

CALIDAD DEL AIRE EN LOS AMBIENTES CERRADOS

M^a José Berenguer Subils
M^a Carmen Martí Solé

C.N.V.M. - Vizcaya. - INSHT

INTRODUCCION

Los efectos adversos derivados de una pobre calidad del aire en los ambientes cerrados son un problema que no sólo afecta a la población laboral sino también al resto de la comunidad, ya que está demostrado que el hombre urbano pasa entre el 80 y el 90% de su tiempo en ambientes cerrados, contaminados en mayor o menor grado. Esta problemática se ha visto potenciada desde que una creciente necesidad de ahorro energético ha llevado al diseño de edificios más herméticos, con una mayor recirculación del aire, y en consecuencia con un posible aumento de la contaminación interior.

En el ámbito de las condiciones de trabajo tiene cada vez mayor incidencia el aspecto relacionado con la calidad del aire en locales dedicados a oficinas y servicios generales, es decir en los que no se realizan actividades de tipo industrial. La sintomatología presentada por los afectados no suele ser severa y, al no ocasionar un exceso de bajas por enfermedad, se tiende a menudo a minimizar los efectos que, sin embargo, se traducen en una situación general de discomfort. En la práctica estos efectos son capaces de alterar tanto la salud física como la mental del trabajador, provocando un mayor estrés y con ello una disminución del rendimiento laboral. Para describir estas situaciones, cuando los síntomas llegan a afectar a más del 20% de los ocupantes de un edificio, se habla del «Síndrome del Edificio Enfermo».

En la actualidad se admite que aquellos ambientes que no disponen de ventilación natural y que están cerrados, para conseguir un mayor rendimiento del sistema de aire acondicionado, pueden ser áreas de exposición a contaminantes. Entre ellos se encuentran oficinas, edificios públicos, escuelas y guarderías, edificios comerciales e, incluso, residencias particulares. No se conoce con exactitud la magnitud de los daños que pueden representar para la salud, ya que los niveles de contaminantes que se han determinado, principalmente en estudios realizados en oficinas y en residencias particulares, suelen estar muy por debajo de los respectivos límites permisibles de exposición para ambientes industriales. Por otro lado, las técnicas tradicionales de la higiene industrial resultan, con frecuencia, inadecuadas o insuficientes para encontrar soluciones ya que las causas primarias de esta situación son a menudo difíciles de identificar.

La calidad del aire en el interior de un edificio es función de una serie de parámetros que incluyen la calidad del aire exterior, la compartimentación, el diseño del sistema de aire acondicionado, las condiciones en que este sistema trabaja y se revisa y la presencia de fuentes contaminantes y su magnitud.

Evidentemente, el aire del interior de un edificio no debe contener contaminantes en concentraciones superiores a aquellas que pueden perjudicar la salud o causar discomfort a sus



ocupantes. Estos contaminantes incluyen los que pueden estar presentes en el aire exterior que se introduce en el edificio y los originados por las actividades interiores, el mobiliario, los materiales de construcción, los recubrimientos de superficies y los tratamientos del aire. Las situaciones de riesgo más frecuentes para sus ocupantes son: la exposición a sustancias tóxicas, radioactivas e irritantes, inducción de infecciones o alergias, condiciones termohigrométricas no confortables y olores molestos.

EFFECTOS SOBRE LA SALUD RELACIONADOS CON EL AIRE DEL INTERIOR DE UN EDIFICIO

En general los contaminantes presentes en el aire ambiente penetran en el organismo por inhalación y por tanto afectan inicialmente al tracto respiratorio, pudiendo también ser absorbidos y afectar a otros órganos o acumularse en distintos tejidos. Asimismo, puede haber contaminantes que provoquen irritación en los ojos o que generen problemas dérmicos (erupciones y picores). Los efectos sobre el tracto respiratorio son irritación de nariz, garganta y bronquios, con

posibilidad de provocar cambios en la reactividad bronquial, o liberación de un mediador inducida por alérgenos que conducen a la aparición de rinitis, asma o neumonitis hipersensitivas. Por otra parte los contaminantes microbianos pueden provocar enfermedades infecciosas.

Los síntomas que se relaciona con una deficiente calidad del aire en el interior de un edificio, son dolor de cabeza, mareos, náuseas, fatiga, piel seca, irritación de ojos, congestión de senos nasales y tos. Es a menudo difícil diferenciar entre los causados directamente por el medio ambiente y los de origen psicológico. No hay que olvidar que un aire de pobre calidad provoca disconfort, pudiendo desencadenar reacciones psicológicas complejas, cambios de humor, de estado de ánimo y dificultades en las relaciones interpersonales.

CONFORT TERMICO Y VENTILACION

El mayor número de quejas referentes a la calidad del aire del interior de un edificio entran dentro del apartado de confort térmico y ventilación. Según el National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), en más del 50% de estudios realizados en edificios, los problemas eran causados por una inadecuada ventilación.

El confort térmico se basa en un equilibrio entre la actividad física y la ropa que se utiliza, por un lado, y la humedad relativa, la temperatura y velocidad del aire y la temperatura radiante media, por otro. La American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE) ha desarrollado standards, aplicables a espacios cerrados, que deben garantizar una situación de confort al 90% de la población. En general, el margen de valores considerados aceptables es relativamente estrecho, dada la relación que existe entre unas y otras variables. Un ligero aumento en la velocidad del aire, por ejemplo, puede desencadenar una serie de quejas aunque la temperatura se mantenga dentro de los límites aceptables.

