

## Efectos en la salud humana debido a la contaminación interior por Monóxido de Carbono en Ciudad Juárez, Chihuahua

F. Motta<sup>1</sup>, J. Salas Plata<sup>1</sup>, H. Quevedo y G. Velásquez.

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Chihuahua, México. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Av. Del Charro 610 Nte., Ciudad Juárez, Chihuahua, México. CP 32310.

### Resumen

En Ciudad Juárez, Chihuahua, en invierno y en las zonas de la periferia, la exposición de la población al Monóxido de Carbono (CO) proveniente de calentadores de gas LP, es causa de pérdida de vida humanas. El principal objetivo de este estudio fue el evaluar los niveles potenciales de Carboxyhemoglobina (COHb) de los habitantes de casas habitación y los efectos resultantes en su salud. Se llevaron a cabo mediciones de concentraciones de CO en dos casas habitación cerradas y vacías con calentadores funcionando con gas LP. Las mediciones se realizaron durante seis horas en los fines de semana y en cada casa. El monitoreo se llevó a cabo en los meses de junio a septiembre de 2003 mediante el programa de cómputo Boxcar Pro4 y sensores HOBO para monitorear las concentraciones de CO en el interior de las viviendas. Se utilizó el modelo matemático de Peterson-Stewart para estimar el nivel potencial de COHb (en %) en la sangre de los residentes y los efectos fisiológicos correspondientes.

De acuerdo a los resultados se pudo determinar el grave riesgo de perder la vida que corren los habitantes de la ciudad por la inseguridad de los calentadores debido a deficiencias en su fabricación, operación y tipos de combustibles que usan. Las concentraciones de CO tienen una relación directa con la producción de COHb y, tomando en cuenta que la vida de la COHb es de 6 hs aproximadamente, su efecto permanece ya que el tiempo de exposición no cesa con el simple hecho de eliminar la fuente de contaminación. De acuerdo con los resultados obtenidos, en Ciudad Juárez las personas fallecen por intoxicación de CO, en promedio, a las dos horas con veinte minutos de iniciada la contaminación, cuando las concentraciones son de 370 ppm y las personas tienen en su organismo un 60% de COHb.

### 1. Introducción

Las tierras desérticas del norte y partes del centro mexicano reciben corrientes de aire frío de origen polar que ocasionan heladas, por lo que los pobladores tienen que suministrar calor a sus viviendas durante el invierno. En esta situación se encuentra Ciudad Juárez, que se ubica en la frontera norte del estado de Chihuahua con una extensión territorial de 4,853.80 km<sup>2</sup>, y una población de 1'218,645 habitantes (INEGI, 2000). Debido a las condiciones climáticas, es muy común encontrar en cada hogar de esta región por lo menos un calentador en los meses de menor temperatura poniendo en riesgo la salud de los inquilinos por las emisiones de CO. El riesgo se agrava por la falta de control que se tiene en el diseño y fabricación de dichos calentadores, ya que no existe ley que reglamente dicha fabricación. Los productores tienen absoluta libertad para elaborar sus productos, sin otra limitante que su imaginación y la disposición de materiales. Se pueden encontrar en el mercado diversos tipos de calentadores con quemadores y espreas diferentes. Estos calentadores no logran una combustión completa, originando desechos a manera de combustible mal quemado y una producción alta de CO. Tradicionalmente en Ciudad Juárez se han utilizado calentadores que utilizan gas LP, es decir, gas butano o propano y gas natural.

El Monóxido de Carbono (CO) es un gas altamente tóxico incoloro y sin olor, que se libera como resultado de la combustión incompleta de hidrocarburos. Su alta toxicidad se explica por su afinidad a la hemoglobina (Hb), que es 200-250 veces más grande que la del oxígeno. Cuando se inhala, el CO se enlaza de manera reversible con la hemoglobina de la sangre para formar COHb, obstaculizando el transporte de oxígeno en la sangre y el envío de oxígeno a los tejidos de cuerpo. Lo anterior causa daños a la salud humana y pueden conducir a la muerte. Debido a esta toxicidad, la concentración de CO en los interiores

ha recibido atención especial en los últimos años por parte de los investigadores. (Cáceres, L. D., et al, 2001)

