



PREVENCIÓN DE DAÑOS MATERIALES

Evaluación de la toxicidad en incendios*

AL consultar las referencias bibliográficas es prácticamente unánime la información que se obtiene en cuanto a que, en los incendios, la proporción de víctimas a las que alcanza la muerte es más elevada para el capítulo en que intervienen directa o indirectamente los humos y los gases como productos de la combustión que para el resto de las causas. De hecho, la multiplicidad de materiales utilizados en la construcción (inclúyase ornamentación y decora-

ción) en la actualidad, ya sean naturales, tratados o no, sintéticos, hace que se encuentren con nuevas y más variadas patologías y riesgos que se tenían en el pasado.

Por otro lado, la simple previsión o estimación de los fenómenos tóxicos y relacionados a partir exclusivamente de datos analíticos, se ha revelado como insuficiente claramente a la luz de los resultados de numerosos experimentos, poniéndose de relieve la necesidad absoluta de establecer las relaciones dosis/efecto en función del tiempo y explorar correlativamente los campos analítico y biológico. Además, la apreciación de los riesgos toxicológicos por vía biológica es determinante en el sentido de que se tiene una respuesta global a todos los compo-

T. DE LA ROSA

LICOF (IRANOR)
Laboratorio de investigación
y control del fuego.
Instituto Nacional de Normalización

nentes tóxicos y contaminantes existentes en la atmósfera del ambiente, así como a los antagonismos o sinergismos que pueden darse en las complejas evoluciones de los productos de combustión y de pirólisis de los materiales sometidos al calor que se hallan a elevada temperatura.

También es cierto que, desde un punto de vista práctico, se hace necesario poner a punto métodos sencillos y simplificados que sean suficientemente representativos de la realidad. Esto no puede conseguirse sino a través del intercambio y elaboración de la información recogida en *incendios reales*, en *ensayos a gran escala* y en *ensayos de laboratorio*.

Los factores que en un incendio ponen en peligro la vida humana son:

* Extradido del trabajo «Producción de humos y gases tóxicos en los incendios», del mismo autor correspondiente a una «Beca de Investigación» de FUNDACION MAPFRE



El primer intento serio de reglamentar la prevención de los efectos producidos por los humos y productos tóxicos en los incendios, se ha tenido en cuenta en la Norma Básica de la Edificación NBE-CPI-81. En ella se aborda este aspecto desde la línea de utilización de los materiales en la construcción.

- Reducción del contenido de O₂ en el ambiente (anoxia).
- Aumento del contenido de CO.
- Presencia y aumento de otros gases nocivos y tóxicos
- Presencia de humos.
- Aparición de campos elevados de temperatura.
- Ataque por exposición directa al fuego.

• Efectos derivados de una situación de pánico.

Las vías de actuación de elementos tóxicos son principalmente las siguientes:

- irritación primaria de la piel y las mucosas;
- absorción rápida por el torrente circulatorio y subsiguiente intoxicación;
- acción sensibilizante;
- alteración del comportamiento mental, para pequeñas dosis.

Los humos tienen una incidencia en el aumento de la toxicidad indirecta, por desplazamiento del oxígeno del ambiente y por obstrucción de las cavidades alveolares debido al depósito de partículas sólidas. Incide también en la reducción de la visibilidad y consecuentemente en las actitudes y comportamiento humano. Cuando se hace referencia a los humos hay una intención diferenciada con relación a los gases tóxicos. Su toxicidad se evalúa globalmente con los productos de combustión y de pirólisis midiéndose específicamente con ellos su atenuación luminosa, es decir, su densidad óptica específica.

La solución global a este complejo problema de la toxicidad en caso de incendio debería pasar por la consideración de los siguientes temas:

- Generación de productos de combustión. Movimiento de humos y gases.

- Evacuación y comportamiento humano.

• Evaluación de los riesgos de intoxicación.

- Evaluación de la opacidad y reducción de visibilidad de los humos.

2. PRESENTACION DEL PROBLEMA

No existe, o al menos no conocemos, que en ningún país se haya resuelto el problema satisfactoriamente. En general se observa más una expectación y compás de espera atento al desarrollo de las actuales investigaciones que una toma de postura definitiva, que en cualquier caso habrá de ser parcial y consecuentemente nada beneficiosa.

- *Sobre la NBE-CPI 81*

En nuestro país el primer intento serio de reglamentar esta cuestión se ha tenido en la (Norma Básica de la Edificación NBE-CPI81) (1). En ella se aborda este aspecto desde la línea de la utilización de los materiales en la construcción. Se indica que la masa total de revestimiento, incluidos el adhesivo, será tal que su contenido por metro cúbico del local no debe exceder de:

a) 25 g de cloro total que pueda ser liberado teóricamente, en forma de ácido clorhídrico, durante su pirólisis o combustión.

b) 5 g de nitrógeno total que pueda ser liberado teóricamente en forma de ácido cianhídrico, durante su pirólisis o combustión.

