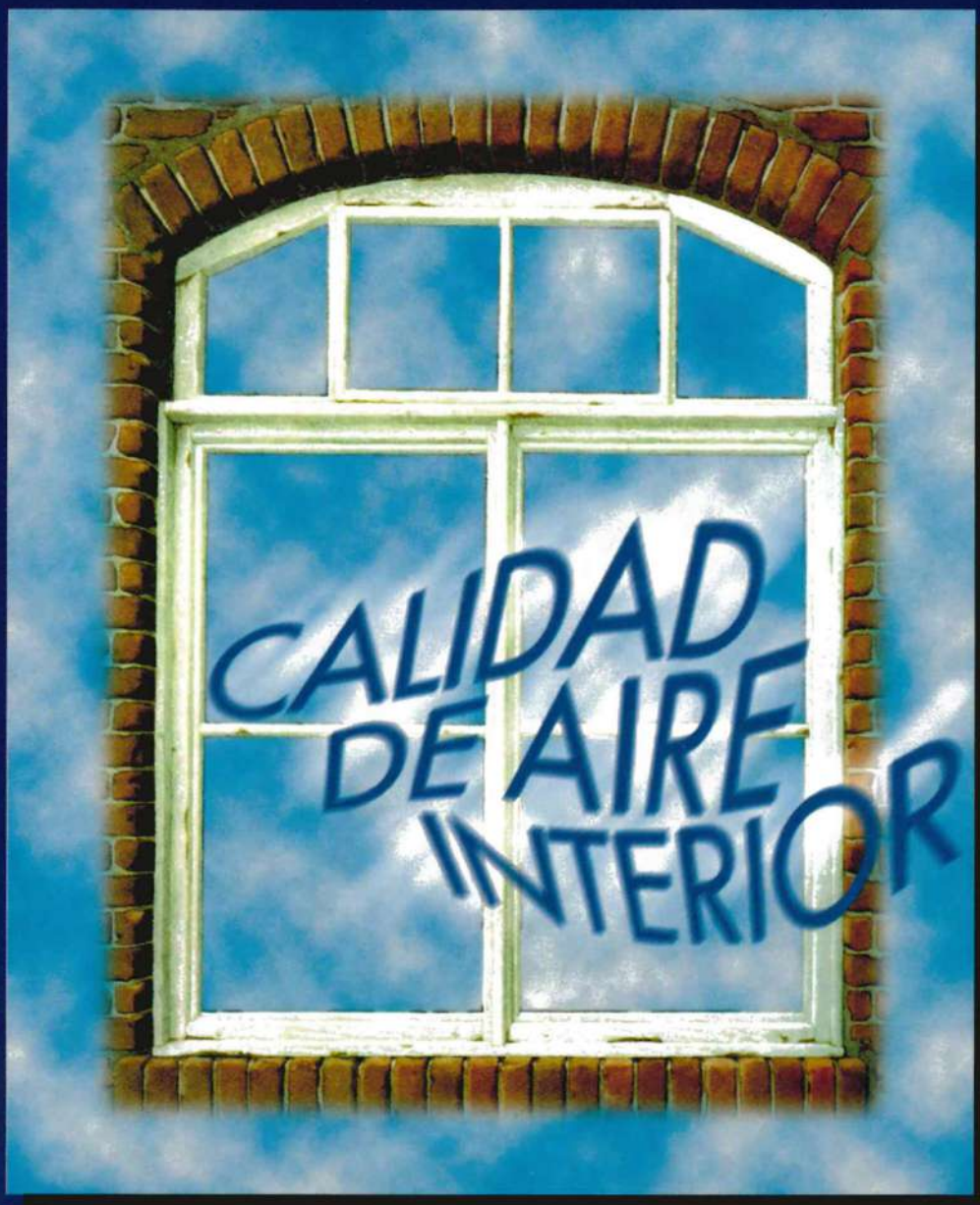


MINISTERIO
DE TRABAJO
E INMIGRACIÓN

INSTITUTO NACIONAL
DE SEGURIDAD E HIGIENE
EN EL TRABAJO

edición 2ª

CALIDAD DE AIRE INTERIOR

2ª EDICIÓN ACTUALIZADA

CALIDAD DE AIRE INTERIOR

2ª EDICIÓN ACTUALIZADA

Autores

José BARTUAL SÁNCHEZ
Mª José BERENGUER SUBILS
Félix BERNAL DOMÍNGUEZ
Asunción FREIXA BLANXART
Xavier GUARDINO SOLÁ
Ana HERNÁNDEZ CALLEJA
Mª Carme MARTÍ SOLÉ
Mª Gracia ROSELL FARRÁS
Xavier SOLANS LAMPURDANÉS

Centro Nacional de Condiciones de Trabajo - INSHT

Coordinación:

Mª José BERENGUER SUBILS

Centro Nacional de Condiciones de Trabajo - INSHT

Diseño:

Guillem LATORRE ACOVERRO

Centro Nacional de Condiciones de Trabajo - INSHT

Edita

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo
Torrelaguna, 73 - 28027 MADRID

Composición e impresión:

Centro Nacional de Condiciones de Trabajo - INSHT

I.S.B.N.: 978-84-7425-752-6 Dep. Legal: B.-38923-2008 N.I.P.O: 792-08-003-0 FD. 2506

PRESENTACIÓN

En el campo de las ciencias de la salud se utiliza la expresión "salud ambiental" para hacer referencia al estado de salud de un individuo en relación con el ambiente en que se encuentra. Cuando la relación individuo - medio ambiente es buena, se habla de un buen estado de salud ambiental, mientras que la aparición de efectos adversos para la salud, causados por cambios importantes en las condiciones ambientales, generan un estado de mala salud ambiental. Estos cambios están principalmente relacionados con la presencia en el medio ambiente de agentes materiales físicos, químicos y biológicos.

Dentro de este campo ha venido ocupando un lugar preeminente la Higiene Industrial, dedicada a la prevención de las enfermedades laborales y, en un término más amplio, según la definición de 1959 de la American Industrial Hygiene Association, a "la identificación, evaluación y control de aquellos factores o agentes ambientales, originados por el puesto de trabajo o presentes en el mismo, que pueden causar enfermedad, disminución de la salud o el bienestar, o incomodidad o ineficiencia significativos entre los trabajadores o los restantes miembros de la comunidad".

Con la crisis del petróleo de la década de los setenta del siglo XX empezaron a detectarse problemas de salud ambiental no relacionados con actividades industriales, originados por políticas de ahorro energético en la ventilación de locales, por la utilización de elementos constructivos y decorativos de nueva generación capaces de emitir agentes químicos diversos y por el incremento del uso de productos químicos para limpieza, desinfección y aromatización de los locales.

Estos problemas de salud, a veces calificables solamente como quejas, se asociaron a una mala "calidad del aire interior", acuñándose esta expresión para

referirse a los problemas generados por los agentes ambientales antes mencionados presentes en ambientes "no industriales". En realidad, hubiera debido mantenerse para estos ambientes la expresión "Higiene Industrial", ya que, como se recuerda en la introducción del nuevo texto de Higiene Industrial del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), el término «industrial» no se refiere, en sentido estricto, sólo a lo que se acostumbra a llamar «industrias» sino, como dice el diccionario de la Real Academia Española en la primera acepción del término «industria», a la «maña y destreza o artificio para hacer una cosa»; en definitiva, a cualquier trabajo o actividad. También es cierto, por otro lado, que el término "calidad del aire interior" incluye ambientes no laborales y la protección de las personas que, aun hallándose en ambientes laborales, no están trabajando, como los alumnos en un aula, los clientes de una cafetería o una entidad de ahorro o los espectadores de un cine, teatro o auditorio.

Por otro lado, el constante aumento de trabajadores ocupados en el sector terciario ha aumentado el número y la relevancia de problemas relacionados con la contaminación de los ambientes no industriales, es decir, de calidad de aire interior, detectados, además, por el aumento de consultas recibidas en el INSHT sobre el tema.

El texto que se presenta está dedicado a aportar herramientas para evaluar, corregir y controlar la calidad del aire en ambientes en los que no se desarrollan actividades industriales. En la presente segunda edición se han incluido modificaciones impuestas por la aparición de la Ley del tabaco, las modificaciones en las normas sobre ventilación de interiores y la llamada «lipoatrofia», enfermedad característica de ambientes interiores, así como otras actualizaciones de menor importancia. En realidad se trata de una aportación de los conocimientos que a lo largo de los años han ido adquiriendo los técnicos del INSHT participantes.

El texto está centrado básicamente en los agentes químicos y biológicos, causantes de la contaminación ambiental en interiores, y en los distintos capítulos del mismo se abarca, tanto de manera general como específica, la investigación, identificación, medición, evaluación, corrección y control de los agentes materiales, las técnicas de evaluación disponibles para ello y los criterios más generalmente aceptados en cuanto a calidad del aire interior. El lector del mismo encontrará probablemente la información suficiente para abordar cualquier problema de calidad de aire interior. Éste es el objetivo y el deseo del INSHT.

Concepción Pascual Lizana

Directora del INSHT

ÍNDICE

1 CALIDAD DE AIRE INTERIOR. CONCEPTOS GENERALES 1

2 EL AIRE INTERIOR Y LA SALUD 17

3 OLORES 27

4 CONTAMINANTES QUÍMICOS 37

5 EL RADÓN 91

6 EL HUMO DE TABACO 103

7 CONTAMINANTES BIOLÓGICOS 117

8 VENTILACIÓN DE LOCALES 151

9 LA INVESTIGACIÓN DE UN PROBLEMA DE CALIDAD DE AIRE INTERIOR 183

GLOSARIO 201

BIBLIOGRAFÍA 211

1
CALIDAD DEL AIRE INTERIOR. CONCEPTOS GENERALES

INTRODUCCIÓN

El término "aire interior", entendido como el aire que se respira en un espacio limitado, se suele aplicar a ambientes interiores no industriales: edificios de oficinas, edificios públicos (escuelas, hospitales, teatros, restaurantes) y residencias particulares. La calidad de aire interior empieza a ser citada como un problema a finales de los años 60, aunque los primeros estudios no aparecieron hasta unos diez años después. Cuando los ocupantes de un edificio manifiestan tener problemas atribuidos a una "mala calidad del aire interior" en la práctica pueden referirse tanto a problemas de salud como simplemente de bienestar, es decir, de falta de confort. Con frecuencia, las causas se superponen aunque los problemas de confort normalmente se deben a la existencia de unas condiciones termohigrométricas inadecuadas, de corrientes de aire o de un ruido molesto, mientras que los problemas de salud tienen su origen en la presencia de contaminantes en el aire. Éstos pueden tener origen químico como son los gases y vapores (ozono, monóxido de carbono, formaldehído, etc.) y los aerosoles respirables (polvo, fibras, humos y nieblas), u origen biológico, como los bioaerosoles (microorganismos y subproductos).

En la actualidad se acepta que en los países industrializados los habitantes de las ciudades pasan entre el 60% y el 80% de su tiempo en espacios cerrados. Por ello, la asociación de la ocupación de un edificio, ya sea como lugar de trabajo o como vivienda, con la aparición de molestias que pueden llegar a definir un problema ambiental es muy frecuente. Debe tenerse en cuenta, además, que es creciente el número de personas que desarrollan su actividad profesional en el sector servicios o se ocupan en otras actividades no industriales en ambientes interiores. Este documento está dedicado a estas situaciones laborales aunque los conceptos y soluciones son, en la mayoría de casos, aplicables también a residencias privadas.

Estas actividades se efectúan cada vez más en edificios en los que las condiciones ambientales reciben una atención creciente con objeto de conseguir un buen confort para sus ocupantes, independientemente de las condiciones climáticas exteriores. Por este motivo se están diseñando edificios más herméticos, en los que la renovación del aire interior, y por tanto la dilución y eliminación de cualquier contaminante presente en el mismo, se efectúa mediante sistemas de ventilación forzada cuyo objetivo es, además, climatizar el aire.

Esta situación está generando problemas que se relacionan con la calidad del aire en un ambiente interior (CAI) y que han ido aumentando en nuestra sociedad a lo largo de los últimos años, convirtiéndose en algo relativamente frecuente, especialmente a partir de los años 70 en que la crisis energética propició la aplicación de técnicas de ahorro energético, que en la mayoría de casos significaban limitaciones en el caudal de aire de renovación. De manera general se admite que los ambientes que no disponen de ventilación natural pueden ser áreas de exposición a contaminantes, aunque no debe descartarse en ningún caso que el problema se produzca también en edificios con ventilación natural. De este planteamiento inicial ya puede intuirse la importancia que tiene la ventilación como factor de control de una buena calidad de aire interior.

AIRE INTERIOR Y CONFORT TÉRMICO

Las condiciones termohigrométricas de un entorno son básicas para un adecuado confort térmico, ya que éste depende de la temperatura y la velocidad del aire, de la temperatura radiante y de la humedad relativa, estando afectado por las condiciones individuales (consumo metabólico y tipo de vestido).

Los problemas de confort, aunque la posible queja de los ocupantes haga referencia genérica a un aire "molesto o cargado", pueden solucionarse, según los casos, con un cambio en la temperatura de climatización o con una modificación en el suministro de aire, mientras que los problemas en los que se manifiestan síntomas físicos (dolor de cabeza, irritación de mucosas) por exposición a contaminantes requieren, para su solución definitiva, la aplicación de técnicas de control de los mismos.

En la tabla 1.1 se recogen algunas condiciones recomendadas para conseguir una situación de confort. Cabe señalar que estas condiciones son más restrictivas que las del RD 486/1997 sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo que, en su Anexo III, establece en cuanto a bienestar térmico que en los locales de trabajo cerrados donde se realizan trabajos sedentarios propios de oficina o similares la temperatura estará comprendida entre 17°C y 27°C. Estos valores no son aplicables a calidad de aire interior ya que temperaturas de 17°C o 27°C no pueden considerarse confortables en una oficina.

Temperatura operativa del aire*	22°C±2°C para invierno 24,5°C±1,5°C para verano
Humedad relativa*	30-70%
Ausencia de	Olores Corrientes de aire Sensación de aire cargado
**Norma UNE-EN ISO 7730-1996 (Determinación de índices PMV y PPD y especificaciones de las condiciones para el bienestar térmico)*	

Tabla 1.1.- Condiciones recomendables de confort para una actividad ligera, esencialmente sedentaria

En cuanto a la humedad relativa existente en un ambiente interior, desde hace años se conoce la aparición de la llamada "lipoatrofia semicircular" (pérdida de tejido adiposo a una altura de unos 70 cm del suelo) en trabajadores de ambientes interiores, especialmente en oficinas, que aunque con distintos posibles orígenes (electricidad estática, pero también campos electromagnéticos) se relacionan siempre con humedades inferiores al 50%. Humedades superiores al 70% tampoco son recomendables por generar condensaciones y fomentar la presencia de agentes biológicos asociados a éstas.

En cuanto a las concentraciones de contaminantes en aire interior, éstas suelen ser del mismo orden, aunque algo superiores, que las habituales en el aire exterior y mucho menores que las existentes en aire industrial, en el que los efectos debidos a la exposición a contaminantes son relativamente bien conocidos y es posible evaluar el riesgo que presenta para los trabajadores la exposición a concentraciones elevadas. La Higiene Industrial es, pues, una actividad de referencia permanente en la gestión de la calidad de aire interior, aunque puede requerir una serie de ajustes basados en tiempos de exposición, discontinuidad de la misma y características de la población afectada.

No existe una definición totalmente aceptada para "calidad de aire interior". Desde un punto de vista estricto se refiere a la pureza del aire que se respira y a la presencia de compuestos químicos y/o agentes biológicos susceptibles de provocar enfermedades o disconfort. En las normas y estándares de ventilación y climatización de locales se encuentran definiciones aplicables a calidad de aire interior. En alguna de ellas se diferencia entre *una calidad de aire percibida como aceptable* si sólo tiene en cuenta la insatisfacción que se genera en los ocupantes de un edificio sobre una base de olor y de irritación sensorial y una *calidad de aire aceptable* si además se considera que es poco probable que haya contaminantes conocidos a concentraciones que impliquen una exposición que suponga un riesgo significativo para la salud.

Durante años se ha definido como calidad de aire aceptable para la climatización de un local, el aire que no contiene sustancias contaminantes en cantidades tales que resulten nocivas para la salud y cuya calidad sea juzgada como satisfactoria por al menos el 80% de las personas expuestas a sus efectos. Actualmente, según la Norma Española EN 13779:2005 (Ventilación de

edificios no residenciales. Requisitos de prestaciones de los sistemas de ventilación y acondicionamiento de recintos) se prefiere describir la calidad del aire interior en la zona ocupada según una clasificación que diferencia cuatro categorías básicas: calidad de aire interior alta, media, moderada o baja que se describen en el capítulo 8.

Una teórica buena calidad del aire se basaría en la presencia en el mismo de los componentes necesarios en la proporción adecuada (tabla 1.2), pero es el usuario, a través de la respiración, quien juzga su calidad, ya que el aire inhalado es percibido perfectamente mediante los sentidos, siendo el ser humano sensible a los efectos olfativos e irritantes de un número importante de compuestos químicos. Esto lleva al planteamiento de que, en la práctica, si el conjunto de ocupantes de un edificio está satisfecho con el aire, éste es calificado de *buena calidad*, mientras que si está insatisfecho, es calificado de *baja calidad*. En consecuencia, a la pregunta de si es posible predecir cómo será percibido el aire a partir de su composición, corresponde la respuesta de que sí, pero sólo en parte. Este planteamiento funciona en ambientes industriales, donde se conocen los compuestos químicos específicos que se hallan relacionados con la producción, midiéndose sus concentraciones en el aire y comparándose con valores límite umbral. Pero en edificios no industriales, en los que puede haber miles de productos químicos en el aire, eso sí, a concentraciones muy bajas, quizás miles de veces inferiores a los valores de referencia existentes para atmósferas industriales, la situación es diferente: en la mayoría de casos, la información sobre la composición química no permite predecir cómo será percibido el aire, ya que el efecto combinado de todos estos contaminantes, así como la temperatura y la humedad, son los que pueden provocar que un aire sea calificado de irritante, viciado o cargado, es decir, de mala calidad. Es un caso equivalente a lo que ocurre con la composición

Componente	% en volumen (aire seco)
Oxígeno (O_2)	20,9476
Nitrógeno (N_2)	78,084
Argón (Ar)	0,934
Dióxido de carbono (CO_2)	0,0314
Hidrógeno (H_2)	0,00005
Neón (Ne)	0,001818
Helio (He)	0,000524
Krypton (Kr)	0,000114
Xenón (Xe)	0,000008

Tabla 1.2.- Composición típica del aire natural
(Norma UNE-EN 132:1990, Equipos de protección respiratoria. Definiciones)

detallada de un alimento y su sabor: el análisis químico es insuficiente para predecir si el sabor del alimento será bueno o malo. Por ello, al diseñar un sistema de ventilación y su control periódico raramente se plantea un análisis químico exhaustivo del aire.

De forma habitual, y especialmente en el establecimiento de normativas específicas, la tendencia histórica es considerar al ocupante del edificio como al único foco contaminante del aire interior. Esto es cierto cuando se considera que los materiales empleados en la construcción, decoración y mantenimiento del edificio y las actividades que en él se realizan no son fuente importante de contaminación. En este caso, se valoran aspectos como ocupación, actividad física desarrollada o presencia de fumadores. Pero debe tenerse en cuenta que los materiales de construcción, muebles y sistemas de ventilación empleados hace 50 años, en los que dominaban los ladrillos, la madera y el acero, presentaban una emisión de contaminación baja o despreciable. Con los nuevos materiales (aislantes, conglomerados, colas, etc.), la situación ha cambiado: todos los materiales contaminan; algunos poco, otros mucho, contribuyendo en su conjunto al deterioro de la calidad del aire. En cuanto a las actividades desarrolladas en un edificio, existe un amplio margen de posibilidades que cubren desde la molestia olfativa ocasionada por una cafetería o unos baños mal ventilados, hasta la existencia de zonas o actividades que podrían considerarse prácticamente de tipo industrial como talleres u operaciones de mantenimiento, como soldaduras.

CRITERIOS DE CALIDAD DEL AIRE

Con la finalidad de disponer de criterios que permitan valorar la calidad del aire se han establecido distintas guías y estándares de calidad.

Existen estándares que se refieren a la calidad del aire exterior y tienen como finalidad la protección de la población en general frente a los efectos adversos sobre la salud o las molestias resultantes de la exposición a contaminantes ambientales que pueden estar presentes de forma habitual en el aire exterior como son los propuestos por la EPA (Environmental Protection Agency) y que, a menudo, son tomados como referencia para definir la calidad del aire que puede utilizarse para la ventilación de un edifico.

Otra serie de estándares son los valores límite ambientales (VLA) adoptados como límites de exposición profesional (LEP) por el INSHT. Del mismo tipo son los criterios técnicos tipo Threshold Limit Values (TLV) de la American Conference of Governmental Industrial Hygenists (ACGIH) de Estados Unidos y otros valores límite establecidos en diferentes países. Estos valores están dirigidos a una población adulta en condiciones de trabajar y para unos tiempos de exposición concretos, por tanto no se pueden aplicar directamente a la población general en ambientes interiores sin efectuar una

adaptación a las distintas condiciones de exposición. Para conseguirlo, en algunos casos, se ha propuesto aplicar a estos valores factores de corrección de 1/10 e incluso más limitativos.

Por su parte la Organización Mundial de la Salud (OMS) establece valores de referencia para la calidad del aire para diversos contaminantes, incluyendo contaminantes "clásicos" en aire (monóxido de carbono, dióxidos de nitrógeno y de azufre, ozono y plomo), una serie de compuestos no carcinógenos y un grupo de compuestos carcinógenos. Estos valores son útiles como guía general para una aceptable calidad del aire interior.

En cuanto a los contaminantes biológicos, no existen criterios numéricos para su valoración. Sin embargo, la Comisión para bioaerosoles de la ACGIH ha desarrollado unas guías que pueden utilizarse como criterios de interpretación de resultados para la evaluación de la exposición a contaminantes biológicos en ambientes interiores.

SÍNDROME DEL EDIFICIO ENFERMO Y ENFERMEDADES RELACIONADAS CON EL EDIFICIO

El término "síndrome del edificio enfermo" (SEE) se refiere a una serie de quejas inespecíficas, que en muchos casos se relacionan con la calidad del aire, que se presentan con una alta prevalencia entre los ocupantes de ciertos edificios pero que no pueden asociarse con un agente o agentes concretos presentes en los mismos. De hecho se acepta que en muchos casos el problema tiene un origen multifactorial, que dificulta su identificación, y en el que pueden intervenir, además de contaminantes ambientales, factores físicos, problemas en el sistema de ventilación o factores ergonómicos y psicosociales, estando los síntomas típicos asociados estrictamente con el hecho de estar en un determinado ambiente.

La definición más aceptada en la actualidad de SEE sería la de "conjunto de síntomas que afectan a un determinado porcentaje - generalmente a más del 20% - de los ocupantes de un edificio y para los cuales no se puede identificar la causa". Los síntomas característicos de un SEE parecen estar relacionados con irritación de las mucosas (ojos, nariz o garganta) o con efectos neurotóxicos (dolor de cabeza, letargo, dificultades en la concentración, etc.) y desaparecen poco después de dejar el edificio.

En los casos de SEE se evidencia la existencia de una variedad de problemas físicos y ambientales asociados a interiores no industriales. Los aspectos más comunes que se presentan en estos casos son: los afectados relatan síntomas no específicos de tipo irritativo o similares al resfriado común o enfermedades respiratorias y quejas de olor, los edificios son eficientes en la conservación de energía, de nuevo diseño y construcción o recientemente remodelados y decorados con materiales nuevos, y los ocupantes no pueden con-

trolar la temperatura, humedad o iluminación del puesto de trabajo. Las causas más comunes de un SEE son: ventilación inadecuada por falta de mantenimiento, mala distribución e insuficiente entrada de aire fresco (50-52%), contaminación generada en el interior, incluyendo equipos de oficina, humo del tabaco y productos de limpieza, (17-19%), contaminación proveniente del exterior por localización inadecuada de las entradas y salidas de aire (11%), contaminación microbiológica proveniente de agua encharcada en los conductos del sistema de ventilación, humidificadores y torres de refrigeración (5%) y compuestos orgánicos y formaldehído provenientes del materiales de construcción y decoración (3-4%). Como ya se ha dicho, queda constatado que la ventilación es citada como un factor contribuyente importante en la mayoría de casos.

Otra cuestión de naturaleza distinta son las enfermedades relacionadas con los edificios (ERE), que son menos frecuentes pero a menudo más graves. La ERE se caracteriza por un conjunto de síntomas definidos, a menudo acompañados por signos físicos y anormalidades clínicas, que puede afectar sólo a unos pocos ocupantes del edificio. La ERE puede confirmarse mediante el diagnóstico médico de una enfermedad específica resultante de la exposición a contaminantes específicos identificados en un edificio (tales como rinitis alérgica, enfermedad del legionario o fiebre del humidificador).

La enfermedad relacionada con un edificio, a diferencia de un SEE, es un problema de calidad del aire con una etiología conocida. Es una opinión generalizada entre los investigadores que ambos problemas deben considerarse de manera separada, aunque puede ocurrir, y es así en algunos casos, que un estudio iniciado como SEE acabe identificándose como ERE, una vez detectado cuál es el origen del problema.

LA INVESTIGACIÓN DE LA CALIDAD DE AIRE INTERIOR

Los estudios llevados a cabo desde los años ochenta han demostrado que la presencia de contaminantes en muchos ambientes interiores es superior a lo esperado, habiéndose identificado, además, contaminantes diferentes a los existentes en el aire exterior, lo cual va en contra de la suposición de que los ambientes interiores, sin actividad industrial, están relativamente libres de contaminación y de que, en el peor de los casos, podían reflejar la composición del aire exterior. Algunos contaminantes como radón o formaldehído se han identificado casi exclusivamente en ambiente interior.

La calidad del aire interior, incluyendo la del propio domicilio, se ha convertido en una cuestión de salud medioambiental al igual que ocurre con el control de la calidad del aire exterior y la exposición profesional. Aunque, como ya se ha dicho, una persona urbana ocupa gran parte de su tiempo en lugares interiores, debe considerarse que son los individuos más susceptibles, es decir, los ancianos, los niños pequeños y los enfermos, quienes pasan más tiempo en ellos. El tema empezó a adquirir especial actualidad a partir de 1973

cuando, debido a la crisis energética, los esfuerzos en la conservación de energía se centraron en reducir al máximo la entrada de aire en espacios interiores para minimizar los costes de la calefacción y la refrigeración de los edificios. Aunque no todos los problemas de calidad de aire interior son resultado de acciones tendentes al ahorro energético, es un hecho cierto que al extenderse esta política, las quejas sobre la calidad del aire interior empezaron a aumentar, apareciendo toda la problemática.

Una aproximación adecuada a los problemas de aire interior deberá incluir un estudio sobre las quejas y síntomas manifestados por los ocupantes, una localización de los focos y causas y una identificación de los tipos de contaminantes.

EL ORIGEN DE UNA MALA CALIDAD DE AIRE INTERIOR

Como se ha visto, la calidad de un aire interior viene definida por el nivel de contaminación presente, el cual está directamente relacionado con el tipo y naturaleza de los posibles contaminantes. Una forma genérica de agrupar estos contaminantes es la que se presenta en la tabla 1.3.

La calidad del aire en el interior de un edificio está en función de una serie de variables que incluyen la calidad del aire exterior, el diseño del sistema de ventilación/climatización de aire, las condiciones en que este sistema trabaja y se revisa, la compartimentación del edificio, la presencia de fuentes contaminantes interiores (incluyendo el nivel de ocupación y la presencia de fumadores) y su magnitud. En la práctica los problemas más habituales son consecuencia de una ventilación inadecuada, de la contaminación generada en el interior y de la contaminación proveniente del exterior. Ver la figura 1.1.

Por lo que se refiere al primer caso, las causas de una ventilación inadecuada pueden ser muchas y muy variadas. En la tabla 1.4 se relacionan las más frecuentes.

La contaminación interior puede tener diferentes orígenes entre los que destacan: los ocupantes a través de la respiración, emisión de bioefluentes y utilización de productos de consumo; los materiales inadecuados o con defectos técnicos empleados en la construcción; las actividades desarrolladas que,

Gases y vapores
- Inorgánicos
- Orgánicos
Partículas
Contaminantes biológicos

Tabla 1.3.- Tipos de contaminantes

Insuficiente suministro de aire fresco
Ubicación incorrecta de las tomas de aire exterior
Mala distribución del aire en los locales
Incorrecta filtración del aire

Tabla 1.4.- Algunas causas significativas de una ventilación inadecuada

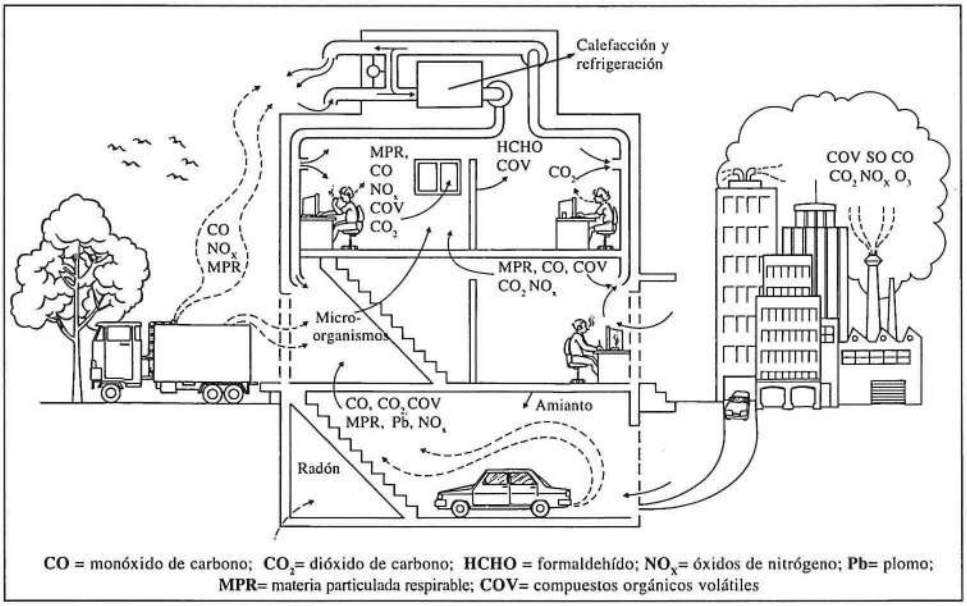


Figura 1.1.- Diagrama de un edificio que muestra diversas fuentes de contaminantes de interior y de exterior

en muchos casos, implican la utilización de equipos y productos habituales para el mantenimiento del edificio (pesticidas, desinfectantes, de limpieza o de mantenimiento); y los gases de combustión procedentes, por ejemplo, de cocinas, cafeterías, calefacción, aparcamientos o del consumo de tabaco (tabla 1.5). Hay que tener en cuenta que las sustancias emitidas en aire interior se diluyen menos que las emitidas al exterior, dada la diferencia de volúmenes de aire disponibles. Por lo que se refiere a la contaminación biológica, el origen más frecuente son los propios ocupantes del edificio, la presencia de agua estancada, materiales húmedos y, junto con el deficiente mantenimiento del sistema de ventilación, los humidificadores y las torres de refrigeración.

Finalmente, también hay que considerar la contaminación proveniente del exterior, que está relacionada con el entorno (urbano o rural) y con la actividad humana, y que entra con el aire a través de las aberturas existentes en el edificio (puertas y ventanas) y por las tomas del sistema de renovación de aire. Por lo que se refiere a la actividad humana, se consideran tres tipos de fuentes principales debidas a procesos de combustión: fuentes estacionarias (plantas energéticas), fuentes móviles (vehículos) y procesos industriales. Los principales contaminantes emitidos por estas fuentes son: óxidos de carbono, nitrógeno y azufre, partículas y compuestos orgánicos volátiles (COV, VOC en inglés) incluidos hidrocarburos alifáticos, aromáticos y policíclicos (tabla 1.6). La combustión interna en vehículos es la principal fuente de monóxido

Contaminante	Fuente
Monóxido de carbono	Combustiones incompletas
Dióxido de carbono	Actividad metabólica. Humo de tabaco, combustiones
Óxidos de azufre	Combustión de fueloil
Óxidos de nitrógeno	Combustión en cocinas
Ozono	Fotocopiadoras, impresoras laser
Amoniaco	Actividad metabólica, productos de limpieza
Formaldehído	Conglomerados de madera, humo de tabaco
Compuestos orgánicos volátiles	Mantenimiento, limpieza, adhesivos, actividades varias
Pesticidas	Control de plagas
Plomo	Pinturas
Aluminio	Sistema de renovación de aire
Radón	Materiales de construcción
Partículas	Polvo, combustiones, actividades varias
Fibras	Aislantes, materiales de construcción

Tabla 1.5.- Algunos contaminantes que pueden generarse en el propio ambiente interior

Contaminante	Fuente
Monóxido de carbono	Combustiones incompletas
Dióxido de carbono	Combustiones
Óxidos de azufre	Combustión de fueloil, actividad industrial
Óxidos de nitrógeno	Combustión de fueloil, vehículos de motor, emisiones industriales
Ozono	Reacciones fotoquímicas
Compuestos orgánicos volátiles	Fuentes naturales, vaporizaciones, actividades varias
Plaguicidas	Actividades agrícolas
Plomo y manganeso	Automóviles
Calcio, silicio, cadmio	Tierras, emisiones industriales
Cloro	Emisiones industriales
Radón	Suelos, agua
Partículas	Polvo, combustiones, tierras, actividades varias

Tabla 1.6.- Algunos contaminantes que pueden encontrarse en un ambiente interior procedentes del exterior

de carbono e hidrocarburos y es importante en cuanto a óxidos de nitrógeno. La combustión en fuentes estacionarias es el origen principal de óxidos de azufre. Los procesos industriales y las fuentes de combustión estacionaria generan más de la mitad de las partículas emitidas al aire por la actividad humana y los primeros pueden ser fuente de COV.

Hay también contaminantes generados de forma natural que son arrastrados por el aire, como partículas de polvo volcánico, del suelo y de sal marina, así como polen, esporas y microorganismos. La composición del aire exterior varía de un lugar a otro y depende tanto de la presencia y naturaleza de las fuentes de contaminación en la vecindad, como de la dirección dominante del viento. Si no hay fuentes de generación, las concentraciones promedio que suelen encontrarse en un aire exterior "limpio" son, para algunos contaminantes característicos, las siguientes: dióxido de carbono, 320 ppm; ozono, 0,02 ppm; monóxido de carbono, 0,12 ppm; óxido nítrico, 0,003 ppm; y dióxido de nitrógeno, 0,001 ppm. El aire urbano, sin embargo, presenta siempre unas concentraciones mucho más elevadas de estos contaminantes.

Del exterior pueden entrar también contaminantes en el edificio adheridos a la ropa y los zapatos de los ocupantes (compuestos gaseosos y vapores, polvo, polen, restos de animales) o procedentes del suelo por filtraciones a través del basamento (radón, vapores de combustibles procedentes de depósitos y conducciones soterradas, emanaciones de cloacas, fertilizantes, insecticidas y desinfectantes).

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 frente a los contaminantes exteriores, dándose por supuesto que el medio ambiente interior no es un reflejo exacto de las condiciones externas.

Los contaminantes existentes en el aire interior se diluyen en el aire exterior que entra en el edificio y acompañan a éste en su salida. Mientras la concentración de un contaminante sea menor en el aire exterior que en el interior, el intercambio de aire interior - exterior proporciona una disminución de la concentración de este contaminante en el aire del edificio. Si un contaminante tiene un origen exterior, este intercambio aumentará su concentración interior.