Existen dos tipos de riesgos, la exposición de corto plazo a concentraciones relativamente altas que tienen el potencial de causar la muerte, y las exposiciones crónicas a concentraciones relativamente bajas. Ambas situaciones pueden estar asociados a bajos niveles de ventilación y/o malfuncionamiento de los calentadores, así como a

otras circunstancias. Bajo condiciones de contaminación, el individuo puede experimentar una variedad de síntomas en el sistema nervioso central, dependiendo de las concentraciones de CO. A concentraciones relativamente bajas (40 – 60 ppm), dolor de cabeza y fatiga, y a concentraciones altas (75 a 200 ppm), náusea, vómito y somnolencia (Godish, 2000). La sustitución de CO por O<sub>2</sub> produce trastornos, por efecto de la COHb en la sangre, entre ellos se pueden señalar los síntomas que se ilustran en la Tabla 1.

Tabla 1. Síntomas clínicos por la exposición al CO asociados a los niveles de COHb de la sangre.

Concentraciones de COHb en %	Sintomatología
< 10%	Asintomático
10-20%	Asintomático o cefalea
20-30%	Mareo, vértigo, náuseas, vómitos, disnea
30-40%	Alteraciones visuales
40-50%	Confusión, desorientación, síncope
>50%	Coma, disfunción cardio-pulmonar, muerte

Fuente: Anales, 2003

La figura 1 muestra la producción de COHb y su relación directa con las concentraciones de CO en ppm (Bacharach, 1996).

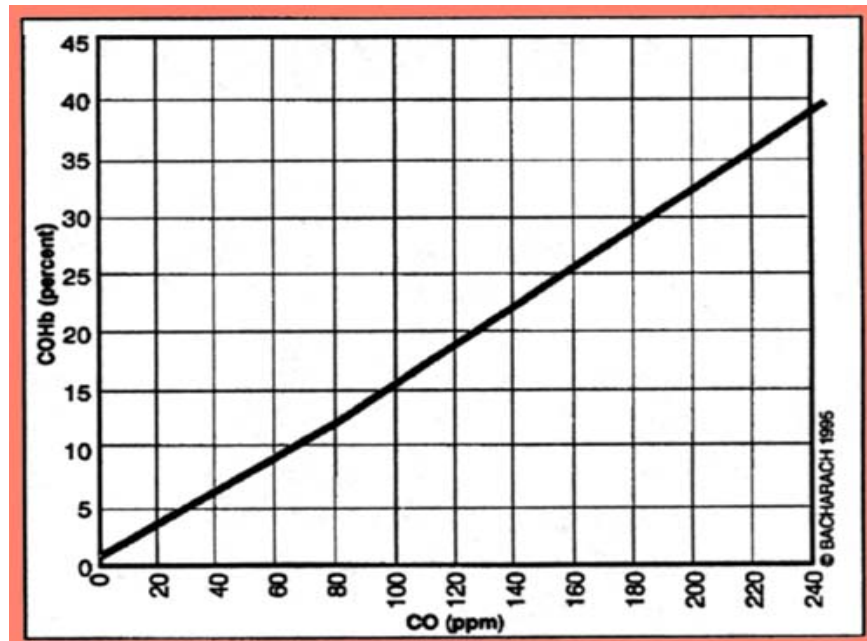


Figura 1. Producción de COHb en función de la concentración de CO en ppm.

## 2. Metodología

Se monitorearon casas habitación cerradas, vacías y con calentadores encendidos con gas LP para estimar las concentraciones de CO a las que están expuestos los inquilinos cuando encienden estos aparatos de calefacción. Los datos experimentales de la concentración se combinaron con un modelo matemático para obtener los niveles de COHb en la sangre en % del valor de saturación, que se usa como medida bioquímica o indicador de la recepción de CO. Para la realización del monitoreo se reprodujeron las condiciones en las que se han dado los accidentes con defunciones en la ciudad, y se emplearon viviendas cuyas características en dimensiones y materiales de construcción respondieran a la realidad habitacional de las colonias populares (Ver Tabla 2). Se contó

además con la participación del Departamento de Bomberos a través de la Dirección de Protección Civil del Gobierno Municipal, mismo que proporcionó los calentadores que motivaron los últimos decesos. La Universidad de Texas en El Paso (UTEP), suministró los sensores y el programa de cómputo para la obtención y proceso de la información. Dicha información consiste en concentraciones de CO en el interior de la vivienda. En cada casa se colocaron cuatro sensores y se seleccionó la sala como área de estudio ya que es ahí donde se acostumbra colocar los calentadores de gas. La altura a la que se colocaron los sensores en el interior fue de 1.5 m, que es la altura de respiración aproximadamente de las personas. Las mediciones de CO se realizaron por medio de una Laptop con el programa de cómputo Boxcar Pro4. La Laptop se conectó a los sensores marca HOBO.