En el mismo artículo de (1) se bonifica o se penaliza el empleo de los materiales en función de su clasificación en cuanto a su reacción al fuego según UNE 23-727 (2). La masa total

indicada se obtendrá multiplicando la masa real por unos coeficientes. El coeficiente para los materiales clasificados M0 y M1 es cero para todos los usos, lo que significa que su empleo puede ser ilimitado. El coeficiente para los materiales M2 y M3 es mayor que la unidad para todos los usos, lo que significa que su empleo queda penalizado al permitir como masa real a utilizar una cantidad inferior a la masa total que proporciona los 25 g de cloro o 5 g de nitrógeno indicados, en base, naturalmente, a su mayor combustibilidad. Algunas utilizaciones de los materiales M4 y M5 se prohíben.

Esta propuesta, extraída de la reglamentación francesa (*), ha sido objeto de intensos debates en el seno de la comisión que ha elaborado la Norma Básica (1). A ella nos hemos opuesto razonando sobre las cuestiones siguientes:

1. Se fija la atención únicamente sobre los gases (vapores) de clorhídrico y cianhídrico, existiendo en la atmósfera derivada del incendio gases muy venenosos y en algunos casos en mayor proporción, como sucede con el monóxido de carbono, al que no se le presta atención.

2. Se bonifica la utilización de materiales cuya reacción al fuego es M0 o M1, sin otra justificación que por ser menos combustible o no combustibles (3). Pero esa no debe ser la única razón, porque bien por su naturaleza, o bien por el tratamiento de ignifugación recibido puede ser potencialmente más tóxicos y más peligrosos cuando se alcanzan las condiciones favorables para su combustión o su pirólisis, según el caso.

* Arrête du 4 novembre 1975 (J.O., 10-1-1976) Modificada por l'arrête du 1-12-1976 (J.O.-N.C., 20-1-1977).



Un informe de ISO cita que aproximadamente el 80 por 100 de las víctimas de los incendios no han sido tocadas por las llamas, muriendo a consecuencia de la inhalación de humos y gases.

3. No se tiene en cuenta (para bonificar o penalizar el uso de ciertos materiales) las condiciones de diseño y destino del edificio. No debe ser la misma postura la que ha de adoptarse frente a un edificio que ha sido pensado para poder canalizar, conducir y expulsar los humos y productos de la combustión al exterior, que otro que ponga en peligro todas las dependencias nada más haberse iniciado el incendio. Tampoco deberían imponerse las mismas exigencias a un edificio con sistemas de sobrepresurización o depresurización controlados, o con cierres automáticos estancos a los humos entre sectores de incendio que otro que no disponga de ninguna medida de seguridad en este sentido.

4. Otro factor importante es el diseño del sistema de evacuación de los ocupantes. La posibilidad de llevar a cabo correctamente una evacuación rápida y segura no debería estar tan penalizado como el caso contrario, en que las personas se pueden ver atrapadas o la evacuación va a ser más lenta y dilatada.

5. Las medidas preventivas (detección y extinción automáticas de incendio sobre todo) deben ser valoradas, para implicar, con mayor razón, la utilización de ciertos materiales cuando no existan aquéllas.

6. No se tiene en cuenta la generación de humos, que dificultan la visión, inducen a situaciones de pánico y disminuyen la capacidad respiratoria por inhalación de las partículas sólidas en suspensión.

7. No se dispone de una metodología y de un conocimiento de los niveles peligrosos de cada gas para el ser humano. No existen ni método para evaluar la toxicidad ni niveles universalmente aceptados para las situaciones de incendio. Entre otros moti-

vos, porque ciertos efectos sinérgicos pueden ser críticos, porque los elevados campos de temperatura existentes son de extraordinaria importancia para la determinación de la toxicidad de los productos de combustión y porque existe una interdependencia no determinada entre la acción tóxica, el estado anímico y la respuesta somática del individuo.

8. Los productos que se obtienen de un material dependen del tamaño y forma de la muestra, de las condiciones de descomposición térmica (combustión/pirólisis) y de la composición del ambiente donde se descompone, no fijándose, tampoco, un método de análisis o valoración de los elementos considerados

• *Investigación simultánea sobre tres modelos*

En cualquier caso, para establecer una norma, y máxime si es internacional, el método de ensayo debe especificar tres importantes componentes (*):

1. *El método de incendio*, es decir, el método para descomponer el producto en condiciones controladas (con llama, brasa, etcétera)

* La estructura actual del ISO/TC 92/SC 3, «Riesgos de toxicidad en los incendios», está constituida por cuatro grupos de trabajo GT-1, «Modelo de incendio», GT-2, «Modelos (métodos) analíticos», GT-3, «Modelo biológico»; GT-4, «Correlación e interpretación de resultados»

Cada una de estas tres componentes tienen sus limitaciones en el terreno práctico y deben ser reconocidas a la hora de interpretar resultados. Por ejemplo, la elección de un animal y los parámetros que se controlan no implica una correlación o trasposición directa del ser humano. Por esa razón, otro capítulo de gran importancia en este tema es la interpretación de los resultados

2. *El modelo o sistema analítico* para identificar y valorar las especies químicas (toma de muestra, cromatografía de gases, espectrometría de masa, etcétera).

