

Cómo seleccionar los materiales para reducir el riesgo de intoxicación en caso de incendio

MR. T. J. O'NEILL
Du Pont (Gran Bretaña).
MR. S. SCHORR
Du Pont Ibérica, S. A.
(Barcelona, España).

LA intensa investigación llevada a cabo en todo el mundo durante estos últimos años ha demostrado que el peligro tóxico debido a los humos y a los gases desprendidos por los materiales en combustión, ya sean naturales o sintéticos, queda determinado mucho mejor por los factores que controlan la velocidad de evolución del incendio que por las diferencias en la química de los materiales. Durante la combustión, cualquier material combustible se convierte, con mayor o menor rapidez, en mezclas complejas y altamente tóxicas de muchos productos de descomposición. Su peligro tóxico real queda determinado más bien por las condiciones ambientales que predominan en el lugar del incendio (flujo de calor, niveles de ventilación y cantidad de combustible) que por las composiciones de las mezclas efluentes. Ello se debe a que la composición de las mezclas varía en función del tiempo,



La velocidad de propagación de la llama y el desprendimiento de calor contribuyen al desarrollo del peligro de intoxicación.

po, temperatura ambiente, concentración disponible de oxígeno y de otros materiales presentes que contribuyen al incendio.

Los responsables de las especificaciones de materiales, cuyo propósito es mejorar la seguridad contra incendios, pueden aportar, sin duda alguna, una contribución definitiva reduciendo la masa de los combustibles presentes en el sistema y aumentando la resistencia a la ignición y propagación de la llama de éstos.

Todo esto queda reflejado en el análisis técnico sobre el control de los daños producidos por un incendio, adoptado por la industria de la minería de carbón en Europa, según el cual, de acuerdo con Duncan, la mejor manera de reducir la amenaza que representan los humos tóxicos es controlar las propiedades de los materiales combustibles con el propósito de eliminar el riesgo de incendio o, al menos, moderar en lo posible la magnitud del fuego. En este sentido, aun-

que los productos tóxicos desempeñan un papel decisivo en los casos de muerte producidos por incendio, el único control efectivo, a través de la selección de materiales, es la reducción del grado de inflamabilidad.

Por otro lado, los responsables de las especificaciones de materiales deben reconocer que los aspectos del comportamiento de un material en un incendio, tales como la propensión a la ignición, la propagación de la llama o el desarrollo de humos, no son propiedades intrínsecas del material, sino que dependen decisivamente del diseño y de los aspectos configurativos del sistema. En consecuencia, una astuta selección de materiales, por sí sola, no es suficiente para resolver el problema, según comenta de forma larga y detalla Drysdale.

En un contexto más general, existe consenso en el sentido de que las muertes causadas por incendios constituyen un serio problema, y los informes *post mortem* señalan, como cau-

sa principal de éstas, la inhalación de humos y gases tóxicos. El papel que desempeñan los humos y los gases tóxicos en tales casos debe ser abordado con toda responsabilidad. Por consiguiente, cuando consideremos un criterio sobre la selección de los materiales habrá que hacerse la siguiente pregunta, que continúa acaparando un gran interés en todo el mundo: ¿deberían incluir las normas de seguridad contra incendios especificaciones sobre la toxicidad de los productos resultantes de la combustión de un material? Se trata de una pregunta que, en general, ha sido calificada por los centros oficiales como muy importante, pero nada fácil de contestar. En realidad, ¿cuál sería la mejor manera de especificar los materiales para reducir el número de muertes causadas por los incendios?

En el presente artículo se destaca el hecho de que, en los incendios, la diferencia entre la vida y la muerte depende de la diferencia entre el tiempo necesario para escapar y el tiempo disponible para hacerlo. En este contexto, el diseño de los edificios y sistemas, el adiestramiento del personal y el control efectivo de la propagación del fuego son elementos de vital importancia.

ESPECIFICACION DE MATERIALES MAS SEGUROS

El control de la velocidad de propagación del incendio es un problema de múltiples parámetros que requiere un análisis total. La especificación de los materiales es, únicamente, uno de los parámetros en juego. Otros factores que intervienen en la solución técnica del problema son, por ejemplo, el proyecto de los sistemas de aspersión y la compartimentación y disposición por zonas.