Paralelamente, cuando la ventilación es incorrecta como consecuencia de un aporte insuficiente del aire fresco exterior, puede haber una acumulación de contaminantes de origen vario hasta unos niveles que resulten molestos para sus ocupantes. El aporte del aire exterior ha de ser suficiente para diluir los contaminantes hasta niveles que estén por debajo de la percepción humana y, evidentemente, de los considerados perjudiciales para la salud.



TIPOS DE CONTAMINANTES Y FUENTES DE CONTAMINACION

Los ocupantes de un edificio son en sí una fuente de contaminación, ya que el ser humano produce de modo natural dióxido de carbono, vapor de agua, partículas y aerosoles biológicos. Por otro lado hay una serie importante de contaminantes que pueden ser generados por el propio edificio, por su contenido pueden incluso depender de su ubicación. Otro grupo tiene su origen en combustiones que se producen en el interior. También el uso de productos de limpieza, mantenimiento y embellecimiento genera la presencia de contaminantes en el interior del edificio.

Algunas de estas fuentes producen mezclas complejas, como puede ser el humo de tabaco, los aerosoles y humos generados en la preparación de comidas, los aerosoles biológicos infecciosos y alérgenos generados en los circuitos de refrigeración y los propios del cuerpo humano. Un tratamiento cuantitativo preciso de estos contaminantes puede ser difícil, siendo la evaluación en muchos casos subjetiva.

Aunque el problema es difícil de abordar, se intenta sistematizar a partir de una clasificación de los contaminantes que se expone brevemente.

CONTAMINANTES QUIMICOS

En la *Tabla I* se presentan los contaminantes químicos más

TABLA I
FUENTES DE CONTAMINACION EN AMBIENTES CERRADOS

| Productos de Combustión | Materiales de Construcción | Productos de Consumo | Varios |
|--------------------------|----------------------------|--|---|
| NO ₂ | Fibra de Vidrio | Pinturas | O ₃ |
| NO | Asbestos | Barnices | Pb |
| CO | Compuestos orgánicos: | Plásticos | Fe |
| CO ₂ | Disolventes | Colas y pegamentos | Mn |
| BAP | Formaldehído | Disolvente | Complejos de Al ₂ O ₃ |
| SO ₂ | | Productos de sellado | Radón |
| Orgánicos madera quemada | | Fibras textiles | |
| Humo de tabaco: | | Papeles de pared y colas de empapelado | |
| Aldehídos | | Pesticidas | |
| HCN | | Repelentes de insectos | |
| Cetonas | | Productos de limpieza | |
| Nitrilos | | Cosméticos | |
| Nitrosaminas | | | |
| Nicotina | | | |
| Arsénico | | | |
| Cadmio | | | |

frecuentes en el aire interior de los edificios, clasificados en función de su posible procedencia.

Productos de Combustión

La presencia de cierto número de contaminantes químicos en el interior de un edificio es debida a productos procedentes de combustiones. La utilización de cocinas, estufas, secadoras, refrigeradores y quemadores de fuel-oil facilita la presencia de óxidos (CO, CO₂, NO, NO₂ y SO₂), a menudo irritantes respiratorios, en el aire.

Algunos de estos contaminantes puede llegar al aire a partir de fuentes exteriores debido a tomas de aire inadecuadas. Entre todos ellos destacan por su frecuencia los siguientes:

Dióxido de carbono

El dióxido de carbono es un gas que se forma por combustión de sustancias que contienen carbono. En locales no industriales la principal fuente está en la respiración humana y el fumar. Es un asfixiante simple cuya presencia a concentraciones altas provoca falta de oxígeno.

Monóxido de Carbono

El monóxido de carbono se forma por combustión incompleta de sustancias que contienen carbono. Su presencia en medios no industriales es debida a la emisión por motores de combustión interna en garajes dentro del edificio, la toma inadecuada de aire fresco exterior y el fumar. Tiene un efecto asfixiante al unirse a la hemoglobina de la sangre (formando carboxihemoglobina) y disminuir la capacidad de aporte de oxígeno hasta los tejidos.

Humo de Tabaco

El hecho de fumar representa la liberación en el aire de una mezcla compleja de productos químicos (más de 3000 contaminantes conocidos). Además de monóxido de carbono, dióxido de carbono y partículas, se producen óxidos de nitrógeno y una amplia variedad de otros gases y compuestos orgánicos entre los que destacan aldehídos, tales como formaldehído y acroleína, hidrocarburos aromáticos policíclicos, incluido benzo(a)pireno (BAP), nicotina, nitrosaminas, cianuro de hidrógeno, cetonas y nitrilos, así como cantidades apreciables de arsénico y cadmio.

Las partículas del humo de tabaco se hallan, en aproximadamente un 95%, dentro del intervalo respirable (diámetro $\leq 7\mu\text{m}$). En este sentido, su presencia en el aire del interior de un edificio es un problema que afecta tanto a fumadores como a no fumadores.

Materiales de Construcción

Entre los materiales de construcción se hallan los empleados en aislamiento tanto general del edificio como térmico de las instalaciones de aire acondicionado. De entre ellos cabe destacar las fibras, principalmente la de vidrio y los asbestos, y distintos tipos de compuestos orgánicos volátiles.

Fibras

La fibra de vidrio y los asbestos son dos tipos de fibras que presentan un riesgo potencial de contaminación tanto si se generan en un ambiente industrial como en uno no industrial.

La fibra de vidrio está formada por material amorfo vídrioso. Se usa como refuerzo en plásticos, cauchos, papel y tejidos y como aislante térmico en los sistemas de aire acondicionado.