3. *El modelo animal*, es decir, el método biológico para valorar la toxicidad

• *Consideraciones de ISO (Organización Internacional de Normalización)*

No se puede pasar por alto la información que ISO en un informe técnico (4) da al respecto, por considerarlo (con nuestras particulares reservas) de interés general. En él se dice que aproximadamente 80 por 100 de las víctimas de los incendios no han sido tocadas por las llamas, muriendo a consecuencia de la inhalación de humos y gases. Sobre dos estudios autopsícos llevados a cabo han tenido los siguientes resultados:

— Sobre el primero se estudiaron 311 víctimas, de las cuales 257 (83 por 100) presentaron problemas respiratorios. La intoxicación por monóxido de carbono CO, fue la causa principal de las muertes (concentraciones de carboxihemoglobina COHb, superior al 50 por 100) en el 24,3 por 100 de los casos en que se sobrevivió menos de doce horas. En un 34,5 por 100 de los casos se juzgó que el monóxido de carbono fue un factor significativo. Se consiguió poca información sobre las concentraciones de COHb en las víctimas que vivieron más de doce horas.

— En el segundo estudio se realizaron 129 autopsias indicando:

a) Que el monóxido de carbono fue la causa principal de la muerte en un 50 por 100 de los casos.



Durante las primeras fases del incendio, el humo suele contener una baja proporción de monóxido de carbono, de forma que las lesiones principales se producen por la inhalación de gases y vapores irritantes.

b) Que en un 30 por 100 de los casos el monóxido de carbono, junto con la preexistencia de enfermedades cardíacas, ingestión de alcohol y quemaduras fueron factores contribuyentes.

c) Aproximadamente el 10 por 100 de los fallecimientos fueron debidos a quemaduras y otro 10 por 100 no tienen explicación satisfactoria.

• *Otras consideraciones*

Los datos clínicos expuestos ilustran la naturaleza de los riesgos de inhalación de gases tóxicos asociados a las condiciones ambientales del incendio, poniendo de manifiesto que el monóxido de carbono es la causa principal de las muertes estudiadas. Sin embargo, deben ser reconocidas ciertas limitaciones a estos resultados autopsícos (5). Por ejemplo, aunque la toxicidad del cianuro de hidrógeno es sobradamente conocida, su peligrosidad en circunstancias de incendio no está aún bien definida. Se ha especulado mucho en base a los análisis químicos realizados sobre los productos de pirólisis obtenidos de sistemas poliméricos que contienen nitrógeno. La forma más eficaz de responder a esta cuestión es midiendo los contenidos de cianuro en el sistema biológico y correlacionar los resultados con el síndrome toxicológico del animal. El establecimiento del papel que juega el cianuro de hidrógeno en la peligrosidad de la atmósfera derivada del incendio presenta una gran dificultad debida a la complejidad de analizar el contenido de cianuro en el sistema biológico. Otros trabajos, hacen referencia a que se ha encontrado ión cianuro (CN⁻) en personas que murieron en incendios, a niveles subletales

y en cuyas sangres se determinó también carboxihemoglobina en proporciones del 50 al 98 por 100. Se asegura que el ión cianuro procedía de la pirólisis de diversas materias plásticas utilizadas en mobiliario y decoración.

3. EVALUACION DE LA TOXICIDAD DE LOS PRODUCTOS DE COMBUSTION

Al tratar con el modelo animal surge una cuestión que reviste gran importancia, como es el establecimiento del límite de intoxicación que se juzga peligroso. La mayoría de los métodos de evaluación de la toxicidad pueden agruparse en dos categorías en relación con este límite fijado para los animales. En el primero, la severidad de la intoxicación se valora generalmente por la mortalidad y en el segundo por la incapacidad. En cualquiera de los grupos se tiene, por otro lado, información adicional sobre el desarrollo de la intoxicación y aspectos de la recuperación, a partir de la observación patológica y del comportamiento.

• *¿Cómo definir un límite?*

El proceso de letalidad relativa se expresa en términos de mortalidad (relación entre el número de fallecimientos y el número total de animales utilizados en el experimento) o por el tiempo hasta producir la muerte. Debido a la variabilidad de las características de los animales, la letalidad se determina sobre una base estadística, es decir, la concentración del producto se especifica en términos de la cantidad necesaria para producir la muerte del 50 por 100 de los animales

experimentados (concentración letal 50) (LC₅₀). La concentración sólo tiene sentido si se especifica el tiempo de exposición.

El tiempo hasta producir la muerte se utiliza también como límite. La utilización de este parámetro implica cierta dificultad por su definición. Se han propuesto como tal la terminación de la respiración, la cesión de la actividad del sistema nervioso central y el final de la función cardíaca.

Entre los diferentes métodos tendientes a estimar la toxicidad por inhalación debe considerarse que los gases pueden administrarse mediante respiración libre de los animales o mediante ventilación controlada. Las diferencias en la toxicidad por aplicación de estas dos formas de inhalación pueden conducir a la determinación del máximo riesgo.