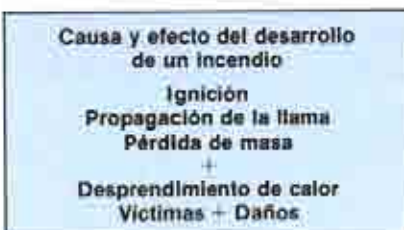
Un análisis sistemático en la especificación de materiales debería considerar la secuencia natural de los acontecimientos en un incendio, tal como se indica en la cuadro 1. Dicho análisis debería procurar minimizar la posibilidad de declaración del incendio, así como la propagación de las llamas mediante la reducción de cantidad de combustible presente y el aumento de su resistencia a la ignición y a la proliferación superficial de las llamas. La carga o cantidad de combustible puede reducirse de muy diversas maneras, como, por ejemplo, sustituyendo los materiales combustibles por sus correspondientes contrapartidas funcionales incombustibles. En los casos en que resulte imprescindible para el buen funciona-



Durante la combustión cualquier material combustible se convierte, con mayor o menor rapidez, en mezclas complejas y altamente tóxicas de muchos productos de descomposición.

miento del sistema el empleo de materiales orgánicos combustibles, puede disminuirse la masa, adoptando componentes de menor tamaño, reduciendo, por ejemplo, los espesores de pared o llevando a cabo soluciones similares.

CUADRO 1. Representación esquemática del comportamiento de un material durante el desarrollo de un incendio.

