos presentes durante los procesos de aplicación de pintura.

Implementar medidas ingenieriles en los talleres y mueblerías que no cuentan con sistemas ya instalados, con el fin de mejorar las condiciones de los trabajadores de ambos sectores, pues aunque las concentraciones de diisocianatos fueron en su mayoría bajas, la aplicación de pintura en spray puede ocasionar otras molestias asociadas a otras vías de ingreso como ojos y piel que no fueron evaluadas en este estudio.

## **7. Agradecimientos**

Se le agradece a las empresas que participaron de este estudio. Del mismo modo, al Instituto Nacional de Seguros, a través del Departamento de Gestión Empresarial en Salud Ocupacional, por el apoyo financiero al proyecto.

## 8. Bibliografía

- Ameille, J; Pauli, G; Calastreng-Crinquand, A; Vervloet, D; Iwatsubo, Y; Popin, E; Bayeux-Dunglas, M; Kopferschmitt-Kub, M. *Reported incidence of occupational asthma in France, 1996–1999: the ONAP programme*. *Occup Environ Med* **2003**; 60: 136–141.
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists: 2011 TLVs and BEIs. ACGIH, Cincinnati, OH (**2011**).
- Belin, L; Hjortsberg, U; Wass, U. *Life-threatening pulmonary reaction to car paint containing a prepolymerized isocyanate*. *Scand J Work Environ Health*. **1981**; 7: 310–2.
- Bello, D; Herrick, C. A; Smith, T. J; Woskie, S. R; Streicher, R. P; Cullen, M. R; Liu, Y; Redlich, C. A. *Skin exposure to isocyanates: reasons for concern*. *Environ Health Perspect* **2007**; 115: 328–335.
- Bello, D; Woskie, S. R; Streicher, R. P; Liu, Y; Stowe, M. H; Eisen, E. A; Ellenbecker, M. J; Sparer, J; Youngs, F; Cullen, M. R; Redlich, C. A. *Polyisocyanates in occupational environments: a critical review of exposure limits and metrics*. *Am J Ind Med* **2004**; 46: 480–491.
- Bernstein, J. A. *Overview of diisocyanate occupational asthma*. *Toxicology*. **1996**; 111:181-189.
- Berode, M; Jost, M.; Ruegger M.; Savolainen, H. *Host factors in occupational diisocyanate asthma: a Swiss longitudinal study*. *Int Arch Occup Environ Health*, **2005**; 78: 158–163, M.
- Boutin, M; Dufresne, A; Ostiguy, C; Lesage, J. *Determination of airborne isocyanates generated during the thermal degradation of car paint in body repair shops*. *Ann Occup Hyg*. **2006**; 50(4):385-93.
- Clarke, C. W; Aldons, P. M. Isophorone diisocyanate induced respiratory disease. *N Z J Med*. **1981**; 11:290–2.
- Cockcroft DW, Mink JT. *Isocyanate-induced asthma in an automobile spray painter*. *Can Med Assoc J*. **1979**; 121: 602–4.
- Deschamps, F; Prevost, A; Lavaud, F; Kochman, S. *Mechanisms of occupational asthma induced by isocyanates*. *Ann Occup Hyg*. **1998**; 42: 33–6.
- Di Stefano, F; Siriruttanapruk, S; McCoach, J; Di Gioacchino, M; Burge, P. S. *Occupational asthma in a highly industrialized region of UK: report from a local surveillance scheme*. *Allerg Immunol (Paris)*, **2004**; 36: 56-62.
- Gilbert, R. O. *Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring*. Van Nostrand Reinhold, New York. **1987**
- Goossens, A; Detienne, T; Bruze, M. *Occupational allergic contact dermatitis caused by isocyanates*. *Contact Derm*. **2002**; 47:304-308.

Hornung, R., Reed, L. *Estimation of average concentration in the presence of nondetectable values. Appl. Occup. Env. Hyg.* **1990**; 5:546-51.

Instituto Nacional de Seguros. Seguro de Riesgos del Trabajo, estadísticas 2007. Cuadro No. 4. *Clasificación de los trabajadores asegurados, pólizas y promedio de trabajadores por póliza según actividad económica específica (años 2006-2007). Actividad de mantenimiento y reparación de vehículos.*

Disponible en: <http://portal.ins-cr.com/NR/rdonlyres/0D98FA60-4B0C-4E4A-BDD0-9DE172345C3B/1970/EstadisticasRiesgosdelTrabajo2007.xls>.