Una evaluación matemática del riesgo de intoxicación en un incendio, basada sobre la existencia o medida individual de la LC₅₀ puede ser errónea. Los efectos toxicológicos y fisiológicos de los múltiples componentes tóxicos en el sistema biológico no pueden predecirse a partir de los valores LC₅₀ debido a las posibles interacciones. Se ha propuesto que la toxicidad de los materiales se compare con la de la madera, como norma, para poder tener una clasificación relativa. Los resultados experimentales han puesto de manifiesto claramente que tomar la madera como patrón de referencia puede acarrear ciertas dificultades, ya que los productos de combustión obtenidos son considerablemente distintos en función de su naturaleza y del modelo de incendio seleccionado (método de descomposición).

En lugar de la mortalidad pueden utilizarse, para establecer los límites de incapacidad, otros parámetros

caracterizados por funciones vitales. Son, hasta el momento, numerosos los parámetros utilizados, pero aún no se ha definido cuál es el que representa mayor valor. En algunos trabajos (5) se ha puesto de manifiesto que las ratas pierden su capacidad para evitar una descarga eléctrica cuando ha alcanzado un cierto grado de intoxicación. Para evaluar la actividad física en los ensayos de toxicidad de los productos de combustión, el sistema más utilizado consiste en una jaula rotatoria en la que se obliga al animal a realizar un determinado ejercicio. Ambos sistemas son indicadores reproducibles de la intoxicación. La elección de cualquier criterio de comportamiento depende de la concentración a la que se considera que el producto tóxico es significativa. Se sigue manteniendo la cuestión de cómo comparar los resultados obtenidos con diferentes materiales y que dan lugar a diferentes modos de intoxicación

● *Sobre el modelo de descomposición térmica*

El modelo de incendio utilizado para la descomposición de la muestra, influye principalmente por los dos modos de combustión posibles: con o sin llama. Puesto que cada uno de estos modos dan origen a diferentes productos, ambos deberían ser investigados de forma controlable. Los diferentes métodos de experimentación se pueden agrupar en dos categorías en función del modo de descomposición de las muestras y de exposición del animal; cada una de ellas con ventajas e inconvenientes:

- a) Descomposición de la muestra en un aparato y transporte de los productos hasta la cámara del animal.
- b) Descomposición de la muestra

En los incendios reales raramente se encuentra la descomposición por combustión o pirólisis de una única clase de materiales.

La toxicidad ha de evaluarse como resultado de tratamiento del sistema complejo resultante del calor, anoxia, humo y de los gases y vapores.

en la misma cámara donde se halla el animal.

En los países europeos se utiliza más extensivamente el horno tubular (6), desplazable sobre la muestra. Los productos de descomposición se transportan, con o sin dilución con aire, hasta los animales. Las principales ventajas de este sistema dinámico son:

— Los productos de descomposición pueden mantenerse con una composición uniforme durante el periodo de ensayo sin llama.

— La posibilidad de movimiento del horno, a favor o en contra de la corriente de aire, puede dar lugar a diferentes productos de descomposición.

— Puede añadirse oxígeno (aire) a la corriente de productos de combustión para evitar los efectos de su reducción y de la temperatura sobre los animales.

Con el sistema a) antes mencionado, si los productos se conducen hasta la cámara de los animales por medio de un tubo, su diámetro, longitud y temperatura pueden tener su influencia sobre la atmósfera tóxica que reciben los animales. Estos cambios en las características de la toxicidad de la atmósfera creada, si esto ocurre, no son probablemente los mismos para todos los materiales, lo que dificulta la clasificación de los materiales según su toxicidad.

En el sistema b) los animales se colocan directamente en la cámara de descomposición, reduciéndose o eliminando los problemas de transferencia de los gases. Sin embargo, pueden aparecer otros, como son la influencia térmica y la anoxia que interaccionan con la valoración exclusiva de la toxicidad. Los campos de temperatura y la reducción de oxígeno depende probablemente de los materiales, lo que afecta a los resultados. Además, en la cámara de descomposición cambia la naturaleza de los productos que se obtienen en el transcurso del ensayo, incidiendo directamente en los animales.

De los tres modelos o métodos que han de establecerse para el estudio de la toxicidad de los productos de combustión, el de incendio o descomposición, el animal y el analítico, ISO relega este último a un segundo término, ya que sólo juega un papel de apoyo a las investigaciones, si bien es, desde luego, fundamental. Considera de gran transcendencia fijar dentro del método de exposición biológica los límites de exposición.

● *La complejidad del sistema*

La evaluación de la toxicidad de los productos de combustión requiere





La evaluación de la toxicidad de los productos de combustión requiere una aproximación interdisciplinaria. Quizás las más serias limitaciones de los trabajos realizados en el pasado han consistido en la ausencia de participación de toxicólogos o especialistas en las ciencias biológicas.

una aproximación interdisciplinaria. Quizá las más serias limitaciones de los trabajos realizados en el pasado han consistido en la ausencia de participación de toxicólogos o especialistas en las ciencias biológicas. Se ha de admitir que se está tratando con dos sistemas complejos:

- 1) De mezclas y combinaciones químicas.
- 2) De sistemas biológicos.