Los modelos para el balance de masas de contaminantes en aire interior se basan en calcular su acumulación, en unidades masa/tiempo, a partir de la diferencia entre la cantidad que entra más la que se genera en el interior, y la que sale con el aire más la que se elimina por otros medios (descomposición, reacción, fijación). Si se dispone de valores apropiados para cada uno de los factores de la ecuación, la concentración interior puede ser estimada en un amplio margen de condiciones. El uso de esta herramienta hace posible la

comparación de diferentes alternativas para el control de un problema de contaminación interior.

Edificios con bajas relaciones de intercambio con el aire exterior se clasifican como sellados o energéticamente eficaces. Se les llama energéticamente eficaces porque entra menos aire frío en invierno, disminuyendo la energía necesaria para calentar este aire a la temperatura ambiente requerida, reduciendo el coste de la calefacción. Cuando el tiempo es caluroso, también se usa menos energía para la refrigeración del aire. Cuando el edificio no es de estas características, se ventila a través de puertas y ventanas abiertas mediante el proceso de ventilación natural. Aunque estén cerradas, las diferencias de presión, resultantes tanto del viento como del gradiente térmico existente entre interior y exterior, fuerzan a entrar el aire a través de grietas y juntas, resquicios de puertas y ventanas, chimeneas y otras aberturas existentes, provocando la llamada "ventilación por infiltración".

CARACTERÍSTICAS DE LAS FUENTES CONTAMINANTES

Los ambientes interiores en edificios no industriales suelen tener una elevada compartimentación. Esto es especialmente importante para su correcta caracterización y estudio ya que, en la práctica, hay diferentes tipos de espacios, con diferentes condiciones de ventilación y clima, en los que se presentan, en general, situaciones muy dinámicas, variables a lo largo del tiempo.

Esta variabilidad está directamente relacionada con los distintos tipos de fuentes y de contaminantes. La contaminación ambiental puede deberse a la existencia de fuentes puntuales, como pueden ser las debidas a un equipo o actividad perfectamente localizada, o generalizadas cuando su origen se distribuye por todo el recinto. Al mismo tiempo la emisión puede ser constante, periódica o episódica en relación con su durabilidad y frecuencia.

El estudio de los diferentes tipos de fuentes permite una diferenciación entre aquellas que emiten de forma continua durante largos periodos (meses o semanas), y las que emiten discontinuamente con periodos de emisión cortos (días, horas o minutos). A su vez estos dos grupos pueden subdividirse en aquellas que emiten de forma regular, con un perfil constante en el tiempo, y las que emiten de forma irregular, con un perfil variable en el tiempo (tabla 1.7).

La identificación y el conocimiento de todas las potenciales fuentes contaminantes presentes en un interior, así como de las características de su emisión y su relación con la calidad del aire será fundamental para el desarrollo de una correcta estrategia para el análisis de contaminantes en aire. Deberán tenerse en cuenta parámetros tales como momento y localización del muestreo, frecuencia del mismo y duración, tanto en periodos de corta como de larga duración, en función de las características de la fuente.

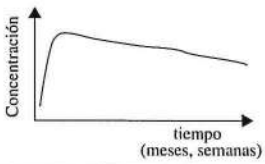
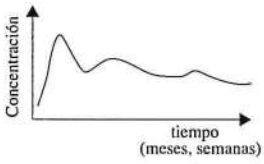
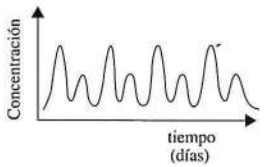
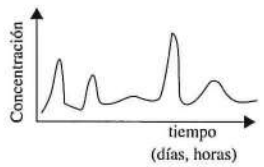
Tipo de emisión			Ejemplos de fuentes
Continua (meses o semanas)	*Regular:* Factor de emisión constante		Materiales de construcción, mobiliario, sistema de renovación de aire, terrenos contaminados, material textil, ambientadores, contaminación biológica
	Irregular: Factor de emisión variable		Obras de renovación en el edificio, sistema de ventilación
Discontinua (días, horas o minutos)	*Regular:* Perfil de emisión constante en el tiempo		Ocupantes, productos de consumo, calefacción
	Irregular: Perfil de emisión variable en el tiempo		Ocupantes, productos de consumo y de limpieza, fumar, cocinar, actividades puntuales, tráfico rodado, aparcamientos

Tabla 1.7.- Fuentes contaminantes en función del tipo de emisión

VÍAS DE DISTRIBUCIÓN DE LOS CONTAMINANTES EN UN AMBIENTE INTERIOR

El aire se distribuye en un edificio como resultado de la acción combinada del sistema de ventilación mecánico, de la actividad humana y de las fuerzas naturales. Las diferencias de presión creadas obligan al desplazamiento del aire y, con él, de los contaminantes presentes desde las áreas de mayor presión a las de menor presión siguiendo cualquier camino existente, llegando a modificar de manera irreparable el planteo general de la ventilación mecánica y, en consecuencia, de su rendimiento.

Si el edificio tiene un sistema de renovación de aire mecánico, éste será la vía de distribución predominante y la fuerza conductora del movimiento del aire en el edificio. Sin embargo, todos los elementos del edificio, tales como paredes, techos, suelos, puertas, ventanas, escaleras, ascensores y ocupantes, interaccionan y pueden afectar la manera en que el aire con su movimiento

conduce los contaminantes por el edificio. Por ejemplo: el aire de renovación debe seguir unos caminos preestablecidos por los diseñadores del sistema, pero éstos pueden verse afectados por nuevas paredes, mamparas y muebles o ser redireccionados por aberturas que proporcionan nuevos caminos. También los ocupantes del edificio al abrir puertas y ventanas modifican el desplazamiento del aire en el edificio obligándole a seguir caminos no preestablecidos.

En un ambiente interior, por tanto, hay que tener siempre en cuenta que los contaminantes pueden desplazarse a otros espacios a través de los conductos del sistema de renovación de aire, que el movimiento del aire puede condicionar la distribución de un contaminante en la habitación en que se encuentra la fuente contaminante o transportarlo a habitaciones o espacios contiguos que estén a menor presión y que en el edificio pueden entrar aire y contaminantes a través de cualquier infiltración exterior o por reentrada de aire expulsado.

Por otra parte, también las fuerzas naturales pueden alterar el movimiento del aire entre el exterior y el interior de un edificio. Dos casos característicos son: el efecto chimenea y el efecto viento.

Se denomina efecto chimenea (ver la figura 1.2) al flujo de aire producido por convección, como consecuencia de la tendencia del aire caliente a subir, y se da en aquellos casos en que hay diferencias de temperatura entre el interior y el exterior; este efecto aumenta con la temperatura. El aire caliente se desplaza desde los niveles inferiores hacia los superiores y escapa por los niveles altos mientras que el aire frío exterior entra en los niveles inferiores para sustituirlo. Con ello se favorece el transporte de contaminantes entre pisos a través de escaleras, huecos de ascensores y otras aberturas.

El efecto viento es un efecto transitorio, es decir que es variable y no permanente. El viento puede crear en un edificio áreas con elevada presión (presión positiva) respecto a otras de baja presión (presión negativa), modificando, según las aberturas existentes en las distintas zonas, las relaciones de presión entre dependencias, favoreciendo la entrada de aire por infiltración a través de las aberturas presentes en las superficies a presión positiva y la exfiltración del aire por las de presión negativa, lo cual afectará la entrada y/o distribución de contaminantes. Dada la variabilidad en la dirección del viento, la entrada de contaminantes procedentes de una fuente

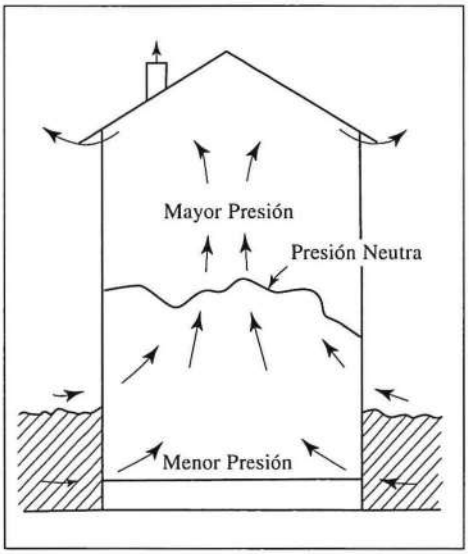


Figura 1.2.- Efecto Chimenea

exterior sólo tendrá lugar cuando aquél sople de la dirección de la fuente contaminante. Ver la figura 1.3.

EVALUACIÓN, CONTROL Y PREVENCIÓN

Un problema de calidad de aire en un edificio puede manifestarse en forma urgente cuando, por ejemplo, el problema ya afecta a sus ocupantes que presentan enfermedades demostrables, se observa un elevado absentismo y una baja productividad o se están tomando acciones legales contra sus responsables. Pero también puede hallarse a un nivel de quejas o estar aún en un estadio potencial, es decir: que puede evitarse el problema aplicando un programa preventivo.

En todos los casos, para una adecuada prevención, evaluación y control de los problemas de calidad de aire interior, es preciso realizar una serie de acciones sucesivas que incluirán: una investigación de la naturaleza y extensión del problema a partir de la revisión del edificio, de la documentación disponible y de la opinión de sus ocupantes; la identificación de las fuentes potenciales, tanto interiores como exteriores; la comprobación del funcionamiento del sistema de renovación de aire; la comparación de los datos obtenidos con la legislación existente y con la información sobre buenas prácticas, guías y estándares; la propuesta de soluciones para la eliminación o control de las fuentes; y la formación e información del personal afectado respecto a las medidas tomadas.

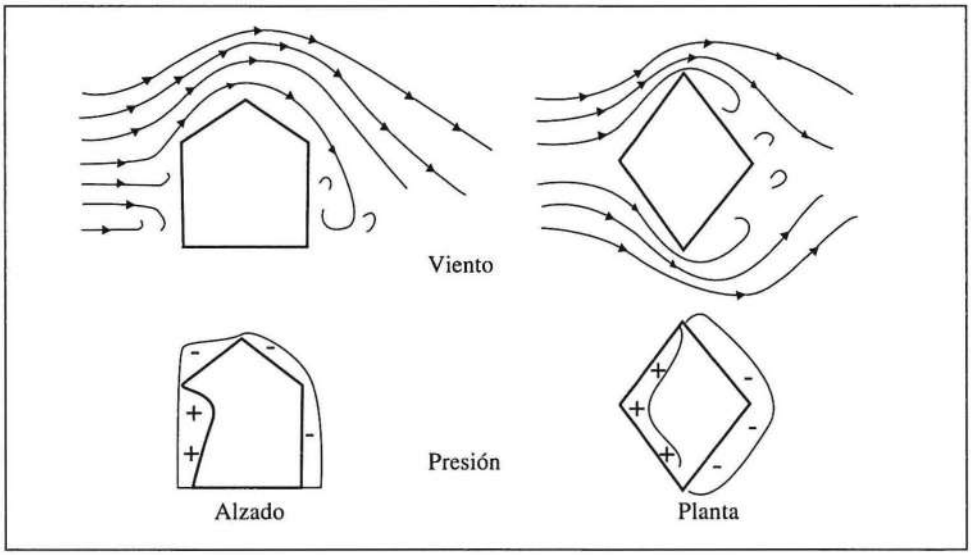


Figura 1.3.- Efecto del viento

COSTE

Los estudios disponibles indican que una adecuada gestión de la calidad del aire interior en edificios susceptibles de presentar problemas en este sentido es altamente rentable a medio plazo. Las razones de esta rentabilidad hay que buscarlas: en la disminución de los problemas de salud de los ocupantes, en la reducción del riesgo de aparición de enfermedades relacionadas con el edificio y con el correspondiente absentismo, y también desde el punto de vista de la amplia incidencia que unas condiciones de disconfort tienen en la productividad y creatividad del personal afectado.

2
EL AIRE INTERIOR Y LA SALUD

INTRODUCCIÓN

En el ámbito laboral está perfectamente documentada la relación entre ciertas enfermedades que sufren algunos trabajadores y el trabajo que realizan o la exposición a distintos agentes peligrosos para la salud mientras lo desarrollan. Se trata de las denominadas enfermedades profesionales que, desde el punto de vista técnico, se definen como un deterioro lento y paulatino de la salud del trabajador producido por una exposición continuada a situaciones adversas, sean éstas producidas por el ambiente en que se desarrolla el trabajo o por la forma en que está organizado.

Desde el punto de vista legal, la Ley General de la Seguridad Social (artículo 116) define la enfermedad profesional como toda aquella contraída a consecuencia del trabajo ejecutado por cuenta ajena, en las actividades especificadas en el cuadro que se aprueba por las disposiciones de aplicación y desarrollo de la Ley, y que esté provocada por la acción de los elementos o substancias que en dicho cuadro se indique para cada enfermedad profesional. Desde el punto de vista estrictamente formal, son las contenidas en el RD 1299/2006, de 10 de noviembre, modificado por la ORDEN TAS/1/2007, de 2 de enero; también existe, a nivel europeo, una recomendación de la Comisión (2003/670/CE) para adoptar una lista europea de enfermedades profesionales, sin valor legal.

Sin embargo, en la mayoría de países existe conciencia de que un gran número de enfermedades profesionales no son detectadas y son tratadas como comunes, ya que el concepto legal de enfermedad profesional no tiene una plena proyección en la realidad laboral por el insuficiente conocimiento de los efectos de los agentes peligrosos sobre la salud, existiendo, además, agresiones en el trabajo que pueden causar daño al trabajador tanto de tipo somá-

tico como psíquico perniciosas para el equilibrio mental y social, sin llegar a ser clasificables como enfermedades en el sentido más clásico del término.

Evidentemente, las alteraciones en la salud ocasionadas por una mala calidad de aire interior, en el caso de una exposición laboral, entrarían plenamente en la definición técnica de enfermedad laboral. Sin embargo, los efectos nocivos de una mala calidad de aire interior, en la acepción empleada en el presente texto, no deberán considerarse en la mayor parte de los casos como resultado de un "riesgo laboral" (LPRL, art. 4) o "riesgo inherente al trabajo" (LPRL art. 22) por los motivos siguientes:

1. No habrá tenido lugar un proceso de selección ni un examen de la salud preempleo relacionado con los posibles riesgos: Recuérdese que en el art. 22.4 de la LPRL se citan los reconocimientos efectuados en relación con la aptitud del trabajador para el desempeño del puesto de trabajo o con la necesidad de introducir o mejorar las medidas de protección y prevención, a fin de que puedan desarrollar correctamente sus funciones en materia preventiva.
2. No se habrá desarrollado un programa de vigilancia periódica de la salud específica frente a los riesgos ocasionados por la mala calidad del aire interior, ya que en el caso que nos ocupa difícilmente estos riesgos tendrán la consideración de inherentes al trabajo. En el art. 22.1 de la LPRL se dice que el empresario garantizará a los trabajadores a su servicio la vigilancia periódica de su estado de salud en función de los riesgos inherentes al trabajo.
3. Normalmente no se habrá llevado a cabo una evaluación inicial de los riesgos relacionados con la calidad del aire interior, con lo que no se planificará su prevención o protección, ya que, según el art. 16.1 de la LPRL la acción preventiva en la empresa se planificará por el empresario a partir de una evaluación inicial de los riesgos para la seguridad y la salud de los trabajadores, que se realizará, con carácter general, teniendo en cuenta la naturaleza de la actividad.
4. Tampoco es probable que se haya desarrollado un programa de control ambiental de la exposición, ya que éste no se planificará por falta de referencia a los riesgos ocasionados por una mala calidad de aire interior en la evaluación inicial. Este control, según el mencionado artículo de la LPRL, se desarrollará cuando el resultado de la evaluación lo hiciera necesario, el empresario realizará controles periódicos de las condiciones de trabajo y de la actividad de los trabajadores en la prestación de sus servicios, para detectar situaciones potencialmente peligrosas. Aquí es importante subrayar que la peligrosidad potencial de tales situaciones, a las que se hace referencia, es para trabajadores sanos y aptos con relación al contaminante en cuestión y a los que sí son de aplicación los criterios higiénicos a través de tales controles periódicos. Pero en la situación que nos ocupa, algunos de los trabajadores expuestos en cuestión, a veces enfermos (pero cuyo estado de salud es compatible con el desarrollo de *su trabajo,* sin unos riesgos específicos), pueden

ser incompatibles con tal o cual contaminante, bien por sus características o su estado de salud, bien por el tipo de patología preexistente, que les hace especialmente vulnerables a su acción tóxica y, por tanto, susceptibles de presentar alteraciones de salud cuando las exposiciones son mucho más bajas que las admitidas por tales criterios higiénicos. Cuando se trata de la aplicación de la calidad de aire a ambientes no laborales, deberá considerarse además la presencia en el lugar de personas en situación manifiesta de no aptas para trabajar (enfermos) y exposiciones continuadas de 24 h sobre 24 h, sin periodos de descanso.

Las cuestiones comentadas tienen también importancia en el momento de fijar criterios de valoración para poder efectuar las evaluaciones de la calidad del aire, aspecto que se comentará en los capítulos correspondientes.

SÍNTOMAS ATRIBUIDOS A PROBLEMAS DE CAI

Las alteraciones en la salud del individuo ocasionadas por una mala calidad de aire interior pueden manifestarse mediante una amplia variedad de síntomas y/o molestias que pueden derivar en problemas concretos. La presencia de contaminantes en un interior puede, en ocasiones, potenciar condiciones adversas ya existentes o generar otras nuevas.

A menudo los síntomas manifestados por los ocupantes de un edificio son difíciles de caracterizar e identificar ya que son similares a los propios de enfermedades comunes como pueden ser resfriado, gripe, alergias o estados de fatiga originados por diversas causas. Para relacionar la aparición de alguna de estas sintomatologías con la permanencia en un edificio suele recurrirse a confirmaciones tales como:

- Los síntomas están muy generalizados, ya sea en todo el edificio o en áreas concretas.
- Los síntomas desaparecen al abandonar el edificio.
- Los síntomas han aparecido tras la realización en el edificio de alguna acción concreta, como sería: cambios en el mobiliario, obras o renovaciones, aplicación de pesticidas, etc.
- Aquellas personas asmáticas o con un historial alérgico están especialmente afectadas cuando están en el edificio.

En la práctica, siempre hay que tener en cuenta que en un edificio suele haber una serie de personas mucho más sensibles que otras frente a la presencia de contaminantes en el interior. Este es el caso de los individuos que tienen alguna enfermedad respiratoria, que son alérgicos o asmáticos, que tienen un sistema inmune afectado por alguna enfermedad o por tratamientos de radio o quimioterapia, que llevan lentes de contacto o que tienen algún tipo de enfermedad que puede verse alterada por algún contaminante en concreto como

sería por ejemplo el caso de enfermedades cardiacas que pueden verse afectadas por niveles muy bajos de monóxido de carbono. En la tabla 2.1 se recogen algunos de los síntomas más frecuentes relacionados con la calidad del aire interior.

En el caso de enfermedades concretas, los síntomas serán los propios de las mismas y podrán relacionarse con el agente causal.

OJOS	Sequedad, picor/escozor, lagrimeo, enrojecimiento
VÍAS RESPIRATORIAS ALTAS	Sequedad, picor/escozor, congestión nasal, goteo nasal (rinitis), estornudos, hemorragia nasal (epistaxis), dolor de garganta, ronquera
PULMONES	Opresión torácica, sensación de ahogo, pitidos, sibilancias, tos seca, bronquitis
PIEL	Enrojecimientos (eritema), sequedad, picor generalizado y localizado (prurito)
GENERAL	Dolor de cabeza (cefalea), debilidad, somnolencia/letargo, dificultad para concentrarse, irritabilidad, ansiedad, náuseas, mareo

Tabla 2.1.- Síntomas relacionados con la calidad del aire interior

EFECTOS SOBRE LA SALUD

Normalmente, la exposición a contaminantes ambientales, tanto químicos como biológicos, presentes en el aire interior puede generar efectos a largo plazo de tipo crónico, aunque ocasionalmente también pueden presentarse efectos agudos que exigen una actuación inmediata, como sería el caso de un envenenamiento por monóxido de carbono o la aparición de casos de una enfermedad infecciosa grave. Ver tabla 2.2. En muy pocos casos la situación planteada se concreta en una enfermedad, aunque sí genera malestar, estrés, absentismo y pérdida de productividad, aumentando los costes, y las alegaciones referentes a problemas relacionados con el edificio se transforman rápi-

Tipo de efecto	Posibles causas
Efectos agudos	Presencia de contaminantes químicos en una concentración peligrosa para la salud Presencia de contaminantes biológicos susceptibles de propagar una enfermedad
Efectos a largo plazo (crónicos)	Presencia de sustancias cancerígenas Presencia de sustancias sensibilizantes Presencia de sustancias alergizantes

Tabla 2.2.- Efectos de la contaminación del aire interior sobre la salud humana

damente en conflictos entre sus ocupantes, los empresarios y los propietarios de los edificios.

Los efectos sobre los ocupantes dependerán del sistema fisiológico afectado, existiendo casos en que la relación causal entre los contaminantes presentes en el aire interior y los efectos sobre la salud está claramente establecida mientras que en otros podrá definirse como sospechosa/conocida, es decir, no estará totalmente investigada, o incluso será sospechosa/desconocida, o sea estará aún por confirmar.

Entre los problemas para la salud claramente establecidos destacan los efectos sobre el sistema respiratorio, las alergias y otros sobre el sistema inmune, así como los efectos sobre la piel y las membranas mucosas. Los efectos sospechosos/conocidos incluyen cáncer, especialmente de pulmón, y efectos sobre el sistema nervioso. Entre los efectos sospechosos pero aún no suficientemente estudiados destacan los referentes al sistema cardiovascular o a la reproducción, entre otros sistemas como pueden ser hígado, riñón o gastrointestinal.

Entre los casos descritos en los que se aprecia una clara correlación entre efecto y exposición a contaminantes presentes en ambientes interiores destacan: las enfermedades respiratorias, especialmente entre niños y personas de edad o con enfermedades crónicas, las alergias por ejemplo al polvo de ácaros en las casas y las irritaciones de membranas mucosas debidas a la presencia de sustancias irritantes como puede ser el formaldehído. Además, se sabe o se sospecha que muchos de los contaminantes presentes en un interior causan irritación sensorial o que ejercen un determinado estímulo que puede generar una sensación de disconfort y otros síntomas que se presentan en los edificios considerados "enfermos" o con problemas. Así, se cree, aunque no está demostrado y las pruebas son contradictorias, que las mezclas complejas de compuestos orgánicos en aire interior pueden provocar sutiles efectos sobre el sistema nervioso central y sobre el periférico y dar lugar a cambios de comportamiento y de humor.

También se sabe que la exposición a humo de tabaco y a productos de desintegración de radón implica un aumento en el riesgo de desarrollar un cáncer de pulmón. El cáncer de pulmón es una enfermedad muy grave con un índice de mortalidad muy alto; sin embargo, el número de personas afectadas es inferior al de personas que contraen enfermedades respiratorias o alergias o que sufren irritación debido a la exposición a contaminantes presentes en un aire interior.

Los efectos sobre la reproducción, enfermedades cardiovasculares y otros sistemas u órganos no están hasta la fecha bien documentados. Hasta cierto punto, esto podría significar que no se presentan efectos graves, pero hay muy poca investigación o información para poder establecer la ausencia de estos tipos de efectos.

Los efectos sensoriales se pueden definir como la respuesta de tipo perceptivo que se experimenta frente a una exposición ambiental y que se transmiten a través de los sistemas sensoriales. Estos contienen varios receptores, a partir de los cuales las señales se transmiten hasta el sistema nervioso central en el que el mensaje resultante es una sensación consciente de olor, contacto o picor.

En la tabla 2.3 se recogen los efectos más característicos que se relacionan con la calidad del aire interior y algunos agentes o fuentes. Los efectos específicos de los contaminantes químicos y biológicos más frecuentes en interiores se incluyen en el capítulo correspondiente.

Efectos	Ejemplos de fuentes
Efectos sobre el sistema respiratorio: bronquitis, neumonía, asma, alveolitis, cambios agudos y crónicos de la función pulmonar, asbestosis (fibrosis irreversible del pulmón).	Productos de combustión (NO_2, SO_2, humo de tabaco), contaminantes biológicos, amianto
Alergias y otros efectos sobre el sistema inmune: asma alérgica, alveolitis alérgica; rinoconjuntivitis alérgica, fiebre del humidificador.	Ácaros del polvo, pólenes, subproductos de animales
Efectos sobre la piel y membranas mucosas: reacciones fisiológicas o sensoriales agudas (p.e. inflamación o edema), cambios subagudos de la sensibilidad frente a exposiciones ambientales.	Humo de tabaco (partículas respirables, CO, nicotina, NO_x, aldehídos, nitroderivados, policíclicos)
Efectos sensoriales y otros efectos sobre el sistema nervioso: olor, picor.	Compuestos orgánicos, formaldehído
Cáncer: cáncer de pulmón, mesotelioma (cáncer de las paredes torácicas y abdominales).	Humo de tabaco, radón y productos de desintegración, amianto, benceno, hidrocarburos aromáticos policíclicos, algunos pesticidas, nitrosaminas

Tabla 2.3.- Principales efectos relacionados con la calidad de un aire interior y ejemplos de agentes y fuentes

Normalmente es difícil establecer con exactitud la magnitud de los daños que una mala calidad de aire interior puede representar para la salud, ya que no se dispone de información suficiente de la relación entre exposición y efecto a las concentraciones a que se suelen encontrar los contaminantes. De ahí la necesidad de extrapolar información obtenida a dosis elevadas, provenientes de la exposición industrial, a dosis mucho más bajas, con el consiguiente error. A ello hay que añadir que para muchos contaminantes presentes en el aire los efectos de exposiciones agudas son bien conocidos, mientras que los datos ofrecen lagunas importantes cuando se trata de exposiciones a largo plazo a concentraciones bajas y a diferentes contaminantes. Los conceptos de nivel de

no efecto (NOEL), de nivel de no efecto adverso (NOAEL), de efecto perjudicial y de efecto tolerable, ya de por sí confusos y discutibles en el ámbito de la toxicología industrial, son aquí aún más difíciles de definir. Hay pocos estudios concluyentes al respecto, tanto en edificios públicos y de oficinas, como en residencias particulares. En general se encuentran referenciados estudios completos de casos, las conclusiones de los cuales son difícilmente extrapolables en su conjunto a otras circunstancias.

SÍNDROME DE SENSIBILIDAD QUÍMICA MÚLTIPLE

El síndrome de sensibilidad química múltiple (SQM, de la expresión "multiple chemical sensitivity syndrom", MCSS) merece mención especial dentro de los efectos que, por la presencia de contaminantes en un ambiente interior, se relacionan con determinadas personas expuestas, especialmente sensibles. Esta denominación es la más usual para identificar el fenómeno consistente en una variedad de síntomas o trastornos que presentan tales personas atribuidos a la exposición a distintos compuestos químicos, presentes en un aire interior. La relación existente entre dicha exposición y los trastornos presentados por las personas afectadas es motivo de gran controversia entre la comunidad médica por lo que se refiere a su causalidad, los mecanismos fisiológicos por los que llegan a producirse estas alteraciones y la forma de manifestarse.

La SQM suele definirse como una alteración de la salud caracterizada por la manifestación de una serie de síntomas recurrentes, referibles a múltiples órganos y sistemas, como consecuencia de una exposición a gran variedad de productos químicos a dosis muy inferiores a las que está establecido que en la población general puedan manifestarse efectos nocivos.

Las molestias de los individuos afectados pueden seguir cualquier patrón en su forma de manifestarse y tener su origen en cualquier sistema fisiológico. Son típicos: dolor de cabeza, mareos, cacosmia (percepción de mal olor), malestar, irritación de piel y mucosas, trastornos respiratorios (ahogo, tos, opresión pectoral), cardiovasculares (palpitaciones), gastrointestinales (dispepsia, diarrea recurrente, estreñimiento), génito-urinarios (alteraciones de la menstruación, disuria, retención urinaria), musculoesqueléticos (dolores musculares, debilidad, tensión muscular) y neurológicos, con alteraciones de sensibilidad, irritabilidad, disfunciones cognitivas, disminución de atención y concentración, pérdida de memoria y cambios de humor.

De hecho, no se conocen los mecanismos por los que se llega a instaurar este síndrome, aunque las hipótesis se pueden dividir en dos grandes grupos, que de hecho se corresponden con las dos posturas científicas generales respecto del tipo de trastorno que supuestamente está involucrado: de tipo toxicogénico y psicogénico. Según la teoría toxicogénica, la condición sería

consecuencia de la acción tóxica ejercida por el agente o agentes desencadenantes sobre el organismo por algún mecanismo, que hasta hoy no está claramente identificado ni experimentalmente demostrado, y que debería dar razón de respuestas tóxicas a concentraciones muy bajas, a las que, en todas las restantes situaciones de respuesta tóxica, el individuo no responde. Por el contrario, los mecanismos de tipo psicogénico tienden a explicarlo como un proceso en el que intervienen unos elementos de base como son trastornos psicológicos o de la personalidad, un desajuste con el entorno laboral y social, y en el que jugarían papeles de especial relevancia los de aprendizaje y reflejos condicionados, entre otros muchos.

En el contexto de la sensibilidad química, la "sensibilización" no tiene lugar por ningún mecanismo inmunológico, fisiológicamente identificado, bien establecido y experimentalmente reproducible, por el que a través de una inmunoglobulina específica para un agente, un individuo es capaz de responder a partir de un primer contacto a tal agente sensibilizante, denominado alérgeno, sino que alude al simple hecho por parte de este individuo de responder de manera "desproporcionadamente" intensa y con múltiples efectos a una gran variedad de agentes distintos a bajas concentraciones, por mecanismos que, actualmente, aún no han sido establecidos. Desde un punto de vista toxicológico convencional, paradójicamente, un sujeto con el síndrome puede presentar muchos de los síntomas mencionados, algunos de los cuales en un individuo determinado pueden ser explicados por otras causas patológicas y, viceversa, es prácticamente imposible que un solo individuo esté expuesto a concentraciones elevadas de tantos agentes tóxicos a la vez capaces de producir los efectos manifestados.

Los individuos afectados de SQM experimentan sus síntomas con tanta severidad frente a la más mínima exposición que en la práctica están imposibilitados para realizar las actividades propias de la vida diaria. Aparentemente, concentraciones ambientales en el lugar de trabajo del orden de 1% del valor límite aplicado a ambientes laborales (TLV, VLA) de algunos compuestos pueden desencadenar reacciones agudas en los individuos afectados. Tales reacciones pueden presentarse, también, por el simple hecho de entrar en un local público de cualquier índole, en cuyo aire se supone la presencia de toda una serie de componentes, entre los que se encuentran perfumes, aromatizantes, componentes de ambientadores, restos de materiales de limpieza, pegamentos, humo de tabaco, además de polvo, gérmenes, esporas, polen y suciedad. Pueden, en determinadas personas, intervenir, además, el consumo, en un momento concreto, de ciertos alimentos conteniendo determinados conservantes o componentes artificiales e, incluso, al aire libre, la presencia de humos de motores de combustión interna pueden desencadenar una crisis. Todo ello justifica que otro de los nombres por los que se conoce esta condición o fenómeno sea el de "enfermedad ambiental" (environmental illness).

Aunque están en discusión la causa y naturaleza misma de la SQM, que

algunos autores no reconocen como enfermedad en modo alguno (por lo que lo designan simplemente como fenómeno), la mayoría de expertos está de acuerdo en que esta condición de sensibilización a un gran número de compuestos químicos la adquiere el individuo después de una exposición aguda o traumática a un compuesto en particular y que, a partir de este momento, es de carácter crónico. Los aspectos más característicos de este trastorno, condición o fenómeno, según se prefiera llamarlo, además de su cronicidad, son: a) los individuos sensibilizados responden a múltiples sustancias que no tienen ninguna relación química entre sí; b) la respuesta es muy variada y con manifestaciones en distintos órganos y sistemas, pero reproducible a través de exposiciones químicas repetidas; c) los síntomas mejoran o se resuelven cuando los desencadenantes son eliminados.

Independientemente del mecanismo, origen o causa de este trastorno o fenómeno, muchas de las personas afectadas sufren intensamente debido a los padecimientos físicos que comporta su condición y las limitaciones de vida a que, consecuentemente, se ven sometidas para evitarlos, al reducir drásticamente su capacidad laboral y su autonomía personal (en todo cuanto se refiere a entorno físico y ambiente químico). Pero la realidad es que la consideración médica y social de las personas afectadas resulta realmente muy controvertida en la práctica, siendo en muchos casos objeto individual de debate o pugna en distintas instancias (incluidas las judiciales), como consecuencia de que los aspectos puramente científicos y técnicos, ya apuntados, también lo son.

Por todo ello, y dada la magnitud cuantitativa y la dimensión social del problema que representa este tipo de trastorno (entre el 2% y el 6% de civiles adultos diagnosticados de este síndrome, respectivamente en California y Nuevo Méjico, aparte de los soldados de la guerra del Golfo), en la sociedad norteamericana se ha llegado a un principio de acuerdo. Cuando una persona afectada de este tipo de sintomatología aduzca padecimiento de sensibilidad química o por sus referencias se pueda inferir tal posibilidad, diversas entidades oficiales - a partir de la declaración conjunta de 1994, de la American Lung Association, la American Medical Association y la U.S. Consumer Product Safety Comissión - recomiendan no desestimarlo como de origen psicogénico, sino llevar a cabo el diagnóstico cuando se cumplan todos los criterios mencionados en el párrafo anterior, junto con el de otros trastornos concomitantes, si los hubiese. La exclusión del síndrome de sensibilidad química múltiple sólo se admitiría si se diagnosticase otro trastorno específico de tipo multiorgánico que diera razón de todo el espectro de signos y de su asociación con la exposición química, como la mastocitosis y la porfiria.

PROBLEMAS DE SALUD DE ORIGEN PSICOSOCIAL

Ya se ha mencionado antes que los mecanismos de tipo psicogénico tienden a explicar la SQM como un proceso en el que intervienen unos elementos de

base como son trastornos psicológicos o de la personalidad y un desajuste con el entorno laboral y social y en el que jugarían papeles de especial relevancia los de aprendizaje y reflejos condicionados, entre otros muchos. En este sentido, los problemas de salud relacionados con las condiciones psicosociales en el trabajo, aunque en general no reconocidos como enfermedades profesionales, son frecuentemente citados y estudiados, dándose por sentado que son el origen de muchas situaciones de absentismo, especialmente en el sector servicios. A continuación se exponen brevemente algunas consideraciones al respecto.

En primer lugar, las investigaciones realizadas indican que existe una clara correlación entre la sintomatología asociada a una mala calidad de aire interior, en especial la asociada específicamente al Síndrome del Edificio Enfermo, con problemas de carácter psicosocial, concretamente niveles elevados de carga física y mental y situaciones negativas desde el punto de vista de organización y del clima de trabajo. Estas correlaciones se confirman con facilidad después de efectuar en los estudios epidemiológicos ajustes multivariables para eliminar los factores ambientales y personales que pudieran interferir.

En segundo lugar, también debe considerarse siempre que la detección y manifestación de las quejas relacionadas con el edificio dependen en la práctica no solamente de la calidad de aire interior, sino también de la propia percepción del ambiente por cada persona. Los requerimientos individuales de confort son manifiestamente variables de una persona a otra y, en consecuencia, sus percepciones del ambiente, también. Situaciones de conflicto pueden provocar una especial sensibilidad a la hora de valorar la calidad del ambiente.

En tercer lugar, debe tenerse en cuenta que la experiencia indica que los factores ambientales relacionados con la calidad de aire interior, tanto de tipo físico (temperatura, humedad, corrientes de aire) como químico (contaminación química) son casi siempre insuficientes por sí mismos para justificar plenamente los síntomas y quejas origen del estudio. Por ello, en estos casos, es normal poder confirmar la clara relación entre los factores negativos de carácter psicosocial y dichos síntomas y quejas. También se admite cada vez más que las personas más susceptibles de sufrir enfermedades son las que están sujetas a altos niveles de estrés, aunque los estudios en este campo todavía no son concluyentes.