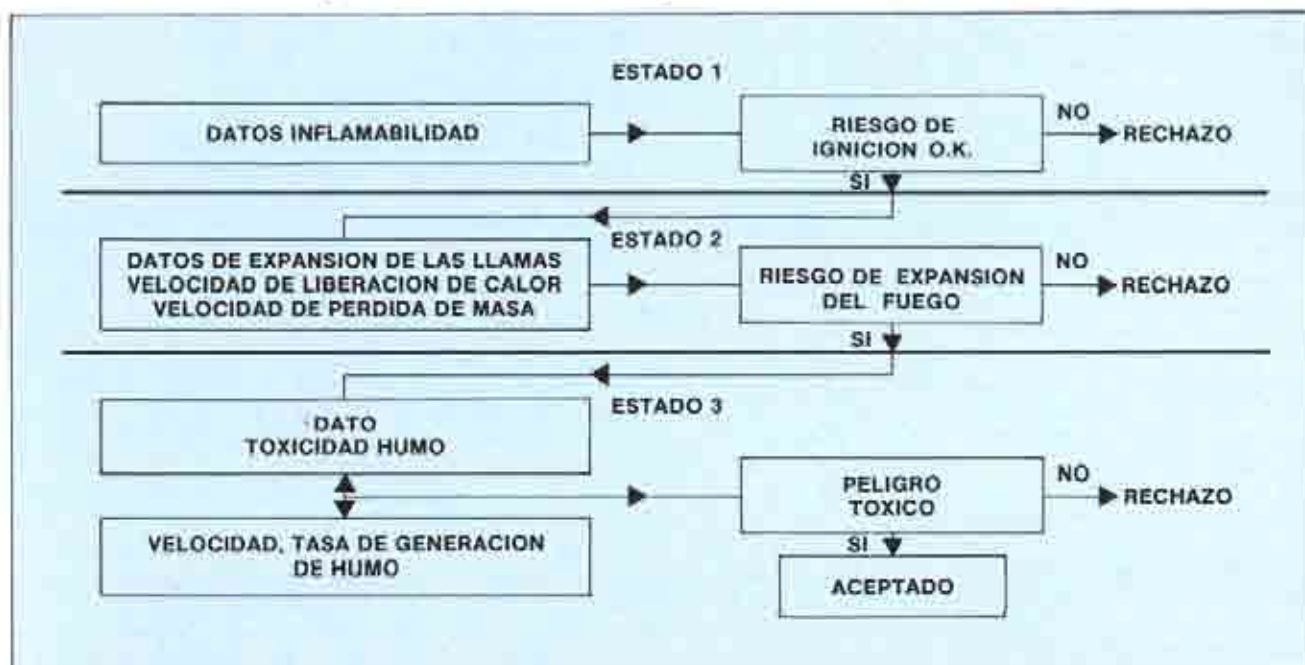


En consecuencia, el análisis debería facilitar la eliminación de los materiales o diseños de sistemas cuando los ensayos reales de combustión indiquen la existencia de un riesgo de ignición excesivamente elevado, tal como se representa en el cuadro 2. Los sistemas investigados para determinar el riesgo de ignición, y considerados aceptables, se valoran después en base al riesgo de desarrollo de un incendio a gran escala, cuando apenas existan posibilidades de ignición. Si las características de combustión (tales como la velocidad de propagación de las llamas, el desprendimiento de calor y la pérdida de masa) se hallan comprendidas dentro de los límites aceptables, se prosigue entonces con la etapa siguiente de este

cuadro, representado en forma de «tabla de decisión». Esta consiste en analizar las probables mezclas de productos resultantes de la combustión desde el punto de vista de su potencial para producir impedimentos para la huida, incapacitación y efectos letales, expresados en términos de potencialidad específica (densidad del humo o toxicidad por unidad de masa), multiplicada por las velocidades de generación y tiempos probables de exposición. Este análisis es consecuente con las recomendaciones de la International Organisation for Standardisa-

Existe consenso en el sentido de que las muertes causadas por incendios constituyen un serio problema y los informes «post mortem» señalan, como causa principal de éstas, la inhalación de humos y gases tóxicos.

CUADRO 2. Tres decisiones de proximidad en el análisis de riesgo tóxico en caso de incendio.



tion (ISO/TC92/SC3: «Toxic Hazard in Fire» (peligro tóxico en incendios), tal y como se refleja en los códigos de práctica y otros documentos orientativos publicados por el British Standards Institution.

INFLUENCIA DE LA DINAMICA DEL FUEGO

La velocidad con que se desarrollan los incendios en espacios cerrados es absolutamente crucial para la va-

loración del riesgo tóxico, tal como queda claramente reflejado en el cuadro 2:

Un principio fundamental sobre toxicología, que debemos a Paracelso (siglo XVI) y a su obra, dice así: «Todas las sustancias son venenos; la dosis es la que diferencia el veneno del remedio.» La relevancia de este principio en la valoración del peligro que un incendio representa para la vida queda bien patente si consideramos que los materiales combustibles no constituyen de por sí una amenaza.

La amenaza surge, únicamente, cuando un material o conjunto de materiales sólidos se transforma, con mayor o menor rapidez, en una nube tóxica de vapores, gases y aerosoles sobrecalentados.

La dosis de efluentes del fuego, absorbida por todo aquel que se halle dentro de la zona del incendio o en un lugar adyacente a ésta, se halla relacionada, directamente, con las concentraciones de los efluentes del fuego transmitidas por el aire y con el tiempo durante el cual el ocupante

En los casos en que resulte imprescindible el empleo de materiales orgánicos combustibles para el buen funcionamiento del sistema, puede disminuirse la masa, utilizando componentes de menor tamaño, reduciendo, por ejemplo, los espesores de pared o llevando a cabo soluciones semejantes.



La propagación de la llama o el desarrollo de los humos no son propiedades del material, sino que dependen decisivamente del diseño y de los aspectos configurativos del sistema.

queda expuesto a aquéllas. El tiempo de exposición queda, evidentemente, determinado por el tiempo que la víctima potencial necesita para huir de la zona peligrosa.