El térmico asbestos abarca distintas formas de silicatos minerales empleados normalmente en materiales de aislamiento. Aunque su utilización está prohibida o muy limitada en los edificios de nueva construcción aún más frecuente en edificios antiguos, pudiendo ser fuente de contaminación durante la realización de trabajos de mantenimiento y remodelación, así como consecuencia de la degradación de los materiales que los contienen.

Compuestos orgánicos volátiles

Formaldehído

El formaldehído se emplea extensamente en la formulación de plásticos, especialmente en las resinas de melamina-formaldehído, urea-formaldehído y fenol-formaldehído usadas como aislantes térmicos y barnices. Una inadecuada formulación, un mal curado, así como la degradación producida con el paso del tiempo, son las causas de la emisión de este compuesto al aire ambiente. El formaldehído puede ocasionar irritación en las vías respiratorias y alergias y está considerado como una sustancia sospechosa de inducir procesos cancerígenos.

Disolventes

Otros materiales de construcción que pueden ser fuente de contaminación por generación de compuestos químicos en el aire del interior de un edificio son los muebles y elementos de decoración de madera y caucho, los agentes sellantes, colas, barnices, y materiales textiles. Entre los disolventes detectados con una mayor frecuencia se hallan: tolueno, xilenos, etilbenceno, trimetilbencenos, propilbencenos, n-nonano, n-decano, n-undecano e hidrocarburos clorados, entre ellos freones y 1,2-dicloroetano.

Productos de Consumo

Los productos de consumo llegan continuamente a través del propio usuario. Incluyen productos utilizados ya en la construcción, tales como pinturas, de base acuosa (pueden contener mercurio como fungicida) y de aceite (hidrocarburos), barnices, plásticos, colas, disolventes, productos para sellado (muchos contienen anhídrido acético) y recubrimiento, fibras textiles, papel de pared y colas para empapelar, así como otros nuevos como pesticidas y repelentes (incluido el ve-



hiculizante), productos de limpieza en general (incluyendo quitamanchas, limpia hornos y jabones para muebles y alfombras) y siliconas abrillantadoras, cosméticos, desodorante, lacas para pelo, etc. Aparte de los compuestos orgánicos ya citados en materiales de construcción, entre los productos de consumo destacan los que pueden agruparse como partículas y los pesticidas.

Partículas

Las partículas respirables pueden ser irritantes respiratorios, especialmente para asmáticos. En los ambientes no industriales la principal fuente de partículas finas ($2-3\mu\text{m}$) es el humo de cigarrillo y los aerosoles procedentes de distintos tipos de pulverizadores. Los aerosoles de partículas de mayor tamaño ($3-10\mu\text{m}$) incluyen fibras desprendidas de alfombras, escamas de piel humana, suciedad transportada desde el exterior, etc. A menudo la exposición a partículas en un interior de un edificio es superior a la existente en el exterior.

Pesticidas

En este grupo se incluye una gran variedad de dicumarinas, organofosforados, carbamatos e hidrocarburos clorados que se usan contra insectos, roedores y el crecimiento microbiológico. Mientras algunos son volátiles y tienen un tiempo de residencia limitado, otros pueden acumularse en el polvo y redistribuirse. Se desconocen los efectos para la salud asociados a exposiciones prolongadas a bajas concentraciones de muchos pesticidas y sus subproductos.

Otros contaminantes de interés

Ozono

Es un oxidante que en determinadas condiciones está presente en el aire exterior. En el aire interior se genera principalmente a partir de las máquinas fotocopiadoras, lámparas de descarga de altas frecuencias, lámparas ultravioletas y descargas de arco eléctrico. La utilización de ozonizadores para desodorizar el aire es, obviamente, otra fuente de generación.

Metales y compuestos metálicos

La presencia de plomo es debida generalmente a fuentes exteriores. También se ha detectado la presencia de hierro y manganeso sin poder justificar su origen. Por su parte, el

sistema de aire acondicionado libera polvos conteniendo $\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$, $\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{HCL}$ y $\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{CO}_2$ procedentes de la corrosión del metal del que está construido parte del mismo.

Radón

Algunos contaminantes presentes en los suelos que rodean los edificios pueden también infiltrarse en el mismo a través de grietas en los cimientos, como es el caso del radón. El radón es un elemento gaseoso radioactivo procedente de la desintegración del radio y perteneciente a la familia de los gases nobles que emite partículas alfa. La exposición a esta emisión se ha relacionado con deterioro de tejidos e incluso con cáncer. El radón y sus productos de desintegración se encuentran en las zonas graníticas y en yacimientos de fosfatos. En algunos casos pueden también formar parte de los materiales de construcción.

CONTAMINANTES BIOLÓGICOS

De la misma manera que se han considerado los contaminantes químicos, cabe también considerar a los microorganismos presentes en el aire interior. Para explicar la producción de aerosoles biológicos debe hacerse referencia a los conceptos de reservorio, multiplicador y diseminador. Un reservorio es un medio que reúne una serie de condiciones que permiten a los microorganismos sobrevivir en un determinado entorno, mientras que el multiplicador favorece que se reproduzcan y el diseminador actúa como introductor de los microorganismos y de sus metabolitos en el aire.

Los contaminantes biológicos, por otro lado, se clasifican básicamente como agentes infecciosos, antígenos y toxinas por ser éstas sus formas más usuales.