3
OLORES

INTRODUCCIÓN

La percepción de un olor por el ser humano genera una respuesta de tipo psicofisiológico que justifica la importancia que en la vida diaria tiene el sentido del olfato. Los ambientes interiores son espacios, generalmente limitados, con características propias en los que no es posible, a menudo, el desplazamiento de sus ocupantes cuando la percepción de olores desagradables genera quejas sobre la calidad del aire. Por ello, en los mismos, junto a alteraciones de la salud que puedan manifestarse, hay que considerar de forma especial efectos de tipo sensorial tales como olores o irritación, ya que la prevalencia de estos últimos en forma de síntomas y/o quejas entre los ocupantes de un edificio enfermo o que presente problemas es muy alta.

El ser humano percibe el aire como la suma de dos sensaciones difícilmente diferenciables, una olfativa y otra química o irritante, que se dan de forma simultánea frente a muchos compuestos químicos. La sensación olfativa está localizada en una pequeña área de la cavidad nasal, afectada por un gran número de sustancias (aproximadamente 500.000) de las cuales 4.000 pueden ser diferenciadas por las células olfativas, aunque la posibilidad de identificación sea muy limitada. La sensación irritante, que depende de las terminaciones nerviosas libres del nervio trigémino, se extiende por todas las membranas mucosas y se manifiesta, también, frente a un gran número de sustancias (aproximadamente 100.000) generando sensaciones acres que se describen como picor, irritación, quemazón, frescor, molestia, etc. En un edificio, el aire contiene cientos de compuestos químicos a concentraciones muy bajas, miles de veces inferiores a cualquier valor de referencia existente para aire, por lo que intentar su identificación y su control es imposible. Además, cuando ocurre un problema de aire cargado, irritante, molesto o de mal olor, no existe, en general, un único responsable sino que se trata de un efecto combinado, por

lo que se tiende a considerar a los olores en un interior como una clase única de contaminantes.

Casi todas las sustancias irritantes pueden también *estimular* las sensaciones olfativas. Normalmente se nota que un olor tiene un "toque" o un "algo" que implica la coactivación de ambas sensaciones. Algunas veces los productos de limpieza e incluso productos de higiene personal "anuncian" su eficacia con un aroma a limpio o refrescante procedente de un compuesto con una sensación irritante. Cuando se realizan experimentos con personas se solicita, a menudo, a los participantes que separen, frente a un estímulo, los atributos de olor de los de irritación. Para ello puede recurrirse a personas que carecen de la función olfativa o individuos anósmicos, ya sea por nacimiento o por accidente, y se compara su respuesta frente a sujetos normales o normósmicos. Para aquellas sustancias capaces de ambos efectos hay una disparidad temporal en la percepción ya que la percepción olfativa es inmediata y desaparece rápidamente mientras que la irritación tarda unos momentos y es más persistente.

Para establecer la calidad de un aire no es suficiente con conocer la composición del mismo, sino que hay que tener en cuenta su impacto en las personas que lo respiran. Se puede definir un aire de calidad como aquel que aporta al ser humano lo que él quiere y, así, el aire en un edificio será de calidad alta o pobre según sus ocupantes estén, o no, conformes con él. En la práctica se pide que el aire que se respira, además de no representar ningún peligro para la salud, resulte fresco y agradable; cualidades estas últimas que están directamente relacionadas con la presencia de compuestos con olor.

EFECTOS SOBRE LA SALUD

En el caso concreto de los olores, los efectos adversos descritos por la presencia en un interior de aromas, perfumes, humo de tabaco, olores no familiares o desconocidos, etc., incluyen efectos somáticos difícilmente justificables por las concentraciones presentes en aire. Entre los citados en la bibliografía se hallan náuseas, vómitos, dolor de cabeza, algunas reacciones aparentemente neurotóxicas, tales como comportamiento evasivo, pérdidas de memoria o problemas de concentración, interacciones con otros sistemas sensoriales o biológicos que provocan reacciones de hipersensibilidad y cambios en las pautas de respiración, y estrés, especialmente frente a olores repetitivos y/o no identificados. Algunos de estos efectos dependen de la dosis y pueden aumentar con el tiempo.

PRINCIPALES FUENTES CONTAMINANTES DE OLORES

Es importante distinguir entre los olores procedentes del exterior, que pueden llegar al edificio a través de los sistemas de renovación de aire o por

infiltraciones a través del suelo o desagües, y los generados en el interior del propio edificio. Los primeros están muy influidos por la situación del edificio respecto al entorno, especialmente por su proximidad a zonas de tráfico intenso, a vertederos, a actividades agrícolas o a instalaciones industriales. Sin embargo, la mayoría de olores tienen su origen en el propio interior del edificio, siendo la causa principal sus ocupantes y las actividades por ellos desarrolladas. En la tabla 3.1 se recogen las principales fuentes contaminantes de olores que pueden afectar un ambiente interior.

Origen	Entrada o generación	Ejemplos
EXTERIOR	Ventilación	Humos de escape de automóvil, asfaltado, construcciones
	A través del subsuelo	Derrames y fugas de productos químicos en depósitos enterrados
	Desagües	Alcantarillado
INTERIOR	Ocupantes	Bioefluentes, humo de tabaco
	Actividades	Material de oficina, fotocopiadoras, impresoras láser, cocinas, mantenimiento y limpieza
	Estado del edificio	Humedades, aire acondicionado
	Obras	Disolventes, adhesivos, pinturas, barnices
	Materiales de construcción (incluyendo adsorción/ emisión)	Paneles, moquetas, tapicerías, mobiliario

Tabla 3.1.- Principales fuentes contaminantes de olores

Se ha comprobado que entre el 40% y el 100% de los compuestos presentes en un ambiente interior tienen olor. En general la existencia de olores se relaciona con la presencia en el aire de mezclas complejas de compuestos orgánicos, muchos de los cuales tienen, incluso a bajas concentraciones, olores perceptibles y a menudo desagradables, destacando entre los más significativos: 2-butanona, xilenos, hexanal, pentanal y algunos alquilbencenos. En la tabla 3.2 se recogen algunos compuestos típicos emitidos por hongos asociados con el olor a rancio y humedad que se percibe en algunas zonas de edificios mal venti-

Familias	Alcoholes Cetonas Hidrocarburos Compuestos aromáticos
Compuestos típicos	3-metil-1-butanol 3-octanol 3-octanona 1-octen-3-ol

Tabla 3.2.- Compuestos más frecuentes emitidos por hongos asociados con el olor a humedad

lados y húmedos. Algunos de los incluidos en este grupo, como sería el 1,5-octadien-3-ol, tienen límites olfativos tan bajos como 1 ppt*.

CARACTERÍSTICAS DE UN OLOR

Desde el punto de vista de su *percepción*, un olor presenta cuatro características que permiten su definición y medida y que se resumen en la tabla 3.3.

Intensidad	Fuerza de la sensación percibida
Calidad	Carácter diferenciador y grado de parecido de un olor
Aceptabilidad	Grado de gusto o disgusto de una sensación de olor
Umbral de olor	Concentración mínima de un estímulo odorífico capaz de provocar una respuesta

Tabla 3.3.- Características de un olor. Definiciones

Intensidad

La intensidad o fuerza de un olor depende de la concentración en aire del/de los compuesto(s) que lo origina(n) y varía según una función exponencial:

$$I = kC^n$$

El exponente n varía en un margen aproximado entre 0,2 y 0,7, y es un parámetro crítico como indicador de la efectividad relativa de la dilución para el control de un determinado olor.

Existen diferentes métodos para establecer la fuerza relativa de un olor. Algunos, como el propuesto por la American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE) define una escala: 0 = sin olor o justo reconocible, 1 = olor ligero, 2 = olor moderado y 3 = olor fuerte. Otros utilizan el concepto de unidades de olor que indican el número de volúmenes de aire limpio (sin olor) necesarios para diluir el olor existente en el ambiente hasta el umbral de olor. También pueden usarse diferentes concentraciones de un compuesto de referencia como el *n*-butanol.

En el caso de mezclas, se presentan efectos interactivos complejos ya que la intensidad percibida es inferior a la suma de las percibidas para cada uno de los componentes individuales. De forma aproximada puede estimarse la fuerza de una mezcla con olor, con una exactitud del ± 50%, a partir del componente individual de mayor olor.

Calidad

La calidad o carácter de un olor permite describir y diferenciar cualitativamente los distintos olores. Son ejemplos típicos términos y expresiones

**1 ppt = 10^{-6} ppm*

tales como afrutado, mohoso, rancio, perfumado, olor a sudor, a alcantarilla, a nuez, a creosota, a podrido, a quemado, etc. En el caso de que se presenten simultáneamente dos olores, si la calidad u olor característico de cada uno de ellos es lo suficientemente diferente, podrán distinguirse separadamente. Ello explica los fracasos que se obtienen a veces al intentar enmascarar un olor con otro en teoría agradable.

Aceptabilidad

La aceptabilidad o tono hedónico de un olor es un factor totalmente subjetivo que permite hablar de olores agradables, desagradables, nauseabundos, etc. En un ambiente interior suele ser una característica poco significativa ya que al estar la percepción de un olor basada en una combinación entre la frecuencia de aparición, su calidad y su intensidad, incluso olores aceptados con agrado, tales como perfumes, comida, café, etc., pueden ser molestos según el momento en que se manifiesten o si se prolongan en el tiempo. Además, una exposición continua y prolongada a ciertos olores puede causar una disminución en la habilidad para percibirlos al desarrollarse una adaptación olfatoria.

Umbral

El umbral de olor es un valor teórico obtenido a partir de un porcentaje especificado de la población. No es un hecho fisiológico o una constante física sino que representa un valor estadístico.

Es conveniente distinguir entre:

- *Umbral de detección* o concentración mínima del compuesto que producirá una respuesta sensorial en los receptores olfativos de una población dada, en un porcentaje que, por convención, se ha especificado sea el 50%, aunque se puede subir al 100% si se quiere incluir a la población menos sensible o reducirlo al 10% para considerar sólo a la más sensible, y
- *Umbral de reconocimiento* o concentración mínima a la que una parte de la población (generalmente el 50%) es capaz de describir el olor de un compuesto.

La Organización Mundial de la Salud considera también un umbral de molestia:

- *Umbral de molestia* o concentración a la que sólo una pequeña proporción de la población (< 5%) manifiesta molestias durante una pequeña parte del tiempo (< 2%). Dado que la sensación de molestia puede estar influida por factores psicológicos y socioeconómicos un umbral de molestia no puede definirse sólo en base a la concentración.

A modo de resumen puede decirse que el umbral de detección está relacionado con la intensidad, el de reconocimiento con la calidad y el de molestia con la aceptabilidad.

Existen varios trabajos sobre olores en los que se recogen los datos disponibles sobre este tema. La American Industrial Hygiene Association (AIHA) publicó en 1989, como ayuda para la investigación higiénica, una revisión crítica de datos sobre umbrales de olor (detección y reconocimiento) para compuestos con valor límite de exposición para puestos de trabajo (TLV). Comparando estos datos con valores umbral de irritación se observa que los valores de olor suelen ser muy inferiores a los de irritación y, por tanto, no es por criterios de irritabilidad que se justifican las quejas y molestias que su presencia en un ambiente interior, e incluso al aire libre, genera entre la población. Una excepción importante es el formaldehído, contaminante muy frecuente en interiores, que, según datos de la OMS, tiene un umbral de olor de 0,06 mg/m^3 y un umbral de irritación de 0,1 mg/m^3 para exposiciones cortas. En la tabla 3.4 se comparan valores umbrales de olor con valores umbrales de irritación para una serie de compuestos.

Compuesto	Descripción del olor	Umbral de olor (detección)[a] (mg/m^3)	Umbral de irritación[b] (mg/m^3)
Acetato de *n*-amilo	Afrutado, a plátano	0,28	530,0
Acetato de etilo	Afrutado, agradable	65	350,0
Acetato de metilo	Afrutado	540	30.496,9
Acetona	Dulce, afrutado	150	474,7
Ácido acético	Agrio, avinagrado	0,18	25,0
Acroleina	Acre, a quemado	4,1	1,3
Alcohol isobutílico	Ligero, suave	11	300,0
Alilmercaptano	A ajo	0,0002	454,5
Amoniaco	Acre, irritante	12	72,0
Ciclohexanol	A alcanfor	0,66	200,0
Cloro	Intenso, a lejía	0,24	9,0
Crotonaldehído	Acre, sofocante	0,32	23,0
Estireno (inhibido)	Intenso, dulce	0,60	4.300,0
Formaldehído	Acre	0,060	0,1
Keroseno	A gasolina	0,55	122,6
Metacrilato de metilo	Intenso, a plástico	0,21	697,0
Metanol	Dulce, agrio	210	22.875,0
Metilisobutilcetona	Dulce, intenso	3,6	410,0
Sulfuro de hidrógeno	A huevos podridos	0,013	14,0
Tolueno	Acre, agrio	6,0	750,0
Trietilamina	A amina, a pescado	1,0	200,0

[a] Media geométrica de valores umbrales de detección de olor en aire adaptados de *"Odor Thresholds for Chemicals with Established Occupational Health Standards"*. American Industrial Hygiene Association. Ohio, U.S.A. 1989

[b] J. H. Ruth *"Odors Thresholds and Irritation Levels of Several Chemical Substances: A review"* Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 47 (3) A141-A147 (1986).

Tabla 3.4.- Valores umbrales de olor y valores umbrales de irritación para varios compuestos

EVALUACIÓN DE UN OLOR

Dada la complejidad del factor olor dentro de la percepción general de un ambiente interior, su evaluación es una herramienta crítica para el establecimiento de la calidad del aire y se ha convertido en una ciencia especializada, con una aplicación directa en aquellos casos en que es difícil establecer una diferencia clara entre olores molestos y problemas de disconfort. Tradicionalmente se han desarrollado unos estándares de ventilación destinados a limitar en los edificios los problemas de olor debidos a sus ocupantes, principalmente por emisión de bioefluentes y humo de tabaco, para lo cual se establecen unos aportes de aire basados en unidades por persona. En realidad, como ya se ha comentado, en un interior hay otras fuentes contaminantes responsables de la presencia en aire de un gran número de compuestos químicos con muy variados límites olfativos (con factores de hasta 10^{10}). La determinación química de los mismos no aporta, salvo excepciones, ninguna solución a las quejas de olor que se asocian, con frecuencia, con un problema de calidad de aire. En principio es preferible otro enfoque consistente en preguntar a la gente cómo percibe el aire y expresar su calidad como porcentaje de insatisfechos en un determinado momento, por ejemplo justo al entrar en un ambiente. En 1988, Fanger definió las bases para una mejor comprensión de muchos de los problemas que se manifiestan en un interior al incorporar este concepto a sus estudios e introducir dos unidades nuevas, el olf y el decipol, para cuantizar las fuentes contaminantes y los niveles de contaminación tal como los percibe el ser humano.

Olf

Un olf se define como la contaminación emitida (bioefluentes) por una persona estándar, es decir, un adulto medio que trabaja en una oficina o en un entorno no industrial similar, sedentario, que está en una ambiente de confort térmico, y que tiene un estándar higiénico equivalente a 0,7 baños/día.

A partir de esta definición de olf cualquier otra fuente contaminante puede expresarse en número de olfs, es decir, en número de personas estándar necesarias para que el aire resulte igualmente insatisfactorio. La calidad de un aire puede, por tanto, expresarse en función del porcentaje de insatisfechos, es decir, del número de personas que cuando entran en un local encuentran el aire inaceptable. Se toma como referencia un ser humano porque existe un buen conocimiento de cómo percibe éste los bioefluentes.

Decipol

Dado que la contaminación del aire depende de la fuente contaminante y de la dilución de esta contaminación que se logre con la ventilación, se define un decipol como la contaminación ambiental generada por una persona estándar

(un olf), pero teniendo en cuenta un aporte de 10 l/s de aire no contaminado (1 decipol = 0,1 olf / (l/s)). Es decir: un decipol es la calidad de aire percibida en presencia de un olf ventilado a 10 l/s con aire fresco. A medida que aumente el número de decipoles disminuirá la calidad del aire y aumentará el número de insatisfechos.

En edificios bien ventilados con fuentes de contaminación bajas (edificios sanos) la contaminación percibida en el aire está por debajo de 1 decipol lo cual, según los estudios realizados, implica un máximo del 15% de insatisfechos. Los espacios con poca renovación, o con fuentes contaminantes de importancia, pueden percibir una contaminación en el aire de 10 decipol o un 60% de insatisfechos. En la práctica el objetivo de conseguir en un interior una calidad de aire de 0,1 decipol o de un 1% de insatisfechos es difícil de alcanzar.

Existen propuestas para utilizar estas unidades para calcular la ventilación necesaria desde el punto de vista del confort y lograr un determinado nivel de calidad de aire. Para ello se expresa en olfs la potencia (o fuerza) de cada una de las fuentes contaminantes presentes en un interior y su suma da la carga sensorial u olfativa con la que se calculan las tasas de ventilación adecuadas. Hay que tener en cuenta que por el momento el olf y el decipol sólo pueden medirse usando al hombre como unidad de medida lo cual significa usar paneles de opinión. Es un desafío para el futuro desarrollar un instrumento que pueda medir la "contaminación percibida" en aire, es decir, un medidor de decipoles.

Hay que destacar que los decipoles no informan respecto a si la contaminación existente representa un peligro para la salud ya que cualquier riesgo específico debe considerarse por separado. Sin embargo, debe considerarse que en algunos casos puede representar una primera aproximación en este sentido.

La realización de medidas mediante paneles puede ser en algunos casos necesaria para verificar, en la práctica, que los requerimientos de confort se cumplen. Pueden hacerse utilizando paneles no entrenados aunque la mayoría de investigadores prefieren personas entrenadas (expertos). En ambos casos los panelistas deben refrescar primero sus sentidos respirando un aire de buena calidad, ya sea exterior o en una habitación especial, y emitir su opinión inmediatamente después de entrar en contacto con el aire a estudiar. Los dos métodos más utilizados para evaluar la calidad de un aire son el método decipol y el método umbral.

Método decipol

El método decipol utiliza un panel de unas 10 personas entrenadas para evaluar la calidad de un aire directamente en decipoles. Para ello utiliza como referencia 2-propanona y la producción del olor se basa en la evaporación

pasiva de este compuesto que se hace llegar al panelista mediante un flujo de aire constante. Previamente se ha establecido (265 personas) la relación entre calidad de aire percibida en decipoles y concentración en aire de 2-propanona y esta relación se utiliza para entrenar a las personas que van a efectuar las mediciones.

Método umbral

En el método umbral se diluye una muestra de aire con aire limpio (sin olor) para determinar la dilución a la cual el 50% de un panel de 8 personas ya no puede distinguir entre el aire diluido y el aire limpio. El número de diluciones, expresado en unidades de olor por m^3 de aire a 20°C (u.o./m^3), es el valor numérico para la concentración de olor de la muestra de aire original.

Una de las mayores dificultades que se presentan para la medición y evaluación de un olor es el amplio margen de variables existentes. Además de las diferentes percepciones individuales, hay factores tales como la humedad y la temperatura que afectan a la sensibilidad para el olor e incluso pueden aumentar su intensidad. Por otra parte es difícil establecer generalizaciones en este campo, aunque los estudios realizados parecen indicar que las mujeres son más sensibles a los olores que los hombres y que la sensibilidad está reducida entre los fumadores.

CRITERIOS PARA LA VALORACIÓN DE UN EFECTO SENSORIAL

En la práctica, para valorar un efecto sensorial suelen utilizarse indicadores que permitan estimar o predecir su intensidad y que son los utilizados por las normas de ventilación, ya que lo que éstas pretenden es dar unas condiciones para disponer de un aire de calidad. Se han propuesto, entre otras, medidas tales como las de la tabla 3.5.

Por su parte la OMS (2000) propone para una serie de compuestos unos valores que no deben superarse para evitar molestias por olor (nivel de moles-

Tipo de Medición	Valor de Referencia
Dióxido de carbono[a)]	1000 ppm
Compuestos orgánicos volátiles totales	0,2 mg/m^3 (Mølhave)[b)]
Concentración de tolueno en el tiempo[c)]	-

[a)] Representativo de la concentración de bioefluentes presentes
[b)] A concentraciones de 3 mg/m^3 el olor es significativo
[c)] Indicativo de la variación de la intensidad del olor

Tabla 3.5.- Indicadores de olor y valores de referencia

tia) y que se recogen en la tabla 3.6. Además, en un informe sobre "Calidad de aire interior: contaminantes orgánicos" (1989) recomienda para aire interior no industrial que los compuestos con olor, no deseados, no deben estar presentes en una concentración que exceda el umbral de detección ED_{50}. (Obtenido a partir de las curvas dosis-respuesta, siendo la dosis efectiva para la cual el 50% de la población responde).

Compuesto	**Valor de referencia basado en efectos sensoriales o molestias por olor (30 minutos)**
Estireno	70 μg/m³
Tetracloroetileno	8.000 μg/m³
Tolueno	1.000 μg/m³
Sulfuro de carbono	20 μg/m³
Sulfuro de hidrógeno	7 μg/m³

Tabla 3.6.- Valores de referencia, según la OMS, para algunas sustancias no cancerígenas en aire basados en molestias sensoriales por olor

4
CONTAMINANTES QUÍMICOS

INTRODUCCIÓN

Como ya se comentó en el capítulo 1, en un ambiente interior es posible encontrar un amplio espectro de contaminantes químicos procedentes de diferentes fuentes, tanto exteriores como interiores, que pueden ser responsables de la existencia de quejas y de la aparición de síntomas y enfermedades.

Los contaminantes químicos son los constituidos por materia inerte (no viva). Pueden presentarse en el aire en forma de moléculas individuales (gas o vapor) o de grupos de moléculas unidas, formando aerosoles (sólidos o líquidos). Es importante la diferencia entre ambos porque los aerosoles, debido a su mayor tamaño, tienen un comportamiento, en el aire y al ser inhalados, diferente del de los gases y vapores, que es idéntico al del aire por tratarse de moléculas individuales. Es habitual, al referirse a los aerosoles sólidos, hablar de polvo total y de fracción de polvo respirable, que es aquella parte del polvo total que, constituida por partículas de pequeño tamaño, es susceptible de ser "respirada", es decir, capaz de llegar al final del sistema respiratorio. Se considera que forman esta fracción las partículas de diámetro aerodinámico medio (ø) inferior a 0,01 mm. Cuando el aerosol está formado por microgotas de un líquido, se habla normalmente de niebla.

Entre las partículas sólidas hay que diferenciar las que se presentan en forma alargada de las restantes. A aquellas se las llama "fibras", admitiéndose por convenio y de una manera general que las fibras son las partículas que presentan un diámetro inferior a 1/3 de su longitud. En la práctica, en el estudio de la calidad de un aire interior, su presencia se valora en función del material que las genera: fibra de amianto, fibra de vidrio, fibra de lana de vidrio, fibra vegetal, fibra sintética, etc.

Por lo que se refiere a su origen, los contaminantes químicos presentes en el aire interior de un edificio pueden provenir tanto del exterior, acompañando al aire que voluntaria o involuntariamente se renueva, o estar generados en el propio edificio.

Un grupo destacado de contaminantes gaseosos tiene su origen en procesos de combustión que se producen en el interior del edificio y que suelen proceder del consumo de combustibles en aparatos que queman gasóleo, queroseno o gas, y de motores de combustión. Destacan entre ellos el dióxido de carbono (CO_2) que puede provenir de oxidaciones inaparentes y tiene además un origen metabólico, el monóxido de carbono (CO), los óxidos de nitrógeno, especialmente el dióxido de nitrógeno (NO_2), y el dióxido de azufre (SO_2).

Otro grupo significativo de contaminantes químicos presentes en un aire interior lo constituyen las mezclas complejas de compuestos orgánicos que se suelen encontrar, generalmente, a concentraciones muy bajas. En conjunto constituyen un grupo importante y característico de contaminantes. Sus fuentes más significativas son los materiales utilizados en la construcción y decoración del edificio, así como los productos propios de las distintas actividades que se realizan en el mismo, incluido limpieza, mantenimiento y embellecimiento, estando su composición directamente relacionada con el tipo de fuente contaminante.

Productos de combustión	**Materiales de construcción y decoración**	**Productos de consumo**	**Equipos e instalaciones**
CO_2 CO NO_2 NO SO_2 Compuestos orgánicos (Madera quemada) Humo de tabaco: *Ácido cianhídrico* *Aldehídos* *Arsénico* *Benceno* *Benzo(a)pireno* *Cadmio* *Cetonas* *Nicotina* *Nitrilos* *Nitrosaminas*	Compuestos orgánicos: *Formaldehído* *Disolventes* *Ácido acético* Fibras: *Fibras minerales artificiales (FMA)* *Amianto*	Compuestos orgánicos: *Disolventes* *Pesticidas* Fibras Amoniaco Cloro	Ozono Plomo Hierro Manganeso Complejos de Al_2O_3 Radón

Tabla 4.1.- Contaminantes químicos más frecuentes en ambientes interiores

La presencia de partículas en aire interior es también habitual. Su origen puede ser muy variado, desde el propio ser humano, hasta polvo atmosférico, pasando por el que se haya generado en actividades llevadas a cabo en el edificio: manejo de sustancias generadoras de polvo en cantidades importantes, limpieza por barrido, cenizas procedentes de la combustión de tabaco, etc. Por su parte, las fibras, como ya se ha dicho, suelen tener el origen en su presencia en elementos tanto constructivos como decorativos o en instalaciones del edificio.

Además, en un edificio puede también haber contaminantes específicos, dependiendo de la presencia de fuentes emisoras, como sería el caso, por ejemplo, del ozono, del cloro o de algunos compuestos metálicos.

En la Tabla 4.1 se presentan los contaminantes químicos más frecuentes en el aire interior de los edificios, clasificados en función de su procedencia más habitual.

CONTAMINANTES MÁS CORRIENTES EN AIRE INTERIOR

A continuación se revisan los contaminantes químicos más frecuentes en aire interior.

Dióxido de carbono (CO_2)

Es un gas incoloro e inodoro que se encuentra en el aire exterior, junto con el N_2, el O_2, el vapor de H_2O y el Ar, a concentraciones de 300-400 ppm en zonas no contaminadas, aunque en zonas urbanas puede alcanzar valores de hasta 550 ppm.

Se forma por combustión de sustancias que contienen carbono. En ambientes interiores no industriales la principal fuente es la respiración humana y el fumar, aunque también puede provenir de procesos de calentamiento con llama (calefacciones, cocinas, etc.), vehículos de motor y fermentaciones.

Es un asfixiante simple que actúa por sustitución del oxígeno y que a elevadas concentraciones (>30.000 ppm) puede causar dolor de cabeza, falta de concentración, mareos, somnolencia y problemas respiratorios dependiendo de la concentración y de la duración de la exposición. A niveles superiores a 800 ppm aumentan las quejas sobre la calidad del aire. En estos casos no es el CO_2 la causa directa de las quejas, sino que su presencia está siempre asociada a la acumulación, posiblemente por mala ventilación, de otros contaminantes. Aunque no se le suele considerar como un contaminante en el interior su concentración se utiliza como indicador de calidad de aire. Cuando se superan las 1.000 ppm de CO_2 las quejas sobre la calidad del aire empiezan a ser significativas y claramente constatables por parte de los que se incorporan al ambiente procedentes de zonas bien ventiladas. En una sala de reuniones o en

un aula mal ventilada se alcanzan fácilmente valores de 2.500 ppm. El NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health, de USA) ha sugerido las relaciones recogidas en la tabla 4.2.

Concentración de CO_2	Respuesta de los ocupantes del edificio
< 600 ppm	Quejas mínimas sobre la calidad del aire
600-1.000 ppm	Quejas potenciales, "sin una interpretación clara"
> 1.000 ppm	Sugiere una ventilación inadecuada y posibles quejas por dolor de cabeza, fatiga, irritación de las vías respiratorias superiores

Tabla 4.2.- Concentraciones de CO_2 y posible respuesta de los ocupantes del edificio

Monóxido de carbono (CO)

Es un gas incoloro e inodoro aunque en un interior suele estar acompañado de otros productos de combustión, que sí tienen olores característicos. Su presencia en ambientes laborales no industriales suele estar relacionada con emisiones procedentes de motores de combustión interna en garajes o dentro del edificio, con tomas inadecuadas de aire fresco exterior y con fumar; en residencias particulares su presencia es debida a una mala ventilación de los sistemas de calefacción por combustión, siendo frecuentemente fuente de graves intoxicaciones, y a la utilización de hogares y chimeneas.

Es un asfixiante químico que se une a la hemoglobina de la sangre formando carboxihemoglobina (COHb) y disminuyendo la capacidad de aporte de oxígeno hasta los tejidos. Como concentraciones promedio típicas de CO en residencias se aceptan valores entre 2 y 6 ppm. Una exposición a concentraciones superiores a 10 ppm pueden causar fatiga, mientras que 24 horas a 25 ppm pueden ocasionar deterioro de la agudeza visual y a 50 ppm, dolor de cabeza y latidos irregulares del corazón y 1 hora a 500 ppm genera náuseas, dolor de cabeza y confusión mental y a 1.500 ppm puede llevar a la muerte. Los niveles de COHb en población general no fumadora son, generalmente, del 0,5% – 1,5% mientras que para los fumadores puede alcanzar el 10%. Según la OMS (Organización Mundial de la Salud) para proteger a personas de edad, a personas con enfermedades coronarias y a los fetos de madres no fumadoras no debe superarse un nivel de COHb del 2,5%.

Los límites de exposición profesional (LEP) para agentes químicos en España (INSHT, año 2008) establecen para el CO 25 ppm para 8 horas (VLA-ED) y la EPA (Environmental Protection Agency, de USA) establece un máximo de 10 mg/m^3 (9 ppm) para 8 horas y 40 mg/m^3 (35 ppm) para 1 hora que no deben superase más de una vez al año. Los valores de referencia propuestos por la OMS son100 mg/m^3 (90 ppm) para 15 minutos, 60 mg/m^3 (50 ppm) para 30 minutos, 30 mg/m^3 (25 ppm) para 1 hora y 10 mg/m^3 (10 ppm) para 8 horas.

Dióxido de nitrógeno (NO_2)

Es un gas reactivo que está asociado a emisiones de fuentes móviles (automóviles y camiones tanto con motores de gasolina como diesel), de unidades de producción de energía eléctrica y a procesos industriales. En ambientes interiores está relacionado con calefacción con combustibles fósiles, incluyendo estufas de gas. El humo de tabaco también es una fuente de NO_2. Se forma también por oxidación del monóxido de nitrógeno (NO).

Es un irritante del tracto respiratorio superior y de los ojos. Exposiciones a 2-10 ppm pueden causar dolor de cabeza, náuseas, mareos, vómitos y tos. La exposición a elevadas concentraciones (200 ppm) se asocia a edema pulmonar agudo y muerte. Niveles inferiores provocan en asmáticos una disminución de la función pulmonar y pueden alterar las defensas, los parámetros bioquímicos y la función y la estructura del pulmón. La exposición crónica puede afectar de forma significativa, especialmente a niños. Se han observado efectos a partir de 0,2 – 0,3 ppm. Además se sospecha que puede tener efectos sinérgicos con otros contaminantes presentes en interiores.

Los LEP para agentes químicos en España (año 2008) establecen para el NO_2 3 ppm para 8 horas (VLA-ED) y 5 ppm para 15 minutos (VLA-EC). Para aire exterior la EPA establece 100 $\mu g/m^3$ (0,053 ppm) como media anual. La OMS, teniendo en cuenta datos obtenidos en estudios clínicos con humanos, propone no superar los 200 $\mu g/m^3$ (0,1 ppm) en 1 hora y los 40 $\mu g/m^3$ (0,02 ppm) a lo largo de un año.

Dióxido de azufre (SO_2)

Es un contaminante importante en exteriores y los niveles en un interior rara vez superan el 30% del valor exterior a no ser que se utilicen combustibles de baja calidad con alto contenido en azufre.

Es un irritante que a niveles de 0,25-0,5 ppm causa broncoconstricción en asmáticos, especialmente durante el ejercicio.

Los LEP para agentes químicos en España (año 2008) establecen para el SO_2 2 ppm para 8 horas y 5 ppm para 15 minutos. Para aire exterior la EPA establece 80 $\mu g/m^3$ (0,03 ppm) como media anual y un máximo para 24 horas, a no superar más de una vez al año, de 365 $\mu g/m^3$ (0,14 ppm). La OMS, teniendo en cuenta datos obtenidos en estudios clínicos con humanos, propone no superar los 500 $\mu g/m^3$ (0,25 ppm) en 10 minutos y los 20 $\mu g/m^3$ (0,01 ppm) en 24 horas.

Compuestos Orgánicos Volátiles (COV)

Los compuestos orgánicos constituyen una clase importante de contaminantes químicos en interiores. En la tabla 4.3 se muestra una clasificación de los mismos en función del punto de ebullición y del método habitual de

muestreo utilizado para su estudio dando lugar a cuatro grupos de compuestos orgánicos. Debe señalarse que el tipo de muestreo empleado es determinante porque en la práctica es lo que suele acabar fijando el grupo en el que se clasifican los COV muestreados.

En un interior destacan por su incidencia los compuestos orgánicos volátiles (COV), es decir, los que tienen puntos de ebullición entre 50°C y 260°C, diferenciándose de los muy volátiles (COMV), si el punto de ebullición es inferior, y de los semivolátiles (COSV) y de la materia orgánica particulada (MOP), si es superior.

Los COV son un conjunto característico de contaminantes interiores que agrupa a cientos de productos de distintas procedencias. A menudo se describen como compuestos orgánicos volátiles totales (COVT) entre los que no se incluyen algunos compuestos por ser demasiado volátiles, caso del formalde-

Categoría	Descripción	Abreviatura	Intervalo de ebullición (°C)[a]	Métodos de muestreo utilizados en estudios de campo
1	Compuestos orgánicos muy volátiles (gaseosos)	COMV	<0 a 50 – 100	Adsorción en carbón activo
2	Compuestos orgánicos volátiles	COV	50 – 100 a 240 – 260	Adsorción en Tenax o carbón activo
3	Compuestos orgánicos semivolátiles	COSV	240 – 260 a 380 – 400	Adsorción en espuma de poliuretano o en XAD-2
4	Compuestos orgánicos asociados con partículas o materia orgánica particulada	MOP	>380	Captación en filtros

[a] Los compuestos polares aparecen en la parte superior del intervalo

Tabla. 4.3.- Clasificación de los contaminantes orgánicos en interiores

hído, o bien por tener métodos analíticos específicos. La mayoría de COV tienen una presión de vapor baja que facilita su paso al aire durante largos periodos de tiempo (horas, días o meses). Por ello se asocia a la idea de COV el amplio conjunto de vapores de los compuestos considerados como disolventes orgánicos, tanto provenientes del petróleo como de nueva síntesis, aunque su uso final no sea el de disolvente.

En consecuencia, la composición de COV presentes en un interior es compleja y varía según las distintas épocas y circunstancias. Así, recién construido un edificio, o después de una renovación del mismo, estos compuestos proceden, principalmente, de los materiales utilizados en su construcción y decoración mientras que en otros momentos dependen, principalmente, de los ocupantes y de las actividades que se realizan en el mismo. Los estudios llevados a cabo sobre CAI muestran que, habitualmente, la concentración de COV en un interior es superior a la existente en el aire exterior, especialmente

durante los seis meses siguientes a la construcción del edificio. Aunque algunos estudios realizados dieron valores de COV en aire interior entre 1,5 y 6 veces la de aire exterior, con valores medios de 250 $\mu g/m^3$ en el exterior respecto a 650 $\mu g/m^3$ en interior, en otros casos se han llegado a medir valores de hasta un factor de 100 veces superior. De los numerosos estudios realizados para determinar los niveles de COV que se encuentran habitualmente en distintos tipos de edificios se deduce que en los residenciales las concentraciones son más altas que en los no residenciales y que en estos últimos el intervalo normal de concentración varía entre 0,15 mg/m^3 y 1,0 mg/m^3, aunque también pueden encontrarse valores superiores.