Diferentes materiales, cuando se descomponen, pueden originar diferentes respuestas toxicológicas en función del sistema biológico, como sobre el tracto respiratorio, el sistema cardiovascular, el sistema nervioso central, etcétera. Por esta razón, puede ser difícil decidir que es peor, si un material que produce un agente que afecta al sistema cardiovascular u otro que afecta al sistema nervioso central.

Ha de tenerse presente que en los incendios reales raramente se encuentra la descomposición por combustión o pirólisis de una única clase de materiales, complicación que viene a sumarse al hecho de que un único tipo de material puede dar origen a diferentes componentes según las condiciones de su descomposición. Por ello, la toxicidad ha de evaluarse como resultado del tratamiento del sistema complejo resultante del calor, anoxia, humo y de los gases y vapores, de entre los cuales pueden venir a sumarse efectos de combinación, sinérgicos o antagónicos.

Los compuestos altamente irritantes, por ejemplo, disminuyen la frecuencia pulmonar (el acetaldehído desde 40 a 50 inhalaciones por minuto en los humanos). Por esta razón se reduce la entrada de otros gases tóxicos al organismo. Por otro lado, el dióxido de carbono, CO_2 provoca un

estímulo respiratorio en el cerebro, y al respirar en exceso provoca una entrada superior a la normal de otros gases, posiblemente en concentraciones tóxicas o letales, cosa que no habría ocurrido si el dióxido de carbono no hubiera estado presente.

- *La influencia y efectos de distintos factores individuales*

Es comprensible, por tanto, que se entienda la dificultad de puntualizar qué agente es el responsable principal de la intoxicación o muerte en caso de incendio real. En el momento actual sólo es posible identificar qué gases se forman y en qué proporción, evaluando básicamente la toxicidad sobre los componentes individuales.

A) *Temperatura.* Las temperaturas que se dan en los incendios pueden alcanzar los 1.100°C , las cuales exceden grandemente los niveles máximos con los que se sobrevive por más de cinco-diez minutos. Las temperaturas superiores a 100°C pueden causar la pérdida de consciencia y la muerte en varios minutos.

La temperatura letal para los ratones es de 38°C , con exposición de cuatro horas. Otros trabajos han puesto de relieve que, en general, los animales no pueden sobrevivir más de diez minutos por encima de 100°C . Las ratas, por ejemplo, presentan bastante mayor tolerancia térmica que los humanos por encima de la normal. Para los niveles inferiores ocurre lo contrario. La razón puede deberse a la mejor capacidad aislante de la piel de las ratas y a una más favorable relación volumen/superficie de los humanos. En la tabla 1 se presentan los efectos fisiológicos de varios niveles de temperatura sobre los humanos, no teniendo en cuenta la interacción

de la temperatura con el efecto de otros componentes.

B) *Humos.* El humo se considera como la suspensión de partículas sólidas en medio gaseoso. Los efectos más importantes del humo sobre las personas en caso de incendio se dan en la tabla 2.

Durante las primeras fases del incendio, el humo suele contener una baja proporción de monóxido de carbono, de forma que las lesiones principales se producen por la inhalación de gases y vapores irritantes. En cuanto a las partículas sólidas, el tamaño es muy importante por la posibilidad de tabicado y oclusión del tracto respiratorio superior. El humo desplaza al oxígeno provocando anoxia. El humo denso reduce la visión y desencadena estados de angustia y miedo, así como otros efectos psicológicos. La inhalación de humo muy caliente, aparte de los efectos derivados de su naturaleza química, destruye los tejidos por quemado.

C) Gases y vapores

a) Asfixiantes

1. *Oxígeno.* En condiciones de incendio, la reducción o ausencia de oxígeno es muy importante. La carencia de oxígeno conduce, evidentemente, a la muerte en pocos minutos. Aún si no ocurre la muerte pronta, pequeñas proporciones de oxígeno en la atmósfera pueden producir daños irreversibles en el cerebro. Concentraciones más elevadas, pero por debajo de lo normal pueden afectar a células del cerebro de forma reversible. En este período las personas pueden experimentar cambios de comportamiento que conducen a falta de juicio y razón provocando serios accidentes que se traducen en posibles muertes

o graves daños a uno mismo y a los otros. En la tabla 3 se muestran los efectos fisiológicos en las personas para niveles bajos de concentración de oxígeno.

2. *Dióxido de carbono, CO₂*. La combustión de todos los materiales orgánicos producen dióxido de carbono. El efecto más importante de este gas es que estimula la función respiratoria. La estimulación se hace más pronunciada para concentraciones de 50.000 ppm. La inhalación de CO₂ en tales concentraciones aumenta la inhalación de otros productos tóxicos de combustión. Concentraciones superiores ocasionan narcosis. Niveles muy superiores conducen a la sofocación y asfixia.

3. *Monóxido de carbono, CO*. El monóxido de carbono es el gas nocivo más común, que se produce en la combustión y pirólisis de los materiales orgánicos (naturales o sintéticos). Se genera en elevadas proporciones. Se reconoce, en general, que es el más serio componente letal en las causas de muerte.