Agentes infecciosos

Las enfermedades infecciosas se transmiten más fácilmente en los ambientes cerrados que en el exterior, ya que el volumen de aire en el cual se diluyen los microorganismos es más bajo, el contacto directo es mayor y las personas pasan más tiempo en ambientes cerrados que en el exterior. También hay que considerar que muchas enfermedades contagiosas requieren el contacto directo entre huéspedes humanos para su transmisión, mientras que otras tales como gripe, sarampión, viruela, tuberculosis y algunos resfriados comunes, se transmiten fácilmente por el aire pudiendo sobrevivir, los microorganismos causantes de los mismos, durante su paso a través del sistema de ventilación, si no se toman medidas específicas al respecto.

Otras enfermedades contagiosas se transmiten directamente desde reservorios al medio ambiente. Entre estas se encuentran la legionelosis y otras neumonías bacterianas y la mayor parte de las enfermedades debidas a hongos. La Legionella, por ejemplo, sobrevive y se multiplica en torres de refrigeración, humidificadores, cabezales de ducha, en basura y agua en general, que actúan como reservorios y multiplicadores para los microorganismos. La diseminación ocurre cuando se altera un reservorio o cuando el aparato contaminado es además multiplicador y diseminador, por ejemplo una torre de refrigeración o un humidificador.

Por otra parte, los hongos patógenos contaminan los suelos. Cuando estos son alterados por el viento o por excavaciones, los hongos pueden introducirse en el ambiente del interior. También la presencia de nidos de los pájaros en los edificios es una fuente de contaminación por hongos.

Generalmente las enfermedades infecciosas transmitidas a

través del aire pueden afectar el sistema respiratorio, al menos inicialmente, y los síntomas se manifiestan tanto en el tracto superior como en el inferior.

Los agentes infecciosos pueden causar enfermedad en cualquiera de las personas expuestas, aunque el grupo de mayor riesgo corresponde a las que tiene problemas de salud y/o con un sistema inmunológico comprometido, especialmente niños y ancianos.

Para la toma de muestras de agentes infecciosos en aire se necesita un equipo especial y personal experimentado y no se realiza con mucha frecuencia. Mucho más habitual es la toma de muestra de agentes infecciosos en los reservorios y en los multiplicadores.

Antígenos

Antígeno es toda sustancia que al penetrar en un organismo animal dotado de un sistema inmunológico maduro es capaz de provocar una respuesta inmunitaria específica.

En general, cualquier proteína, glicoproteína o carbohidrato con un peso molecular superior a 10.000 daltons puede actuar como un antígeno. La mayor parte de los antígenos que pueden encontrarse en el aire de los ambientes cerrados proceden de microorganismos, artrópodos o animales. Los presentes en el aire pueden causar enfermedades tales como neumonitis hipersensitiva, rinitis alérgica y asma alérgico, entre otras.

Los síntomas característicos de la neumonitis hipersensitiva son: fiebre, escalofríos, ahogos, malestar y tos. En un principio la enfermedad parece una gripe para pasar luego a una neumonía aunque los síntomas remiten con el cese de la exposición. Sin embargo, exposiciones prolongadas pueden provocar un daño permanente en el pulmón. Los síntomas de la rinitis alérgica son mucosidades, picor de nariz y ojos y congestión de los senos nasales, mientras que los del asma alérgico, son respiración dificultosa y opresión en el pecho como resultado de la constricción de los bronquios.

Entre los reservorios y multiplicadores para microorganismos determinantes de enfermedades de hipersensibilidad, se encuentran sustratos procedentes del exterior, tales como sue-

lo, material vegetal (vivo y no vivo) y fuentes de agua, así como sustratos húmedos propios del medio ambiente interior. Los microorganismos pueden multiplicarse en cualquier agua estancada y pasar al aire al removerse ésta. En el caso de los hongos cualquier superficie sucia puede actuar como foco de reproducción, formándose esporas que quedan expuestas directamente a la corriente de aire y así son dispersadas por todo el edificio.

Toxinas

Las toxinas son sustancias segregadas por algunos microorganismos que producen efectos nocivos en los organismos vivos atacados.

La mayor parte de las toxinas microbianas presentes en el aire de un ambiente interior están constituidas por endotoxinas bacterianas y micotoxinas (procedentes de los hongos). Cuando la bacteria productora de la endotoxina crece, libera toxinas solubles dentro del agua (del humidificador, por ejemplo), a partir de la cual pasan al aire. Se asocia a las endotoxinas con algunos síntomas característicos de la neumonitis hipersensitiva y de la fiebre de los humidificadores.

Se conocen también casos de contaminación de edificios por hongos toxígenos y se han descrito síntomas agudos como resultado de la exposición a las micotoxinas en interiores. Sin embargo, se desconocen los factores que controlan la liberación de las micotoxinas en el medio ambiente. El característico olor a moho de las áreas en las que se hallan presentes hongos es debido a la producción, por parte de éstos, de sustancias volátiles.

En la *Tabla II* se recogen algunos contaminantes biológicos característicos, así como las enfermedades de mayor incidencia.