En cuanto a los efectos que los COV tienen sobre la salud, se considera que aproximadamente el 80% son potenciales irritantes y hasta un 25% pueden ser cancerígenos. La exposición a elevadas concentraciones de algunos COV individuales o a grupos de ellos se ha relacionado con irritación de mucosas, dolor de cabeza y disfunciones neuropsicológicas. Se desconocen, sin embargo, los efectos por exposición simultánea a bajas concentraciones (menos de 1-2 ppm) de muchos COV.

L. Mølhave propuso, hace ya algunos años, la utilización de los COVT como un marcador de la calidad del aire sugiriendo que para una concentración de COVT <300 $\mu g/m^3$ no era de esperar ningún problema por irritación, que para valores >3.000 $\mu g/m^3$ ya era probable que aparecieran problemas y que en el intervalo 300-3.000 $\mu g/m^3$ la respuesta es incierta; según este autor, concentraciones inferiores a 200 $\mu g/m^3$ están dentro del margen de confort. Sin embargo, en la práctica, la correlación es difícil de establecer, debido, posiblemente, a las grandes diferencias existentes entre distintos espacios y edificios y la composición de los COV.

En España se han establecido LEP VLA para numerosos COV; su utilización en las complejas mezclas presentes en aire interior, aceptando efectos aditivos, no está admitida de forma habitual, ni siquiera tomando como valor de referencia la décima parte del valor límite ocupacional. Por su parte la OMS ha propuesto ya una serie de valores de referencia que se recogen más adelante en las tablas 4.15 y 4.16.

Formaldehído (HCHO)

Es un compuesto orgánico muy volátil, en realidad es un gas, que se encuentra presente en todos los ambientes interiores de edificios modernos debido a su extensa utilización en la formulación de contrachapados, plásticos y resinas utilizados en aislantes, barnices, muebles y decoración. También se usa en cosméticos como conservante.

Es un irritante de la piel, de las vías respiratorias y de los ojos. Una exposición a 2-10 ppm puede causar dolor de cabeza, náuseas, vértigos, vómitos y tos. Se ha descrito que a concentraciones de 0,1 ppm puede generar

respuesta en individuos hipersensitivos. Está considerado como sospechoso cancerígeno por lo que se aconseja minimizar la exposición todo lo posible. Los LEP VLA-EC (año 2008) establecen para este compuesto 0,37 mg/m^3 (0,3 ppm) y la OMS considera que 0,1 mg/m^3 (0,08 ppm) es un umbral de irritación razonable que tiene en cuenta la variación de sensibilidad individual, aumentando los síntomas irritativos significativamente en sujetos sanos a un nivel de 0,3 mg/m^3 (0,24 ppm). La OMS propone no superar los 0,1 mg/m^3 en 30 minutos. Se acepta para este compuesto un umbral de olor entre 0,06 – 0,07 mg/m^3.

Ácido acético

Es un irritante de ojos, sistema respiratorio y mucosas. Sus fuentes interiores pueden ser las pastas selladoras, productos para el revelado de placas de rayos-X y de fotografía.

Los LEP VLA-ED (año 2008) establecen para este compuesto un valor de 25 mg/m^3 (10 ppm). En un interior se le identifica fácilmente por su olor y por su efecto irritante lo que facilita el autocontrol para reducción de la exposición.

Plaguicidas

En este apartado se incluyen una gran variedad de compuestos orgánicos, la mayoría de ellos semivolátiles y pertenecientes a distintas familias químicas, tales como organofosforados, carbamatos, organoclorados y piretroides que se utilizan para el control de insectos y roedores y contra el crecimiento microbiológico y de otras plagas. Son generalmente productos que por la función a la cual se destinan (biocidas) tienen una toxicidad elevada y cuya utilización descontrolada, ya sea dentro o en los alrededores de un edificio, puede implicar una exposición, incluso elevada, de sus ocupantes. Muchos de ellos presentan el problema adicional de su persistencia en el ambiente debido a su naturaleza química y modo de aplicación.

Entre los plaguicidas más frecuentemente utilizados en espacios interiores destacan: Clorpirifós, Diazinón, Propoxur, Lindano, Diclorvós, Bendiocarb, Aldrín, Dieldrín y algunos piretroides (Ciflutrín, Cipermetrina, Deltametrina, etc.). La exposición a estos compuestos puede implicar efectos sobre la salud que van desde irritación de mucosas hasta efectos sistémicos, dependiendo de la concentración, e, incluso, se asocian a la aparición del síndrome de sensibilidad química múltiple (SQM), ya comentado en el capítulo 2.

Partículas

Se identifican como partículas los contaminantes en forma de aerosoles líquidos o sólidos. Las partículas están presentes en casi todos los ambientes

interiores, aunque las cantidades, naturaleza y procedencia difieren considerablemente de unos edificios a otros. Las partículas presentes en un interior pueden clasificarse, según su origen, en biológicas (el ser humano emite de 20 a 50 millones de partículas por minuto), radiactivas, minerales y de combustión. (Ver tabla 4.4).

Origen	**Ejemplos**
Vegetal	Polen, esporas, hongos y subproductos
Animal	Microorganismos, pelo, células epiteliales, fragmentos de insectos, subproductos
Mineral	Amianto, carbón, arcillas, partículas elementales, fibras artificiales
Combustiones	a) Fuentes interiores: estufas, cocinas, humo de tabaco b) Fuentes exteriores: industrias, vehículos, incendios
Radiación	Productos de desintegración del radón unidos a partículas sólidas

Tabla 4.4.- Partículas en ambientes interiores

El tamaño de las partículas se expresa generalmente en micras (μm). Los distintos tamaños se identifican a menudo como materia particulada (MP) con un subíndice que indica el tamaño máximo de la partícula; así MP_{10} se refiere a partículas con un diámetro ≤ a 10 y $MP_{2,5}$ a partículas con un diámetro ≤ a 2,5. Como diámetro de partícula se suele considerar el diámetro aerodinámico medio, que se define más adelante. En la tabla 4.5 se relacionan con fines comparativos los tamaños relativos de algunas partículas frecuentes en aire.

El polvo ambiental está, normalmente, compuesto por partículas muy finas entre 0,01 y 50 μm. Según algunos estudios, las partículas con un diámetro ≤ 0,1 μm llamadas partículas ultrafinas o nanopartículas (se miden en nanometros) representan, aproximadamente, el 80% de las partículas presentes en una muestra de aire atmosférico, aunque desde el concepto de masa total solo representan del orden del 1%. Hay que tener en cuenta que, debido

Tipo de partícula	**Tamaño**
Pelo humano	150 μm
Partículas visibles para el ojo	25 μm
Polvo atmosférico pesado, cenizas	10 μm
Mohos, polen, polvo atmosférico medio	5 - 10 μm
Bacterias, polvo atmosférico ligero	1 - 5 μm
Humo de tabaco, bacterias, humos metálicos	0,3 - 1 μm

Tabla 4.5.- Tamaños relativos de las partículas (diámetros)

> 10 µm	la mayoría no penetran
7-10 µm	la mayoría penetran en las fosas nasales
4,7-7 µm	la mayoría penetran en la faringe
3,3-4,7 µm	la mayoría penetran en la tráquea y los bronquios primarios
2,1-3,3 µm	la mayoría penetran en los bronquios secundarios
1,1-2,1 µm	la mayoría penetran en los bronquios terminales
0,65-1,1 µm	la mayoría penetran en los bronquiolos
≤ 0,65 µm	la mayoría penetran los alvéolos
Nota: Se define como "partículas inhalables" aquellas con un diámetro aerodinámico inferior a 10 µm (MP_{10}).	

Tabla 4.6.- Relación primaria entre penetración respiratoria y tamaño de partícula

a su tamaño, en estas partículas la relación entre superficie/volumen y la proporción de moléculas presentes en la superficie crece exponencialmente. Por ello presentan unas propiedades nuevas que no se corresponden con las del material de la fase macroscópica. En un edificio de oficinas generalmente el tamaño de las partículas presentes incluye desde 0,01 µm las partículas más pequeñas hasta 1 µm las procedentes del humo de tabaco, con una distribución en tamaño variable según las condiciones.

Las distintas partículas pueden depositarse y afectar distintas zonas del aparato respiratorio (tabla 4.6) causando problemas que dependen, principalmente, de su tamaño, forma, densidad y reactividad y también de la cadencia respiratoria del individuo. En la práctica tiene lugar una distribución de las partículas en el sistema respiratorio según los distintos tamaños. Todas las partículas con un diámetro superior a 10 µm y aproximadamente el 60% - 80% de las partículas de entre 5 y 10 µm son retenidas en la región nasofaríngea, donde sólo se retienen un 5% de las partículas menores de 5 µm, alcanzando las restantes las zonas mas internas del sistema respiratorio. Un 10 % de las partículas entre 1 y 10 µm, incluyendo un 30% de las de entre 2 y 5 µm, se depositan en la región traqueobronquial. En la figura 4.1 se recogen los valores más aceptados sobre la proporción de materia particulada inhalada según el diámetro aerodinámico de la partícula, definido como el diámetro de una esfera de densidad 1g/cm^3 que tiene la misma velocidad final debida a la fuerza gravitatoria, en el aire en calma, que la que tiene la partícula, bajo las condiciones existentes de temperatura, presión y humedad relativa.

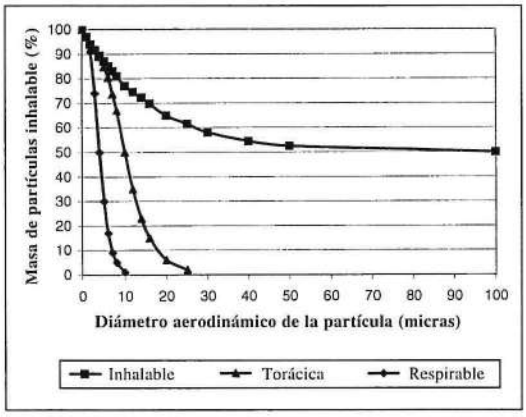


Figura 4.1.- Respirabilidad de la materia particulada según su tamaño

En la práctica las partículas presentes en un aire interior de

más de 10 µm se consideran generalmente como polvo y pueden tener tamaños de hasta 200 µm. Las partículas inferiores a 0,1 µm permanecen en suspensión en el aire y pueden comportarse como gases. La velocidad de sedimentación de una partícula aumenta con su tamaño aunque las respirables lo hacen muy lentamente y están muy influenciadas por el movimiento del aire en el interior. (Ver figura 4.2).

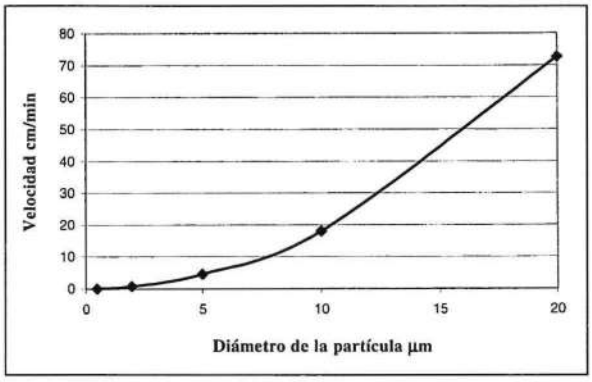


Figura 4.2 Velocidad estacionaria de sedimentación de partículas en el aire (d = 1), en función del tamaño

Cuando se establecen valores de referencia para la materia particulada suspendida en aire (MPS) estos pueden referirse a materia particulada total (MPT), MP_{10} o a $MP_{2,5}$. La EPA recomienda para MP_{10} un estándar para calidad del aire de 150 µg/m³ para 24 horas y para $MP_{2,5}$ un estándar anual de 15,0'µg/m³ y de 35 µg/m³ para 24 horas. Estos valores no suelen alcanzarse normalmente en interiores excepto en circunstancias especiales como pueden ser, por ejemplo, espacios muy cerrados y presencia de fumadores. Por su parte la OMS propone como guía de calidad del aire no superar los 20 µg/m³ de media anual y los 50 µg/m³ para 24 horas para MP_{10} y los 10 µg/m³ de media anual y los 25 µg/m³ para 24 horas para $MP_{2,5}$.

Las partículas respirables pueden ser irritantes respiratorios, especialmente para personas asmáticas. En los ambientes no industriales la principal fuente de partículas pequeñas (2-3 µm) es el humo de cigarrillo y los aerosoles procedentes de distintos tipos de pulverizaciones. Los aerosoles de partículas de mayor tamaño (3-10 µm) incluyen fibras desprendidas de alfombras (papel, algodón, lana y textiles en general), escamas de piel humana, restos de suciedad conteniendo plomo procedente de pinturas utilizadas en la decoración, suciedad transportada desde el exterior, etc.

Los efectos sobre la salud dependen del tipo de partícula y de la facilidad de penetración en el organismo, pudiendo, según los casos, afectar química o mecánicamente a los tejidos en el punto de deposición, alterar los mecanismos respiratorios, agravar enfermedades respiratorias o cardiovasculares existentes, degradar el sistema inmune, causar cambios morfológicos en los tejidos pulmonares o generar cáncer.

Una mención especial merecen las fibras de amianto por su gran utilización en la construcción de edificios debido a sus excelentes propiedades

fisicoquímicas (aislantes, mecánicas, químicas y de resistencia al calor y al fuego) y a su bajo coste.

El amianto puede pasar al aire en forma de fibras simples, de agregados de fibras o bien de agregados de fibras y partículas. Cuando se observan en un microscopio óptico, las fibras de amianto aparecen generalmente como unos hilos flexibles, curvados o rectos, dependiendo de su longitud y naturaleza. Por lo general, la relación entre longitud y anchura de las fibras suele ser muy elevada.

El amianto se ha utilizado en la construcción con diferentes aplicaciones. Entre las más corrientes destacan: el trenzado para aislar tuberías, las fibras puras utilizadas como aislante para llenar cámaras de aire de paredes, techos y puertas cortafuegos, en tuberías de alta presión de fibrocemento para canalizaciones de agua, en placas acústicas como aislamiento sonoro, en tuberías de fibrocemento para aguas residuales, bajantes y depósitos de agua, en placas onduladas de fibrocemento para techos y cubrimiento de superficies o en cartón o placas de baja densidad para protección ignífuga de estructuras metálicas y aislamiento de focos puntuales de calor y placas de cielo raso. A medida que se han contrastado los efectos adversos del amianto, su uso se ha ido limitando. La prohibición del amianto en todos los países de la UE es obligatoria desde el 1 de enero de 2005.

La presencia en la actualidad de amianto en un edificio puede deberse a que éste se construyó o reparó en su momento empleando materiales que lo contienen. Determinar su presencia es importante desde el punto de vista de la salud de los ocupantes del edificio y, sobre todo, es fundamental para proteger la salud de los trabajadores que intervengan en obras de reparación o derribo de los mismos previniendo la elevada exposición que se puede producir al manipular materiales que contengan amianto.

Los efectos nocivos del amianto en la salud han originado que se potencie el uso de todos aquellos productos que tienen condiciones morfológicas y fisicoquímicas equivalentes al amianto, sin que se haya tenido en cuenta que en muchos casos sus efectos sobre el organismo son poco conocidos. La sustitución del amianto por otro material debe valorarse cuidadosamente.

Como sustitutivos de las fibras de amianto se han desarrollado productos alternativos que pueden dividirse en: fibras minerales artificiales (FMA), que incluyen las lanas minerales como la lana de escoria, la lana de roca, la lana de vidrio y las fibras cerámicas, fibras orgánicas sintéticas junto con fibras de carbón y fibras de acero y fibras orgánicas naturales como el yute, el bambú y el esparto.

Todos los materiales fibrosos pueden aportar fibras al ambiente estando condicionada su peligrosidad por: su concentración en el aire, su durabilidad (fibra de vidrio < lana de escoria < lana de roca < fibras cerámicas < crisotilo < anfíboles), el tamaño de las fibras y en especial la proporción de fibras finas, el estado físico del individuo y el tiempo de exposición.

Ozono (O_3)

El ozono es un gas incoloro de olor característico que se genera en el aire a partir del oxígeno durante la oxidación fotoquímica de productos de combustión tales como óxidos de nitrógeno e hidrocarburos. En un interior puede presentarse durante el funcionamiento de motores eléctricos, limpiadores de aire electrostáticos, máquinas fotocopiadoras e impresoras láser. La existencia de radiaciones UV, especialmente del tipo C, por debajo de 250 nm, es una fuente importante de generación de ozono.

Los síntomas asociados con la exposición a O_3 son irritación de las vías respiratorias altas, de ojos y de membranas mucosas aunque también incluyen fatiga y dolor de cabeza y de tórax. En general, los síntomas desaparecen, entre 2 - 4 horas después de la exposición. Para las personas sedentarias (por ejemplo trabajadores de oficina), concentraciones superiores a 0,1 ppm ya pueden provocar sequedad en el tracto respiratorio e irritación de nariz y a valores de 0,5 ppm manifestarse disminuciones en la función pulmonar. Estos síntomas pueden presentarse a niveles inferiores si se está realizando ejercicio físico.

Los LEP VLA (año 2008) establecen para el O_3 límites de exposición en función de la actividad realizada: 0,05 ppm para trabajo pesado, 0,08 ppm para trabajo moderado y 0,1 ppm para trabajo ligero, y, en cualquier caso, 0,2 ppm para un periodo $\leq$ 2 horas. La EPA establece un estándar de 0,08 ppm para 8 horas y de 0,12 ppm para 1 hora de exposición y la OMS propone un valor de referencia de 100 $\mu g/m^3$ (0,05 ppm) para un periodo máximo de 8 horas diarias.

PRODUCTOS DE COMBUSTIÓN

Los procesos de combustión son una fuente importante de emisión de gases que suelen ir acompañados de los compuestos resultantes de una combustión incompleta y de materia particulada en forma de polvo y cenizas. Su presencia en un interior puede deberse a la presencia de fuentes internas o proceder del exterior. Se incluyen en este apartado, junto a los óxidos de carbono, nitrógeno y azufre, COV procedentes de las combustiones incompletas de distintos materiales (todos ellos ya relacionados) y la mayoría de componentes del humo de tabaco que se comentan en el capítulo 6.

MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y DECORACIÓN

Entre los productos y materiales, capaces de aportar contaminantes químicos a un aire interior, se incluyen los utilizados en la construcción de paredes y techos, los aislantes acústicos, térmicos o de incendios, los recubrimientos de suelos y paredes, los acabados de madera y los utilizados para el pintado

de paredes. También hay que tener en cuenta los muebles y los materiales textiles. Los más significativos, en cada caso, serán aquellos que se utilicen en mayor cantidad y/o que tengan, para los distintos compuestos químicos, tasas de emisión más elevadas.

Entre los compuestos emitidos destacan, por su incidencia, el formaldehído junto con otros compuestos orgánicos formando mezclas complejas, aunque también pueden darse emisiones de amoniaco, radón, compuestos metálicos y polvo, incluidas fibras. Destacan por una mayor frecuencia los hidrocarburos alifáticos y aromáticos y algunos clorados.

Tipos de emisiones

En el caso de los productos utilizados en construcción, decoración y mantenimiento de un edificio es importante tener en cuenta el tipo de emisión ya que influye en el momento de aparición de una contaminación y en su persistencia. En función de las características físicas del material y del modo de aplicación es posible diferenciar entre las emisiones procedentes de productos aplicados en húmedo, las de los aplicados en seco y las procedentes de materiales susceptibles de captar compuestos presentes en el aire y de reemitirlos al modificarse las circunstancias del entorno.

Productos húmedos

Son aquellos que se utilizan en forma líquida o pastosa. Sus emisiones se limitan, generalmente, al tiempo necesario para su secado o curado, es decir a las primeras horas o días después de su aplicación, aunque a veces algunos pueden seguir emitiendo a bajos niveles durante meses o años. Quedan incluidos en este grupo las pinturas, disolventes, barnices, adhesivos, masillas, selladoras, etc.

Productos secos

Son materiales cuya instalación no implica una transformación o cambio esencial de sus propiedades. Es el caso de los productos de madera, materiales textiles, recubrimientos para suelos y paredes, etc. El momento de máxima emisión de los materiales que se instalan secos suele ser cuando se sacan de sus envoltorios. Su comportamiento varía de unos a otros y así algunos, como los productos de madera en los que se han utilizado resinas de formaldehído, pueden emitir durante años y otros, como las moquetas con una base de látex, pueden tener inicialmente emisiones importantes que cesan pasados unos meses.

Materiales captadores

Se incluyen en este grupo aquellos materiales capaces de retener sustancias presentes en el aire en unas condiciones y de reemitirlos al variar éstas. Es el

comportamiento de materiales tales como productos de madera, de papel y, en especial, de los textiles, que retienen en sus superficies vapores y partículas en función de la concentración, volatilidad y polaridad de los mismos. Son responsables de la persistencia de olores a tabaco o comida, durante horas o días después de que haya tenido lugar la exposición y también de la retención de productos utilizados en la limpieza y mantenimiento de los edificios. La adsorción puede ser especialmente significativa cuando disminuye la temperatura y/o cesa de funcionar el sistema de ventilación mecánico, teniendo lugar la emisión al aumentar la temperatura y/o poner en marcha el sistema de ventilación.

Emisiones procedentes de materiales de construcción y decoración utilizados en el edificio

Los productos emitidos por los diferentes materiales dependen de su composición, del tipo de compuestos y de cómo se utilicen. En la tabla 4.7 se resumen las emisiones más significativas de los materiales más usados en un edificio en la fabricación de distintos componentes y elementos típicos. Los referentes a mobiliario y accesorios, tapicerías y cortinajes y paredes, techos y suelos se comentan a continuación.

Tabla 4.7.- Emisiones procedentes de materiales de construcción y de decoración utilizados en el edificio

TIPO DE MATERIAL	COMPUESTOS QUÍMICOS EMITIDOS
Madera prensada	
Tableros de aglomerado Tableros de contrachapado Cartón duro de densidad media Bastidores de construcción	Formaldehído, α-pineno, xilenos, butanol, acetato de butilo, hexanal, acetona
Acabados de madera	
Pinturas y tratamientos catalizados por ácidos	Formaldehído, acetona, tolueno, butanol
Tintes para madera	Nonano, decano, undecano, dimetiloctano, dimetilnonano, trimetilnonano, trimetilbenceno
Pintura de poliuretano	Nonano, decano, undecano, butanona, etilbenceno, dimetilbenceno
Pintura de látex	2-Propanona, butanona, etilbenceno, propilbenceno, 1,1-oxibisbutano, propionato de butilo, tolueno
Barnices para muebles	Trimetilpentano, dimetilhexano, trimetilhexano, trimetilheptano, etilbenceno, limoneno

Espumas para relleno	
De poliuretano	Toluendiisocianato (TDI)
Material textil	
Tapicerías y cortinajes	Formaldehído, cloroformo, metilcloroformo, tetracloroetileno, tricloroetileno
Materiales de construcción de paredes y techos	
Placas de yeso	Xilenos, acetato de butilo, isodecano, decano, formaldehído, n-hexano, 2-metilpentano, α-pineno, undecano, fibras
Másticos para juntas	Formaldehído, *n*-butanol, isobutanol, tolueno, etilbenceno, estireno, xilenos, nonano, 1,2,4-trimetilbenceno, undecano
Paneles de techo	Formaldehído
Impermeabilizaciones de látex	Metiletilcetona, propionato de butilo, 2-butoxietanol, butanol, benceno, tolueno
Impermeabilizaciones de otros tipos	Formaldehído, ácido acético, 2-butanona, tolueno, etilbenceno, xilenos, nonano, 1,2,4-trimetilbenceno, 1,3,5-trimetilbenceno, *n*-propilbenceno
Adhesivos a base de agua	Benceno, tolueno, cloruro de metileno, acetona, hexano, xilenos, acetato de etilo, 2-butanona, acetato de butilo
Recubrimientos de paredes	
Panelado de madera	Formaldehído, 1,1,1-tricloroetano, acetona, hexanal, propanol, 2-butanona, benzaldehído
Paneles de plástico/melamina	Formaldehído, fenol, hidrocarburos aromáticos, cetonas, heptaclor, éteres y ésteres de glicol
Recubrimientos vinílicos	Cloruro de vinilo, diisobutil ftalato, butilbencil ftalato, cloruro de bencilo
Panelado de cloruro de polivinilo	Fenol, hidrocarburos alifáticos, hidrocarburos aromáticos, éteres y ésteres de glicol
Papeles pintados	
Colas para empapelar	4-Cloro-*m*-cresol, polímero de acrilamida, poliacrilamida aniónica, carboximetilcelulosa, hidroxietilcelulosa, destilados de petróleo, *p*-cloro-*m*-cresol, poliacrilamida, urea
Pigmentos y pinturas	Glicoles, 2-butanona, metacrilato de metilo, tolueno

Papel pintado	Metanol, etanol, isopropanol, 2-butanona, dietilcetona, metilisobutilcetona, acetona, hidrocarburos alifáticos (C_9-C_{15}), acetatos de butilo y etilo, tolueno, xilenos
Pintado de paredes	
Pinturas (látex y base acuosa)	Benceno, tolueno, xileno, etanol, metanol, octano, decano, undecano, éteres de glicol, policlorobifenilo, dibutilftalato
Recubrimientos de suelos	
Moquetas	4-Fenilciclohexeno, formaldehído, 4-vinilciclohexeno, aminas, furanos, piridinas, disulfuro de dimetilo, tolueno, benceno, estireno, *n*-decano
Adhesivos para baldosas	Tolueno, benceno, acetato de etilo, etilbenceno, estireno
Adhesivos para moquetas	*m*-xileno, etilbenceno, *o*-xileno, tolueno, acetato de metilo, 2-cloro-1,3-butadieno, 1,2,4-trimetilbenceno, 1-metil-4-etiletilbenceno, metacrilato de metilo, 4-metil-2-pentanona
Baldosas vinílicas	Formaldehído, tolueno, metilciclohexano, heptano, isodecano, fenol, cetonas, 2,2,4-trimetil-1,3-pentanodiol-diisobutirato, fibras de amianto
Suelos de linóleo	Tolueno, hexanal, propanal, formiato de metilo
Suelos barnizados de madera	Acetato de butilo, acetato de etilo, etilbenceno, xileno, formaldehído

Productos de madera prensada

Su utilización en sustitución de los productos de madera natural está, por motivos económicos, muy extendida. Su aparición en el mercado europeo en los años sesenta y su introducción en la fabricación de muebles coincidió con el inicio de quejas, por parte de los usuarios, debidas a olores irritantes. El origen de estas emisiones irritantes está principalmente en las resinas, adhesivos y colas utilizados. Para la fabricación de los tableros de partículas se utilizan, por sus propiedades técnicas, resinas de formaldehído (urea-formaldehído y fenol-formaldehído) que son potenciales emisores de COV.

El COV más significativo es el formaldehído, aunque los muebles fabricados con tableros de partículas también pueden emitir otros COV nocivos para la salud.

En el mercado existen distintos tipos de materiales, utilizados para diferentes aplicaciones (muebles, estanterías, compartimentaciones), que se diferen-

cian en su composición y en el contenido en formaldehído libre. Según la norma UNE 56-724-86, los tableros de partículas se clasifican, según su contenido en formaldehído en 100 g de tablero absolutamente seco, en cuatro categorías, P_1, P_2, P_3 y P_4 correspondientes a unos contenidos de formaldehído de ≤ 10, ≤ 30, ≤ 45 y ≤ 100, respectivamente. En ambientes interiores es recomendable usar tableros de calidad P_1.

La emisión de formaldehído es mayor durante los primeros meses de su fabricación e instalación, disminuyendo de forma exponencial con el tiempo, aunque no se puede establecer una correlación determinada, ya que la emisión está afectada por factores ambientales como temperatura, humedad, actividades y cambios en la ventilación del edificio.

Acabados de la madera

En general los muebles de madera, ya sea para su protección o por motivos decorativos, se tratan con algún revestimiento. Destacan entre estos la aplicación de pinturas a base de poliuretano y de látex o con tratamientos catalizados por ácidos (basados en resinas de urea-formaldehído), los tintes y los barnices.

Muebles tapizados

En la fabricación de un mueble tapizado se utilizan, además de productos de madera, adhesivos y resinas, que pueden emitir los COV asociados a los mismos, material textil para el tapizado y espuma de poliuretano para el almohadillado, los cuales también pueden contribuir a la emisión de COV.

Las espumas de poliuretano pueden emitir suficiente toluendiisocianato (TDI) como para causar dificultades respiratorias en personas sensibilizadas. Los muebles tapizados también pueden liberar fenol. Todas estas emisiones disminuyen significativamente con el tiempo.

Tapicerías y cortinajes

En un edificio, los materiales textiles se utilizan como cortinajes, en el tapizado de muebles y paredes y recubrimientos de suelos (moquetas). Estos productos, tanto los que utilizan fibras naturales como sintéticas, están, a menudo, tratados químicamente para proporcionarles unas determinadas características relacionadas con su aspecto (consistencia, teñido o arrugas) o con sus propiedades (resistencia al fuego o ignifugación y repelencia al agua y a la suciedad). Esto implica la posible emisión de COV a partir de los productos aplicados en el tratamiento. Entre ellos destacan el formaldehído, que entra en la formulación de tintes y de aditivos para aportar rigidez y el percloroetileno utilizado en procesos de limpieza en seco de los tejidos.

Materiales de construcción

Entre los materiales utilizados para la construcción de paredes y techos destacan, por su potencial para emitir COV en los periodos próximos a su instalación, las placas de yeso, los paneles de material fibroso a base de resinas conteniendo formaldehído, los productos utilizados para su ensamblaje y unión y los utilizados para su instalación, impermeabilización y sellado.

Un caso especial es la utilización en la construcción de materiales naturales con un elevado contenido de radio o torio o de materiales, tales como ladrillo y hormigón, obtenidos a partir de productos básicos extraídos en zonas con elevadas concentraciones de radiación natural, lo que significa la posibilidad de liberación de radón, que es un compuesto cancerígeno, al ambiente interior en función de la porosidad del material y del acabado de la superficie.

Recubrimientos de paredes

A los acabados de yeso de las paredes se aplican materiales decorativos tales como paneles de madera, materiales plásticos que pueden contener resinas de poliestireno y urea-formaldehído, o baldosas vinílicas. Cada uno de ellos puede liberar productos al aire según su composición.

Papeles pintados

Generalmente la utilización de papeles pintados implica la utilización de una serie de materiales que aplicados en forma de capas pueden significar el paso al aire de COV procedentes de las tintas y los disolventes de impresión, las resinas, las colas, los plastificantes y los productos de acabado. En la actualidad los pigmentos inorgánicos han sido sustituidos por colorantes orgánicos y también cada vez se usan más tintas con base acuosa en lugar de tintas con disolventes.

Pinturas

Los recubrimientos aplicados con un vehículo líquido a paredes y techos para su protección, decoración o sellado emiten, a menudo, productos químicos durante y justo después de su aplicación, aunque estas emisiones pueden prolongarse en el tiempo a tasas reducidas, dependiendo de la forma de aplicación y del material.

Las pinturas, ya sean a base de agua, aceites o disolventes, son fuentes importantes de hidrocarburos, tanto aromáticos como alifáticos, y de alcoholes. Los disolventes utilizados como decapantes y para dilución y preparación de pinturas pueden contener cloruro de metileno. En concreto, la utilización de pinturas al agua se relaciona con la emisión de monómeros volátiles, aminas, amoníaco y formaldehído.

Moquetas

Pruebas realizadas en laboratorio demuestran que estos materiales pueden generar una importante emisión de COV que incluye hidrocarburos alifáticos y aromáticos así como derivados oxigenados. Un compuesto característico de la emisión de moquetas es el 4-fenilciclohexeno. Este producto, asociado al olor de moqueta nueva, se origina como subproducto en la fabricación del látex estireno-butadieno utilizado para unir las fibras textiles al soporte de yute.

Suelos vinílicos

Generalmente consisten en placas o baldosas fabricadas a partir de cloruro de polivinilo, o de un copolímero de cloruro de vinilo, un aglutinante de resinas vinílicas, un plastificante, cargas y pigmentos. Las placas de vinilo incorporan además capas intermedias de espuma y bases que pueden contener fibras dependiendo de las características del material. Los materiales vinílicos fabricados antes de 1987, al igual que los adhesivos utilizados en su instalación, contenían amianto, que puede liberar fibras al realizar trabajos de remodelación y mantenimiento e, incluso, por desgaste.

Suelos de linóleo

El linóleo se obtiene a partir de productos naturales: aceite de linaza, harina de madera, harina de corcho y yute. Para su fabricación, el aceite de linaza se oxida lentamente y se mezcla con resina natural de pino para formar un producto gelatinoso que se mezcla con madera y corcho y con pigmentos para colorearlo. Este material se deposita sobre una base de yute para formar placas y se procede a su curado en caliente. La oxidación es muy lenta y se prolonga en el tiempo formando enlaces químicos adicionales que añaden dureza al producto y que facilitan la emisión de COV al aire.

Suelos de madera (parqué)

El principal foco de emisión de un suelo de madera reside en la capa de urea-formaldehído o de poliuretano aplicada a la superficie, aunque los adhesivos utilizados para sujetar el parqué al suelo también pueden contribuir a la liberación de COV.

Los parqués barnizados emiten cantidades importantes de COV durante el tiempo de secado y durante los días siguientes a su aplicación.

Evaluación de los materiales utilizados

Dada la influencia que los materiales existentes pueden tener en la calidad de un aire interior, para evitar problemas, si es posible, se tendrán en cuenta las características de los materiales antes de seleccionarlos para su utilización en un ambiente interior. Para ello se tendrán en cuenta los aspectos que se comentan a continuación.

La emisión cualitativa de contaminantes

Es decir, la composición de la emisión esperada y en especial de los compuestos mayoritarios. Un caso especial es la presencia de amianto en materiales de construcción ya que para su reparación o retirada deberá realizarse un plan de trabajo regulado por la orden de 7 de enero de 1987, modificada por la orden de 26 de julio de 1993.

La emisión cuantitativa de contaminantes

Es decir, su potencial emisor de contaminantes que depende de la cantidad de material utilizado y de la fracción de constituyentes que se emitirán durante su vida útil.

Las características de la emisión

Conviene considerar si será rápida o lenta, a corto o largo plazo y cómo le afecta la temperatura y la humedad, teniendo en cuenta que cuanto más influencia sobre una emisión tengan las condiciones ambientales más posibilidades hay de que tenga lugar una exposición.

El impacto sobre la salud y el confort

Incluye toxicidad, irritación y olor.

El potencial para captar sustancias

Facilidad del material para retener compuestos y emitirlos más tarde al cambiar las condiciones ambientales.

Las necesidades de mantenimiento

Es importante conocer la frecuencia y los productos que deben utilizarse para un correcto mantenimiento del material, así como las implicaciones que su utilización o una inadecuada limpieza pueden tener sobre la calidad del aire.

La información disponible

Incluye datos sobre estudios realizados en condiciones de laboratorio desde el punto de vista de sus emisiones y comparaciones de los resultados obtenidos entre distintos materiales.

PRODUCTOS DE CONSUMO Y MANTENIMIENTO

Llegan continuamente al ambiente a través del propio usuario y como consecuencia de sus hábitos y de las distintas actividades realizadas. Dentro de los productos de consumo se incluyen: los que ya se han utilizado en la construcción, tales como pinturas, barnices, plásticos, adhesivos y disolventes; los

productos de uso personal, como cosméticos, desodorantes, colonias y lacas para el pelo; y los productos utilizados para el mantenimiento del edificio y de sus instalaciones, especialmente los utilizados para limpieza y conservación, que se comentan a continuación y entre los que destacan concretamente los productos de limpieza, ambientadores y plaguicidas.