Consultado el 6 de mayo, 2009.

Instituto Nacional de Seguros. Seguro Obligatorio Automotor, estadísticas 2007. Cuadros No.2 y No.5. Disponible en:

<http://portal.ins-cr.com/NR/rdonlyres/0D98FA60-4B0C-4E4A-BDD0-9DE172345C3B/1825/EstadisticasSeguroObligatorioAutomotor2007.xls>.

Consultado el 6 de mayo, 2009.

Karjalainen, A; Kurppa, K; Virtanen, S; Keskinen, H; Nordman, H. *Incidence of occupational asthma by occupation and industry in Finland. Am J Ind Med* **2000**. 37(5): 451-458.

Kimber, I; Dearman, R. J. *Chemical respiratory allergy: role of IgE antibody and relevance of route of exposure. Toxicology.* **2002**; 181-182: 311-5.

Kimber, I. *The role of the skin in the development of chemical respiratory hypersensitivity. Toxicol Lett*, **1996**; 86: 89-92.

Lesage, J; Goyer, N; Desjardins, F; Vincent, J. Y; Perrault, G. *Workers' exposure to isocyanates. Am Ind Hyg Assoc J.* **1992**; 53(2): 146-53.

McDonald, J. C; Keynes, H. L; Meredith S. K. *Reported incidence of occupational asthma in the UK, 1989-1997. Occup Environ Med.* **2000**; 57:823-829

Norma INTE 31-08-04-01. *Concentraciones ambientales máximas permisibles en los centros de trabajo.* INTECO, **2001**.

Pronk, A; Tielemans, E; Skarping, G; Bobeldijk, I; Hemmen, J. V; Heederik, D; Preller, L. *Inhalation exposure to isocyanates of car body repair shop workers and industrial spray painters. Ann Occup Hyg.* **2006**; 50: 1-14.

Pronk, A; Preller, L; Raulf-Heimsoth, M; Jonkers, ICL; Lammers, J-W; Wouters, I. M; Doekes, G; Wisnewski, A. V; Heederik, D. *Respiratory Symptoms, Sensitization, and Exposure-Response Relationships in Spray Painters Exposed to Isocyanates. Am J Respir Crit Care Med*, **2007**; 176: 1090-1097.

Rappaport, S.M.; Selvin, S. *A method for evaluating the mean exposure from a log normal distribution. Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* **1987**; 48:374.

Redlich, C. A; Bello, D; Wisnewski, A. *Isocyanate exposures and health effects. In: Rom WN and Markowitz S, editors. Environmental and Occupational Medicine, Capítulo 30. Filadelfia: Lippincott Williams and Wilkins; 2006; pp 502-516.*

Sparer, J; Stowe, M. H; Bello, D; Liu, Y; Gore, R. J; Youngs, F; Cullen, M. R; Redlich, C. A; Woskie, S. R. *Isocyanate exposures in autobody shop work: the SPRAY study*. J Occup Environ Hyg. **2004**; 1:570-581.

Torling, G; Alexandersson, R; Hedenstierna, G; Plato, N. *Decreased lung function and exposure to diisocyanates (HDI and HDI-BT) in car repair painters: observations on re-examination 6 years after initial study*. Am J Ind Med. **1990**; 17: 299–310.

Vandenplas, O; Cartier, A; Lesage, J; Cloutier, Y; Perreault, G; Grammer, I. L; Shaughnessy, M. A; Malo, J. L. *Prepolymers of hexamethylene diisocyanate as a cause of occupational asthma*. J Allergy Clin Immunol. **1993**; 91: 850-861.

Vandenplas, O; Malo, J. L; Saetta, M; Mapp, C. E; Fabbri, L. M. *Occupational asthma and extrinsic alveolitis due to isocyanates: current status and perspectives*. Br J Ind Med. **1993**; 50: 213-228.

Wisnewski, A. V; Redlich, C. A. *Recent Developments in diisocyanate asthma*. Curr Opin Allergy Clin Immunol. **2001**; 1:169-175.

## **9. Apéndices**

Distribución de planta para talleres visitados