FACTORES QUE AFECTAN LA CALIDAD DEL AIRE EN LOS AMBIENTES CERRADOS

A modo de resumen se puede concluir que las deficiencias más frecuentemente encontradas son consecuencia de algunos (s) de los factores siguientes:

TABLA II
CONTAMINANTES BIOLÓGICOS Y ENFERMEDADES MÁS COMUNES EN AMBIENTES CERRADOS

| | |
|---------------------------------|---|
| <i>Actinomyces thermophilus</i> | → Neumonía por hipersensibilidad. |
| <i>Aspergillus sp</i> | → Aspergilosis |
| <i>Bacillus anthracis</i> | → Antrax por inhalación |
| <i>Brucella melitensis</i> | → Brucelosis |
| <i>Chlamydia psittaci</i> | → Psitacosis |
| <i>Coccidioides immitis</i> | → Coccidioidomycosis |
| Diversos agentes | → Coriomeningitis linfocitaria |
| <i>Histoplasma capsulatum</i> | → Histoplasmosis |
| <i>Klebsiella</i> | → Infecciones diversas |
| <i>Legionella Pneumophila</i> | → Legionelosis |
| <i>Mycobacterium</i> | → Tuberculosis pulmonar |
| <i>Neisseria meningitidis</i> | → Meningitis meningocócica |
| Orthopoxvirus | → Viruela |
| <i>Pseudomonas aeruginosa</i> | → Infecciones diversas |
| <i>Staphylococcus sp</i> | → Neumonía estafilocócica |
| <i>Streptococcus sp</i> | → Neumonía estreptocócica |
| Virus Coxsackie | → Infecciones diversas |
| Virus de la Influenza | → Gripe |
| Virus de la rabia | → Rabia por vía aérea (casos excepcionales) |
| Virus respiratorios | → Infecciones diversas |

1) Una ventilación inadecuada.

Generalmente es debida a:

a) Un *insuficiente suministro de aire fresco*, como consecuencia de una elevada recirculación del aire o de un bajo caudal de impulsión.

b) Una *mala distribución* y consecuentemente una mezcla incompleta con el aire exterior, que provoca estratificaciones del aire y diferencias de presión entre los distintos espacios y zonas del edificio.

c) Una *incorrecta filtración* del aire debido a un mantenimiento incorrecto o a un inadecuado diseño del sistema de filtración.

d) Una *temperatura del aire y humedad relativa extremas o fluctuantes*.

2) La contaminación interior

Puede tener como origen al propio individuo, al trabajo, a la utilización inadecuada de productos (pesticidas, desinfectantes, limpieza, abrillantado), a los gases de combustión (fumar, cafeterías, laboratorios) y a la contaminación cruzada procedente de otras zonas poco ventiladas que se difunden hacia lugares próximos y los afectan.

3) La contaminación exterior.

Entrada en el edificio de humos de escape de vehículos, gases de calderas, productos utilizados en trabajos de construcción y mantenimiento (asfalto, por ejemplo) y aire contaminado previamente desechado al exterior, que vuelve a entrar a través de las tomas de aire acondicionado. Otro origen puede ser las infiltraciones a través del basamento (vapores de gasolinas, emanaciones de cloacas, fertilizantes, insecticidas, incluso dioxinas y radón).

Está demostrado que al aumentar la concentración en el aire exterior de un contaminante, aumenta también su concentración en el interior del edificio, aunque más lentamente, e igual ocurre cuando disminuye. Por ello se dice que los edificios presentan un efecto de escudo.

4) La contaminación biológica

No suele ser frecuente en los edificios de oficinas, pero en determinados casos puede provocar una situación sanitaria delicada.

5) La contaminación debida a materiales empleados en la construcción

La utilización de materiales inadecuados así como con defectos técnicos puede ser una causa habitual de la contaminación del aire interior.

MÉTODOS DE CONTROL DE LA CALIDAD DEL AIRE

Se basan en los métodos tradicionales de la higiene industrial.

a) Eliminar la fuente y/o sustituirla

Si se puede identificar el foco de la contaminación éste debe eliminarse. Si ello no es posible, se procurará sustituir el producto por otro con menor potencial contaminante. Esto significa evitar la utilización de materiales que puedan liberar sustancias contaminantes, que sean difíciles de mantener y que recojan polvo o moho.

b) Mitigar la acción de la fuente

Para aquellas fuentes que no puedan ser eliminadas se procurará limitar los efectos que producen recubriéndolas con pinturas adecuadas u otras barreras.

c) Diluir el aire interior con un aire menos contaminado

Disminuir la concentración de los contaminantes presentes mediante su dilución en un volumen de aire considerablemente mayor es un método habitual y la base de algunas normas sobre calidad del aire como la ASHRAE Standard 62.

d) Eliminar los contaminantes presentes en el aire con otros métodos distintos a la dilución

Se pueden realizar algunas operaciones concretas para eliminar el contaminante o reducir su concentración. Por ejemplo, neutralizar con amoníaco la presencia de formaldehído en el ambiente o utilizar la separación por filtración con un aspirador de polvo.

e) Comprobar la eficacia de la ventilación

Deben efectuarse los tests necesarios en puntos significativos del sistema de aire acondicionado para comprobar si los parámetros de funcionamiento son acordes con los de diseño.

f) Controlar las diferencias de presión

Dado que pueden ser la causa de los movimientos de los contaminantes de unos locales a otros, se tomarán las medidas necesarias para equilibrar las presiones en distintos puntos del edificio. Hay que tener en cuenta, sin embargo, que en algunos casos se dispone expresamente de zonas a diferente presión para control de los contaminantes.

g) Utilizar extracción localizada

Como forma de controlar la generación de algunos contaminantes en el mismo foco (operaciones de limpieza, abrasivos, cocinas, etc)

LEGISLACION

No existe hasta el momento en España legislación concreta sobre el tema. Sin embargo, la CEE a través de Parlamento Europeo ha presentado ya, en base a unas propuestas y en función de una serie de considerandos, una Resolución sobre la calidad del aire de los ambientes cerrados (Doc. A 2-156/88) en la que establece la necesidad de que la Comisión presente cuanto antes una propuesta de Directiva específica sobre el particular en la que se incluyan: a) una lista de sustancias a prohibir o a regular su uso, tanto en la construcción como en la limpieza de los edificios, b) unas normas de calidad aplicables a los distintos tipos de ambientes cerrados, c) unas prescripciones sobre el planteamiento, la construcción, la gestión y el mantenimiento de las instalaciones de aire acondicionado y de ventilación y d) unas normas mínimas sobre el mantenimiento de los edificios abiertos al público. Más recientemente la CEE ha publicado una Recomendación de la Comisión relativa a la protección de la población contra los peligros de una exposición al radón en el interior de edificios (90/143/Euratom).