Para evitar problemas de calidad de aire en un interior es importante llevar a cabo un mantenimiento continuado, independiente de la realización de obras por reforma del edificio. Las actividades destinadas a la limpieza en un edificio pueden crear problemas de calidad de aire al liberarse durante las mismas compuestos químicos; téngase en cuenta que la mayoría de productos de limpieza, ambientadores y plaguicidas utilizados emiten una serie de sustancias que pueden afectar tanto a los ocupantes del edificio como a los encargados de su mantenimiento.

En aquellos casos en que las operaciones de mantenimiento, limpieza, desinsectación o desinfección impliquen la aplicación de productos clasificados con algunas de las características de peligrosidad toxicológica, deberá establecerse un protocolo de aplicación basado en los conocimientos existentes y en las instrucciones o recomendaciones disponibles por parte de las autoridades sanitarias competentes. Estos protocolos deben incluir las instrucciones de aplicación, equipos de protección a emplear y tiempos de seguridad, cuando sean necesarios.

Los trabajadores encargados de la limpieza y los responsables de la aplicación de plaguicidas pueden ser los más afectados a la exposición de estos productos, tanto por inhalación como por vía dérmica, por lo que es recomendable utilizar concentraciones diluidas de estos productos o dispensadores para evitar la manipulación de soluciones concentradas. La utilización de productos en forma de aerosol puede ser especialmente delicada ya que las partículas pueden ser fácilmente inhaladas.

Estos productos también pueden afectar a los ocupantes del edificio ya que los compuestos volátiles pueden persistir en el ambiente durante tiempo y llegar a todas aquellas zonas servidas por el mismo sistema de renovación de aire. Un problema muy frecuente relacionado con los productos de limpieza y con los plaguicidas es que generalmente se utilizan cuando el edifico está desocupado, por la noche o durante el fin de semana que es cuando el sistema de renovación del aire está parado con lo cual no se elimina el producto y cuando el sistema se pone en marcha, coincidiendo con el retorno de sus ocupantes, los contaminantes circulan por todo el edificio con el consiguiente riesgo de exposición. Otra situación que se plantea a menudo es la regeneración del aerosol que tiene lugar (una vez depositadas las partículas sobre la superficie a la que va destinado) por el paso de personas u operaciones de limpieza llevadas a cabo sin considerar la previa aplicación del aerosol, generándose un nuevo aerosol que habitualmente no es tenido en cuenta y que puede ser el origen de una exposición no contemplada.

En la tabla 4.8 se resumen las emisiones más significativas de los productos más utilizados en el mantenimiento y limpieza de un edificio, entre los que destacan: productos de limpieza, ambientadores y plaguicidas.

TIPO DE PRODUCTO	COMPUESTOS QUÍMICOS EMITIDOS
Productos de limpieza	
Jabones y detergentes	Sulfato de alquil aril poliéter, alcohol sulfonatos, alquil fenol poliglicol éter, polietilenglicol alquil aril éter, alcoholes, alquil sodio isotianatos, formaldehído
Limpiadores universales (detergentes combinados, agentes antigrasa, disolventes y desinfectantes)	Amoniaco, acetato de monobutil etilenglicol, hipoclorito sódico
Desinfectantes	Fenol, cresol, hipoclorito sódico, sales de amonio cuaternario, formaldehído
Limpiacristales	Hidróxido amónico, amoníaco, isopropanol
Quitamanchas y limpia textiles	Tetracloroetileno, tricloroetileno, metanol, disolventes derivados del petróleo, benceno, tricloroetano
Limpiadores para aluminio	Ácido fluorhídrico
Disolventes para grasas	Tetracloruro de carbono, tolueno, xileno, tricloroetileno
Desengrasantes	Acetato de monobutil etilenglicol, etilenglicol monobutil éter
Pulimientos para muebles	Amoníaco, nafta, nitrobenceno, destilados de petróleo, fenol
Pulidores de suelos	Nitrobenceno
Limpiadores para aseos	Hipoclorito sódico, sulfato ácido de sodio
Aerosoles varios (propelente)	Propano, óxido nitroso, cloruro de metileno
Ambientadores y desodorizantes	
Sólidos	Naftaleno, *p*-diclorobenceno
Con perfume a limón	Limoneno
Con perfume a pino	α-pineno
Plaguicidas	
Principios activos	Clorpirifós, Diazinón, Propoxur, Lindano, Diclorvós, Bendiocarb, Piretroides

Tabla 4.8.- Emisiones procedentes de productos utilizados en el mantenimiento y limpieza de un edificio

Productos de limpieza

Estos productos contienen compuestos capaces de eliminar la suciedad y la grasa y de actuar como desinfectantes que son, a menudo, tóxicos e irritantes. Están incluidos en este grupo los limpiadores universales, los jabones y detergentes, los limpiacristales, etc.

Ambientadores

Aportan al aire concentraciones adicionales de COV con el objeto de obtener un olor agradable o de «eliminar» uno existente que resulta desagradable. Generalmente lo que hacen es interferir con la capacidad de oler aislando las terminaciones nerviosas, recubrir el conducto nasal con una fina capa aceitosa o enmascarar un olor con otro más intenso.

Plaguicidas

Los productos utilizados para exterminar insectos o roedores también son tóxicos para el ser humano por lo que una exposición a los mismos puede tener efectos graves para la salud que van desde irritación de mucosas hasta efectos sistémicos, dependiendo de la concentración a la que se esté expuesto.

Estos productos constan de unos ingredientes *activos* que suelen estar en un 0,5-5% del volumen total, y que son los que tienen las propiedades para actuar contra la plaga, y unos ingredientes *inertes* que facilitan su dispersión. Los compuestos activos son generalmente compuestos orgánicos semivolátiles (COSV) que no se evaporan tan fácilmente como los COV y que por lo tanto pueden permanecer en el ambiente, ya sea en el aire o adheridos a las superficies o al polvo, durante largos periodos de tiempo, meses o incluso años. En cuanto a la fracción inerte, la mayoría son COV que pueden tener efectos sobre la salud y que, en general, permanecen en el aire por lo menos durante 24 horas después de su aplicación.

EQUIPOS E INSTALACIONES

Dependiendo de las actividades que se desarrollen, en los edificios pueden encontrarse unos determinados contaminantes. A título de ejemplo, en una oficina pueden encontrarse, en función del tipo de actividades y de los aparatos existentes, los productos que se relacionan en la tabla 4.9.

En los centros hospitalarios, además de una contaminación química general inespecífica, pueden encontrarse unos compuestos concretos como consecuencia del amplio uso de productos químicos. Estos deben controlarse, si es posible, en los puntos o áreas en que se utilizan, evitando su acceso a otras zonas

TIPO DE FUENTE	COMPUESTOS QUÍMICOS EMITIDOS
Fotocopiadoras de proceso en seco	Hidrocarburos, materia particulada respirable, ozono
Fotocopiadora de proceso húmedo	Hidrocarburos alifáticos, xileno, 2,2,4-trimetiloctano, hidrocarburos ramificados (C_{10}-C_{11}), nitropireno, ftalatos, isocianatos, ozono.
Computadoras, impresoras, máquinas de fax	1,2-dicloroetano, benceno, cloroformo, etilbenceno, metilcloroformo, estireno, tetracloroetileno, tricloroetileno.

Tabla 4.9.- Emisiones procedentes de equipos de oficina

a través del sistema de renovación de aire. Como ejemplo se podrían citar: anestésicos (protóxido de nitrógeno o compuestos halogenados tipo isofurano) procedentes de áreas quirúrgicas, fenol y glutaraldehído en endoscopias, óxido de etileno en esterilización, formaldehído en anatomía patológica y autopsias, ácido acético en radiología, cloro proveniente de la utilización de hipoclorito en zonas de limpieza especial y disolventes en los laboratorios.

En las escuelas y centros de formación suele haber aulas taller y laboratorios en los que se utilizan productos químicos (disolventes, colas, reactivos, etc.), dependiendo de la actividad.

Finalmente, cualquier edificio puede estar afectado por la presencia de compuestos metálicos procedentes generalmente de fuentes exteriores, como es el caso del plomo, aunque también el sistema de ventilación/climatización puede liberar aerosoles metálicos. También algunos contaminantes presentes en los suelos que rodean los edificios pueden infiltrarse a través de grietas en los cimientos, como es el caso del radón que puede, además, formar parte de los materiales de construcción. (Ver el capítulo 5).

DETERMINACIÓN Y VALORACIÓN DE LOS CONTAMINANTES QUÍMICOS

Como se ha comentado, la contaminación química en un aire interior no industrial muestra varias características que lo diferencian del aire exterior, o aire atmosférico, y del aire del medio ambiente industrial y que van a condicionar la metodología a aplicar en su determinación. En general, el número de contaminantes presentes en un aire interior no industrial es amplio y variado y los niveles de concentración son bajos, con excepción de aquellos casos en que exista una generación importante por una actividad concreta o haya una ventilación muy insuficiente, y varían según las condiciones atmosféricas/climatológicas, el tipo o características del edificio, su ventilación y las actividades desarrolladas en su interior.

Análisis

Gran parte de la metodología utilizada para estimar la calidad del aire interior deriva de la Higiene Industrial y de determinaciones de inmisión del aire atmosférico. Existen pocos métodos analíticos específicamente validados para este tipo de análisis, aunque algunas organizaciones como la OMS y la EPA están realizando investigaciones en este campo. Una dificultad adicional para un amplio desarrollo de metodología es la escasez de datos sobre la relación exposición-efecto cuando se trata de exposiciones prolongadas a bajas concentraciones de contaminantes, lo que dificulta el establecimiento de criterios de valoración y, en consecuencia, de normativa específica al efecto.

Los métodos analíticos utilizados en Higiene Industrial están establecidos para unos contaminantes definidos y diseñados para determinar concentraciones relativamente elevadas, acordes con los límites ambientales existentes, mientras que el número de contaminantes en el interior puede ser muy amplio y variado y los niveles de concentración, salvo en ciertos casos, suelen ser mucho más bajos. La mayoría de los métodos empleados en Higiene Industrial están basados en una toma de muestras y su análisis y muchos de ellos pueden aplicarse al aire interior si se consideran una serie de factores tales como ajustarlos a los niveles habituales en el aire interior aumentando su sensibilidad sin reducir la precisión (por ejemplo, aumentando el volumen de aire muestreado) y someterlos a un nuevo proceso de validación. La utilización de muestreadores por difusión, para la determinación de contaminantes presentes de manera residual o de generación constante, es cada vez más extensa.

En cuanto a los métodos analíticos utilizados para determinar las concentraciones de contaminantes en el aire atmosférico, algunos de ellos son similares a los empleados para el aire interior, de forma que pueden utilizarse directamente, sobre todo los que están diseñados para una lectura directa, mientras que otros pueden adaptarse con facilidad. Ahora bien, es importante tener en cuenta que algunos métodos requieren una instrumentación voluminosa y, en ocasiones, ruidosa y, además, utilizan grandes volúmenes de aire para la toma de muestra, lo que puede distorsionar el resultado obtenido al aplicarse a un espacio interior.

Planificación de las determinaciones

Para mejorar la calidad del aire interior puede utilizarse el procedimiento tradicional en el campo del control ambiental en el lugar de trabajo, que consiste en identificar y cuantificar un problema, proponer medidas correctoras, asegurarse de que se ponen en práctica estas medidas y valorar su eficacia después de un periodo de tiempo. Se trata de un procedimiento habitual, aunque ello no signifique que siempre sea el más adecuado, ya que a menudo suele ocurrir que no es necesaria una evaluación tan exhaustiva mediante la

toma de numerosas muestras. Las medidas exploratorias, que pueden variar desde una exploración visual al análisis del aire ambiente por métodos de lectura directa, y que pueden proporcionar una concentración aproximada de contaminantes, son suficientes para resolver muchos de los problemas existentes. Una vez que se han tomado las medidas correctoras, pueden evaluarse los resultados con una segunda determinación, y sólo cuando no existe una clara evidencia de mejoría se realizará una investigación más exhaustiva (con determinaciones en profundidad) o un estudio analítico completo.

Las principales ventajas de este procedimiento sobre el método más tradicional son el coste, la rapidez y la eficacia, pero requiere personal competente y con experiencia y la utilización de equipo apropiado. En la tabla 4.10 se resumen los objetivos de las diferentes fases de este procedimiento.

Tipo de medición	**Objetivo**
Medición exploratoria	Revisión de la situación ambiental Detección de las condiciones adversas obvias Acciones correctoras Preparación de mediciones de fondo
Medición en profundidad	Aclaración detalla de los problemas ambientales Producción de datos como base para actuar Desarrollo de nuevas técnicas Mejoras de métodos
Mediciones de comprobación	Evaluación de las acciones tomadas Cumplimiento de los valores recomendados

Tabla 4.10.- Planificación de las mediciones

Estrategia de la toma de muestras

El control analítico de la calidad del aire interior debe considerarse como un último recurso a aplicar cuando la inspección previa de exploración no proporciona resultados positivos, o en el caso de que sea necesaria una evaluación o un control de las acciones tomadas inicialmente.

Suponiendo un cierto conocimiento previo de las fuentes de contaminación y de los tipos de contaminantes, las muestras, incluso cuando se trate de un número limitado, deben ser representativas de los diversos espacios estudiados. La toma de muestras debe planificarse para responder a las preguntas: ¿Qué?, ¿Cómo?, ¿Dónde? y ¿Cuándo?.

Qué

Los contaminantes a determinar deben ser, en la medida de lo posible, identificados de antemano y, considerando los diferentes tipos de información que

pueden obtenerse, debe decidirse si realizar una determinación de *emisión* o de *inmisión*.

Las determinaciones de emisión para la evaluación de la calidad del aire interior permiten conocer la influencia de las diferentes fuentes de contaminación, de las condiciones climáticas, de las características del edificio y de la intervención humana, lo que permite controlar o reducir las fuentes de emisiones y mejorar la calidad del aire interior. Existen diferentes técnicas para realizar este tipo de determinación: colocar un sistema de captación junto a la fuente de emisión, definir un área de trabajo limitada y estudiar las emisiones como si representaran las condiciones reales de trabajo o trabajar en condiciones forzadas aplicando sistemas equivalentes a la técnica del espacio de cabeza.

Las determinaciones de inmisión permiten establecer el nivel de contaminación del aire interior en las diferentes áreas del edificio divididas en compartimentos, haciendo posible la creación de un mapa de la contaminación de todo el conjunto. Utilizando estas determinaciones, identificando las diferentes áreas en las que las personas han realizado sus actividades y calculando el tiempo que han pasado realizando cada tarea será posible hacer una estimación de los niveles de exposición. Otra forma de llevarlo a cabo es hacer que los trabajadores lleven dispositivos de control durante el trabajo.

Si el número de contaminantes es amplio y variado, puede ser más práctico seleccionar algunas sustancias indicativas de forma que la determinación sea representativa y no resulte demasiado cara.

Cómo

La selección del tipo de medición dependerá del método disponible (de lectura directa o de toma de muestras y análisis) y de la técnica de medición (emisión o inmisión).

Dónde

El lugar elegido debe ser el más apropiado y representativo para la obtención de las muestras. Para ello debe conocerse, lo mejor posible, el edificio que se está estudiando: su orientación con respecto al sol, el número de horas que recibe luz solar directa, el número de pisos que tiene, el tipo de división en compartimentos, si la ventilación es natural o forzada, si las ventanas son practicables, etc. También es necesario conocer el origen de las quejas y de los problemas; por ejemplo ver si éstos se producen en los pisos superiores o inferiores, o en las áreas próximas o distantes a las ventanas, o en las áreas con una ventilación o iluminación deficientes, entre otras posibilidades. La selección del lugar más adecuado para tomar las muestras debe basarse en toda la información disponible con respecto a los criterios anteriormente mencionados.

Cuándo

Decidir cuándo realizar las determinaciones dependerá de cómo se prevé que cambien las concentraciones de los contaminantes en el aire con el tiempo. En la práctica, los problemas de contaminación pueden detectarse inicialmente por la mañana a primera hora, durante la jornada de trabajo o al final del día; al comienzo o al final de la semana; durante el invierno o el verano; cuando el aire acondicionado está conectado o desconectado; o bien en otros momentos.

Para abordar estos aspectos correctamente debe conocerse la dinámica del ambiente interior en cuestión. También debe estar claramente definido el objetivo del muestreo y el tipo de contaminantes que interese investigar. Debe recordarse que en la dinámica del ambiente interior influyen la diversidad y variabilidad de las fuentes de contaminación, las diferencias físicas de los espacios estudiados, el tipo de compartimentación, el tipo de ventilación y climatización utilizada, las condiciones atmosféricas exteriores (viento, temperatura, estación del año, etc.) y las características del edificio (número de ventanas, su orientación, etc.).

Los objetivos de las determinaciones definirán si la toma de muestras debe llevarse a cabo durante intervalos de tiempo cortos o largos. Si se cree que los efectos de los contaminantes en cuestión sobre la salud son prolongados, deben determinarse las concentraciones promedio durante períodos largos de tiempo. Para las sustancias con efectos agudos pero no acumulativos, como los irritantes, basta realizar determinaciones durante periodos cortos de tiempo. Si se sospechan emisiones intensas de corta duración, se requerirán tomas de muestra frecuentes durante periodos cortos para detectar el tiempo de emisión. Con todo, no debe olvidarse que en muchos casos las opciones para utilizar uno u otro tipo de método de toma de muestras depende de los métodos analíticos disponibles o exigidos.

Si después de considerar todas estas cuestiones no queda suficientemente claro cuál es el origen del problema o cuándo éste tiene una mayor incidencia, la decisión con respecto a cuándo y dónde tomar muestras deberá realizarse al azar, calculando su número en función de la fiabilidad y el coste de las mismas.

Técnicas de determinación

Los métodos disponibles para la toma de muestras y análisis en ambiente interior pueden agruparse en dos tipos: métodos basados en una lectura directa y métodos en los que se toman muestras para su posterior análisis.

Los métodos de lectura directa son aquellos en los que la toma de muestras y la determinación de la concentración es simultánea; son, por tanto, rápidos y la determinación es instantánea, por lo que permiten obtener datos

precisos y puntuales con un coste relativamente bajo. Entre estos métodos se incluyen los *tubos colorimétricos* y *los monitores específicos.*

El uso de tubos colorimétricos se basa en el cambio de color de un reactivo específico al entrar en contacto con un contaminante concreto. Los más utilizados son los tubos que contienen un reactivo sólido a través del cual se hace pasar el aire mediante una bomba manual. Su utilización en calidad de aire interior sólo es útil para determinaciones de exploración y para determinar emisiones esporádicas, ya que su sensibilidad suele ser baja, salvo para algunos contaminantes como CO y CO_2 que pueden estar en aire interior a concentraciones incluidas en los márgenes de trabajo habituales de estos tubos. Es importante tener en cuenta que su precisión es baja y que a menudo existen interferencias con otros contaminantes; en todo caso es siempre recomendable consultar las instrucciones específicas de uso.

En el caso de los monitores específicos, la detección de contaminantes se basa en principios físicos, eléctricos, térmicos, electromagnéticos y quimioelectromagnéticos. La mayoría de los monitores de este tipo disponibles actualmente pueden utilizarse tanto para realizar determinaciones de corta duración como también de larga duración y obtener, así, un perfil de la evolución de la contaminación en un lugar concreto a lo largo del tiempo. Su precisión viene dada por los respectivos fabricantes, y su uso correcto requiere calibraciones periódicas mediante atmósferas controladas o mezclas de gases de composición certificada. La precisión y sensibilidad de los monitores es cada vez mayor. Muchos de ellos disponen de memoria interna para almacenar las lecturas, que posteriormente pueden transferirse a ordenadores para la creación de bases de datos y para facilitar una organización y recuperación sencilla de los resultados.

Los métodos de toma de muestras y análisis pueden clasificarse en *activos* (o dinámicos) y *pasivos*, dependiendo de la técnica.

Con los *sistemas activos* los contaminantes pueden captarse haciendo pasar el aire a través de un soporte en el que se atrapa el contaminante, concentrando así la muestra. El proceso de captación se lleva a cabo con filtros, sólidos adsorbentes y soluciones absorbentes o reactivas, colocadas en borboteadores o impregnadas en un material poroso, a través de los cuales se hace pasar el aire; a continuación se analizan los contaminantes o los productos de reacción. Para el análisis de las muestras de aire obtenidas con sistemas activos se requiere un captador, una bomba para mover el aire y un sistema para medir el volumen de aire muestreado, bien directamente o bien utilizando datos sobre el caudal y el tiempo de muestreo y habiendo realizado siempre una calibración previa.

El caudal y el volumen de aire muestreado se especifican en los métodos de referencia o deben determinarse mediante ensayos previos, y dependen de la cantidad y del tipo de absorbente o adsorbente utilizado, de los contaminantes que se están midiendo, del tipo de medición (emisión o inmisión)

y de las condiciones ambientales durante la toma de la muestra (humedad, temperatura, presión). No hay que olvidar que la eficacia de captación aumenta al disminuir el caudal de aire que pasa por el soporte o al aumentar la cantidad de captador utilizado, bien directamente o colocando captadores en serie.

Otro tipo de muestreo activo es la toma directa de aire en una bolsa o en otro tipo de contenedor inerte, impermeable y hermético. Este tipo de toma de muestras se utiliza para algunos gases (CO, CO_2, H_2S, O_2) y resulta útil como una medida de exploración cuando se desconoce el tipo de contaminante presente en el aire. El inconveniente es que, al no concentrar la muestra, la sensibilidad puede ser insuficiente, por lo que puede ser necesario un procesamiento más complejo en el laboratorio para aumentar la concentración.

Los *sistemas pasivos* captan los contaminantes por difusión o permeación sobre un soporte de retención que puede ser un adsorbente sólido, bien solo o impregnado con un reactivo específico. Son sistemas más cómodos y sencillos de manejar que los sistemas activos ya que no precisan bombas para tomar la muestra ni personal especializado. Los tiempos de muestreo pueden ser muy largos y los resultados obtenidos son concentraciones medias por lo que son métodos que no sirven para medir concentraciones pico; en los casos en que interesen estos valores máximos deben utilizarse sistemas activos. Para emplear correctamente sistemas pasivos es importante conocer la velocidad de captación de cada contaminante, que depende del coeficiente de difusión del gas o vapor y del diseño del monitor y que es suministrada, de manera certificada, por el fabricante.

En la tabla 4.11 se muestran las características más destacables de cada método de muestreo y en la tabla 4.12 se resumen los diferentes métodos utilizados para la determinación de algunos de los contaminantes más significativos en aire interior.

Características	**Activos**	**Pasivos**	**Lectura directa**
Mediciones puntuales	+		+
Mediciones de larga duración		+	+
Monitorización			+
Concentración de la muestra	+	+	
Medida de inmisión	+	+	+
Medida de emisión	+	+	+
Respuesta inmediata			+
+Significa que el método es adecuado para la determinación o los criterios de determinación deseados			

Tabla 4.11.- Métodos de toma de muestras

Contaminante	Lectura directa	Métodos de toma de muestras			Análisis
		Captación por difusión	Captación por concentración	Captación directa	
Monóxido de carbono	Célula electroquímica Espectroscopía de infrarrojos			Bolsa o contenedor inerte	CG[a]
Ozono	Quimioluminiscencia		Borboteador		UV-Vis[b]
Dióxido de azufre	Célula electroquímica		Borboteador		UV-Vis
Dióxido de nitrógeno	Quimioluminiscencia Célula electroquímica	Filtro impregnado con un reactivo	Borboteador Sólidos adsorbentes	Bolsa o contenedor inerte	UV-Vis
Dióxido de carbono	Espectroscopia de infrarrojos			Bolsa o contenedor inerte	CG
Formaldehído	-	Filtro impregnado con un reactivo	Borboteador Sólidos adsorbentes		CLAR[c] Polarografía UV-Vis
COV	CG portátil	Sólidos adsorbentes	Sólidos adsorbentes	Bolsa o contenedor inerte	CG (DCE[d]-DIL[e] DNP[f]-DFI[g]) CG-EM[h]
Plaguicidas	-		Sólidos adsorbentes Borboterador Filtro Combinaciones		CG (DCE-FL[i] DNP) CG-EM
Partículas	-	Sensor óptico	Filtro	Impactador Ciclón	Gravimetría Microscopía

- = Método no adecuado para el contaminante
[a] CG = cromatografía de gases.
[b] UV-Vis = espectrofotometría ultravioleta visible.
[c] CLAR =cromatografía líquida de alta resolución.
[d] DCE = detector de captura de electrones.
[e] DIL = detector de ionización de llama.
[f] DNP = detector de nitrógeno/fósforo.
[g] DFI = detector de fotoionización.
[h] EM = espectrometría de masas.
[i] DFL = detector fotométrico de llamas.

Tabla 4.12.- Métodos para la determinación de contaminantes en aire interior

Selección del método a utilizar

Para elegir el mejor método de muestro, en primer lugar debe determinarse si existen métodos validados para los contaminantes en estudio y comprobar que se dispone de los instrumentos y materiales apropiados para su captación y análisis. Es necesario conocer de antemano la sensibilidad requerida para el estudio, así como disponer de información sobre las posibles interferencias que pueden presentarse en la determinación en función del método elegido. Evidentemente también es importante conocer el coste de la determinación.

La estimación de las concentraciones mínimas de lo que se espera medir resulta muy útil al evaluar la idoneidad del método que se va a utilizar. La

concentración mínima requerida está directamente relacionada con la cantidad de contaminante que puede recogerse considerando las condiciones de captación especificadas por el método empleado; es decir, el tipo de sistema utilizado, la duración de la toma de muestras y el volumen de aire a muestrear. Esta cantidad mínima, que es la que determina la sensibilidad requerida por el método analítico utilizado, se puede calcular a partir de datos de referencia publicados para un contaminante o grupo de contaminantes específico, siempre que estos datos se hayan obtenido mediante un método similar al que se vaya a utilizar. Por ejemplo, si en el área en estudio se encuentran generalmente unas concentraciones de hidrocarburos del orden de 30 $\mu g/m^3$, el método analítico empleado debe permitir la determinación de estas concentraciones sin dificultad. Así, si la muestra se obtiene con un tubo de carbón activo durante 4 horas y con un caudal de 0,5 l/min, la cantidad de hidrocarburos recogida en la muestra se calcula multiplicando la concentración de la sustancia en aire por el tiempo de muestreo y el caudal de aire de captación. En el ejemplo anterior, esto equivale a:

$$\mu g \text{ de hidrocarburos} = 30\ \mu g/10^3 l \times 4 \times 60 \text{ min} \times 0{,}5 \text{ l/min} = 3{,}6\ \mu g.$$

En principio, podría utilizarse cualquier método analítico para hidrocarburos que permita, como mínimo, determinar dicha cantidad.

Otra estimación podría calcularse a partir del límite máximo establecido como límite permisible para aire interior con respecto al contaminante que se está determinando. Si estos valores no existen y no se conocen tampoco los niveles de concentración habituales en aire interior ni la tasa de emisión del contaminante, pueden emplearse aproximaciones basadas en los niveles potenciales del contaminante que pueden afectar de forma negativa a la salud. El método analítico elegido debe ser capaz de medir el 10% del valor límite establecido o de la concentración mínima que puede afectar a la salud. Aun si el método de análisis elegido tiene un grado de sensibilidad aceptable, es posible encontrar concentraciones de contaminantes inferiores al límite de detección del método. Esto es algo que debe tenerse en cuenta cuando se calculen concentraciones promedio. Por ejemplo, si de diez determinaciones realizadas tres de ellas están por debajo del límite de detección, deberán calcularse dos promedios: uno asignando el valor de cero a estas tres mediciones y otro asignándoles el límite de detección, lo cual proporciona un promedio mínimo y un promedio máximo. El promedio real se encontrará entre estos dos valores.

Como ya se ha expuesto, el número de contaminantes en aire interior es elevado y éstos se encuentran presentes en concentraciones bajas; la metodología disponible se basa en la adaptación de métodos utilizados para controlar la calidad del aire atmosférico o exterior y la del aire del medio ambiente

industrial; la adaptación de estos métodos para el análisis del aire interior implica cambiar el margen operativo del método, cuando esto es posible, utilizando tiempos de muestreo más largos y cantidades mayores de absorbentes o de adsorbentes. Todos estos cambios son apropiados cuando no conllevan una pérdida de fiabilidad o de precisión.

De manera general puede afirmarse que la determinación de una mezcla de contaminantes suele ser cara y los resultados obtenidos imprecisos. En muchos casos, lo único que se garantiza es la obtención de un perfil de contaminación que indica el nivel de contaminación durante los intervalos de muestreo, en comparación con un aire considerado "limpio", con el aire exterior o con el aire existente en otros espacios interiores. Los monitores de lectura directa se utilizan para controlar el perfil de contaminación, pero pueden no ser adecuados si son demasiado grandes o ruidosos. Actualmente se están diseñando monitores más pequeños y más silenciosos con una mayor precisión y sensibilidad. En la tabla 4.13 se muestra un esquema del estado actual de los métodos utilizados para medir los diferentes tipos de contaminantes.

Los métodos activos son los más empleados para el análisis de gases, utilizando para la captación soluciones absorbentes, adsorbentes sólidos o tomando directamente una muestra de aire con una bolsa u otro recipiente hermético e inerte. En la captación de gases, para prevenir la pérdida de parte de la muestra y aumentar la eficacia de captación, el caudal de muestreo debe ser menor y la cantidad de absorbente o adsorbente utilizado debe ser mayor que

Contaminante	Monitor de lectura directa	Toma de muestra y análisis
CO	++	+
CO_2	++	+
NO_2	+	++
Formaldehído	-	++
SO_2	+	++
O_3	++	+
COV	+	++
Pesticidas	-	++
Partículas	+	++

++ = utilizado con gran frecuencia
+ = utilizado con menor frecuencia
- = no aplicable

Tabla 4.13.- Métodos actualmente más utilizados para el análisis de contaminantes químicos

para otros tipos de contaminantes. También deben tomarse precauciones al transportar y almacenar la muestra, conservándola a baja temperatura y reduciendo al máximo el tiempo transcurrido hasta su análisis. Los métodos de lectura directa se utilizan, en la actualidad, con gran frecuencia para medir gases, ya que los monitores modernos han mejorado mucho sus prestaciones, siendo más sensibles y precisos. Debido a su facilidad de uso y al nivel y el tipo de información que proporcionan, están sustituyendo de forma progresiva a los métodos tradicionales de análisis.

A título de ejemplo, en la tabla 4.14 se muestran los niveles mínimos de detección para cuatro gases considerando el método de muestreo y el análisis utilizado.

Contaminante	Monitor de Lectura directa	Toma de muestras y análisis activo/pasivo
CO	1 ppm	0,05 ppm
NO_2	2 ppb	1,5 ppb (1 semana)*
O_3	4 ppb	5 ppb
Formaldehído	-	5 ppb (1 semana)

[a] Los monitores de CO_2 que usan espectroscopía de infrarrojos son siempre suficientemente sensibles.
* Monitores pasivos (tiempo de exposición)

Tabla 4.14.- Límites de detección de algunos gases mediante monitores aplicables a CAI[a]

Procedimientos específicos

Monóxido y dióxido de carbono

Se determinan utilizando monitores de lectura directa con detección electroquímica o por infrarrojos, aunque estos últimos no son muy sensibles para el monóxido de carbono. También pueden medirse tomando las muestras de aire directamente con bolsas inertes y analizándolas por cromatografía de gases con un detector de ionización de llama, transformándolos a metano mediante una reacción catalítica previa a su detección. El detector de conductividad térmica suele tener sensibilidad suficiente para la determinación de las concentraciones habituales de CO_2 pero no para las de CO.

Dióxido de nitrógeno

Se han desarrollado diversos métodos para la determinación de NO_2 en aire interior que utilizan monitores pasivos y análisis posterior. El más conocido es el tubo de Palmes que consiste en un filtro impregnado con trietanolamina el cual se analiza posteriormente por espectrofotometría. También se han

desarrollado monitores portátiles con detección en tiempo real basados en la reacción de quimiluminescencia entre el NO_2 y el luminol, aunque los resultados obtenidos con este método pueden ser modificados por la temperatura y su linealidad y sensibilidad dependen de las características de la solución de luminol utilizada. Los monitores de lectura directa con sensores electroquímicos poseen una sensibilidad mayor, pero pueden sufrir interferencias con los compuestos sulfurados.

Dióxido de azufre

Para determinar SO_2 en un ambiente interior pueden utilizarse métodos espectrofotométricos. El sistema más generalizado es por borboteo del aire a través de una solución absorbente de agua oxigenada 0,3 N, ajustada a pH 5, que oxida el SO_2 a ácido sulfúrico. Otro método consiste en hacer borbotear la muestra de aire a través de una solución de tetracloromercuriato potásico para formar un complejo estable que se mide espectrofotométricamente previa reacción con la pararosanilina. Otros métodos se basan en la fotometría de llama y en la fluorescencia ultravioleta pulsante. También existen otros métodos con derivatización previa y análisis espectroscópico. Este tipo de detección se viene empleando en los monitores de aire exterior, aunque no es muy adecuado para aire interior por su falta de especifidad y porque con frecuencia se requiere un sistema de extracción para eliminar los productos que generan. Debido a que las emisiones de SO_2 se han reducido enormemente y a que este compuesto no es considerado un contaminante importante del aire interior, el desarrollo de monitores para su determinación no ha avanzado mucho.

Ozono

El ozono sólo puede encontrarse en ambientes interiores en situaciones especiales en las que se genera de forma continua, ya que se degrada rápidamente. Se determina mediante métodos de lectura directa, tubos colorimétricos y monitores de quimiluminiscencia. También puede determinarse por métodos utilizados en Higiene Industrial, mediante toma de muestra con una solución absorbente de yoduro potásico en medio neutro y análisis espectrofotométrico, que son totalmente adaptables a aire interior.

Formaldehído

El formaldehído es un contaminante muy significativo del aire interior y por sus características químicas y toxicológicas se aconseja su valoración individualizada. Existen diferentes métodos para la determinación de formaldehído en aire, todos ellos basados en la toma de muestras, con captación activa o pasiva y análisis posterior. El método más adecuado en cada caso dependerá del tipo de muestra (emisión o inmisión) y de su sensibilidad. Los métodos tradicionales se basan en la obtención de una muestra mediante

borboteo del aire a través de agua destilada o de una solución al 1% de bisulfito sódico y posterior análisis por métodos espectrofotométricos. Las muestras deben mantenerse a 5°C y analizarse lo antes posible. El fenol y otros aldehídos, componentes del humo de tabaco, pueden interferir en el análisis. Cada vez se utilizan con mayor frecuencia para el análisis de formaldehído en aire interior sistemas activos y pasivos que utilizan adsorbentes sólidos impregnados; constan de una base que puede ser un filtro o un sólido saturado con un reactivo como el bisulfito sódico o la 2,4-difenilhidrazina. En este último caso la determinación se lleva a cabo por Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC). Los métodos pasivos, además de las ventajas generales propias del método, permiten aumentar el tiempo de muestreo y conseguir una mayor sensibilidad.