La toxicidad del monóxido de carbono es extremadamente elevada. Dado que es incoloro, insípido y prácticamente inodoro, su percepción se hace difícil. Es una variedad de veneno hematóxico cuya acción tóxica consiste en disminuir el oxígeno en la sangre arterial, esencialmente causado por la carboxihemoglobina (COHb), provocando la sofocación. La afinidad de la hemoglobina por el monóxido de carbono es 300 veces mayor que por el oxígeno. La toxicidad de este gas corresponde directamente a la concentración de COHb en la sangre. Por eso, el grado de envenenamiento puede estimarse por la determinación de la concentración de COHb. Incluso pequeñas cantidades pueden afectar la

Los factores que en un incendio ponen en peligro la vida humana son:

- Reducción del contenido de O₂ en el ambiente (anoxia).*
- Aumento del contenido de CO.*
- Presencia y aumento de otros gases nocivos y tóxicos:*
- Presencia de humos.*
- Aparición de campos elevados de temperatura.*
- Ataque por exposición directa al fuego.*
- Efectos derivados de una situación de pánico.*

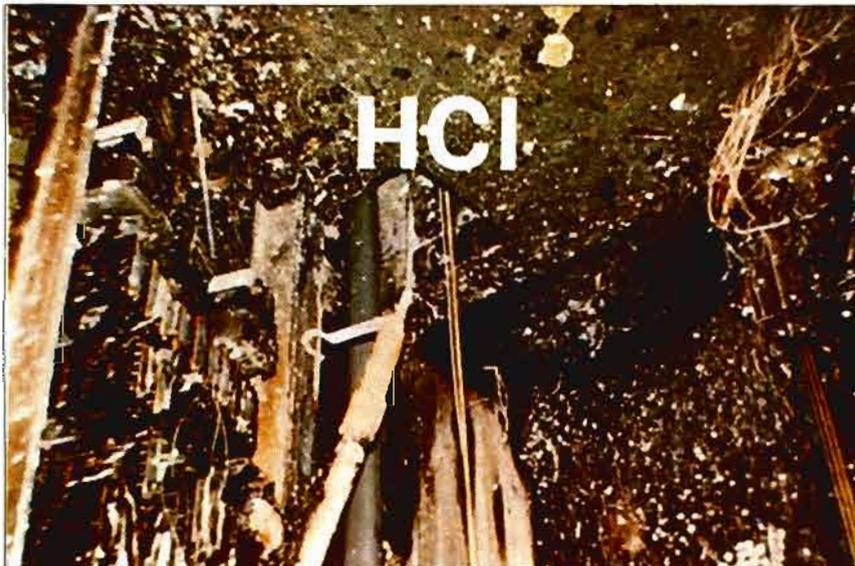
capacidad de transporte de oxígeno en el cuerpo y causar sofocación interna. El complejo COHb es reversible. La exhalación del monóxido de carbono con aire fresco es rápida. Los efectos fisiológicos pueden verse disminuidos por los gases irritantes que inciden sobre el tracto respiratorio.

En las intoxicaciones agudas hay una bajada del pulso, palpitaciones y un incremento de la presión sanguínea; a esto sigue una taquicardia y descenso de la presión de la sangre. En los casos menos severos se produce dolor de cabeza, deslumbramiento en los ojos, alucinaciones y convulsiones acompañadas por enrojecimiento de la piel, respiración convulsiva y asmática, parálisis de grupos musculares aislados como, por ejemplo, las cuatro extremidades o las extremidades inferiores solamente, o los músculos faciales. Le sigue un período de asfixia acompañado por obstrucción. En las observaciones autópticas se aprecia que la sangre o las partes que la contienen, las cuales están dilatadas, tiene un color escarlata brillante.

Las curvas de saturación obtenidas para las ratas no son directamente aplicables a las personas. Para las ratas se alcanzan los valores de saturación rápidamente, en menos de treinta minutos para concentraciones de CO superiores a 2.000 ppm y en poco más de una hora para concentraciones inferiores, mientras que para las personas en cualquier caso han de pasar más de dos horas. La razón de esta diferencia está en que las ratas inhalan un mayor volumen de aire por unidad de tiempo en relación a su peso, saturándose más rápidamente la sangre de CO. Este fenómeno de más rápida saturación de la sangre en los animales pequeños se utilizó en las minas para detectar la presencia de monóxido de carbono, particularmente con canarios que respiran muy rápidamente.

4. *Cianuro de hidrógeno, HCN*. Resultados de análisis químicos han mostrado que se producen cantidades variables de cianuro de hidrógeno durante la combustión de muchos materiales orgánicos que contienen nitrógeno, con lana, seda y madera entre los productos naturales y poliácilonitrilo, poliuretano, formaldehído de melamina, poliamida y nitrocelulosa entre los productos sintéticos. Dado que el HCN es un compuesto altamente endotérmico, su concentración aumenta con la temperatura.