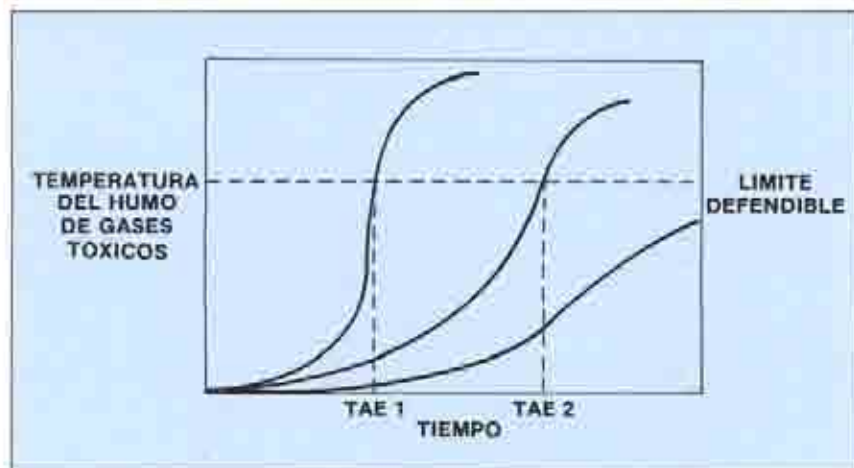
Los factores principales contemplados aquí comprenden el tiempo de respuesta del sistema de alarma, el tiempo invertido por los ocupantes en alertarse y movilizarse, así como la longitud efectiva del camino de salida, que resulta aumentada por la presencia de agentes obstaculizantes, tales como la presencia de humos opacos e irritantes o la de obstáculos físicos, debidos a deformaciones estructurales o a partes derruidas del edificio. Las concentraciones de efluentes del incendio, transportadas por el aire, y sus variaciones con el tiempo quedan determinadas por la dinámica del fuego, que, a su vez, depende de la naturaleza y cantidad de materiales combustibles existentes, de la naturaleza de las fuentes de ignición primaria y secundaria y de otros factores, tales como las condiciones ambientales de ventilación y la eficacia de los sistemas de eliminación de humos y de extinción. Por consiguiente, la ecuación que debemos resolver para cualquier escenario de incendio, con el propósito de valorar el riesgo de intoxicación, incapacitación y muerte de los ocupantes, comprende tres componentes:

- Concentraciones de agentes tóxicos.
- Tiempo de exposición a los agentes tóxicos.
- Potencial tóxico específico de los agentes tóxicos.

Como hemos visto, los dos primeros componentes son funciones de

La amenaza surge cuando un material o un conjunto de materiales sólidos se transforma, con mayor o menor rapidez, en una nube tóxica de vapores, gases y aerosoles sobrecalentados.

CUADRO 3. Representación esquemática de la dependencia del tiempo disponible para el escape en la dinámica del desarrollo del fuego.



gran cantidad de variables, muchas de las cuales no tienen relación con los materiales combustibles en cuestión. Como ya se dijo anteriormente, mediante la especificación de materiales se puede realizar una doble contribución, a saber: reducción de la cantidad de materiales combustibles presentes y optimización de la calidad de aquellos materiales, considerados desde el punto de vista de su resistencia a la ignición, propagación de la llama y minimización de su propensión a impedir la huida, debido a la emisión de altas concentraciones de efluentes densos, acres o incapacitantes.

LA SUPERVIVENCIA Y SU DEPENDENCIA DEL TIEMPO

El tiempo es un parámetro crucial en la valoración del riesgo tóxico, dado que las personas mueren por no poder escapar de la zona incendiada y por no disponer de tiempo suficiente para la huida desde el momento en que se dan cuenta del peligro hasta que alcanzan el umbral de su incapacitación. Los límites de resistencia del individuo, los efectos de incapacitación, el proyecto del edificio, la dinámica del fuego y otros muchos factores pueden ser de influencia decisiva sobre el tiempo necesario para escapar de la zona de peligro. Si se considera que los efectos de los efluentes del fuego, tales como el humo, el calor y los gases tóxicos, son los factores que afectan perjudicialmente a la huida, podrá observarse que las características de la evolución del fuego determinan si los límites de resistencia se alcanzan al cabo de cortos o largos períodos de tiempo o no llegan a alcanzarse en absoluto. La pendiente de la curva que representa la evolu-

ción del fuego determinará el tiempo disponible para escapar, tal como puede apreciarse en el cuadro 3. En el momento en que cualquiera de los efluentes, aisladamente o en combinación, alcanza el límite de resistencia, la huida del individuo resulta perjudicada; él o ella se hallarán atrapados y el resultado será necesariamente fatal.