Compuestos orgánicos volátiles (COV)

Los métodos utilizados para la medida o monitarización de los vapores orgánicos en aire interior deben reunir una serie de características: tener una sensibilidad del orden de partes por billón (ppb) a partes por trillón (ppt) (v/v), los instrumentos utilizados para tomar la muestra o realizar la lectura directa deben ser portátiles y fáciles de manejar y los resultados obtenidos deben ser precisos y reproducibles. Hay gran variedad de métodos que cumplen estos criterios pero los que tienen mayor aplicación en aire interior son los basados en la toma de muestras y análisis. Existen métodos de lectura directa mediante cromatógrafos de gases portátiles con diferentes detectores. Se trata de instrumentos caros, de manejo difícil y que requieren personal cualificado para su utilización. El carbón activo ha sido tradicionalmente el adsorbente más utilizado en los métodos de toma de muestra activos y pasivos para compuestos orgánicos polares y no polares con un punto de ebullición entre 0°C y 300°C. También se utilizan otros materiales dependiendo de la volatilidad y polaridad de los compuestos orgánicos a analizar (ver tabla 4.3), destacando las resinas poliméricas o polímeros porosos, como el Tenax GC, XAD-2 y el Ambersorb. De todos ellos el de más amplia aplicación es el Tenax. Las muestras tomadas con carbón activo se extraen con disulfuro de carbono y se analizan por cromatografía de gases con un detector de ionización de llama, captura de electrones (para compuestos específicos) o espectrometría de masas, seguido de un análisis cualitativo y cuantitativo. Las muestras obtenidas con Tenax se extraen, generalmente, mediante desorción térmica con helio y se condensan con una trampa fría de nitrógeno líquido antes de introducirlas en el cromatógrafo de gases, existiendo instrumentos que realizan el proceso de forma automatizada. Otro método también utilizado es la toma de muestras directa, mediante bolsas o recipientes inertes, introduciéndose directamente el aire en el cromatógrafo de gases o bien concentrando primero la muestra mediante un adsorbente y una trampa fría. Los límites de detección de estos métodos dependen del compuesto analizado, del volumen de muestra tomado,

de la contaminación de fondo y de los límites de detección del instrumento empleado, aunque, de un modo general, puede afirmarse que no suelen existir problemas en este sentido. Debido a que es imposible cuantificar todos y cada uno de los compuestos presentes, la cuantificación suele realizarse por familias empleando como referencia compuestos característicos de cada una de ellas. En la determinación de COV en el aire interior es muy importante la pureza de los disolventes empleados. Si se trabaja con desorción térmica también es importante la pureza de los gases y la ausencia de contaminación ambiental por COV en el laboratorio.

Pesticidas

Los métodos empleados habitualmente para la determinación de pesticidas en aire interior consisten en la toma de muestras mediante adsorbentes sólidos, aunque no se descarta el uso de borboteadores y sistemas mixtos. Tradicionalmente el adsorbente sólido más utilizado ha sido el polímero poroso Chromosorb 102, aunque cada vez es más frecuente el uso de espumas de poliuretano (EPU) que permiten la captación de un número de pesticidas más amplio. Los métodos de análisis varían según el método de muestreo y el pesticida que se quiera determinar. En general se analizan por cromatografía de gases con diferentes detectores específicos, desde captura de electrones hasta espectrometría de masas. La capacidad de este último método para identificar compuestos es considerable. Un problema adicional que presenta la determinación analítica de estos compuestos es la contaminación del material de vidrio y de los sistemas de toma de muestras con trazas de bifenilos policlorados (PCB), ftalatos o pesticidas, especialmente en el caso de los clorados.

Polvo ambiental o partículas

Para la captación y análisis de partículas y fibras en aire se dispone de gran variedad de técnicas y equipos aplicables a calidad de aire interior. Los monitores que permiten una lectura directa de la concentración de partículas en aire emplean detectores de luz difusa, mientras que los métodos basados en la toma de muestras y análisis emplean la pesada o el examen al microscopio.

Para el análisis de polvo ambiental se requiere, a veces, un separador, como un ciclón o un impactador, para eliminar las partículas de mayor tamaño, previo al filtro en el que se realiza la captación. Los métodos que emplean un ciclón tienen una buena precisión, pero requieren unos caudales de captación bajos, lo que implica tiempos de toma de muestras largos. Los monitores pasivos ofrecen una excelente precisión, aunque están influidos por la temperatura ambiental y tienden a dar valores más altos cuando las partículas son pequeñas.

Para la captación y el análisis de fibras se utiliza un filtro cuadriculado de acetato de celulosa de 25 mm de diámetro con posterior transparentación y

cuantificación por microscopía óptica con contraste de fases o por microscopía electrónica de transmisión.

VALORES DE REFERENCIA PARA CALIDAD DE AIRE INTERIOR BASADOS EN CRITERIOS DE VALORACIÓN HIGIÉNICOS

Los estudios epidemiológicos de incidencia y/o prevalencia de enfermedades neoplásicas, respiratorias o alérgicas en la población en general cada vez tienen más en consideración la historia laboral de los individuos investigados. Por citar tan sólo un aspecto, aunque no sea demostrable, por la gran variedad de situaciones industriales y compuestos involucrados, en conjunto se estima que un porcentaje de alrededor de un 5% de enfermedades que causan la muerte de los pacientes de la población general tiene un origen laboral. Toda esa amplísima experiencia acumulada en el ámbito laboral, adquirida en situaciones potencial o realmente muy agresivas, constituye la razón de fondo de que la Higiene Industrial y, de un modo genérico, la protección de la salud de los trabajadores frente al riesgo de intoxicación en sus puestos de trabajo sea y haya sido una fuente de información básica en el estudio de intoxicaciones medioambientales y no laborales, que, en general, tienen su origen en situaciones menos agresivas que las industriales. Se trata, en resumen, de esbozar a continuación, aunque sólo sea someramente, cómo se pueden hilvanar ambos tipos de situaciones para obtener provecho de los estándares industriales existentes a tal efecto.

La investigación sistemática de la relación causas –consecuencias en el mundo laboral, expresada más concretamente en el campo de la Higiene Industrial como exposición– efecto, ha permitido sugerir un número amplio de correlaciones que se dan hoy en día por establecidas, principalmente para los contaminantes más habituales del mundo industrial. Ello ha llevado a la situación de disponer de criterios de valoración que se suponen efectivos para emitir una opinión con respecto al riesgo que para la salud presenta una determinada exposición para alrededor de unos 1.000 productos químicos.

Estos criterios de valoración se expresan fundamentalmente en valores límite ambientales, referidos a periodos de exposición cortos (15 minutos) o bien a jornadas laborales de 8 horas/día y 5 días a la semana y en ellos se basan en la práctica la mayor parte de límites establecidos, tanto para valores de inmisión como para calidad de aire interior.

Esta práctica habitual quedó reflejada hace ya años en el Decreto 833/1975 de 6 de febrero que desarrolla la Ley 38/1972 de 22 de diciembre, de Protección del ambiente atmosférico en cuyo Artículo 46. Cuatro indica lo siguiente: "Las emisiones de aquellos contaminantes no especificados en el Anexo III serán tales que los niveles de inmisión resultantes cumplan lo prescrito

para los mismos en el Anexo I de este Texto legal sobre normas técnicas de niveles de inmisión, o en su defecto no deberán rebasar la treintava parte de las concentraciones máximas permitidas en el ambiente interior de instalaciones industriales que señala el Reglamento de Actividades Molestas, Insalubres, Nocivas y Peligrosas aprobado por decreto de 30 de noviembre de mil novecientos sesenta y uno."

Por otra parte, los valores AMEG (Multimedia Environmental Goals - Ambient)), propuestos por W.D. Baasel (Economic Methods for Multipollutant Analysis and Evaluation, Marcel Dekker, N.Y., 1985), también proponían partir de los Límites de Exposición Profesionales para, reduciéndolos en un factor de 40/168 (horas trabajadas/horas totales, por semana) y otro de "seguridad" de 1/100, considerarlos unas concentraciones máximas en aire ambiental que protegen la salud humana.

Aunque estas propuestas, y otras aparecidas posteriormente, tienen en muchos casos un valor meramente simbólico, es un hecho evidente que los datos disponibles de exposiciones ambientales industriales pueden ser usados para otros menesteres preventivos siempre y cuando se tengan en consideración una serie de aspectos. En el caso concreto de la calidad de aire interior, se pueden resumir en los que siguen a continuación.

Distinto tiempo de exposición

La referencia temporal empleada en el criterio de valoración higiénico es la primera consideración a tener en cuenta. Los valores fijados para corta duración, como los LEP VLA-EC (exposiciones cortas) del INSHT, TLV-C, (valores límite umbral - tipo techo, de la American Conference of Governmental Industrial Hygienists, de USA) y los TLV-STEL (límites para exposiciones de corta duración, del mismo organismo), normalmente no están basados en la cinética del contaminante en el organismo y están destinados a fijar unas condiciones "tolerables" en cuanto a molestia, irritación, olor o umbral de sensibilización que, en principio, no deberían requerir modificaciones para su aplicación a ambientes interiores en los que se puede pretender proteger durante 24 horas al día; es decir, se supone una exposición permanente.

Los valores fijados para patrones de exposición de 8 horas/día y 40 horas/semana como LEP-VLA-ED (exposición diaria) y TLV-TWA (promedio en el tiempo) deberían corregirse en la misma forma que propuso Baasel: un factor 40/168 atendiendo al tiempo de exposición frente al tiempo total.

Discontinuidad en la exposición laboral

La aplicación de un factor de reducción de 40/168 no sería evidentemente suficiente, ya que la exposición de 40 horas/semana no tiene lugar de manera continuada, sino manifiestamente discontinua, con periodos de exposición de 8 horas

y de descanso de 16 horas cada día, más un descanso de 48 horas los fines de semana. El factor de protección que pudiera representar esta corrección debe calcularse basándose en la vida media del contaminante en el organismo.

En la figura 4.3 se representa el factor de corrección F_p en función de la vida media del contaminante para distintas jornadas de trabajo equivalentes a 40-36 h/semana y en la figura 4.4 para un número variable de días de exposición. Estos esquemas, provenientes de estudios de Higiene Industrial ya indican en qué sentido deberá corregirse el valor de referencia para su utilización en situaciones de exposición continua. Téngase en cuenta que F_p es el factor por el que debe multiplicarse el VL fijado para ambientes laborales.

Consideración de ambiente no laboral

El tercer factor a considerar es el poblacional. Si el estudio de la calidad del aire interior se lleva a cabo en áreas no laborales, en las que cabe considerar todo tipo de ocupantes, además de lo expuesto hasta aquí, deberá considerarse que el número de personas a proteger que no cumplen la condición de "trabajador", puede ser muy elevado, incluyendo menores de edad, recién nacidos, ancianos, enfermos y mujeres embarazadas. Dicho de otra manera, el número de personas "especialmente sensibles" puede ser manifiestamente elevado; incluso mayoría, si se trata, por ejemplo, de un edificio sanitario, guardería, escuela o residencia geriátrica. Para lograr una protección adecuada al conjunto de todo el colectivo deben aplicarse factores de corrección elevados, teniendo siempre presente que, tal como ocurre en la misma protección laboral, en ningún caso se dispondrá de unos límites "seguros" para todos los ocupantes.

Contaminación considerada de origen no laboral

Como ya se ha comentado en el capítulo 2, en ambientes laborales normalmente no habrá un sistema establecido de control de la exposición a contaminantes frente a los que no se considera la "exposición" profesional. En consecuencia, si se trata de valorar una calidad de aire interior en un ambiente laboral, aunque los razonamientos hasta aquí expuestos no son aplicables (se trata de "trabajadores" que cumplen un horario laboral), sí que lo son los que se han expuesto en el mencionado capítulo, especialmente en lo que se refiere a que se tratará de una exposición laboral que, sin embargo, normalmente no estará tratada como tal ("riesgo laboral" (LPRL, art. 4) o "riesgo inherente al trabajo" (LPRL art. 22)). En consecuencia, habrá que fijar factores de corrección que, en la medida de lo posible, prevean esta situación.

Los aspectos hasta aquí expuestos pretenden dar una visión de las herramientas básicas disponibles para estimar el riesgo para la salud que puede representar una mala calidad de aire interior. Es evidente que otros aspectos conflictivos a considerar en estas evaluaciones, como la multiexposición, no

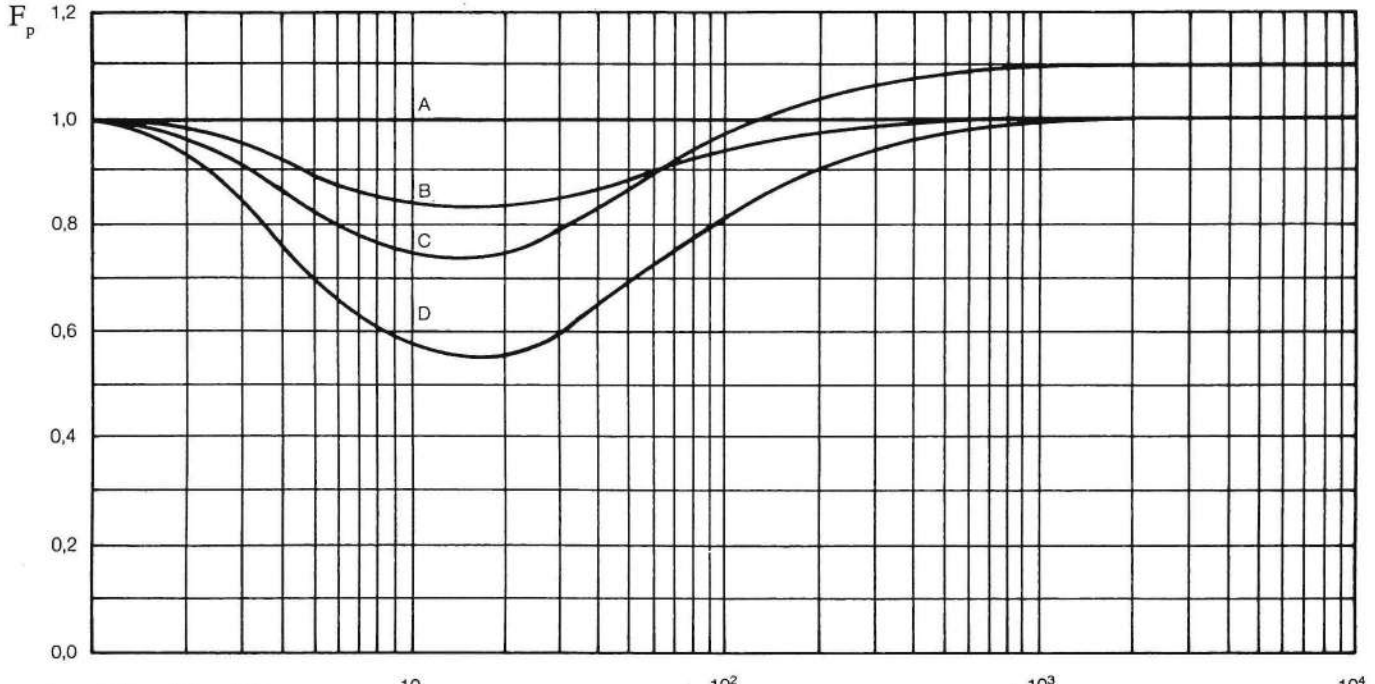


Figura 4.3.- Factor de corrección, F_p, en función de la vida media, $t_{1/2}$, de la sustancia para varias jornadas de trabajo.

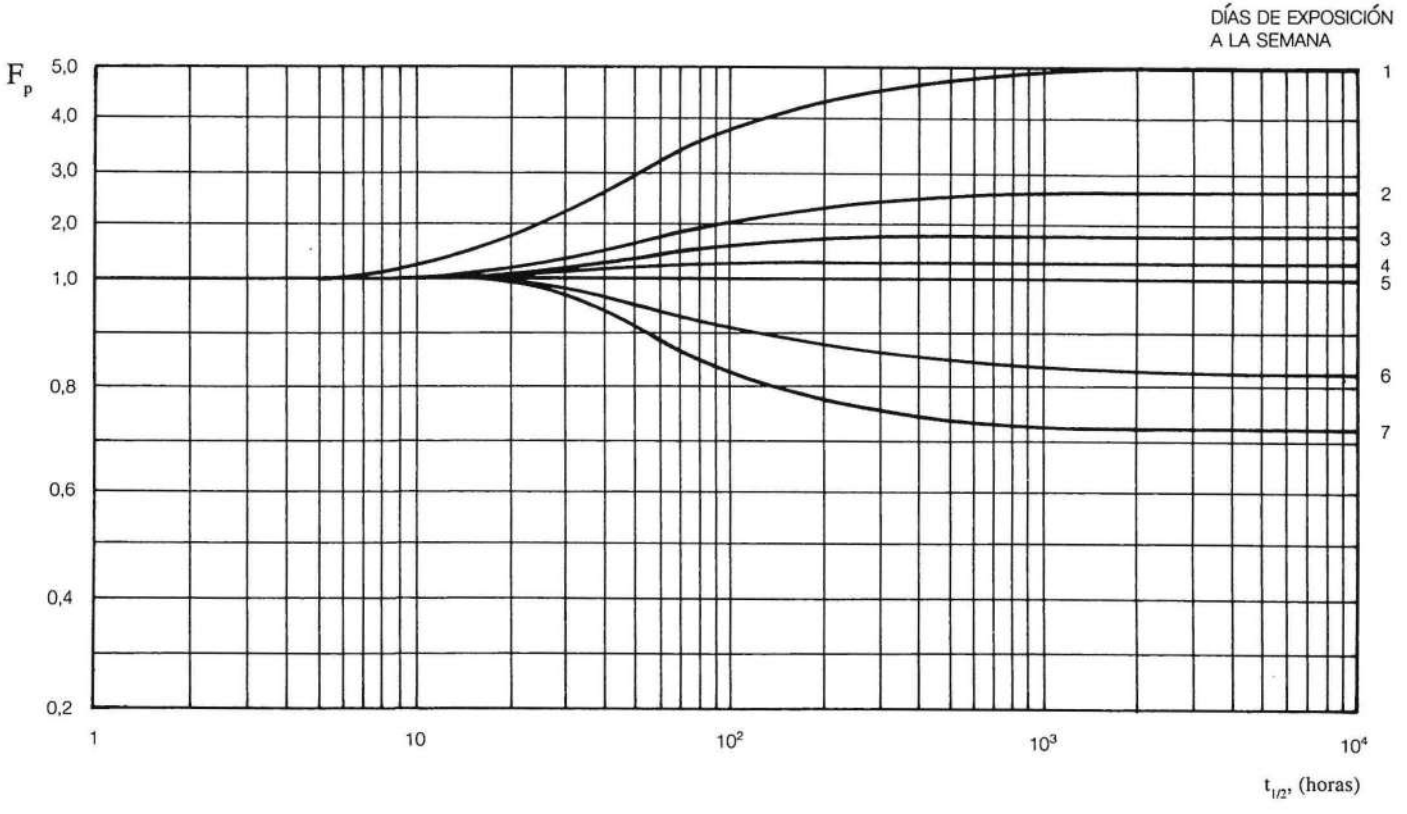


Figura 4.4.- Factor de corrección, F_p, en función de la vida media, $t_{1/2}$, de la sustancia para una jornada diaria de 8 horas y un número variable de días de exposición

pueden ser objeto de un estudio detenido, dada la magnitud del problema y la falta de datos científicos sobre el mismo. Por otro lado, como se ha mencionado a lo largo del capítulo y se expone a continuación, existen distintas propuestas de valores de referencia para la fijación de la calidad de aire interior y la correspondiente evaluación del mismo.

VALORES DE REFERENCIA PARA LA CALIDAD DE AIRE PROPUESTOS POR LA OMS

La OMS ha preparado unas Guías para la Calidad del Aire (2000 y 2005) como respuesta a la necesidad de emprender acciones y mejorar la legislación y la gestión respecto a la contaminación ambiental a nivel local, regional y nacional.

Estas guías proporcionan una base para proteger la salud pública de los efectos adversos de la contaminación ambiental, y para eliminar o reducir a un mínimo los contaminantes que se sabe son peligrosos para la salud humana y el bienestar. Las Guías de calidad del aire proporcionan información básica y orientación a los gobiernos para tomar decisiones de gestión de estos riesgos, particularmente para establecer estándares legales.

Los valores de las guías de la OMS son niveles de contaminación del aire por debajo de los cuales la exposición de por vida o la exposición durante un tiempo medio dado no constituye un riesgo significativo para la salud; superarlos brevemente no significa que el efecto adverso se produzca automáticamente, pero sí se incrementa el riesgo de tales efectos.

Estos valores están basados en datos epidemiológicos y toxicológicos y se deducen de la relación exposición – efecto, utilizando los conceptos de "Nivel sin efecto adverso observado" – "Nivel sin efecto observado" (NOAEL - NOEL) y "Nivel con efecto adverso observado más bajo" – "Nivel con efecto observado más bajo" (LOAEL - LOEL), con la aplicación de factores de incertidumbre. Si el contaminante no presenta un umbral para el efecto sobre la salud, los valores se deducen de la correspondiente relación riesgo – exposición.

Cuando se trata de considerar los efectos para la salud de la contaminación del aire, no importa si el contaminante se está inhalando en un interior o al aire libre, aunque el perfil de la contaminación normalmente existente en uno u otro caso sea diferente. Por este motivo, los valores de la Guía de la OMS para calidad de aire son también una importante referencia para su aplicación al aire de ambientes interiores, en los cuales las personas pasan la mayor parte del tiempo. No obstante, en el establecimiento de estos valores no siempre se ha tenido en cuenta la diferente composición de la contaminación en ambos escenarios, por lo que su aplicación en interiores puede no ser adecuada en todas las circunstancias.

En las tablas 4.15, 4.16 y 4.17 se recogen los valores contenidos en las Guías. En la tabla 4.15 se relacionan los valores correspondientes a los conta-

Compuesto	Punto final sobre la salud	Valor guía (μg/m³)	Tiempo promedio
Dióxido de azufre	Cambios en la función pulmonar en asmáticos. Aumento de los síntomas respiratorios en individuos sensibles	500 20	10 minutos 24 horas
Dióxido de nitrógeno	Ligeros cambios de la función pulmonar en asmáticos	200 (0,1 ppm) 40 (0,02 ppm)	1 hora 1 año
Monóxido de carbono	Nivel crítico de COHb <2,5%	100.000 (90 ppm) 60.000 (50 ppm) 30.000 (25 ppm) 10.000 (10 ppm)	15 minutos 30 minutos 1 hora 8 horas
Ozono	Respuestas de la función respiratoria	100	8 horas
Plomo	Nivel crítico de Pb en sangre <100-150 μg Pb/l	0,5	1 año
Materia particulada $MP_{2,5}$	Aumento mortalidad total, cardiopulmonar y por cáncer de pulmón	10 25	1 año 24 horas
Materia particulada MP_{10}		20 50	1 año 24 horas

Tabla 4.15. Valores guía para "contaminantes clásicos", según la OMS, basados en efectos conocidos para la salud

Tabla 4.16. Valores guía para compuestos no cancerígenos, según la OMS, basados en efectos conocidos para la salud

Compuesto	Punto final sobre la salud	Valor guía (μg/m³)	Tiempo promedio
Ácido acrílico	Lesiones nasales en ratones	54	1 año
Acetaldehído	Irritación en humanos	2.000	24 horas
	Irritación relacionada con la carcinogenicidad en ratas	50	1 año
Acroleína	Irritación ocular en humanos	50	30 minutos
2-Butoxietanol	Hemotoxicidad en ratas	13.100	1 semana
Cadmio	Efectos renales en la población	5×10^{-3}	1 año
1,4-Diclorobenceno	Aumento de peso del órgano y en las proteínas urinarias	1.000	1 año

Diclorometano	Formación de COHb en sujetos normales	3.000	24 horas
Diesel (emisiones)	Inflamación alveolar crónica en humanos	5,6	1 año
Etilbenceno	Aumento de peso del órgano	22.000	1 año
Estireno	Efectos neurológicos en trabajadores	260	1 semana
Fluoruros	Efectos sobre el ganado	1	1 año
Formaldehído	Irritación en humanos de nariz y garganta	100	30 minutos
Manganeso	Efectos neurotóxicos en trabajadores	0,15	1 año
Metacrilato de metilo	Cambios degenerativos en el epitelio olfativo de roedores	200	1 año
Mercurio, inorgánico	Efectos sobre el túbulo renal en humanos	1	1 año
Monoclorobenceno	Disminución del apetito, aumento del peso del órgano, lesiones y cambios en los parámetros sanguíneos	500	1 año
Sulfuro de carbono	Cambios funcionales en el SNC* de trabajadores	100	24 horas
Sulfuro de hidrógeno	Irritación ocular en humanos	150	24 horas
Tetracloroetileno	Efectos sobre el riñón en trabajadores	250	24 horas
Tetracloruro de carbono	Hepatotoxicidad en ratas	6,1	1 año
Tolueno	Efectos sobre el SNC* en trabajadores	260	1 semana
1,3,5-Triclorobenceno	Metaplasia e hiperplasia del epitelio respiratorio en ratas	200	1 año
1,2,4-Triclorobenceno	Aumento de las porfirinas urinarias en ratas	50	1 año
Vanadio	Efectos respiratorios en trabajadores	1	24 horas
Xilenos	Efectos sobre el SNC* en voluntarios humanos	4.800	24 horas
	Neurotoxicidad en ratas	870	1 año

* SNC: Sistema nervioso central

Compuesto	Punto final sobre la salud	Unidad de riesgo[a]	Clasificación según la IARC[b]
Acetaldehído	Tumores nasales en ratas	$(1,5\text{-}9) \times 10^{-7}$	2B
Acrilonitrilo	Cáncer de pulmón en trabajadores	2×10^{-5}	2A
Arsénico	Cáncer de pulmón en humanos expuestos	$1,5 \times 10^{-3}$	1
Benceno	Leucemia en trabajadores expuestos	$(4,4\text{-}7,5) \times 10^{-6}$	1
Benzo[a]pireno	Cáncer de pulmón en ratas	$8,7 \times 10^{-2}$	1
Bis(clorometil)éter	Epiteliomas en ratas	$8,3 \times 10^{-3}$	1
Cloroformo	Tumores de riñón en ratas	$4,2 \times 10^{-7}$	2B
Cloruro de vinilo	Hemangiosarcoma en trabajadores expuestos. Cáncer de hígado en trabajadores expuestos	1×10^{-6}	1
Cromo^{VI}	Cáncer de pulmón en trabajadores expuestos	$(1,1\text{-}13) \times 10^{-2}$	1
1,2-Dicloroetano	Formación de tumores en roedores	$(0,5\text{-}2,8) \times 10^{-6}$	2B
Diesel (emisiones)	Cáncer de pulmón en ratas	$(1,6\text{-}7,1) \times 10^{-5}$	2A
HAP (BaP)	Cáncer de pulmón en ratas	$8,7 \times 10^{-2}$	1
Humo de tabaco	Cáncer de pulmón en humanos expuestos	10^{-3}	-
1,1,2,2-Tetracloroetano	Carcinomas hepatocelulares en ratones	$(0,6\text{-}3,0) \times 10^{-6}$	3
Tricloroetileno	Tumores celulares en pruebas con ratas	$4,3 \times 10^{-7}$	2A

[a] Riesgo adicional de contraer cáncer, estimado a partir de una exposición de por vida a una concentración de 1µg/m^3 del agente cancerígeno.

[b] International Agency for Research on Cancer

HAP: Hidrocarburos aromáticos policíclicos

BaP: Benzo[a]pireno

Tabla 4.17.- Valores guía para compuestos cancerígenos, según la OMS

minantes considerados como "clásicos" en aire mientras que en las tablas 4.16 y 4.17 se relacionan los valores de referencia para compuestos orgánicos e inorgánicos en aire, según sus efectos no cancerígenos y cancerígenos, respectivamente, que incluyen algunos compuestos importantes desde el punto de vista de la contaminación en interiores.

MÉTODOS USUALES DE CONTROL DE LA CALIDAD DEL AIRE

Se basan en los métodos tradicionales de la Higiene Industrial, es decir métodos desarrollados inicialmente para ambientes industriales pero que a lo largo del tiempo han permitido establecer una serie de estrategias de corrección para solucionar problemas de calidad del aire en interiores. Básicamente podrían diferenciarse cuatro tipos de estrategias encaminadas a controlar:

Las fuentes contaminantes

Las deficiencias en la ventilación

La limpieza del aire

La exposición de los ocupantes del edificio

Control de las fuentes contaminantes

El control de las fuentes implica, ante todo, su correcta identificación para actuar a continuación sobre las mismas, si es posible. Entre las distintas formas de actuación, en el caso de un edificio, las más adecuadas serán:

Eliminar o reducir la fuente

Es el método ideal para controlar la calidad del aire interior ya que se trata de una medida permanente que no requiere operaciones de mantenimiento posteriores. Para su aplicación se precisa conocer la fuente de contaminación e intentar eliminarla con medidas tales como las siguientes:

- Prohibiendo fumar en el interior del edificio o limitando el fumar a áreas restringidas con aire no recirculante.
- Trasladando el equipo contaminante, por ejemplo las fotocopiadoras, a áreas donde, por estar menos ocupadas y por tener una renovación del aire más adecuada, no presenten problemas.
- Evitando la existencia de zonas en las que, respecto al diseño de los sistemas de ventilación del edificio, exista un exceso de ocupación.
- Efectuando las operaciones de mantenimiento rápidamente. Debe actuarse con la mayor diligencia ante fugas de gases, humo de chimeneas o fluidos de cualquier tipo. Las grietas y desconchados deben ser analizados y reparados con celeridad ya que pueden ser señal de posibles fugas o daños mayores.

- Evitando la acumulación de suciedad y basura. No dejar aumentar residuos y desechos que puedan convertirse, a su vez, en focos de emisión.

Sustituir la fuente

Si no se puede eliminar la fuente contaminante o reducir su incidencia hasta niveles aceptables, se intentará la sustitución total de la causa, ya sea cambiando los productos utilizados (mantenimiento, limpieza, decoración, etc.) por otros que presenten menos riesgos o incluso cambiando algunos equipos y/o procedimientos de trabajo. Este sería el caso de:

- Sustituir materiales de decoración del edificio que sean:

  Defectuosos en su fabricación como por ejemplo muebles y paneles de madera que liberen formaldehído.

  Capaces de absorber en ciertas condiciones compuestos volátiles y reemitirlos con posterioridad como algunas moquetas, especialmente las de pelo largo.

  Difíciles de limpiar y mantener, que recojan polvo y que a su vez puedan ser fuente de emisión de fibras como algunos materiales textiles.

- Sustituir materiales de construcción que estén dañados o sean defectuosos, como sería el caso de falsos techos que dejan a la intemperie las conducciones generales del edificio.
- Sustituir materiales de oficina inadecuados tales como correctores de máquina que contengan disolventes o muebles auxiliares, tipo estanterías, susceptibles de almacenar polvo.

Mitigar la acción de la fuente

Para aquellas fuentes que no puedan ser eliminadas o sustituidas se procurará limitar sus efectos con distintas medidas, tales como:

- Sellando la fuente. Para ello se utilizan materiales y/o productos que eviten o minimicen la emisión de contaminantes recubriendo con pinturas adecuadas u otras barreras aquellos materiales de construcción que puedan emitir contaminantes (fibras, compuestos orgánicos volátiles, etc.). Se ha propuesto, por ejemplo, esta técnica para evitar la dispersión de fibras de amianto sueltas de antiguos aislantes, para reducir la emisión de formaldehído de paredes tratadas con resinas y en edificios contaminados con gas radón para sellar bloques de hormigón y fisuras en paredes de sótanos con polímeros y evitar así la inmisión de radón del suelo. Las paredes de sótanos también pueden tratarse con pintura epoxídica y un sellador polimérico de polietileno o poliamida para evitar contaminación que pueda filtrarse a través de las paredes o del suelo.
- Mejorando el almacenado de materiales que puedan generar contaminación (productos de limpieza, repuestos, etc.) organizando estas tareas y formando al personal responsable.

- Instruyendo al personal sobre el correcto funcionamiento de los equipos y sobre las medidas de precaución a tomar (por ejemplo, con las fotocopiadoras).

Modificar el entorno

Esta posibilidad contempla actuaciones muy variadas tales como:

- Cambiar decoraciones que incluyan moquetas en suelos y paredes para evitar la adsorción de determinados contaminantes y su reemisión.
- Mejorar el mantenimiento y limpieza general del edificio para evitar la presencia de polvo y suciedad.

Control de la ventilación

Modificar las condiciones en que trabaja el sistema de ventilación es uno de los métodos más habituales para disminuir hasta unos niveles aceptables la concentración de los contaminantes presentes y corregir así la calidad de un aire interior. Puede ser una solución efectiva en el caso de edificios con fuentes contaminantes no identificadas o no controlables, como pueden ser las zonas con ocupación muy variable o excesiva. Las actuaciones en este campo más generales se comentan a continuación. (Para más información, consultar el capítulo 8 dedicado a la ventilación).

Aislar o eliminar los contaminantes controlando las relaciones de presión

Si la fuente contaminante está identificada, esta solución es la más efectiva. Las técnicas para controlar las relaciones de presión consisten en ajustar los reguladores y en instalar extracción localizada. Las estrategias pueden consistir en:

- Instalar una extracción localizada de aire efectiva para la fuente contaminante.
- Evitar la recirculación de aire contaminado. Es decir: mantener un circuito independiente para las zonas contaminantes (cocina, laboratorios, almacén, zonas de fumadores, etc.).
- Situar a los ocupantes del edificio cerca de los suministros de aire y las fuentes contaminantes cerca de los registros de extracción del aire.
- Usar técnicas adecuadas para mantener diferencias de presión permanentes y eliminar los caminos de propagación de los contaminantes.
- Asegurarse de que se cierran las puertas en aquellos casos en que interese separar zonas. Para ello puede ser conveniente la difusión de unas instrucciones concretas de actuación.

La utilización de extracción localizada de aire evita la propagación de los contaminantes, captándolos cerca de la fuente y expulsándolos al exterior. La extracción localizada ha de estar diseñada e instalada de tal manera que no exista recirculación del aire de extracción.

En algunos casos, para completar la efectividad de otras técnicas de control, es importante el sellado de los caminos de propagación de posibles contaminantes, aunque estos son a veces difíciles de establecer ya que pueden discurrir, por ejemplo, a través de falsos techos, patinejos, suelos superpuestos o paredes de ladrillo.

Diluir los contaminantes con un aire exterior menos contaminado

La disminución de la concentración de los contaminantes presentes en el aire se logra mediante su dilución en un volumen de aire limpio considerablemente mayor. En algunos casos, y según la velocidad de generación de los contaminantes, su peligrosidad o la calidad del aire requerida, el aporte puede llegar a ser del 100% de renovación. La dilución es un método habitual de actuación y la base de algunas normas sobre calidad del aire como la UNE EN 13779

Esto puede lograrse de distintas maneras:

- Aumentando el suministro total del aire en las áreas afectadas. Para ello:

  Se abrirán más los difusores

  Se ajustarán los reguladores

  Se aumentará la relación de aire exterior respecto al total suministrado.
- Disminuyendo la recirculación.
- Facilitando la extracción o retorno.
- Cambiando la distribución del aire.

Puede ser también muy importante la forma de las rejillas difusoras y su disposición física respecto a los ocupantes del área considerada. Si todo el suministro de aire de renovación está localizado en un extremo y el retorno en el otro, las personas situadas cerca del aire de entrada pueden tener un aire relativamente más limpio mientras que cerca de los puntos de salida el aire respirado puede contener ya algunos contaminantes procedentes de las fuentes existentes en aquella área.

El coste económico que pueden representar los aumentos en los aportes de aire de ventilación no tiene por qué significar un aumento importante del gasto. Muchos autores afirman que, en edificios comerciales típicos, esta solución representa un gasto menor frente a gastos generales tales como la iluminación y que en muchos casos está compensado por el ahorro energético que pueda representar la mejora en el mantenimiento de los equipos.

Control de la limpieza del aire

La aplicación de estrategias en este sentido está muchas veces relacionada con el control de las fuentes contaminantes y de las deficiencias de una incorrecta ventilación, aunque en algunos casos es la única posibilidad, sobre todo cuando la fuente contaminante sea exterior al edificio.

Los equipos de ventilación disponen en general de sistemas de filtros más o menos complejos cuya finalidad es evitar la contaminación del propio sistema, evitar una disminución de su eficiencia y también mejorar, si es necesario, la calidad de un aire exterior deficiente. Estos sistemas de filtrado deben estar adaptados a las características de cada edificio y de la contaminación que cabe esperar en él. Es importante proceder a un mantenimiento regular y sistemático de los mismos para asegurar su correcto funcionamiento, ya que en caso contrario pueden convertirse a su vez en una importante fuente de contaminación.

Las tecnologías básicas se resumen a continuación.