El cianuro reacciona con el Fe de la oxidasa citocroma del cuerpo, lo que a su vez impide la utilización del oxígeno por el tejido (bloqueo del transporte intracelular del oxígeno). Concentraciones por encima de 20



ppm en el aire se consideran peligrosas para la salud. La inhalación inicial de vapores de cianuro de hidrógeno ocasiona un estímulo reflejo en la respiración, lo que da lugar a una entrada mayor de tóxico en el organismo. Después sucede un ataque con estados de tensión y convulsión. La causa de la muerte es la parálisis del centro respiratorio del cerebro. Las condiciones críticas (graves) se tienen cuando se alcanza una concentración de 5µg HCN/ml en la sangre (valor crítico).

El efecto de la inhalación de vapores de cianuro de hidrógeno depende estrictamente de la concentración del mismo en el aire, y en mucha menor medida de la cantidad total inhalada.

En la combustión de isocianuratos y poliuretanos (espumas flexibles de poliéster y poliéter) se han detectado pequeñas cantidades de compuestos nitrogenados como nitrilos-acetonitrilos, acrilonitrilos y benzonitrilos. El acrilonitrilo se ha detectado también en los productos de combustión del poliacrilonitrilo. Todos estos compuestos presentan menos severidad tóxica que el HCN.

b) Irritantes

1. *Cloruro de hidrógeno, HCl.* Al calentar el cloruro de polivinilo se produce cloruro de hidrógeno como principal componente en su descomposición. Este compuesto daña las membranas mucosas de los ojos y del tracto respiratorio superior. Si se inhala en concentraciones elevadas, este último puede quedar gravemente dañado, lo que conduce a la asfixia y muerte.

2. *Fluoruros de hidrógeno, HF.* Los polímeros fluorados, si se calienta a temperaturas suficientemente altas, ceden fluoruro de hidrógeno, así como un grupo de hidrocarburos fluorados, saturados o no, de bajo peso molecular. Estos compuestos son extremadamente tóxicos cuando se inhalan en concentraciones suficientes.

La inhalación del HF produce graves daños a la mucosa de las membranas en el tracto respiratorio, que pueden conducir a la muerte.

Elevadas concentraciones por cortos períodos de tiempo producen edemas pulmonares. La combustión de polímeros fluorados dan lugar a productos que contienen fluoruro de carbono, tetrafluoroetileno y octofluoroisobutileno, los cuales pueden presentar cierta importancia desde el punto de vista toxicológico.

3. *Amoniaco, NH₃.* La combustión de materiales como la lana, seda, poliacrilonitrilo, poliamida y poliuretano da lugar a ciertas cantidades de amoniaco. Este gas es altamente irritante, en particular la mucosa de las mem-

Tabla 1 EFECTOS FISIOLÓGICOS SOBRE LAS PERSONAS DE VARIOS NIVELES DE TEMPERATURA	
Nivel	Efecto
38° C	Peligro de abatimiento, desmayo o choque térmico
43° C	No se puede mantener el balance y equilibrio térmico
49° C	De 3 a 5 horas de tolerancia
54° C	Tiempo de tolerancia inferior a 4 horas, hipertermia, colapso vascular periférico

Tabla 2 EFECTOS MÁS IMPORTANTES ASOCIADOS A LOS HUMOS EN LOS INCENDIOS	
a)	Toxicidad de los vapores y gases
b)	Irritación
c)	Incrustación de partículas sólidas
d)	Humo denso que evita la toma de oxígeno (anoxia)
e)	Reducción de la visión
f)	Desarrollo del miedo y otros efectos psicológicos
g)	Alteración física (temperatura)

La inhalación inicial de vapores de cianuro de hidrógeno ocasiona un estímulo reflejo en la respiración, lo que da lugar a una entrada mayor de tóxico en el organismo.

branas del tracto respiratorio y de los ojos.

Para bajas concentraciones de NH₃ ocasiona faringitis, laringitis, traqueo-bronquitis, náuseas, jaquecas, salivación, tos, etcétera. Concentraciones más elevadas ponen en peligro la vida por edemas en la glotis, laringoespasmos, constricción de los bronquios y edemas pulmonares.

4. *Dióxido de nitrógeno, NO₂.* Este gas se produce en la combustión de la madera (caoba), de la lana, cloruro de polivinilo, nitrocelulosa, poliestireno, poliuretano, polietileno y polipropileno, en cantidades pequeñas. Es un fuerte irritante (corrosivo), siendo su mayor peligro la producción de edemas pulmonares.

Hasta concentraciones de 5 ppm no entraña riesgo, alcanzándose los efectos letales para niveles de 250 ppm o superiores en la atmósfera, con cortos tiempos de exposición. Una vez absorbido, el NO₂ reacciona con la COHb, produciendo metahemoglobina.

5. *Dióxido de azufre, SO₂.* Algunos materiales, tales como los naturales, madera, lana, cuero, fieltro y otros sintéticos como polietileno, polipropileno, poliestireno, cloruro de vinilo, polisulfonas, gomas y cauchos, pueden desprender ciertas cantidades de SO₂ al calentarse o quemarse.

Es extremadamente irritante y en contacto con la humedad forma ácido sulfúrico, muy corrosivo. La mucosa de las membranas del tracto respiratorio

y de los ojos son las más susceptibles. La muerte se produce por asfixia al bloquear u obstruir el flujo de aire en el tracto respiratorio superior.