Tabla 2. Características de las casas habitación y los sitios de muestreo

Casa	Características	Sitio de muestreo
Casa 1	Cocina, baño, sala y dos recámaras. La vivienda no está bien sellada, tiene una cierta ventilación. Capacidad para una familia normal de cinco personas.	Sala, a una altura de 1.5 m
Casa 2	Cocina, baño, sala y dos recámaras. La vivienda está bien sellada. Capacidad para una familia normal de cinco personas	Sala, a una altura de 1.5 m

2.1 La tabla 3 muestra los aparatos de medición sensores marca HOBO con tres canales para registrar diferentes niveles de concentraciones de CO como lo muestra la tabla 1.

### Sensor HOBO. Modelo H11-001

Tabla 3. Rango de detección de concentraciones de CO por canal de los sensores HOBO	
Canal	Concentración de CO (en ppm)
Canal 1	0.2 a 125
Canal 2	2.0 a 500
Canal 3	4.0 a 2000

#### 2.1.1 Calentadores

Los calentadores de la marca “Solmatic” y “Sol”, son productos elaborados con materiales de baja calidad ya que el calibre de la lámina es muy delgado, los radiantes son muy frágiles y las válvulas para la mezcla del oxígeno en la combustión están elaboradas de manera rudimentaria y susceptibles de perder su calibración original (Departamento de Bomberos, 2003). La

conexión de la manguera al calentador termina en la válvula de mezclado, misma que tiene un tornillo que permite que la misma se abra o se cierre modificando la concentración de oxígeno y por lo tanto la combustión. Esta ventaja del calentador de abrir o cerrar la válvula permite que se pueda utilizar con gas natural o LP. Sin embargo, esto significa un riesgo para las personas al ser manipulado por gente no especializada. Lo anterior ocasiona que las personas comúnmente enciendan

sus calentones en condiciones inapropiadas. Los quemadores están elaborados con fierro vaciado, los cuales presentan imperfecciones en su acabado, como la porosidad, y alimentadores irregulares (las

perforaciones no son uniformes). Las emisiones producto de la combustión carecen de un conducto para conducir las al exterior.

La figura 2 muestra la apariencia de los calentadores utilizados en la presente investigación.



Figura 2 características de los Calentadores (Fuente: Los autores)

#### 2.1.2 El programa de cómputo BOXCAR PRO4

El programa de cómputo BOXCAR PRO4 permite mediante la conexión al sensor, acceder a la lectura de concentraciones de CO y temperatura en el interior y exterior de la vivienda. El programa también admite exportar dicha información a EXCELL para su manejo estadístico y para la graficación de los datos en una forma amigable y práctica.

#### 2.1.3 Los sensores de CO marca HOBO con 3 canales c/u

Este tipo de sensores son portátiles y operados con baterías. Sus dimensiones son de 6"x4"x1" y tiene tres canales cada uno que permiten detectar diferentes concentraciones.

#### 2.1.4 Computadora portátil "Laptop" marca Gateway

Esta computadora tiene una capacidad de 6.0 gigas en su disco duro y un procesador Intel Celeron 550 Mhz con 64 Mb en Ram. El sistema operativo Windows M.E. consiste en una Tarjeta de red 3 Com., sin adaptador, con 2 puertos USB. La computadora cuenta con floppy drive y CD Rom.

#### 2.3 Aplicación de modelos de COHb

Se han desarrollado muchos experimentos de exposición controlada en humanos voluntarios para estimar los niveles de concentración del COHb (en %) en la sangre. Estas estimaciones están relacionadas a la concentración de CO en la sangre (en ppm) y el tiempo de exposición (en min). En este estudio se utilizó el modelo matemático de Peterson-Stewart de fácil aplicación (Ver Tabla 3). El modelo de Peterson-Stewart se usa para una estimación fácil y rápida de concentraciones de COHb. (Haloulakou, 2005).