En teoría, el tiempo disponible para escapar (*t_{ae}*) es igual a $t_c - t_o$, teniendo en cuenta que

t_o = Tiempo de Ignición, es decir, el tiempo en que la escena pasa de un estado «sin fuego» a uno de «fuego incipiente»;

t_c = Tiempo crítico necesario para alcanzar el límite de resistencia de la persona involucrada, o sea, el umbral de las condiciones ambientales más allá de las cuales las posibilidades de huida son totalmente nulas.



No obstante, el tiempo real disponible para escapar es, generalmente, mucho más reducido que la diferencia entre t_c y t_o , pues t_o corresponde al tiempo en que se declara el fuego y no al tiempo en que la persona afectada se percata de que tiene lugar un incendio. El tiempo necesario para advertir la existencia del peligro y de emprender la acción apropiada de evasión deberá, lógicamente, restarse del tiempo teórico disponible para escapar.

Esta reducción en el valor de t_{ae} , motivada por el hecho de que, por ejemplo, no se prestó atención a la alarma de incendios o porque la víctima se hallaba ebria o dormida en t_o , constituye el factor principal del problema de muerte en un incendio. Si el tiempo real disponible para escapar se reduce, por cualquier causa, por debajo del necesario, la huida se hace imposible y las consecuencias serán fatales, a menos que se produzca un cambio radical favorable en las condiciones ambientales (por ejemplo, la llegada de ayuda o la puesta en servicio de los aspersores).

POTENCIA TOXICA DE LOS EFLUENTES DEL FUEGO

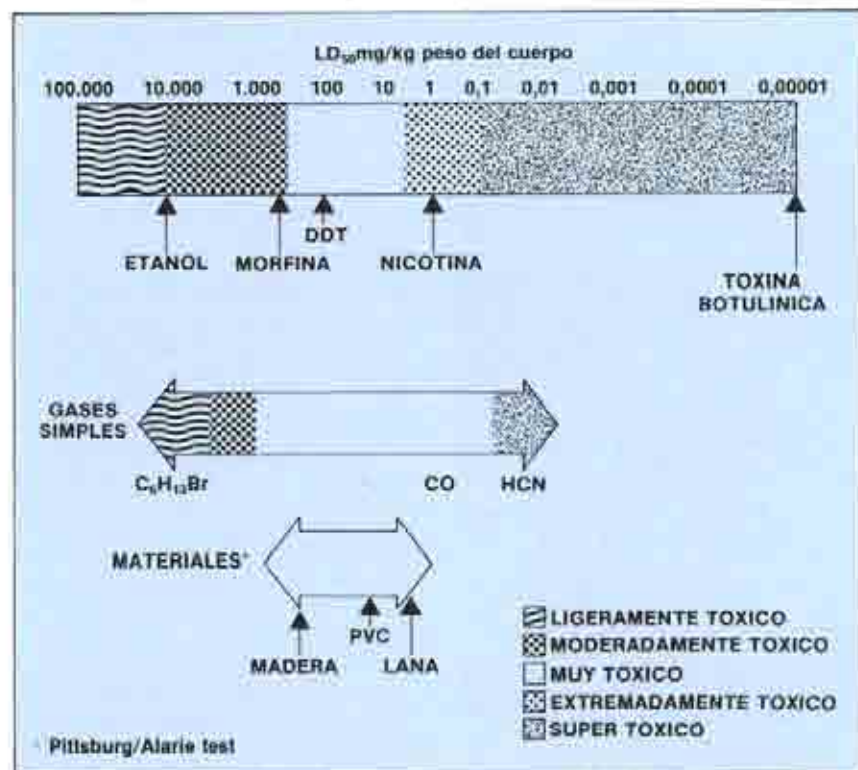
Un enfoque común al problema del riesgo tóxico en un incendio se basa

en que hay que conocer los niveles de toxicidad de los materiales, ya que, en la mayoría de los casos en que se producen muerte debidas a incendio, encontramos presentes humos tóxicos. Se da por sentado que el establecimiento de un sistema de dichos niveles conducirá a la selección de materiales más seguros y que, por consiguiente, será necesario disponer de un ensayo de toxicidad para solucionar el problema. Además, por lo general, se acepta que para obtener una información útil sobre la toxicidad de los productos resultantes de la combustión, al igual que en otros campos de la toxicología, es necesario realizar estudios de exposición con animales, ya sea aisladamente o en combinación con análisis químicos de los gases.