GUIAS Y CONCENTRACIONES PROMEDIO PERMITIDAS

Diferentes organizaciones internacionales como la OMS y el CIBC (International Council of Building Research), pri-

vadas, como la ASHRAE (American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers), y algunos países como Suecia (The Swedish Council of Building Research), Estados Unidos, Canadá y Australia han desarrollado guías y estándares de exposición.

Referencias de la necesidad de renovar el aire de ambientes cerrados con aire fresco se conocen ya desde mediados del siglo XVIII recomendándose aportaciones de aire fresco mínimas, por ocupante, para diluir las concentraciones de bioefluentes humanos y evitar las molestias debidas a malos olores.

En los años 70, ASHRAE publica diversos trabajos recomendando una aportación de aire fresco mínima de 34 m³/h por persona para evitar los malos olores y un mínimo absoluto de 8.5 m³/h por persona para mantener la concentración de dióxido de carbono por debajo de 2500 ppm, que es la mitad del límite de exposición promedio permisible en un ambiente laboral. En el más reciente ASHRAE Standard 62-1989 se recomienda un mínimo de 25.5 m³/h por persona para aulas de clase, 34 m³/h para oficinas y 42.5 m³/h para hospitales (zona de enfermos). Este estándar recomienda también, aumentar dichos volúmenes cuando hay problemas de mezcla del aire en la zona de respiración o fuentes inusuales de contaminación.

Por otro lado, no hay que olvidar que la finalidad primaria de un sistema de aire acondicionado en un edificio de oficinas es proporcionar un buen nivel de confort térmico. Según ASHRAE 55-1981, la temperatura interior debe mantenerse entre 20 y 24 °C en invierno y entre 23 y 26 °C en verano. Este estándar no especifica la humedad relativa, que se considera que debe estar entre el 20 y el 60% (preferiblemente del 30 al 50%). En la *Tabla III* se presentan los valores indicados en la Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

El sistema de aire acondicionado ha de asegurar que el aire de ventilación contenga concentraciones aceptablemente bajas de contaminantes, para lo cual debe estar adecuadamente diseñado y mantenido, ya que puede reducir los con-

taminantes hasta un límite aceptable por dilución con aire limpio exterior o por eliminación de los mismos mediante filtración. Según ASHRAE, un aire interior aceptable es aquel en el cual no hay contaminantes conocidos en concentraciones nocivas según determinan las autoridades competentes y una mayoría sustancial (80% o más) del personal expuesto no exprese insatisfacción. Evidentemente, la definición es imprecisa, no sólo en cuanto a niveles aceptables, sino también en cuanto al concepto de insatisfacción.

El ASHRAE standard 62-1989 recomienda una concentración de dióxido de carbono máxima de 1000 ppm para lograr un mínimo confort, en el bien entendido de que esta concentración no representa ningún peligro para la salud.

No existen valores de referencia para regular la presencia de microorganismos en el ambiente, aunque el Comité para Bioaerosoles de la ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) ha publicado recientemente una Guía para la Valoración de Bioaerosoles en los Ambientes interiores que puede utilizarse como punto de partida.

Para aquellos contaminantes químicos que no tiene establecido un valor de referencia ni se dan guías, se acepta (ASHRAE) que una concentración 1/10 TLV no produce un incremento significativo del número de quejas entre los miembros de un colectivo de trabajo no industrial. Este límite puede no ser suficiente para proporcionar un ambiente satisfactorio a individuos que, por ejemplo, sean extremadamente sensibles frente a un irritante u otro contaminante concreto. En la *Tabla IV* se recogen las concentraciones máximas de contaminantes que pueden estar presentes en un aire exterior y que representan una calidad mínima del mismo para que pueda usarse para ventilación en un edificio cerrado. En la *Tabla V*, se recogen, a título informativo y para contaminantes frecuentes en un aire interior, unos límites de exposición máximos de la OSHA y la ACGIH (USA) en un ambiente industrial y en la *Tabla VI* concentraciones aconsejadas en el aire de interiores en función de los primeros. La *Tabla VII* presenta los datos consensuales por un grupo de trabajo de la OMS sobre contaminantes de interiores.

TABLA III
CONDICIONES ESTABLECIDAS POR LA ORDENANZA

| | |
|---------------------------|--|
| Suministro de aire | > 30 - 50 m ³ /hora/Trabajador |
| Renovación total del aire | > 6 veces/hora (Trabajos sedentarios) > 10 veces/hora (Trabajos con esfuerzo físico) |
| Velocidad del aire | > 15 m/min (Temperatura normal) > 45 m/min (Ambiente caluroso) |
| Temperatura | 17 a 22°C (Trabajos sedentarios) 15 a 18°C (Trabajos ordinarios) 12 a 15°C (Trabajos que exijan acusado esfuerzo físico) |
| Humedad relativa | 40 - 60% > 50% (Si se puede generar electricidad estática) |

TABLA IV
VALORES DE REFERENCIA DE CALIDAD DEL AIRE EXTERIOR SEGUN EPA*

| Contaminante | Exposición prolongada | | | Corta exposición | | |
|----------------------|--------------------------|-------|---------|--------------------------|------|----------|
| | Concentración Promedio | | | Concentración Promedio | | |
| | $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | ppm | | $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | ppm | |
| Dióxido de azufre | 80 | 0,03 | 1 año | 365 | 0,14 | 24 horas |
| Monóxido de carbono | — | — | — | 40.000 | 35 | 1 hora |
| | | | | 10.000 | 9 | 8 horas |
| Dióxido de nitrógeno | 100 | 0,053 | 1 año | — | — | — |
| Ozono (Oxidantes) | — | — | — | 235 | 0,12 | 1 hora |
| Plomo | 1,5 | — | 3 meses | — | — | — |
| Partículas totales | 75 | — | 1 año | 260 | — | 24 horas |
| Radón | 0,2 picocuries por litro | | | | | |

* EPA = U.S. Environmental Protection Agency. National Ambient Air Quality Standards.