Filtrado de partículas

Con el filtrado de partículas se eliminan los aerosoles líquidos y sólidos que por su tamaño forma y masa permanecen en el aire en las condiciones de velocidad existentes. Los filtros disponibles en el mercado cubren una amplia gama de eficacias (rendimientos). Hay que tener en cuenta que a mayor eficacia del filtro, mayor será la caída de la presión en el sistema de distribución de aire y si no se tiene en cuenta este factor, se reducirá el flujo total de aire circulante. Es por tanto muy importante seleccionar un filtro adecuado para cada aplicación específica y asegurarse de que los sistemas de ventilación y aire acondicionado del edificio continúan trabajando correctamente después de su instalación. Cualquier modificación realizada con posterioridad puede descompensar completamente el sistema de ventilación del edificio.

Precipitación electrostática

La precipitación electrostática se basa en la atracción de cargas eléctricas opuestas. El aire es ionizado mediante un campo eléctrico, formándose partículas cargadas que son recogidas por fuertes campos eléctricos generados entre electrodos de carga opuesta. Este sistema permite una eficiencia de filtración de partículas respirables relativamente elevada, con bajas pérdidas de presión en el suministro de aire. Los sistemas de precipitación electrostática pueden instalarse en las zonas de distribución del aire o en áreas concretas. Al igual que otros tipos de filtros debe procederse al mantenimiento regular de los mismos. Sin embargo, hay que tener en cuenta que, en cantidades variables y según los distintos modelos, los sistemas de precipitación electrostática pueden generar ozono.

Absorción

La absorción directa de contaminantes a través de un líquido, o de un sólido impregnado con él, es un método adecuado para el control de contaminantes gaseosos tales como dióxido de azufre o dióxido de nitrógeno. Los contaminantes se disuelven o reaccionan con él quedando así el aire liberado de su presencia.

Adsorción

La adsorción de gases y vapores mediante la utilización de diferentes materiales sólidos puede proporcionar excelentes resultados para el control de pequeñas cantidades de compuestos presentes en el aire susceptibles de causar problemas debidos a olores, siendo un método efectivo para vapores orgánicos, especialmente de elevado peso molecular. Se instalan formando parte del sistema de distribución de aire y su coste puede ser elevado, especialmente porque requieren un mantenimiento continuado. Los adsorbentes más frecuentemente utilizados son carbón activo, alúmina activada, sílica gel y tamices moleculares.

Utilización de ozonizadores para controlar olores y microorganismos

Los ozonizadores se han venido utilizando profusamente para la eliminación de olores y microorganismos debido a su elevada eficacia. Sin embargo, dadas las especiales características de toxicidad atribuidas al ozono, su uso se está restringiendo enormemente. El problema básico que se plantea es que hay pocos sistemas rápidos y eficaces que permitan el autocontrol en la generación de ozono y garanticen, sin pérdida de efectividad, una presencia de éste en el aire interior inferior a unos valores de referencia que son muy bajos (hay que recordar que el LEP-VLA-ED para situaciones de trabajo ligero es de 0,1 ppm).

Empleo de contaminantes antagónicos

Existen algunos casos puntuales descritos en la bibliografía en los que se puede eliminar un contaminante presente en el aire empleando otro producto químico que reaccione con él. Un ejemplo conocido y aplicado con una cierta asiduidad, es el empleo de gas amoniaco (generado a partir de una solución amónica en agua - NH_4OH) para neutralizar la presencia de formaldehído en aire.

Secado del aire

Como ya se ha comentado antes, la elevada humedad en el aire es un factor no contaminante pero sí posible foco de posteriores problemas. Por ello, en los casos que fuera necesario, una reducción de la humedad del aire puede considerarse en este sentido como una acción preventiva.

Radiación ultravioleta

Para la eliminación de microorganismos se utilizan radiaciones UV de distinta potencia que pueden incluirse bien en los circuitos de distribución del aire, bien directamente en la zona que se quiere mantener en unas adecuadas condiciones de ausencia de microorganismos. Por otra parte hay que tener en cuenta que estos equipos pueden generar ozono.

Generación de iones negativos

Los generadores de iones negativos usan cargas estáticas para eliminar partículas presentes en el aire interior que al adquirir una determinada carga son atraídas por superficies tales como paredes, suelos, muebles, cortinajes o por los propios ocupantes del edificio. Suelen ser unidades portátiles independientes y, al igual que los precipitadores electrostáticos y los equipos de radiación ultravioleta, pueden producir ozono. Como ya se ha indicado en otro punto de este texto, no existe hasta el momento evidencia científica de su utilidad.

Control de la exposición

Consiste en actuar sobre el receptor limitando la exposición del personal afectado. Esto puede lograrse, por ejemplo:

- Informando sobre la realización de actividades que pueden generar contaminación, por ejemplo: aplicación de tratamientos con pesticidas, inicio de obras de albañilería que puedan generar polvo, etc. Con esta medida los ocupantes de la zona afectada no se verán sorprendidos durante su trabajo habitual y las personas sensibles podrán evitar el entrar en contacto con los contaminantes. Siempre que sea posible las actividades que puedan ser molestas se realizarán fuera del horario normal de trabajo.
- Cambiando de sitio a las personas sensibles y trasladándolas a zonas donde no manifiesten síntomas. No es una solución deseable pero en algunos casos concretos puede ser la única. Por ejemplo: las personas que presentes alergias asmáticas a ácaros y polvo se trasladarán a zonas con menos polvo, sin cortinas y sin moqueta.

Otras acciones

Otra posibilidad son las acciones sobre la educación, en el más amplio sentido de la palabra, donde pueden incluirse una multitud de medidas sencillas que pueden tomarse para reducir los riesgos potenciales para la salud debidos a la contaminación de interiores, y que incluirían campañas de concienciación tanto generales como dirigidas a grupos específicos tales como propietarios, arquitectos, ocupantes, personal de mantenimiento, etc.

En cualquier caso es, además, imprescindible que los ocupantes de un edificio estén siempre informados de todos aquellos cambios que pueden afectar a su salud o bienestar ya que con ello se facilita su colaboración y aceptación.

5
EL RADÓN

EL RADÓN Y LA RADIACIÓN NATURAL

El radón es un gas radiactivo de origen natural, procedente de la desintegración del radio-226, que se encuentra en una pequeña proporción en el aire que se respira y es el responsable de una fracción de la radiación natural que recibe el ser humano. Desde el punto de vista de la contaminación radiactiva, en los últimos años ha aumentado la preocupación por el peligro que la acumulación de gas radón en el interior de edificios puede representar para las personas que los ocupan.

La radiación natural forma parte del medio ambiente y sus principales componentes son las radiaciones cósmicas, las procedentes de los radionucleidos, presentes en suelos y rocas, y las de las sustancias radiactivas, que se encuentran en los alimentos, el agua y el aire.

A tenor del efecto que la radiación natural puede tener sobre la población en general se considera que, en promedio, la radiación total a la que el ser humano está expuesto representa una dosis equivalente de un miliSievert (mSv) al año que se corresponde con lo que suele definirse como "fondo radiactivo". Este valor varía de unas zonas a otras. Por ejemplo, las radiaciones cósmicas, procedentes del espacio exterior, aumentan con la altitud y la latitud y, así, el hecho de vivir a 1.000 metros de altura significa recibir hasta un 20% más de radiación que si se reside a nivel del mar. Paralelamente, la radiación es superior en los Polos que en el Ecuador. También afecta en el total de radiación la naturaleza del terreno y la presencia en él de determinados minerales, concretamente rocas de fosfatos y el mismo carbón que contienen trazas de materiales radiactivos tales como uranio o radio.

A esta radiación natural hay que añadir el aumento en las dosis de radiación debido a la radiación artificial, principalmente como consecuencia de la apli-

cación de radiaciones y materiales radiactivos en medicina y, también, para la producción de energía, en la industria, la agricultura, e incluso en el control de la contaminación.

En la figura 5.1 se presenta una estimación de la contribución de las distintas fuentes de exposición, de origen natural y artificial, a la dosis recibida por la población. Destaca la significación que el radón tiene en el conjunto total, ya que este compuesto representa más del 40% de la radiación natural.

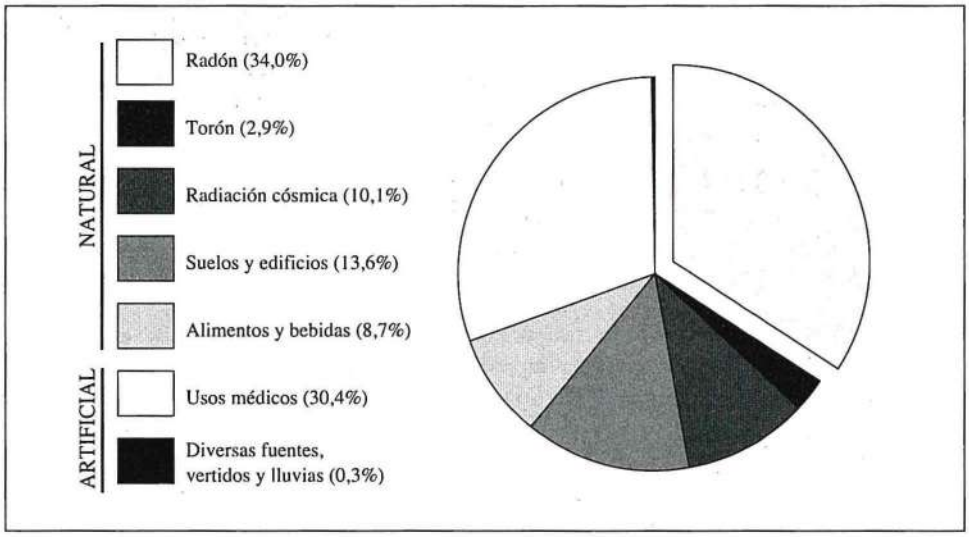


Figura 5.1.- Contribución de las distintas fuentes de exposición, de origen natural y artificial, a la dosis recibida por la población

Durante mucho tiempo existió la opinión de que la radiación natural no tenía un efecto significativo desde el punto de vista de daños para la salud del público en general, pero esta idea cambió totalmente cuando en los años 70 y 80 se evidenció que en el interior de algunas casas y en distintos países el nivel de radón existente significaba concentraciones de varias decenas e incluso miles de Bq/m^3, lo que indicaba que las dosis recibidas por sus ocupantes eran de algunas decenas de mSv al año. El principal causante de esta situación es el radón, que es el único elemento gaseoso de las cadenas de desintegración radiactivas, por lo que se desplaza con facilidad a partir del punto en que se genera y entra en los edificios.

PROPIEDADES

El radón es un gas noble, incoloro, inodoro e insípido con una alta densidad. Es soluble en agua y en otros líquidos. Sus características básicas son:

Densidad (0°C y 1 atm): 9,73 kg/m^3
Coeficiente de difusión en aire: 0,1x10^{-5} m^2/s
Viscosidad (20°C y 1 atm): 229,0 micropoises
Solubilidad en varios medios (20°C y 1 atm de presión parcial)
- agua: 230x10^{-6} m^3/kg
- glicerina: 13,2x10^{-6} m^3/kg
- aceite: 29x10^{-6} m^3/kg
- alcohol etílico: 7,4x10^{-6} m^3/kg

Se identifica concretamente como radón al isótopo ^{222}Rn que forma parte de

TIPO DE RADIACIÓN	NUCLEIDO	PERIODO DE SEMIDESINTEGRACIÓN
	Uranio-238	4,47 miles de millones de años
α	torio-234	24,1 días
β	protactinio-234	1,17 minutos
β	uranio-234	245.000 años
α	torio-230	8.000 años
α	radio-226	1.600 años
α	radón-222	3,823 días
α	polonio-218	3,05 minutos
α	plomo-214	26,8 minutos
β	bismuto-214	19,7 minutos
β	polonio-214	0,000164 segundos
α	plomo-210	22,3 años
β	bismuto-210	5,01 días
β	polonio-210	138,4 días
α	plomo-206	estable

Figura 5.2.- Desintegración radiactiva del Uranio-238

la cadena radiactiva de origen natural del uranio-238 que es un elemento presente en pequeñas cantidades en muchos tipos de rocas, suelos y materiales, aunque también se encuentran isótopos de Rn en la del torio-232 y del uranio-235, concretamente y respectivamente el ^{220}Rn o torón y el ^{219}Rn o actinón. Todas estas cadenas terminan en la formación de un isótopo estable de plomo, tras producir una serie de elementos radiactivos. En la figura 5.2 se representa la cadena de uranio-238 y los períodos de semidesintegración de los distintos elementos.

EFECTOS SOBRE LA SALUD

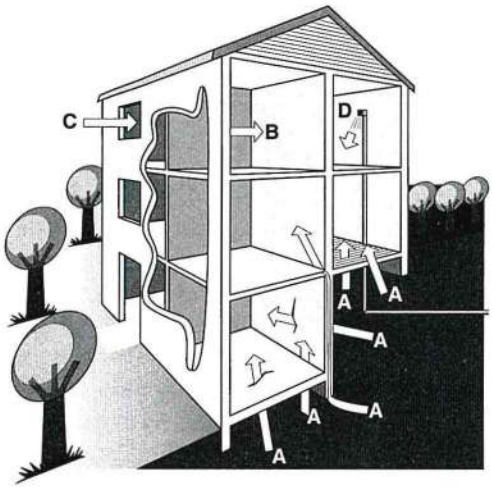
El radón es considerado cancerígeno por la Organización Mundial de la Salud (OMS), de acuerdo con la International Agency for Research on Cancer (IARC) y la Environmental Protection Agency (EPA) de EE.UU., que lo clasifican como carcinógeno del Grupo 1 y del Grupo A, respectivamente. Concretamente, el principal efecto adverso derivado de la inhalación de radón y en especial de sus productos de desintegración es el riesgo de cáncer de pulmón.

El radón, como gas, no es retenido de forma significativa en el tracto respiratorio. Sin embargo, un 90% de sus descendientes puede estar unido a partículas de aerosoles presentes en el aire, las cuales, en función de su tamaño, pueden ser retenidas a distintos niveles del sistema respiratorio. Las más pequeñas, la fracción respirable, alcanzarán las zonas más sensibles del tejido bronquial y pulmonar, depositándose allí, juntamente con el 10% restante de los productos de desintegración. La deposición de estas partículas, junto con estos productos, genera una fuente de emisión de partículas α de alta densidad. En consecuencia, una parte de este tejido recibe una exposición elevada, aumentando la posibilidad de desarrollar un proceso cancerígeno. La dosis recibida en el pulmón por radiación β o γ es despreciable frente a la debida a las partículas α.

FUENTES

En un edificio, las principales fuentes de radón son el suelo en el que está asentado y los materiales empleados en su construcción. También puede entrar con el aire de renovación, con el agua de suministro y el gas de uso doméstico, aunque estos últimos, excepto en algunos casos concretos, se consideran fuentes menores. Al tratarse de un gas, su concentración en un ambiente interior depende también de determinadas prácticas y hábitos que favorezcan su acumulación, especialmente la falta de ventilación, acompañada de hermeticidad en la construcción, generadas por políticas de ahorro energético.

En la figura 5.3 se representan las fuentes más típicas de radón y las rutas de entrada prioritarias.



A: Entrada de radón a partir del suelo:
- Grietas y fisuras en suelos sólidos
- Juntas de construcción
- Grietas y cavidades en muros y paredes
- Grietas en las paredes bajo el nivel del suelo
- Espacios en suelos suspendidos
- Espacios alrededor de canalizaciones y líneas de servicio

B. Emanación de radón a partir de los materiales de construcción.

C. Entrada de radón con el aire exterior.

D. Radón liberado a partir del agua

Figura 5.3.- Típicas fuentes de radón y rutas de entrada

Suelo

En construcciones aisladas o en las plantas bajas de edificios sin sótano, la fuente más importante de radón es el radio presente en el terreno. La concentración de radio en el suelo se halla generalmente entre 10 y 50 Bq/kg, aunque puede alcanzar valores muy superiores. El valor promedio es de alrededor de 40 Bq/kg. Las concentraciones de radón en suelos varían entre 10.000 y 50.000 Bq/m^3. En algunos casos, la presencia de radón puede venir, además, aumentada por la existencia en la zona de materiales de desecho procedentes de operaciones realizadas en minas de uranio o de fosfatos.

La cantidad de radón que entra en un interior a partir del suelo depende principalmente de la concentración de radio-226 en el subsuelo y de la permeabilidad de éste. El radón procedente del terreno y de los materiales pasa al aire interior por difusión molecular. En una fase inicial, por desintegración del radio existente, se forma una fracción de radón que emana del medio sólido y ocupa los poros existentes pudiendo, a partir de ellos, desplazarse hasta alcanzar la superficie y pasar al aire. Este mecanismo vendrá afectado por la distancia (longitud de difusión) que el radón puede recorrer antes de desintegrarse y que para un suelo normal es de alrededor de 1 m. Este proceso puede ser acelerado por las diferencias de presión existentes entre el gas del suelo y el interior de la casa. A menudo la existencia de mecanismos extractores de ventilación o intercambiadores de aire para calefacción hace que en las habitaciones se generen corrientes de aire y depresiones que favorecen el paso de radón desde el suelo y desde la propia estructura a través

de los poros y fisuras existentes, pasando al aire en cantidades importantes, lo que explica las elevadas concentraciones que se han encontrado en algunos interiores.

Materiales de construcción

Los materiales de construcción son, en general, la segunda fuente, en importancia, de radón en interiores. La emisión de radón a partir de los materiales de construcción depende no sólo de la concentración de radio en los mismos sino también de factores tales como la fracción de radón producido que es liberado del material, la porosidad del material y la preparación de la superficie y el acabado de las paredes. Es frecuente encontrar entre los materiales de construcción productos con un contenido en radio y torio de hasta 50 Bq/kg. Algunos, conteniendo subproductos de yeso y hormigón con alumbre bituminoso, pueden presentar, incluso, concentraciones superiores. También puede ser alta la concentración en ladrillos y hormigón si los materiales básicos se han extraído de zonas con elevadas concentraciones de radiación natural. Ejemplos de algunos materiales naturales utilizados en construcción son las tobas volcánicas y la puzolana. Cuando el contenido en radón de los materiales de construcción es alto el mecanismo de difusión antes comentado es importante ya que, por ejemplo, para el hormigón la longitud de difusión es del orden de 10-20 cm.

Aire exterior

Por su bajo contenido en radón, el aire exterior actúa normalmente como un factor de dilución. Sin embargo, en algunos casos, en edificios construidos con materiales con un contenido muy bajo en radio el aire exterior puede actuar como una fuente de radón. La concentración de radón en aire exterior está relacionada, principalmente, con la presión atmosférica y en tiempo estable se presentan oscilaciones típicas con los valores más altos durante la noche. Según los últimos datos disponibles el valor medio para el radón es de 10 Bq/m^3 en áreas continentales, algo inferior en las zonas costeras y sobre los océanos de aproximadamente 0,1 Bq/m^3.

Agua de consumo

La utilización para uso doméstico de aguas subterráneas con una elevada concentración de radón puede significar, al liberarse éste, un aumento de su concentración en aire, especialmente en cuartos de baño donde, al estar el agua caliente y en movimiento, el proceso de liberación queda favorecido. En algunas regiones del planeta en las que el agua utilizada procede de pozos perforados en rocas con una elevada concentración de radón se ha demostrado que el nivel de radón en agua puede llegar a valores entre 100 kBq/m^3 y

100 MBq/m^3. El valor medio mundial de radón en el agua de consumo se considera que es de 10 kBq/m^3.

Gas de uso doméstico

En algunas zonas el gas natural utilizado para cocinar y para calefacción contiene elevadas concentraciones de radón que se liberan al quemarlo. Generalmente ésta no es una fuente significativa siendo además muy variable en función de los cambios en el suministro de combustible.

METODOLOGÍA PARA LA MEDICIÓN DEL RADÓN EN INTERIORES

Para determinar la concentración de radón y de sus descendientes en aire pueden utilizarse distintos métodos. La elección entre unos u otros vendrá condicionada por el instrumental disponible, por el coste y por la duración de la medida a efectuar. En general la medida de la concentración de radón presente en un ambiente determinado se basa en el recuento de partículas a emitidas tanto por él como por sus descendientes de vida corta. Unos pocos métodos se basan en la detección de rayos γ y también existen algunas técnicas que detectan radiaciones β.

Es importante en la práctica distinguir si el método utilizado mide la concentración de gas radón o mide la concentración o alguna otra característica de los productos descendientes de radón. En ambos casos las técnicas pueden clasificarse como activas o pasivas según se emplee o no aire forzado para la captación de la muestra.

Tipos de métodos según el tiempo de muestreo

Es posible distinguir, en función del tiempo de muestreo, entre las tres metódicas siguientes:

Métodos instantáneos

Las determinaciones se realizan a partir de muestras de aire recogidas durante cortos períodos de tiempo, generalmente entre 1 segundo y 20 minutos. Permiten utilizar instrumental sencillo de bajo coste y se obtienen resultados rápidos. Sin embargo, dado el carácter puntual de la medida hay que ser cuidadoso al elegir las condiciones para que los resultados obtenidos sean representativos de una situación promedio dentro del estudio a realizar. En general estos métodos se utilizan para realizar barridos generales, estudios para identificar rutas de entrada de radón a partir del suelo o para comprobar la eficacia de acciones correctoras.

Métodos de lectura continua

Se hace pasar un flujo constante de aire a través de un detector adecuado

durante largos períodos de tiempo, evaluándose continuamente la concentración. Son métodos que proporcionan mucha información pero resultan caros y están limitados a tareas de investigación. Son imprescindibles para estudiar las fluctuaciones en tiempo real de las concentraciones ya que permiten obtener información sobre la relación existente entre las actividades realizadas y el edificio, por ejemplo estudio de las variaciones de concentración a lo largo del día o según las estaciones.

Métodos integrados

Utilizan dispositivos que permiten obtener información sobre concentraciones promedio durante un tiempo que puede llegar a días, semanas o meses. Son los métodos menos caros y los más utilizados ya que son los más adecuados para estudios de inspección y reconocimiento y los que permiten, en muchos casos, decidir sobre la conveniencia de tomar acciones correctoras tras efectuar medidas de, por lo menos, tres meses de duración. En general los sistemas utilizados son de tipo pasivo.

Métodos de uso más corrientes

Entre los equipos y dispositivos utilizados con más frecuencia para las mediciones de radón y de sus descendientes destacan:

Células de centelleo

Pueden tener distintos tamaños y consisten en cilindros metálicos, con un extremo transparente, que están recubiertos en su interior por una capa uniforme de ZnS(Ag) y que es un producto de respuesta eficiente frente a las partículas α. Las muestras de aire se introducen en su interior, previo vacío, y tras alcanzarse el equilibrio se mide el número de destellos de luz con un tubo fotomultiplicador para determinar la concentración de radón en el aire.

Cámara de ionización

El procedimiento de medida se basa en la espectrometría de la señal ocasionada por las desintegraciones alfa del radón y sus descendientes efectuadas en una cámara de ionización por la que se hace circular aire de muestreo, previamente filtrado de manera que se permita únicamente la entrada de gas radón. La determinación de la concentración de radón se realiza mediante el uso de algoritmos de cálculo del espectro alfa obtenido en el recuento de las partículas alfa que provienen del Rn-222, Po-218 y Po-214. El aire puede entrar de forma activa mediante una bomba de aspiración o por un proceso de difusión a través del filtro. El sistema de entrada por difusión es muy utilizado para la determinación de radón en interiores.

Detectores sólidos de trazas

Son sistemas pasivos que se basan en el uso de materiales tales como lámi-

nas finas de nitrato de celulosa o policarbonato que tienen la propiedad de que en ellos quedan impresionadas las trazas debidas a las radiaciones α emitidas por el radón y sus descendientes después de un tiempo de exposición. Estas huellas o trazas visibles pueden identificarse y contarse mediante sistemas de microscopía, siendo su número proporcional a la concentración existente durante el tiempo de exposición, proporcionando un valor promedio de la concentración de radón.

Detectores de carbón activo

Son también sistemas pasivos, muy simples, basados en la capacidad del carbón activo para retener el radón. Los tiempos de muestreo empleados varían entre dos y siete días y el nivel de radón se establece, en este caso, midiendo la radiación γ emitida por el carbón activo con un detector adecuado, como el de ioduro sódico.

En la tabla 5.1 se presenta de forma esquemática el modo más generalizado de aplicación de estos cinco tipos de detectores de radón.

DETECTOR	Método instantáneo	Método continuo	Método integrado	Método activo	Método pasivo
Célula de centelleo	SÍ	SÍ	—	SÍ	SÍ
Cámara de ionización	SÍ	SÍ	—	SÍ	SÍ
Detector de trazas	—	—	SÍ	—	SÍ
Detector de carbón activo	—	—	SÍ	—	SÍ
Electrete	—	—	SÍ	—	Sí

Tabla 5.1.- Aplicabilidad de los detectores de radón más usuales

Electretes

Son detectores basados en la incorporación de un material aislante eléctrico o electrete de elevada estabilidad en el interior de una pequeña cámara de un material plástico conductor. El electrete, normalmente es un disco de teflón cargado a un nivel de tensión eléctrica, sirve tanto como generador de campo eléctrico en la cámara de detección, como de sensor; el dispositivo permite la entrada de radón pero evita la de los descendientes. Las desintegraciones producidas por el radón y sus descendientes generan iones en el aire de la cámara

de detección, que son recogidos por el electrete previamente cargado a un cierto potencial; este disminuye en proporción a la exposición de radón. Mediante el uso de un voltímetro, especialmente adaptado para este fin, se mide el potencial eléctrico del electrete antes y después de la exposición, estando su diferencia directamente relacionada con la concentración de radón.

MEDIDAS PARA REDUCIR EL NIVEL DE RADÓN EN INTERIORES

Es difícil dar reglas generales aplicables a todas las situaciones en que pueda existir radón en un interior ya que la experiencia está demostrando que no hay dos edificios iguales y que las medidas a tomar dependerán del tipo de edificio, de su construcción y de la utilización que se le dé. Sin embargo, en líneas generales, las principales acciones que podrían tomarse para limitar la entrada y/o el nivel de concentración de radón serían las siguientes:

1) *Depresurización* del espacio entre el suelo del edifico y el terreno para reducir la entrada de radón.
2) Aumento de la *tasa de ventilación* del edificio para facilitar la eliminación de radón. Este es uno de los métodos más asequibles pero hay que evitar que se generen depresiones en el edificio que pueden tener un efecto contrario.
3) *Recubrimiento* de los elementos (suelo y/o paredes) que presenten una emisión de radón elevada y así reducir la acumulación de radón en el interior del edificio.

La aplicación de otros procedimientos generales habitualmente utilizados para reducir la presencia de un contaminante presenta dificultades en el caso del radón. Por ejemplo, los sistemas de tratamiento del aire aplicables en minería e industria no lo suelen ser en aire interior por los elevados volúmenes de aire a manejar y por el tipo de entorno. Asimismo, respecto a la eliminación de las fuentes, uno de los pocos casos podría ser el actuar sobre el agua de suministro, con todas las dificultades que esto implicaría.

GUÍAS Y VALORES DE REFERENCIA

Dado que el radón está presente de forma natural en el medio ambiente y que, al mismo tiempo es un cancerígeno humano para el cual no existe un nivel de riesgo cero, el establecimiento de niveles de acción a partir de los cuales tomar medidas correctoras es complejo y dificultoso. Como resultado de ello, los valores existentes en distintos países son consecuencia de su problemática particular, de sus posibilidades y de la sensibilidad pública existente. Para los edificios de nueva construcción la tendencia general es recomendar el seguimiento de códigos o prácticas de construcción, adaptadas a las características de cada lugar, que limiten el nivel de radón.

En Estados Unidos, la EPA recomendó en 1986 tomar los 150 Bq/m^3 como el valor a partir del cual deben realizarse una serie de intervenciones graduales, estableciendo los períodos en que debe lograrse su reducción (años, meses o semanas).

La OMS estableció en 1987 su recomendación teniendo en cuenta la exposición a productos descendientes de radón, expresada como concentración equivalente de radón (EER), y proponiendo 100 Bq/m^3 EER de promedio anual como valor a reducir y 400 Bq/m^3 EER para una actuación inmediata. Las construcciones nuevas no deben superar los 100 Bq/m^3 EER.

En 1990 la Comisión de la Comunidad Europea, basándose en un informe presentado en 1987 por un grupo de trabajo de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), recomendó limitar la concentración media anual de gas radón a 400 Bq/m^3 en edificios ya existentes y a 200 Bq/m^3 en las nuevas construcciones (90/143/EURATOM).

La ICRP adoptó en 1993 una nueva recomendación en la que propone, para los edificios existentes con concentraciones entre 200 y 600 Bq/m^3, actuaciones en función del nivel de concentración. En este mismo documento también se proponen niveles de referencia para puestos de trabajo en los que existe poca ocupación, por ejemplo oficinas, bibliotecas y teatros. Se proponen valores entre 500 Bq/m^3 y 1500 Bq/m^3. Estos valores difieren de los establecidos para residencias, ya que, como es habitual, se ha considerado que en el ámbito laboral el tiempo de exposición es más corto y se asume una sensibilidad diferente frente a la radiación entre la población general y la trabajadora.

En la UE, la Directiva 96/29/EURATOM establece las normas básicas relativas a la protección sanitaria de los trabajadores y de la población que resultan de las radiaciones ionizantes. Esta Directiva ha sido transpuesta al ordenamiento jurídico español mediante el RD 783/2001 por el que se aprueba el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes, que es de aplicación a todas las prácticas que presenten un riesgo derivado de las mismas, tanto si su procedencia es de origen artificial como natural. En el título VII "Fuentes naturales de radiación" de dicho Reglamento, se hace referencia a la exposición de los trabajadores y miembros del público a fuentes de radiación natural. Se indica la necesidad de llevar a cabo estudios de evaluación para determinar si existe exposición. En función del resultado de dichos estudios el Consejo de Seguridad Nuclear identificará aquellas actividades laborales que deban ser objeto de especial atención y estar sujetas a control y, si es necesario, establecerá la aplicación de medidas correctoras y de protección radiológica, exigiendo su aplicación por los titulares. Se consideran una serie de fuentes de radiación natural como son: los procesos industriales de materiales que contengan radionucleidos naturales; aquellas en las que los trabajadores o los miembros del público estén expuestos a la inhalación de los descendientes de torón o de radón o a la radiación gamma o cualquier otra

exposición en lugares de trabajo como establecimientos termales, cuevas, minas, lugares de trabajo subterráneos o no subterráneos en áreas identificadas; las actividades donde se manipulen o almacenen materiales radiactivos o que generen residuos radiactivos que contengan radionucleidos naturales que provoquen un incremento de la exposición de los trabajadores o de los miembros del público; las actividades laborales que impliquen exposición a la radiación cósmica durante las operaciones con aeronaves. En especial las compañías aéreas deben considerar un programa de protección radiológica cuando la exposición a la radiación cósmica del personal de tripulación de aviones pueda tener una dosis anual superior a 1 mSv por año oficial. En este Reglamento se excluye la exposición a radón en el interior de viviendas.

6
EL HUMO DE TABACO

INTRODUCCIÓN

Hace ya años que se conocen perfectamente los efectos nocivos que para la salud de las personas representa el hábito de fumar. En primer lugar, deben considerarse los efectos ocasionados por el humo de tabaco aspirado en el sistema respiratorio del fumador. Estos efectos, que no se considerarán aquí, son debidos a la presencia en el humo de combustión del tabaco de muchas sustancias consideradas habitualmente como contaminantes, algunas de las cuales son muy tóxicas.

En segundo lugar, también se halla perfectamente demostrado que la inhalación del humo de tabaco causa un fuerte sinergismo sobre los efectos de otros contaminantes a los que puede estar expuesto el fumador, incluyendo varios tipos de enfermedades de origen irritativo y cánceres.

En tercer lugar, debe contemplarse la exposición al humo del tabaco por parte del llamado "fumador pasivo", es decir, la persona que respira un aire contaminado con humo de tabaco, sin tratarse propiamente de un fumador. Esta exposición, denominada "exposición a humo de tabaco ambiental" (HTA) y a la que también está expuesto el fumador, proviene del humo de combustión del tabaco del cigarrillo, cigarro puro o pipa cuando no hay aspiración del fumador (humo secundario, HS), y del humo exhalado por el fumador (humo principal, HP). La concentración del HTA que afecta a un fumador pasivo es, cuantitativamente, mucho menor que la del humo que aspira el fumador, pero también debe tenerse en cuenta que puede haber variaciones cualitativas, ya que el humo aspirado por el fumador y posteriormente exhalado (HP) proviene de un proceso de combustión con gran aporte de oxígeno que genera, en el extremo del cigarrillo, temperaturas cercanas a los 900°C, mientras que, en el caso del HS, la combustión tiene lugar sin llama en un ambiente deficitario en oxígeno y a una temperatura del orden de los 600°C.

Finalmente, también deben considerarse otras causas. En primer lugar, la presencia en un ambiente de no fumadores de personas que han dejado de fumar pero que aún exhalan humo de tabaco. En segundo lugar, la ropa y los objetos impregnados portados por fumadores y no fumadores provenientes de un ambiente con humo de tabaco pueden reemitir los componentes más volátiles del humo. En tercer lugar, una inadecuada separación de zonas de fumadores y no fumadores puede provocar la presencia de HTA; esta separación puede ser defectuosa por falta de barreras físicas o bien porque, existiendo éstas, el sistema de ventilación sea con recirculación y se mezcle el aire de áreas de no fumadores con el de áreas de fumadores. Cabe mencionar también la circunstancia de zonas en las que la prohibición de fumar está establecida según un horario; en este caso habrá reemisión de volátiles del humo de tabaco durante el periodo de prohibición. En estas situaciones, la principal queja manifestada por los ocupantes de un recinto suele estar referida a olor molesto.

COMPOSICIÓN DEL HUMO DEL TABACO

En el HTA se han identificado miles de compuestos procedentes de la combustión y pirólisis de los componentes de la hoja de tabaco, de la volatilización y destilación de los compuestos de peso molecular más bajo y de las reacciones químicas que tienen lugar en el mismo humo. Estos compuestos pueden estar en forma de aerosol o como vapor. Procedentes de las hojas de tabaco, en el humo se encuentran lignina, polisacaridos, ácidos pectínicos, aceites, ceras, pigmentos fenólicos, proteínas, alcaloides y cenizas inorgánicas, destacando entre los productos químicos la presencia de gases inorgánicos, ácidos orgánicos, aldehídos y cetonas, hidrocarburos heterocíclicos (piridinas, furanos e indoles) e hidrocarburos policíclicos.

En la tabla 6.1 se da una lista indicativa de los compuestos más comúnmente considerados como componentes del humo del tabaco ambiental. Se incluye el margen de concentraciones de éstos en el humo proveniente directamente de la combustión del tabaco (HS) y su relación con las exhaladas por el fumador (HP).

Como ya se ha dicho, la composición del HTA es bastante variable, influyendo también la utilización o no de filtros en los cigarrillos. Éstos retienen muchos compuestos que, en consecuencia, no formarán parte del HP pero sí del HS.

Aunque el HS no diluido en la atmósfera contiene cantidades más elevadas de sustancias tóxicas que el HP, el HS inhalado por los no fumadores (y los fumadores cuando no aspiran) se encuentra muy diluido en el aire y sus características están alteradas por transformaciones que tienen lugar en la atmósfera, especialmente por lo que se refiere a los productos más reactivos. En la tabla 6.2 se listan los datos referentes a substancias detectadas en aire interior en presencia de fumadores.