Sin embargo, uno de los hallazgos más importantes, a raíz de los ensayos de exposición realizados con animales, lo constituye el hecho de que todos los polímeros orgánicos, ya sean naturales o sintéticos, producen, al arder, humos altamente tóxicos. Esto se ha visto confirmado por ensayos realizados con miles de materiales presentados por toxicólogos de todo el mundo. Como dato interesante cabe citar el hecho de que, al examinar la potencia tóxica de sustancias naturales comunes, se comprueba que hay un tremendo margen de toxicidad que

El tiempo de exposición queda determinado por el tiempo que la víctima potencial necesita para huir de la zona peligrosa.

CUADRO 4. Toxicidades de productos de combustión comparadas con la toxicidad de sustancias naturales de otros productos químicos.



comprende diez grados de magnitud, empezando por la sustancia más tóxica conocida: la toxina del microbio del botulismo, de la que bastan tan sólo dos microgramos para producir la muerte de un adulto medio, hasta los grados de menor potencia tóxica, como, por ejemplo, el alcohol etílico, del que es suficiente un litro para producir efectos fatales en la mayoría de personas si se ingiere con la suficiente rapidez (ver cuadro 4). Por otra parte, si examinamos la amplitud del abanico de valores de potencial tóxico que hallamos cuando arden materiales naturales o sintéticos por procedimientos normalizados, observaremos que éste es muy inferior al de productos existentes en la Naturaleza.

Todo lo que arde, ya sea madera o lana, plásticos o elastómeros, produce mezclas de productos de combustión que pueden clasificarse como muy tóxicos o de extrema toxicidad. En realidad, para fines prácticos, la toxicidad de las atmósferas de los incendios puede ser considerada, en la mayoría de casos, como dominada por los efectos narcóticos producidos por el monóxido de carbono, cianuro de hidrógeno (ácido cianhídrico) y una reducción en el contenido de oxígeno, asociada a los efectos irritantes de los productos resultantes de la combustión, tales como aldehídos, aminas y ácidos, ya sean orgánicos o inorgánicos. Por consiguiente, en la práctica, la amenaza que representa un incendio viene, en gran parte, determinada por los factores que fijan la dosis, a saber:

La concentración. ¿Qué cantidad de gas se generará como resultado de la combustión y con qué rapidez?

El tiempo. ¿Cuánto durará la exposición? ¿Qué longitud tienen los caminos de salida o huida? ¿Cuál es

CUADRO 5	
Orden de clasificación de los principales efluentes en casos de incendio, según su potencial tóxico	
Agente tóxico	Concentración letal (%)
Cianuro de hidrógeno	170 - 230 ppm
Monóxido de carbono	2.500 - 4.000 ppm
Cloruro de hidrógeno	5.000 ppm
Óxido de carbono	100.000 ppm
Bajo contenido de oxígeno (Concentración residual)	6 - 7%

(*) Persona expuesta durante 30 minutos.

el tiempo necesario para huir de la zona del incendio?)

Según Hartzell, ponente del «Working Group on the Prediction of Toxic Effects of Fire Effluents», dentro del Comité de la International Organisation for Standardisation, dedicada a la evaluación del riesgo tóxico en casos de incendio, ISO TC92 SC3, los efluentes de un incendio provenientes de los materiales más comunes se caracterizan por dosis letales dentro de un margen de 300 a 1.500 mg-min/litro, con un promedio que se sitúa alrededor de los 900 mg-min/litro. Los cálculos basados en esta dosis demuestran que una exposición de 30 minutos al humo producido por la combustión de tan sólo unos 300 g de combustible, dentro de una habitación normal, puede resultar peligró-

sa para un hipotético ocupante. Puede también predecirse que la combustión de sólo 12 kg de cualquier clase de material, clasificado como «típico» en un ensayo de toxicidad a escala reducida, es capaz de generar productos de descomposición en cantidad suficiente como para resultar peligrosos en 20 habitaciones y con una exposición tan sólo de 15 minutos. Por lo expuesto resultará perfectamente comprensible que, por ejemplo, en el caso de un incendio en la habitación de un hotel, los efectos puedan resultar fatales para los ocupantes de otras habitaciones cualquiera que sea la combinación de los materiales en combustión.