6. *Sulfuro de hidrógeno, SH₂*. Se encuentra en pequeña proporción en los incendios, generalmente, siendo un poderoso y rápido agente tóxico. En concentraciones entre 500 y 1.000 ppm actúa principalmente como un veneno de amplio espectro, ocasionando la inconsciencia y la muerte por parálisis del sistema respiratorio. Para concentraciones inferiores causa irritación del tracto respiratorio.

7. *Otros gases*. Para información acerca de los efectos que ocasionan sobre las personas y los animales otros gases y vapores, tales como el acetónitrilo, benzonitrilo, acilonitrilo, acetona, hidrocarburos alifáticos, ácido acético, acetatos, diiocianato de tolueno, aldehidos alifáticos, formaldelido, acetaldehido, acroleína, hidrocarburos aromáticos (benceno, tolueno estireno) puede recurrirse a extensos trabajos de investigación sobre los mismos.

En cualquier caso, como se ha recalcado previamente, es fundamental investigar acerca de los efectos combinados de estos productos, ya que en la realidad se presentan como componentes en distintas proporciones en los productos de combustión que se originan en los incendios.

Algunos investigadores han estudiado la acción combinada de gases irritantes y gases asfixiantes sobre la base del TUF (Time of Useful Function). Esto es, el valor crítico necesario para que un individuo pueda escapar del ambiente creado por el incendio antes de que quede incapacitado por el efecto de los gases tóxicos.

• Conclusión

La Organización Mundial de Normalización recomienda en su Informe Técnico ISO/TR6543-1979 que para abordar el problema de la toxicidad en los incendios, éste se divida en dos etapas:

— La primera desarrollando una metodología para la identificación de todos aquellos materiales que producen un pronunciado ambiente tóxico cuando son expuestos al fuego y al calor. La mayor parte de los métodos presentados en dicho informe pueden, probablemente, identificar tales materiales. Se entiende que se pueden realizar grandes e importantes mejoras a muchos de estos sistemas. Esta etapa es posible cubrirla con los conocimientos que se poseen en la actualidad.

— La segunda etapa es el desarrollo de una norma para la evaluación de la

Tabla 3

EFFECTOS FISIOLÓGICOS EN LAS PERSONAS PARA NIVELES BAJOS DE CONCENTRACION DE OXIGENO

Nivel de oxígeno % en aire	Síntomas
20	Normal
17	Disminuye el volumen de respiración, disminuye la coordinación muscular, fijar la atención y pensar requiere más esfuerzo
12 a 15	Se acorta la respiración, jaqueca, desvanecimiento y mareo, aceleración del pulso, los esfuerzos fatigan enseguida, se pierde la coordinación muscular para los movimientos de destreza
10 a 12	Náuseas y vómitos, imposible hacer esfuerzos, parálisis del movimiento
6 a 8	Colapso y pérdida de consciencia
6 o menos	Muerte en 6 a 8 minutos

La Organización Mundial de Normalización recomienda en su Informe Técnico ISO/TR6543-1979, que para abordar el problema de la toxicidad en los incendios éste se divida en dos etapas:

— *La primera desarrollando una metodología para la identificación de todos aquellos materiales que producen un pronunciado ambiente tóxico cuando son expuestas al fuego y al calor.*

— *La segunda etapa es el desarrollo de una norma para la evaluación de la toxicidad o método para clasificar todos los materiales comúnmente utilizados según el grado de toxicidad relativa que producen.*

toxicidad o método para clasificar todos los materiales comúnmente utilizados según el grado de toxicidad relativa que producen. Deben, sin embargo, resolverse ciertos problemas en paralelo con la etapa primera. No está claro si, una vez completada la etapa segunda, habrá de garantizarse o no alguna acción correctiva. Esto no puede determinarse hasta que no se tengan todos los datos. Por otro lado, los resultados de la etapa primera pueden, y probablemente deban utilizarse, para eliminar todos aquellos materiales que son inaceptables para su utilización en la construcción. Como puede observarse, la toxicidad es una cuestión abierta, y cuando se llegue a definir influirá, obviamente, en la posibilidad de que la etapa primera pueda cubrirse. ■

REFERENCIAS

1. Norma Básica de la Edificación. NBE-CPI 81. «Condiciones de los edificios contra el fuego». «B. O. E.», 18 y 19 de septiembre de 1981.
2. Norma Española Une 23-727. «Clasificación de la reacción al fuego de los materiales de construcción».
3. Norma Española Une 23-102. «Determinación de la no combustibilidad de los materiales de construcción».
4. ISO. Informe Técnico núm. 6543 (1979). «Desarrollo de los ensayos encaminados a medir la toxicidad en los incendios».
5. «Desarrollo de ensayos para medir el peligro de intoxicación en los incendios». ISO/TR 6543 (1979).
6. EDGERLY, P. G., y otros: «Estudio de los procesos de combustión de la DIN 53436 utilizando madera, poli-propileno y polimetilmetacrilato». ISO/TC 92/GT 12. Núm. 101. Marzo de 1981.