Tabla 4. El modelo Peterson-Stewart

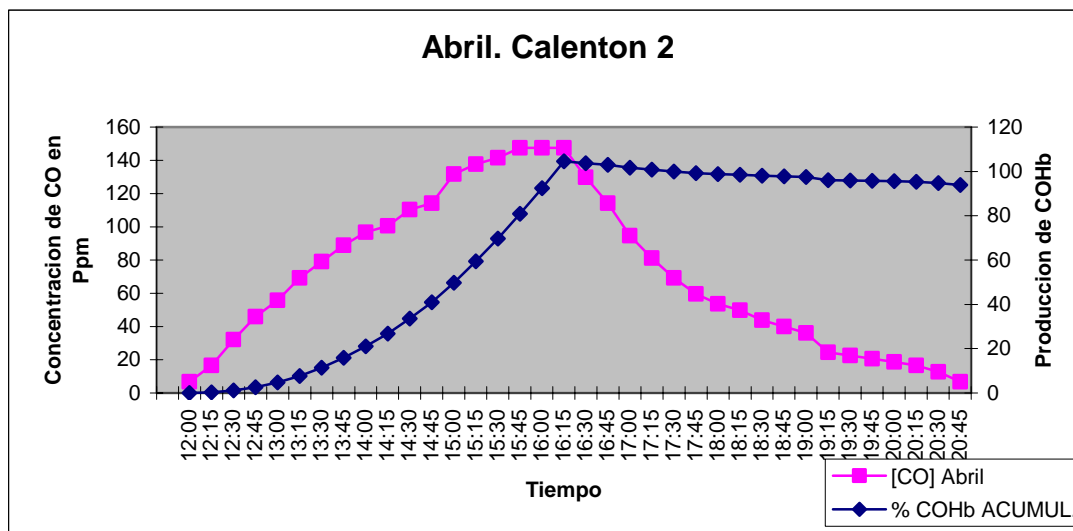
Modelo	Rangos de aplicación
$\log(\%COHb) = 0.858\log[CO] + 0.63\log(t) - 2.295$	$25 \leq [CO] \leq 523$ ppm $15 \text{ min} \leq t[\text{min}] \leq 8$ h no fumadores

### 3. Resultados

La Tabla 4 muestra las concentraciones de CO y la producción de COHb potencial en la sangre de los residentes. Dichas mediciones de realizaron en el mes de Abril de 2003 con el calentador # 2.

HORA	[CO]	TIEMPO EN MIN	LOG(%COHb)	%COHb	% COHb ACUMULADA
12:00	6.8	0.001	-3.47	0.00	0.00
12:15	16.6	15	-0.51	0.31	0.31
12:30	32.2	30	-0.07	0.85	1.16
12:45	45.9	45	0.17	1.49	2.65
13:00	55.7	60	0.32	2.10	4.75
13:15	69.3	75	0.47	2.92	7.67
13:30	79.1	90	0.56	3.67	11.35
13:45	88.9	105	0.65	4.47	15.82
14:00	96.7	120	0.72	5.23	21.05
14:15	100.6	135	0.77	5.83	26.87
14:30	110.4	150	0.83	6.74	33.61
14:45	114.3	165	0.87	7.38	40.99
15:00	131.8	180	0.94	8.80	49.79
15:15	137.7	195	0.98	9.61	59.41
15:30	141.6	210	1.01	10.32	69.73
15:45	147.5	225	1.05	11.16	80.89
16:00	147.5	240	1.07	11.62	92.51
16:15	147.5	255	1.08	12.08	104.59
16:30	129.9	270	1.05	11.23	103.74
16:45	114.3	285	1.02	10.41	102.92
17:00	94.7	300	0.96	9.15	101.66
17:15	81.1	315	0.92	8.26	100.77
17:30	69.3	330	0.87	7.43	99.94
17:45	59.6	345	0.83	6.71	99.23
18:00	53.7	360	0.80	6.31	98.82
18:15	49.8	375	0.78	6.07	98.58
18:30	43.9	390	0.75	5.58	98.09
18:45	40	405	0.72	5.28	97.79
19:00	36.1	420	0.69	4.94	97.46
19:15	24.4	435	0.56	3.61	96.12
19:30	22.5	450	0.54	3.44	95.95
19:45	20.5	465	0.51	3.24	95.76
20:00	18.6	480	0.48	3.04	95.56
20:15	16.6	495	0.45	2.81	95.33
20:30	12.7	510	0.36	2.28	94.79
20:45	6.8	525	0.13	1.36	93.87

Tabla 4. Concentraciones de CO y la producción de COHb.