TOXICIDAD RELATIVA DE LOS GASES DE COMBUSTION

La mejor información de que disponemos actualmente, sobre evaluación del riesgo tóxico en los escenarios de incendios, procede del Comité ISO (ISO/TC 92/SC3 «Toxic Hazards of Fire»). De acuerdo con estos expertos, y ello se refleja en el código de prácticas BSI para la evaluación de peligros tóxicos en caso de incendios (el orden de clasificación de los principales gases generados en incendios, desde el punto de vista de su potencial tóxico, viene dado en el cuadro 5:

La validez de esta clasificación viene respaldada por cientos de estudios de bioensayos realizados con diversos animales. No se hallaron diferencias importantes, en cuanto a efectos tóxicos, entre los materiales que producen, por ejemplo, monóxido de car-

Una exposición de 30 minutos al humo producido por la combustión de tan sólo unos 300 g de combustible, dentro de una habitación normal, puede resultar peligrosa para un hipotético ocupante.

bono y aquellos en que aparece cloruro de hidrógeno en la mezcla de productos resultantes de la combustión.

PAPEL QUE DESEMPEÑAN LOS EFLUENTES TOXICOS

El humo, el calor y los gases tóxicos deben considerarse como agentes obstructores de la huida, así como elementos que contribuyen a la incapacitación y a la muerte. Esta sobreviene después de la incapacitación y surge cuando la huida resulta críticamente afectada. En este caso la víctima queda atrapada en una celda de muerte. Una vez atrapada allí, ya no es probable que la infortunada víctima se halle en condiciones de considerar los elementos ambientales, como monóxido de carbono, cianuro de hidrógeno y otros elementos, responsables del desenlace fatal que se avecina. La identificación de los agentes responsables de la muerte, desde el punto de vista fisiológico (por ejemplo, monóxido de carbono, bajo contenido de oxígeno, otros gases, humo, vapor, calor, etc.), pasa a un segundo plano, en términos de causa-efecto, en el momento en que uno se da cuenta de que el hecho crítico es que se halla ya atrapado.

Como resultado de este análisis, podemos deducir que las discusiones y debates sobre la composición particular de la mezcla del gas resultante de la combustión, obtenida cuando arde un material cualquiera en determinadas condiciones, no son relevantes para la solución del problema real. Las especificaciones encaminadas a la selección de materiales deberían basarse, más bien, en la posible contribución que éstos ejercen como agentes responsables de muerte y no en su composición química, teniendo



El control de la velocidad de propagación del incendio es un problema de múltiples parámetros que requiere un análisis total.

en cuenta las características de combustibilidad y propagación de la llama de los materiales, tal como expone Murrell.

CONTROVERSA SOBRE LA TOXICIDAD PRODUCIDA POR LA COMBUSTION

Este es el título de una memoria publicada recientemente por la Organización de Investigación Arthur D. Little Inc., en la que se resalta la dificultad inherente al aplicar los datos de toxicidad en el análisis del riesgo que representa un incendio. Esta dificultad se debe principalmente al hecho de que los resultados, obtenidos con cualquier clase de material, utilizando cualquier tipo de aparato de ensayo, dependen críticamente de las condiciones del ensayo, es decir, de la temperatura, del grado de ventilación y del tamaño de la probeta o muestra ensayada.

Esta variación en los resultados del ensayo, que depende de las condiciones en que éste se realice, plantea un grave dilema a todos aquellos que pretenden asignar a un material un solo valor en el grado de toxicidad. En consecuencia, la Dra. Claire Herpol, de la Universidad Estatal de Gante, en sus extensos programas de investigación, referentes a la toxicología de muy diversos materiales naturales y sintéticos en combustión, pudo llegar a la siguiente conclusión: «... Cualquier material combustible puede convertirse en muy peligroso por su toxicidad en determinadas condiciones... Ya no tiene sentido intentar clasificar los materiales en "buenos" y "malos", según sus efectos tóxicos, puesto que este comportamiento del material variará de un extremo a otro, según las condiciones del ensayo.»

La única manera satisfactoria de resolver este dilema es considerar la naturaleza dinámica del fuego.