TABLA V
VALORES DE REFERENCIA Y CONCENTRACIONES ACONSEJADAS PARA
ALGUNOS CONTAMINANTES EN AMBIENTES INDUSTRIALES

| CONTAMINANTE | CONCENTRACION | TIEMPO DE EXPOSICION | ORIGEN |
|----------------------|---|----------------------|----------------------------------|
| Asbestos | 0,2 fibras/cm ³ para fibras $\geq 5 \mu\text{m}$ | 8 horas | PEL-TWA (OSHA) |
| | 0,2 - 2,0 fibras/cm ³ (dependiendo del tipo de fibra) | 8 horas | TLV-TWA (ACGIH) |
| Dióxido de azufre | 5,2 mg/m ³ (2 ppm) | 8 horas | PEL-TWA (OSHA)/TLV-TWA (ACGIH) |
| | 13 mg/m ³ (5 ppm) | 15 minutos | PEL-STEL (OSHA)/TLV-STEL (ACGIH) |
| Dióxido de carbono | 18.000 mg/m ³ (10.000 ppm) | 8 horas | PEL-TWA (OSHA) |
| | 9.000 mg/m ³ (5.000 ppm) | 8 horas | TLV-TWA (ACGIH) |
| | 54.000 mg/m ³ (30.000 ppm) | 15 minutos | PEL-STEL (OSHA)/TLV-STEL (ACGIH) |
| Dióxido de nitrógeno | 1,8 mg/m ³ (1 ppm) | 15 minutos | PEL-STEL (OSHA) |
| | 5,6 mg/m ³ (3 ppm) | 8 horas | TLV-TWA (ACGIH) |
| | 9,4 mg/m ³ (5 ppm) | 15 minutos | TLV-STEL (ACGIH) |
| Formaldehído | 1,2 mg/m ³ (1 ppm) | 8 horas | PEL-TWA (OSHA)/TLV-TWA (ACGIH) |
| | 2,5 mg/m ³ (2 ppm) | 15 minutos | TLV-STEL (ACGIH) |
| Monóxido de carbono | 40 mg/m ³ (35 ppm) | 8 horas | PEL-TWA (OSHA) |
| | 229 mg/m ³ (200 ppm) | 15 minutos | PEL-TECHO (OSHA) |
| | 55 mg/m ³ (50 ppm) | 8 horas | TLV-TWA (ACGIH) |
| | 440 mg/m ³ (400 ppm) | 15 minutos | TLV-STEL (ACGIH) |
| Ozono | 0,2 mg/m ³ (0,1 ppm) | 8 horas | PEL-TWA (OSHA)/TLV-TWA (ACGIH) |
| | 0,6 mg/m ³ (0,3 ppm) | 15 minutos | PEL-STEL (OSHA) |
| Plomo | 0,5 mg/m ³ | 8 horas | PEL-TWA (OSHA) |
| | 0,15 mg/m ³ | 8 horas | TLV-TWA (ACGIH) |

PEL = Permissible Exposure Limit

TLV = Threshold Limit Values

TWA = Time Weighted Average

STEL = Short-term Exposure Limit

OSHA = Occupational Safety and Health Administration

ACGIH = American Conference of Governmental Industrial Hygienists

NOTA: Los valores OSHA indicados corresponde a la última modificación y los valores ACGIH al año 1989-1990

TABLA VI
CONCENTRACIONES* ACONSEJADAS PARA ALGUNOS CONTAMINANTES FRECUENTES
EN AMBIENTES CERRADOS

| CONTAMINANTE | CONCENTRACION |
|---|-------------------------------------|
| Formaldehído (Contrachapados y materiales sintéticos) | 0.1 ppm |
| Compuestos orgánicos volátiles (muebles y cortinajes) | 30 a 50 mg/m ³ |
| Tolueno | 20 ppm |
| Cloruro de metileno | 50 ppm |
| Benceno | 1 ppm |
| Acetona | 75 ppm |
| Estireno | 5 ppm |
| Fradn 12 | 100 ppm |
| Dioxano | 2.5 ppm |
| PCBs (Alfombras, lubricantes) | 0.05 mg/m ³ |
| Asbestos (Antigueros) | 0.02 fibras/cm ³ (> 5µm) |
| Amoniaco (Productos de Limpieza) | 3.5 mg/m ³ |
| Cloruro de bencilo (Vinílicos) | 0.5 mg/m ³ (0.1 ppm) |
| Humo de Tabaco | 0.1 a 0.15 mg/m ³ |
| Tetracloruro de carbono (Productos de limpieza) | 1 ppm |

* Estas concentraciones representan 1/10 PEL-TWA establecido por OSHA y son los máximos niveles recomendados en el ASRHAE-62 para confort humano.