La figura 3. Características de CO y COHb obtenidas en el mes de Abril con el calentador 2.

#### 4. Conclusiones y recomendaciones

Se pudo observar que la generación de CO de los calentadores puede modificarse fácilmente por accidente o por error en la calibración de su válvula de ventilación. Esta válvula regula la mezcla de oxígeno y combustible y permite realizar la combustión, pudiendo elevar la producción de CO si dicha mezcla no es la adecuada para una combustión perfecta.

Sólo existen dos tipos de válvulas para alimentar de combustible a estos calentadores las cuales reciben el nombre de espreas; un tipo se usa para el gas LP y el otro para el gas natural. Sin embargo, en el mercado existen dos compuestos que se venden como LP, el Propano y el Butano con diferente fórmula química y que requieren diferente mezcla de oxígeno.

Las concentraciones de CO tienen una relación directa con la producción de COHb y tomando en cuenta que la vida de la COHb es del orden de las 6 hs, su efecto permanece porque el tiempo de exposición no cesa con el simple hecho de eliminar la fuente de contaminación.

De acuerdo con los resultados obtenidos, en Ciudad Juárez las personas fallecen por intoxicación de Monóxido de Carbono, en promedio, a las dos horas con veinte minutos de iniciada la contaminación, cuando las concentraciones son de 370 ppm y las personas tienen en su organismo un 60% de carboxihemoglobina.

De acuerdo con los resultados obtenidos se recomienda aplicar el Modelo de Coburn-Foster Kane el cual es más preciso para modelar la recepción de Monóxido de Carbono en humanos y animales. Sin embargo, este modelo posee la desventaja de utilizar un elevado número de variables que se deben obtener mediante la utilización de otras ecuaciones, lo que dificulta su aplicación.

Se recomienda que, debido a lo peligroso de la operación de los actuales calentadores, se inicie una serie de acciones tendientes a dejarlos fuera del mercado mediante una iniciativa de ley. A su vez, se deben fabricar calentadores que incluyan en su fabricación una válvula de seguridad que cierre el suministro de combustible al disminuir los niveles

mínimos de oxígeno necesarios para garantizar la vida de las personas. La fabricación de los nuevos calentadores se deberá de ajustar en una Norma Oficial Mexicana. (N.O.M.)

#### 5. Referencias

Anales Vol. 26 suplemento 1. 2003. *Intoxicación por gases*. [www.cfnavarra.es/salud/anales/textos/vol26/sup1/suple10a.html](http://www.cfnavarra.es/salud/anales/textos/vol26/sup1/suple10a.html)

López Hernández, MA. 2004.

*Algoritmos Diagnósticos*. México: Mc Graw Hill.

Cáceres LD, et al. 2001. "Indoor air pollution in a zone of extreme poverty of Metropolitan Santiago". *Pollution Abstracts*.

Chaloulakou A., et al. 2003. "Indoor and outdoor carbon monoxide concentration relationships at different microenvironments in the Athens area". *Chemosphere*, Vol. 52, Issue 6, pp. 1007-1019.

Departamento de Bomberos de Ciudad Juárez. Comunicación personal. 2004.

De Nerves J 2000. *Air Pollution Control Engineering*. 2<sup>nd</sup> Edition. New York: McGraw Hill.

Gisbert Calabuig JA y Villanueva Cañadas E. 2004. *Medicina Legal y Toxicología*. Barcelona: Masson.

Godish, Thad. 2000. *Indoor Environmental Quality*. USA: Lewis Publishers.

Guyton JE y Arthur C. May. 1989. *Fisiología Médica*. México: Editorial Interamericana.

Haloulakou, A. et al. 2005. *Occupational exposure to CO concentrations in enclosed. Estimations of blood COHb levels*. <[www.chemeng.ntua.gr/files/COHb.pdf](http://www.chemeng.ntua.gr/files/COHb.pdf)>

INEGI. 2000. Censo General de Población y Vivienda.

Merck Research Laboratorios. 2004. *Manual Merck*. Whitehouse Station N.J.

Ruiz Argüelles GJ. 2003. *Fundamentos de Hematología*. México: Panamericana – UNAM.

Vázquez Torre GAM. 1993. *Ecología y Formación Ambiental*. México: McGraw Hill.

Zollo, Antonio J. *Claves en Medicina General*. Editorial Diorki, 1993.