El control efectivo de la amenaza tóxica debe realizarse a través del control de la dinámica del fuego.

CONCLUSION

La posición de la comunidad que estudia la ciencia de los incendios y la de las autoridades que regulan la cuestión del riesgo tóxico en los casos de incendio quedó bien clara en ocasión de la conferencia internacional sobre incendios «Controle el calor... Reducirá el peligro», celebrada en Londres en octubre de 1988. En realidad, el mismo título de esta reunión resume el *statu quo* científico.



Los responsables de las especificaciones de los materiales, cuyo propósito es mejorar la seguridad contra incendios, pueden aportar, sin duda alguna, una contribución definitiva reduciendo la masa de los combustibles presentes en el sistema y aumentando la resistencia de éstos.

En resumen, el gran esfuerzo de investigación internacional en el campo de la toxicología de los materiales en combustión, que fue emprendido durante estos 20 últimos años, ha permitido demostrar los siguientes puntos esenciales:

a) Todos los materiales en combustión producen mezclas de efluentes de acción altamente tóxica.

b) El valor de la toxicidad de los efluentes de cualquier material determinado depende de las condiciones del ensayo.

c) Ha resultado imposible establecer una clasificación de los materiales, basada en ensayos de toxicidad a pequeña escala, de manera que represente una contribución efectiva en la reducción del riesgo para las personas en los casos de incendio.

Como consecuencia de estas deducciones, la tendencia actual es considerar los datos de los ensayos de toxicidad a pequeña escala, útiles para fines de investigación, pero no para la reglamentación. El grupo de expertos ISO realiza actualmente estudios sobre el empleo potencial de tales datos en procedimientos de evaluación del peligro que representa un incendio. No obstante, en términos prácticos, el peligro en los incendios se determina, predominantemente, por medio de la pendiente de la curva de evolución del fuego. El peligro que los materiales en combustión representan para la vida se controla, preferentemente, minimizando su propensión a la ignición y reduciendo la velocidad de propagación de la llama y la emisión de calor de aquéllos.

BIBLIOGRAFIA

- Fardell, P. J., y Woolley, W. D.: «The State of the Art of Combustion Toxicity», *Proc. Int. Conf. «Control the Heat - Reduce the Hazard»*, Londres, octubre de 1988, 12.
- ISO/IEC Technical Report 9122-1, *Toxicity Testing of Fire Effluents - Part 1: General*, 1989-09-15.
- Duncan, S. J.: «Living with Fire Smoke Toxicity Problems in a Critical Industry», *Proc. RAPRA Symposium*, Solihull, mayo 1989.
- Drysdale, D. D.: *An Introduction to Fire Dynamics*, Wiley Interscience Publications, Nueva York, 1985.
- Punderson, J. O.: *Fire and Materials*, 5, 41, 1981.
- Anderson, R. A.; Willetts, P.; Cheng, K. N., y Harland, W. A.: *Fire and Materials*, 7, 67, 1983.
- British Standards Institution, «Toxicity of Combustion Products», *Guide to the Relevance of Small-Scale Tests*, BSI PD 6503, Pt. 2, 1988.
- British Standards Institution, *Code of Practice for the Assessment of Toxic Hazards in Buildings and Transport*, BSI DD 180, 1989.
- Woolley, W. D.; Ames, S. A., y Fardell, P. J.: *Fire and Materials* 3, 110, 1979.
- Puser, D. A., y Woolley, W. D.: *J. Fire, Sci.*, 1, 118, 1983.
- Alexeeff, G. V., y Packham, S. C.: *J. Fire Sci.*, 2, 362, 1984.
- Hartzell, G. E., y Emmons, H. W.: «The Fractional Dose Model for Assessment of Hazards due to Smoke from Materials», *Proc. Int. Conf. «Control the Heat - Reduce the Hazard»*, Londres, octubre de 1988, 13.
- Murrell, J. M.: *Trans. I. Mar. E (C)*, vol. 98, artículo C1/7, 1985.
- Lindstrom, R. S.: *J. Vinyl Tech.*, 10, 111, 1988.
- Herpol, C.: *Fire and Materials*, 3, 127, 1980.