TABLA VII
CONSENSO DE UN GRUPO DE TRABAJO DE LA OMS
SOBRE CONTAMINANTES EN AMBIENTES CERRADOS SEGUN EL NIVEL DE CONOCIMIENTO DE 1984

| CONTAMINANTE | CONCENTRACIONES* REFERENCIADAS | CONCENTRACIONES* DE EFECTO LIMITADO O NULO | CONCENTRACIONES* SOSPECHOSAS |
|---------------------------------|--------------------------------|--|------------------------------|
| Humo de tabaco (fumador pasivo) | | | |
| Partículas respirables | 0.05-0.7 | <0.1 | >0.15 |
| CO | 1-1.3 | <2 | >5 |
| Nitrosodimetilamina | (1-50) x 10 ⁶ | — | — |
| NO ₂ | 0.05-1 | >0.19 | >0.32 |
| CO | 1-100 | 2% COHb | 3% COHb |
| Radón y prod. de desintegración | 10-1000 Bq/m ³ | <11 | >30 |
| Formaldehído | 0.05-2 | <0.06 | >0.12 |
| SO ₂ | 0.02-1 | <0.5 | >1.35 |
| CO ₂ | 600-9000 | <1800 | >12000 |
| O ₃ | 0.04-04 | 0.05 | 0.08 |
| Asbestos | <10 fibras/m ³ | 0 | 10 fibras/m ³ |
| Fibras minerales | <10 fibras/m ³ | — | — |
| Compuestos orgánicos: | | | |
| Cloruro de metileno | 0.005-1 | — | 330 |
| Triclorometano | 0.0001-0.02 | — | 260 |
| Tetracloroetano | 0.002-0.5 | — | 270 |
| 1,4-Diclorobenceno | 0.005-0.1 | — | 135 |
| Benceno | 0.01-0.04 | — | 335 |
| Tolueno | 0.015-0.07 | cancerígeno | 420 |
| m,p-Xileno | 0.01-0.05 | — | cancerígeno |
| n-Nonano | 0.001-0.03 | — | 375 |
| n-Decano | 0.002-0.04 | — | 435 |
| Limoneno | 0.01-0.1 | — | 1.050 |
| | | | 560 |

| OBSERVACIONES |
|---|
| <p>Standar japonés 0.15 mg/m³ Indicador de irritación ocular (sólo para fumadores pasivos) Mutágenos bajo investigación de carcinogenicidad</p> |
| <p>99.9% Exposición continua Standar sueco para casa nuevas Larga y corta exposición SO₂ sólo corta exposición Standar japonés 1300 mg/m³ Para larga exposición Irritación dérmica TLV^d Recomendaciones NIOSH^e TLV Recomendaciones NIOSH TLV TLV TLV TLV OIT^f (1980) TLV trementina</p> |
| <p>a) Todos los gases son considerados sin otros contaminantes. b) Intervalos de concentración en mg/m³ si no se indica otra cosa y para exposiciones de corta duración c) Según el «Environmental Health Criteria N.º 4, Geneva World Health Organization 1977 d) Valores límites umbral establecidos por la American Conference of Governmental Hygienist (1983-1984). Estos valores son para exposiciones ocupacionales y deben ser consideradas como límites superiores extremos para población en general y para exposiciones de corta duración. e) National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), USA. f) Organización Internacional del Trabajo (OIT). — No se pueden dar valores significativos por falta de suficientes conocimientos</p> |

BIBLIOGRAFIA

(1) AGIHI. COMMITTEE ACTIVITIES ANA REPORTS. *Guidelines for Assesment and Samplig of Saprophytic Bioaerosols in the Indoor environment.* App. Ind. Hig., 1987, 2(5), R-10-R-16.

(2) ACGIH COMMITTEE ON BIOAEROSOLS. *Guidelines for Assesment of Bioaerosols in the Indoor Environment.* American Conference of Governmental Hygienists, Cincinnati, Ohio, 1989.

(3) ACGIH. *Thereshold Limit Values and Biological Exposure Indices for 1989-1990.* American Conference of Governmental Hygienists, Cincinnati, Ohio, 1989.

(4) ASHRAE Standard 62-1989. *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality.* American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, GA. 1989.

(4) BURGE, H.A. y HOYER, M.E. *Indoor Air Quality.* Appl. Occup. Environ Hyg. 1990, 5(2), 84-93.

(5) DOCUVILLE, J.A. *The Chemical Nature of Indoor Air Pollution.* Dangerous Properties of Industrial Materials Reports, 1984, Mayo/Junio, 2-8.

(6) EPA. *National Primary and Secondary Ambient Air Quality Standards.* Code of Federal Regulations, Title 40 Part 50(40 CFR50). U.S. Environmental Protection Agency.

(7) HOLNESS, G.V.R. *Human Confort and Indoor Air Quality* Heating/Piping/Air Conditioning, 1990, February, 43-52.

(8) McNALL, P.E. *The HVAC Engineer and Indoor Air Quality.* Heating/Piping/Air Conditioning, 1988, February, 65-70.

(9) MORRIS, R.H. *Indoor Air Pollution: airborne viruses and Bacteria.* Heating/Piping/Air Conditioning, 1986, February, 59-86.

(10) NAGDA, N.L., RECTOR, H.E., KOONTZ, M.D. *Guidelines for Monitoring Indoor Air Quality.* Hemisphere Publishing Corporation, 1986.

(11) TEXTOS LEGALES DEL MINISTERIO DE TRABAJO. *Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo.* 1971, Art. 30.

(12) WALLINGFORD, K.M. *Indoor Air Quality Investigations in Office Buildings* Industrial Hygiene News Report. 1986,29 (11).