Otros aspectos a reseñar sobre la presencia del humo de tabaco es que su composición también varía desde el punto de vista de la distribución de sus-

	Compuesto	Tipo de Toxicidad[a]	Cantidad en el humo secundario por cigarrillo	Relación del humo secundario respecto al humo principal
FASE DE VAPOR	Monóxido de carbono	T	26,80-61 mg	2,5-14,9
	Sulfuro de carbonilo	T	2-3 µg	0,03-0,13
	1,3-Butadieno	C	200-250 µg	3,8-10,8
	Benceno	C	240-490 µg	8-10
	Formaldehído	C	300-1.500 µg	10-50
	Acroleína	T	40-100 µg	8-22
	3-Vinilpiridina	T	330-450 µg	24-34
	Cianuro de hidrógeno	T	14-110 µg	0,06-0,4
	Hidrazina	C	90 ng	3
	Oxidos de nitrógeno (NO_x)	T	500-2.000 µg	3,7-12,8
	N-Nitrosodimetilamina	C	200-1.040 ng	12-440
	N-Nitrosodietilamina	C	ND[b]-1.000 ng	<40
	N-Nitrosopirrolidina	C	7-700 ng	4-120
FASE PARTICULADA	Alquitrán	C	14-30 mg	1,1-15,7
	Nicotina	T	2,1-46 mg	1,3-21
	Fenol	IT	70-250 µg	1,3-3,0
	Catecol	CoC	58-290 µg	0,67-12,8
	2-Toluidina	C	2,0-3,9 µg	18-70
	ß-Naftilamina	C	19-70 ng	8,0-39
	4-Aminobifenilo	C	3,5-6,9 ng	7,0-30
	Benzo [*a*] antraceno	C	40-200 ng	2-4
	Benzo [*a*] pireno	C	40-70 ng	2,5-20
	Quinolina	C	15-20 µg	8-11
	NNN[c]	C	0,15-1,7 µg	0,5-5,0
	NNK[d]	C	0,2-1,4 µg	1,0-22
	N-Nitrosodietanolamina	C	43 ng	1,2
	Cadmio	C	0,72 µg	7,2
	Níquel	C	0,2-2,5 µg	13-30
	Zinc	T	6,0 ng	6,7
	Polonio-210	C	0,5-1,6 pCi	1,06-3,7

[a]C = cancerígeno; CoC = cocancerígeno; T = tóxico; IT = inductor tumoral. [b]ND = no detectado.
[c]NNN = N'-nitrosonornicotina. [d]NNK = 4-(metilnitrosamino)-1-(-piridil)-1-butanona.

Tabla 6.1.- Algunos agentes tóxicos y tumorígenos en el humo secundario de los cigarrillos no diluido

Contaminante	Lugar	Concentración/m³
Óxido nítrico	Salas de trabajo	50-440 µg
	Restaurantes	17-240 µg
	Bares	80-250 µg
	Cafeterías	2,5-48 µg
Dióxido de nitrógeno	Salas de trabajo	68-410 µg
	Restaurantes	40-190 µg
	Bares	2-116 µg
	Cafeterías	67-200 µg
Cianuro de hidrógeno	Cuartos de estar	8-122 µg
1,3-Butadieno	Bares	2,7-4,5 µg
Benceno	Lugares públicos	20-317 µg
Formaldehído	Cuartos de estar	2,3-5,0 µg
	Tabernas	89-104 µg
Acroleína	Lugares públicos	30-120 µg
Acetona	Cafés	910-1.400 µg
Fenoles (volátiles)	Cafés	7,4-11,5 ng
N-Nitrosodimetilamina	Bares, Restaurantes, Oficinas	<10-240 ng
N-Nitrosodietilamina	Restaurantes	<10-30 ng
Nicotina	Residencias	0,5-21 µg
	Oficinas	1,1-36,6 µg
	Edificios públicos	1,0-22 µg
2-Toluidina	Oficinas	3,0-12,8 ng
	Salón de cartas con fumadores	16,9 ng
ß-Naftilamina	Oficinas	0,27-0,34 ng
	Salón de cartas con fumadores	0,47 ng
4-Aminobifenilo	Oficinas	0,1 ng
	Salón de cartas con fumadores	0,11 ng
Benzo [*a*] antraceno	Restaurantes	1,8-9,3 ng
Benzo [*a*] pireno	Restaurantes	2,8-760 µg
	Salas de fumadores	88-214 µg
	Cuartos de estar	10-20 µg
NNN[a]	Bares	4,3-22,8 ng
	Restaurantes	ND[b]-5,7 ng
NNK[c]	Bares	9,6-23,8 ng
	Restaurantes	1,4-3,3 ng
	Coches con fumadores	29,3 ng

[a]NNN=N'nitrosonornicotina. / [b]ND=no detectado. / [c]NNK=4-(metilnitrosamino)-1-(-piridil)-1-butanona

Tabla 6.2.- Algunos agentes tóxicos y tumorígenos en ambientes de interior contaminados con humo de tabaco

tancias entre vapor y partículas y el tamaño de éstas. Ello hace que, por ejemplo, más del 90% de la nicotina se halle presente en la fase vapor del HTA.

EFECTOS SOBRE LA SALUD DEL HUMO DE TABACO AMBIENTAL

El primer efecto citado es el aumento de problemas respiratorios y de la gravedad de los episodios de asma en niños sometidos a tabaquismo pasivo; en el caso de los adultos, la asociación de la exposición con los efectos del tipo citado es muy leve, aunque no descartable en ningún caso. Por lo que se refiere al riesgo de cáncer de pulmón, la Agencia Internacional de Investigación del Cáncer (IARC) concluyó, en 1986, que "...el tabaquismo pasivo da lugar a un cierto riesgo de padecer cáncer". El hecho de falta de conclusiones en los estudios epidemiológicos hay que buscarlo en la escasa fiabilidad en la respuesta de los cuestionarios, sobre todo cuanto las preguntas se refieren al pasado (existe la tendencia a negar haber sido fumador por parte de los exfumadores), a la dificultad de establecer niveles de exposición en no fumadores y a la falta de información sobre la capacidad de "transmisión" del humo de tabaco entre parejas en las cuales solamente uno de los dos es fumador.

Esta falta de conclusiones desde el punto de vista epidemiológico debe ser condicionada por los datos obtenidos en estudios con indicadores biológicos. La presencia de cotinina (metabolito principal de la nicotina) en sangre y orina, la del 4-aminobifenilo (aducto de la hemoglobina y cancerígeno de la vejiga urinaria) y la de un metabolito cancerígeno de la nicotina (NNK) en orina, son datos suficientes para sospechar un riesgo, aunque incipiente, de cáncer para los fumadores pasivos.

ESPACIOS PARA FUMADORES: DISEÑO Y VENTILACIÓN

Legislación

La Ley 28/2005 de 26 de diciembre sobre medidas sanitarias frente al tabaquismo y reguladora de la venta, el suministro, el consumo y la publicidad, regula, entre otros aspectos, el establecimiento de lugares o espacios en los que está totalmente prohibido fumar y aquellos otros en los que, pese a esta prohibición, se permite la habilitación de zonas para el consumo del tabaco (Art. 6). Desde el punto de vista técnico, estos aspectos de la Ley pueden abordarse tanto desde la perspectiva de los requerimientos asociados a la calidad de aire interior, como de la prevención de la salud de los trabajadores expuestos al humo del tabaco.

Por lo que hace referencia a la calidad del aire interior, deben tenerse en cuenta los criterios y referencias técnicas y legales existentes, que, aplicados al caso concreto de lugares en los que está permitido fumar, establecerán los correspondientes requerimientos de compartimentación y ventilación.

Por lo que hace referencia a la exposición laboral a humo de tabaco por parte de los trabajadores que desarrollan su actividad en áreas en las que está permitido fumar, se plantea la necesidad de establecer principios de actuación para la protección de su salud, ya que se trata de la exposición a un riesgo claramente reconocido: la inhalación de un contaminante considerado como cancerígeno, cual es el humo de tabaco.

Ambas consideraciones son de aplicación tanto en bares, restaurantes y demás establecimientos de restauración cerrados, con una superficie útil destinada a clientes o visitantes de hasta 100 m^2 en los que su titular haya decidido permitir fumar, como en las zonas habilitadas para fumar en recintos en los cuales para el resto de los mismos rige la prohibición de fumar.

La Ley 28/2005 establece en su artículo 7 un listado de lugares o espacios en los que está prohibido totalmente fumar (ver tabla 6.3), mientras que en su artículo 8 prohíbe fumar en los espacios o lugares que se relacionan en la tabla 6.4, aunque en los mismos se habilitarán zonas para fumadores. Estas zonas, en las que no se permitirá la presencia de menores de dieciséis años, deben cumplir los requisitos que se indican a continuación.

a) Deberán estar debida y visiblemente señalizadas, en castellano y en la lengua cooficial, con las exigencias requeridas por las normas autonómicas correspondientes.

b) Deberán estar separadas físicamente del resto de las dependencias del centro o entidad y completamente compartimentadas, y no ser zonas de paso obligado para las personas no fumadoras, salvo que éstas tengan la condición de trabajadoras o empleadas en aquéllas y sean mayores de dieciséis años.

c) Deberán disponer de sistemas de ventilación independiente u otros dispositivos o mecanismos que permitan garantizar la eliminación de humos.

d) En todo caso, la superficie de la zona habilitada deberá ser inferior al 10% de la total destinada a clientes o visitantes del centro o establecimiento, salvo en los supuestos a que se refieren las letras b), c) y d) de la tabla 6.4, en los que se podrá destinar, como máximo, el 30% de las zonas comunes para las personas fumadoras. En ningún caso, el conjunto de las zonas habilitadas para fumadores podrán tener una superficie superior a 300 m^2. En los hoteles, hostales y establecimientos análogos, se podrá reservar hasta un 30% de habitaciones para huéspedes fumadores.

e) En los establecimientos en los que se desarrollen 2 actividades, separadas en el espacio, de las enumeradas en la tabla 6.4, la superficie útil se computará para cada una de ellas de forma independiente, excluyendo del cómputo las zonas comunes y de tránsito, en las que, en ningún caso, se permitirá el consumo de tabaco. En todos los casos en que no fuera posible dotar a estas zonas de los requisitos exigidos, se mantendrá la prohibición de fumar en todo el espacio.

a) Centros de trabajo públicos y privados, salvo en los espacios al aire libre.
b) Centros y dependencias de las Administraciones públicas y entidades de Derecho público.
c) Centros, servicios o establecimientos sanitarios.
d) Centros docentes y formativos, independientemente de la edad del alumnado y del tipo de enseñanza.
e) Instalaciones deportivas y lugares donde se desarrollen espectáculos públicos, siempre que no sean al aire libre.
f) Zonas destinadas a la atención directa al público.
g) Centros comerciales, incluyendo grandes superficies y galerías, salvo en los espacios al aire libre. En los bares, restaurantes y demás establecimientos de hostelería y restauración situados en su interior y separados del resto de sus dependencias, no se podrá fumar, sea cual fuere su superficie, salvo que se habiliten zonas para fumadores.
h) Centros de atención social para menores de 18 años.
i) Centros de ocio o esparcimiento, en los que se permita el acceso a menores de 18 años, salvo en los espacios al aire libre.
j) Centros culturales, salas de lectura, exposición, biblioteca, conferencias y museos.
k) Salas de fiesta o de uso público en general, durante el horario o intervalo temporal en el que se permita la entrada a menores de 18 años.
l) Áreas o establecimientos donde se elaboren, transformen, preparen, degusten o vendan alimentos.
m) Ascensores y elevadores.
n) Cabinas telefónicas, recintos de los cajeros automáticos y otros espacios de uso público de reducido tamaño (extensión no superior a 5 m^2).
ñ) Vehículos o medios de transporte colectivo urbano e interurbano, vehículos de transporte de empresa, taxis, ambulancias, funiculares y teleféricos.
o) Todos los espacios del transporte suburbano (vagones, andenes, pasillos, escaleras, estaciones, etc.), salvo los espacios que se encuentren por completo al aire libre.
p) Medios de transporte ferroviarios y marítimos, salvo en los espacios al aire libre.
q) Aeronaves con origen y destino en territorio nacional y en todos los vuelos de compañías aéreas españolas, incluidos aquellos compartidos con vuelos de compañías extranjeras.
r) Estaciones de servicio y similares.
s) En cualquier otro lugar en el que, por mandato de la Ley 28/2006 o de otra norma o por decisión de su titular, se prohíba fumar

Tabla 6.3. Lugares o espacios definidos en los que está prohibido fumar (Art. 7, Ley 28/2005)

a)	Centros de atención social.
b)	Hoteles, hostales y establecimientos análogos.
c)	Bares, restaurantes y demás establecimientos de restauración cerrados, con una superficie útil destinada a clientes o visitantes igual o superior a 100 m^2, salvo que se hallen ubicados en el interior de centros o dependencias en los que se prohíba fumar (Tabla 6.3)
d)	Salas de fiesta, establecimientos de juego, o de uso público en general, durante el horario o intervalo temporal en el que no se permita la entrada a menores de 18 años, salvo en los espacios al aire libre.
e)	Salas de teatro, cine y otros espectáculos públicos que se realizan en espacios cerrados. En estos casos, la ubicación de la zona de fumadores deberá situarse fuera de las salas de representación o proyección.
f)	Aeropuertos.
g)	Estaciones de autobuses.
h)	Estaciones de transporte marítimo y ferroviario.
i)	En cualquier otro lugar en el que, sin existir prohibición de fumar, su titular así lo decida.
j)	En cualquier lugar o espacio permitido por la normativa de las Comunidades Autónomas, fuera de los supuestos de la Tabla 6.3.

Tabla 6.4. Lugares o espacios en los que, estando prohibido fumar, se permite habilitar zonas para fumar (Art. 8 Ley 28/2005)

Señalización

Aunque la Ley 26/2005 no establece una señalización específica para identificar los locales en los que está prohibido o permitido fumar, se ha generalizado el uso de distintas señales, ejemplos de las cuales se incluyen en las figuras 6.1, 6.2 y 6.3 en relación con las posibilidades existentes en los locales públicos. Desde el punto de vista de la presencia de trabajadores, así como con respecto a la señalización en general, habrá que considerar lo establecido por el RD 485/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo. También se han publicado, por parte de organismos competentes y colegios y asociaciones profesionales relacionadas, recomendaciones en cuanto a las características y ubicación de la señalización. Una de las más extendidas es que los carteles no deben ser de tamaño inferior a DIN A4.

Respecto a la ubicación de los carteles, deben colocarse en lugar visible de los accesos tanto a los centros en que esté prohibido fumar, como en los que existan zonas habilitadas para ello, así como, en estas últimas, en lugar visible de los accesos a las mismas.

Figura 6.1. Carteles de prohibido fumar

Figura 6. 2. Cartel de prohibición parcial

Figura 6.3. Cartel de zona habilitada para fumadores

Diseño de las zonas habilitadas para fumadores

El punto 8.2b de la Ley hace referencia al hecho de que las zonas habilitadas para fumadores deberán estar separadas físicamente del resto de las dependencias del centro o entidad y completamente compartimentadas, y no ser zonas de paso obligado para las personas no fumadoras, no trabajadoras. Ello implica, por un lado, la separación física de estas zonas, que no pueden ser en ningún caso zonas de paso para el público en general, ya que en él habrá personas no fumadoras. Aparte de los temas relacionados con la ventilación de estos locales, que se comentan más adelante, la separación física de estos espacios implicará necesariamente un encerramiento estructural de la zona en cuya puerta o puertas de acceso deberán colocarse los carteles indicativos de

zona habilitada para fumadores (figura 6.3). La expresión de que estas zonas deben estar "completamente compartimentadas" no deja lugar a dudas en este sentido.

Por otro lado, en cuanto a diseño, debe tenerse también en cuenta lo expuesto en los puntos d) y e) del apartado sobre legislación referente a que a los espacios para fumadores en su conjunto debe destinarse como máximo un 30% de las zonas comunes o de las habitaciones en el caso de hoteles y establecimientos equivalentes y que, en total, no pueden superar los 300 m^2. Es de especial relevancia el comentario final al punto e) en el sentido de que, caso que no puedan cumplirse los requisitos y limitaciones establecidas en su conjunto para las zonas habilitadas para fumadores, se mantendrá la prohibición de fumar en todo el espacio.

Ventilación

El punto 8.2c de la Ley 28/2005 indica que deberán disponer de sistemas de ventilación independiente u otros dispositivos o mecanismos que permitan garantizar la eliminación de humos.

En el caso de locales no residenciales, los requerimientos técnicos para la ventilación de locales se encuentran en el Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE) aprobado por el RD 1027/2007 que, en sus Instrucciones Técnicas, concretamente en la IT 1.1.4.2 referente a la calidad del aire interior, considera válido lo establecido en el procedimiento de la ya citada norma UNE-EN 13779. 2005: *Ventilación de edificios no residenciales. Requisitos de prestaciones de los sistemas de ventilación y acondicionamiento de recintos.*

Como ya se ha indicado en el capítulo 1, la UNE-EN 13779 parte del principio de definir cuatro niveles de calidad de aire interior deseada en zonas ocupadas y revisa las posibilidades de su obtención a partir de la aportación de caudales de aire exterior, que, a su vez, dependerán de la magnitud y características de las fuentes de contaminación existentes y de la calidad del aire exterior. De los cinco posibles métodos de clasificación (ver tabla 1.2), en el caso de locales que son zona de fumadores es de aplicación, tal como sugiere la propia norma, el método que tiene en cuenta el número de ocupantes, ya que establece tasas de ventilación específica por persona en "zona de fumadores". La aplicación de los otros métodos no tiene sentido, ya que el tratamiento de la contaminación por humo de tabaco va mucho más allá de la eliminación de CO_2 y de mejorar la calidad del aire percibido; fijar tasas de ventilación por niveles de concentración de contaminantes específicos (ventilación por dilución) requeriría conocer la tasa de generación y no es aplicable a contaminaciones complejas como la causada por el humo del tabaco. En la tabla 6.5 se resumen las tasas de aire exterior establecidas en la norma para los cuatro niveles de calidad que se definen.

CATEGORÍA	INTERVALO TÍPICO		VALOR POR DEFECTO	
	$m^3\ h^{-1}$ persona^{-1}	$l\ s^{-1}$ persona^{-1}	m^3h^{-1} persona^{-1}	$l\ s^{-1}$ persona^{-1}
Alta	> 108	> 30	144	40
Media	72-108	20-30	90	25
Moderada	43-72	12-20	58	16
Baja	< 43	< 12	36	10

Tabla 6.5. Tasas de aire exterior por persona en zona de fumadores

En el caso de los trabajadores expuestos a humo de tabaco, el RD 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo, fija un caudal de 30 m^3/h (8,3 l/s) y trabajador para trabajos sedentarios en ambientes no calurosos y libres de humo de tabaco, mientras "en los casos restantes, a fin de evitar el ambiente viciado y los olores desagradables" fija un valor de 50 m^3/h (13,9 l/s) y trabajador, que sería el aplicable al caso de trabajadores expuestos a humo de tabaco. Al comparar estos valores con los de la tabla 6.5 se observa que se aproximan a las tasas fijadas para una calidad "moderada" del aire. Por otro lado, al tratarse de un RD de disposiciones mínimas, dichos valores deben entenderse como tales. En este sentido deben prevalecer siempre todas las medidas que garanticen la salud de los trabajadores, por lo que, cuando fuere necesario, se emplearán caudales de ventilación más elevados. Este mismo RD indica que estos valores se fijan sin perjuicio de lo dispuesto en el RD 1618/1980 en relación con la ventilación de determinados locales. Al haber sido este RD sustituido a su vez por el RITE, comentado en el apartado anterior, esta legislación conduce finalmente también a la UNE-EN 13779.

Tanto en el caso de ventilación general de locales (sin actividad "industrial") como en el de talleres (con actividad "industrial"), el disponer de un caudal de aire exterior de calidad, calculado o prefijado por una norma, no garantiza por sí mismo que sea suficiente para lograr el objetivo propuesto, bien sea de percepción de una calidad de aire correcta o de evitar efectos adversos para la salud de los ocupantes. Es necesario tener en cuenta una serie de aspectos que se suelen incluir en la llamada "eficacia" de la ventilación. Aparte de disponer un caudal suficiente y de calidad adecuada de aire exterior, para lograr una buena eficacia es necesaria una buena mezcla entre el aire exterior y el interior y un arrastre suficiente de los contaminantes en el aire extraído. En el caso que nos ocupa, cuanto mayor sea el porcentaje de humo de tabaco presente en el aire extraído en relación con el existente en el local, mayor eficacia tendrá la ventilación.

En resumen, una serie de recomendaciones para lograr una buena ventilación de un local para fumadores serían:

- La zona de fumadores debe hallarse en presión negativa respecto a los locales adyacentes y debe tenerse en cuenta que el sentido de la circulación del aire de ventilación será siempre de la zona menos contaminada a la más contaminada.
- Debe preverse la existencia de bocas de entrada y salida del aire. Téngase en cuenta que, si se ventila el local por aspiración, no habrá circulación de aire si no hay entrada del mismo y lo mismo ocurriría en sentido inverso si se ventilara por impulsión solamente, aunque por lo expuesto en el punto anterior este tipo de ventilación no es adecuado. Si existen posibilidades para ello, es recomendable utilizar extracción e impulsión mecánicas, lo que permite regular la presión interna y controlar la salida y la entrada de aire, evitando su difusión hacia otras áreas.
- Las bocas de entrada y salida del aire del local deben estar lo suficientemente alejadas o protegidas para evitar que el aire extraído sea introducido de nuevo en el local.
- El aire de ventilación ha de barrer todo el local, por lo que, en general, no es recomendable una elevada compartimentación del mismo. Si ésta es imprescindible, deberá diseñarse un sistema de ventilación en el que los difusores alcancen todas las compartimentaciones existentes de forma efectiva.
- La salida del aire debe hallarse lo más próxima posible a la zona donde se prevea una mayor afluencia de fumadores. De esta manera se reduce en conjunto la inhalación de humo de tabaco por parte de los ocupantes del local.
- Debe valorarse la necesidad de tratar el aire exterior en aquellos casos en los que la ubicación del local no garantice una toma de aire de calidad o este aire no provenga de manera directa del exterior.
- Debe valorarse la necesidad de tratar el aire extraído en aquellos casos en los que pudiera afectar, por la proximidad de emisión en zonas habitadas, a personas no fumadoras.
- Debe tenerse en cuenta que los caudales de referencia son de aire exterior, por lo que, si existe recirculación, el aire recirculado no se considera a efectos de ventilación. En todo caso, el aire de recirculación debe ser tratado para eliminar el humo de tabaco.

En cuanto a los trabajadores en zonas habilitadas para fumadores, la Ley establece, como norma general, la prohibición de entrar en contacto con el humo de tabaco a personas de 16 años o menores. Por otro lado, la admisión, lógica, de la presencia de trabajadores en áreas en las que está permitido fumar plantea la cuestión de la protección de la salud de estas personas.

Las recomendaciones expuestas para la ventilación de espacios para fumadores están encaminadas a disminuir al máximo la presencia de humo de taba-

co ambiental y, en consecuencia, tienen efectos positivos para los fumadores presentes, pero sobre todo para aquellas personas no fumadoras y los trabajadores que también se hallan en la zona. La presencia de no fumadores debe considerarse voluntaria, mientras que la de los trabajadores implica una exposición profesional al humo de tabaco.

En la exposición de motivos de la Ley se afirma que hay evidencias científicas de que el humo de tabaco en el ambiente, que implica el consumo pasivo o involuntario de tabaco, es causa de mortalidad, enfermedad y discapacidad y que la IARC (Agencia Internacional de Investigación del Cáncer) ha determinado que la exposición al aire contaminado con humo de tabaco es carcinogénica en los seres humanos.

Al tratarse de trabajadores y estar sometidos a una exposición considerada formalmente como cancerígena, la conclusión lógica sería la aplicación de la legislación sobre sustancias cancerígenas y mutágenas recogida en el RD 665/1997, de 12 de mayo, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos durante el trabajo, modificado por el RD 1124/2000, de 16 de junio y el RD 349/2003, de 21 de marzo.

7
CONTAMINANTES BIOLÓGICOS

PERSPECTIVA HISTÓRICA

Tradicionalmente, los contaminantes químicos y las energías peligrosas para la salud (contaminantes físicos) han sido ampliamente estudiados, tanto en el medio laboral como en el medio ambiente en general. Sin embargo, la presencia de los contaminantes biológicos no venía recibiendo la misma atención hasta hace, relativamente, pocos años, cuando la identificación de la legionelosis como una enfermedad causada por un "contaminante biológico" y el incremento de respuestas alérgicas por parte de la población en general han provocado un aumento en los esfuerzos destinados al estudio de estos contaminantes, especialmente en lo que hace referencia a la calidad del aire interior.

El conjunto de microorganismos presentes en el aire interior, que se denomina también "carga microbiana", comprende virus, bacterias, hongos, incluidos los mohos y levaduras, algas verdes y azules y amebas de vida libre. Además de los contaminantes microbiológicos ya citados, deben tenerse en cuenta otros factores bióticos en la búsqueda de causas para las enfermedades relacionadas con los edificios, como son las partículas biológicas de transmisión aérea que producen síntomas alérgicos o efectos tóxicos, como el pelo de ciertos animales, diferente material derivado de insectos y ácaros y sus productos de excreción, así como polen, esporas fúngicas, micotoxinas y endotoxinas.

Ramazzini, en 1713, describió los síntomas pulmonares agudos en trabajadores agrícolas, asociándolos a la inhalación de polvo de desechos vegetales, afección conocida como bisinosis, pero no fue hasta 1942 cuando se estableció por primera vez la relación entre la presencia de bacterias Gram negativas

y los síntomas pulmonares presentados por los obreros de una hilandería de algodón.

A lo largo de este siglo se ha investigado sobre la contaminación microbiológica del aire interior de casas, escuelas y otros edificios. Las primeras investigaciones versaron sobre la "pureza" microbiológica del aire en diferentes tipos de edificios y su relación con la proporción de muertes entre sus ocupantes. La aparición, en la década de los años 40 y de los 50, de modernos muestreadores microbiológicos volumétricos de aire, junto con el ya antiguo interés por conocer la propagación de agentes patógenos en los hospitales, dirigió las investigaciones hacia la búsqueda sistemática de microorganismos en aire interior en centros hospitalarios, permitiendo, por otro lado, determinar la causa de algunos de los problemas ocurridos en domicilios particulares y edificios públicos, como, por ejemplo, los ocasionados por infestaciones masivas de las estructuras de los mismos por hongos.

Durante los años 50 y 60 empezaron los trabajos de investigación de enfermedades respiratorias ocupacionales como el pulmón del granjero y el pulmón del trabajador de la malta, entre otras. En 1959 se describió por primera vez en un grupo de trabajadores la fiebre del humidificador, enfermedad parecida a la gripe. Por otra parte, aunque eran ya bien conocidas las propiedades alérgicas de los hongos, no fue hasta 1988 cuando se citó por primera vez una enfermedad causada por la inhalación de toxinas generadas por hongos en lugares de trabajo no industriales.

DEFINICIONES

Según el Real Decreto 664/1997, de 12 de mayo, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos durante el trabajo, se entiende por *agente biológico* aquellos microorganismos, con inclusión de los genéticamente modificados, cultivos celulares y endoparásitos humanos, susceptibles de originar cualquier tipo de infección, alergia o toxicidad.

También según el RD 664/1997, *microorganismo* es toda entidad microbiológica, celular o no, capaz de reproducirse o de transferir material genético.

Los contaminantes ambientales de procedencia biológica definidos como *bioaerosoles* están constituidos por seres vivos y partículas que los contienen o moléculas grandes o compuestos orgánicos volátiles que proceden de un organismo vivo. Es decir, los bioaerosoles comprenden a los microorganismos (cultivables, no cultivables y microorganismos muertos) y a los fragmentos, toxinas y partículas producto de los desechos de todo tipo, cuyo origen es la materia viva. Formando parte de los bioaerosoles se pueden encontrar, por tanto, microorganismos tales como virus, bacterias, hongos y protozoos y también granos de polen, pelos y caspa, procedentes de animales de compañía,

fragmentos de insectos y ácaros, así como sus excrementos, micotoxinas y endotoxinas, y compuestos orgánicos volátiles procedentes del metabolismo de los microorganismos (COVM).

CONDICIONES PARA EL CRECIMIENTO Y LA REPRODUCCIÓN DE LOS CONTAMINANTES BIOLÓGICOS

Los agentes biológicos, los virus, las bacterias, los hongos, así como los productos y estructuras elaboradas por ellos, son componentes habituales de los ecosistemas terrestres. Muchos de estos organismos y sus productos son perjudiciales para el ser humano, pero incluso aquellos asociados con enfermedades graves, sólo causan problemas cuando se encuentran presentes en un entorno, en un número suficientemente elevado y con unas condiciones ambientales específicas.

En las últimas décadas se ha ido incrementando la presencia de "biocontaminantes" en ambientes interiores y la consecuente afectación de las personas expuestas. Este hecho ha sido foco de atención y estudio para los expertos. Las posibles causas que se aducen para este incremento son las siguientes:

- Los edificios se construyen más herméticos para un mayor control de la ventilación y de la climatización.
- Los caudales de ventilación son insuficientes.
- Los programas de mantenimiento y limpieza son inadecuados o no se llevan a cabo, lo que ha favorecido la formación de focos de contaminación.

El desarrollo microbiológico en cualquier ambiente precisa de la presencia de microorganismos o de sus elementos de reproducción, de agua y de nutrientes, así como de temperaturas apropiadas y de otras condiciones ambientales que faciliten y permitan la colonización y el crecimiento en número. En los ambientes interiores se encuentran fácilmente esos requisitos:

- Fuentes de microorganismos: el aire exterior, el sistema de ventilación y de climatización, los humidificadores, los materiales del edificio y el mobiliario, los ocupantes, etc.
- Fuentes de nutrientes: la suciedad y el polvo, la comida, el agua, las plantas y sus restos (hojas muertas), los materiales del edificio, etc.
- Fuentes de agua: el agua de lluvia, las cañerías y sus pérdidas, condensaciones o migraciones, las plantas de interior, los humidificadores, los ocupantes, los acuarios y las fuentes ornamentales, etc.

Para que su presencia sea un problema en un interior deben darse cuatro condiciones:

- Debe haber un *reservorio* o entorno adecuado, por ejemplo: agua estancada en un sistema de refrigeración que puede convertirse en foco de contaminación.

- Debe haber una fuente de *nutrientes*, por ejemplo polvo o suciedad, aunque la mayoría de microorganismos pueden crecer en cualquier sitio que contenga compuestos orgánicos, incluidos materiales tales como pinturas y madera.
- Debe tener lugar la *amplificación* o crecimiento de los microorganismos cuando las condiciones de temperatura y/o pH sean adecuadas.
- Tiene que haber una *diseminación* del agente biológico, generalmente en forma de aerosol. Según la naturaleza del agente biológico, la diseminación puede ocurrir, en el caso de los parásitos obligados, a través de los aerosoles generados por los ocupantes con el habla, la tos o los estornudos, o en el caso de parásitos oportunistas, por cualquier alteración del reservorio, por ejemplo, la provocada por el propio funcionamiento del sistema de ventilación y climatización del edificio.

AGENTES BIOLÓGICOS Y EFECTOS SOBRE LA SALUD

El crecimiento o amplificación de colonias de microorganismos y la acumulación de otros biocontaminantes en ambientes interiores se ha asociado con efectos adversos para la salud humana, incluyendo respuestas alérgicas e irritantes, enfermedades infecciosas, problemas respiratorios y reacciones de hipersensibilidad.

Los agentes biológicos pueden causar cuatro tipos básicos de enfermedades entre los ocupantes de un edificio:

- Enfermedades infecciosas
- Enfermedades alérgicas
- Efectos tóxicos
- Efectos irritativos o Síndrome del Edificio Enfermo (SEE)

Enfermedades infecciosas

Una infección microbiana significa la invasión de las células de un huésped por microbios para reproducirse. En el proceso de crecimiento y multiplicación, los microbios se nutren de las células huésped, destruyendo los tejidos. Los dos tipos principales de infecciones son:

Infecciones oportunistas

Una infección oportunista es la producida por un microorganismo que se encuentra normalmente en el medio ambiente en condiciones poco propicias para causar una infección y con una patogenicidad relativamente baja, en huéspedes que por alguna razón (enfermedades, tratamientos médicos, etc.) presentan una escasa resistencia inmunitaria, siendo éste el factor determinante en la aparición de la infección. Habitualmente son infecciones causadas

por agentes biológicos procedentes de fuentes o reservorios medioambientales. La posible presencia de individuos inmunodeprimidos, tales como los VIH-positivos, las personas que padecen asma o anemia falciforme o los que están sometidos a un tratamiento de quimioterapia, debe ser un factor a considerar a la hora de valorar un riesgo por contaminación biológica.

Infecciones patogénicas

Una infección patogénica es una enfermedad infecciosa que implica la presencia de un microorganismo que es parásito obligado, es decir, que necesita de un huésped para sobrevivir, y que puede ser causa de infección en individuos con un estado inmune normal; lógicamente, los individuos inmunodeprimidos son los que pueden adquirir la infección más fácilmente.

Cuando un individuo adquiere una enfermedad infecciosa el microorganismo causante se multiplica en él (amplificación) y pasa al aire en estado infectivo (diseminación). Esta diseminación ocurre por el paso de los aerosoles generados con el habla, la tos o los estornudos al ambiente, donde el agente infeccioso deberá encontrar un nuevo huésped o morirá. La forma de transmisión es, por tanto, de huésped a huésped.

En ambientes interiores de edificios con actividades especiales, como es el caso de hospitales o laboratorios microbiológicos o de investigación, pueden aparecer infecciones poco corrientes que pueden provocar epidemias en el edificio. Por ejemplo, el ántrax, una enfermedad bacteriana causada por inhalación de esporas de *Bacillus anthracis*, que es muy rara en ambientes interiores, pero que puede ocurrir cuando se manejan productos procedentes de animales infectados.

Un tema de interés es el posible incremento del número de infecciones transmisibles por vía aérea en aquellos edificios con escasa renovación de aire. La importancia de la trans-

ORGANISMO	ENFERMEDADES
Parásito obligado*	**Infecciones patogénicas**
Bacterias	Antrax Brucelosis Neumonía estreptocócica Tuberculosis
Virus	Resfriado común Gripe Varicela Sarampión Rubéola
Hongos	Blastomicosis Coccidioidomicosis Histoplasmosis
Parásito oportunista**	**Infecciones oportunistas**
Bacterias	Enfermedad del Legionario Fiebre de Pontiac Neumonía por pseudomonas
Virus	Herpes
Protozoos	Cryptosporidiosis Neumonía neumocística

* *requiere de un huésped para sobrevivir*
** *normalmente presente en el ambiente; sólo causa infecciones en condiciones especiales*

Tabla 7.1.- Enfermedades infecciosas transmisibles por vía aérea en un aire interior

misión de enfermedades en aire interior ha sido confirmada por la aparición, en el mismo, de brotes de tuberculosis, varicela y sarampión, entre otros. (Ver tabla 7.1).

Enfermedades alérgicas

Las enfermedades por hipersensibilidad o alergias se presentan cuando los individuos entran en contacto con sustancias capaces de generar la alergia o alérgenos. Generalmente no existe una sensibilización previa pero las personas pueden sensibilizarse como consecuencia de uno o más contactos con estas sustancias. Tras la sensibilización, la respuesta del organismo frente a los alérgenos consiste en la liberación de histamina, que es la causa de los síntomas característicos de las alergias: estornudos, picor de nariz y ojos, congestión, obstrucción nasal, dermatitis y asma.

En la práctica, cualquier molécula orgánica puede causar reacciones alérgicas en individuos susceptibles. Entre los alérgenos de origen biológico más comunes en el medio interior destacan las esporas fúngicas, junto con otros biocontaminantes, como bacterias, ácaros del polvo, caspa y pelos de los animales de compañía, cucarachas y polen de las plantas (ver tabla 7.2). El asma es la hipersensibilidad más común, estimándose que alrededor de la mitad de los ataques de asma están causados por alergias.

Tipo	Microorganismo	Fuente
Bacterias	*Bacillus subtilis*	Madera podrida
	Faenia rectivirgula	Humidificador
	Pseudomonas aeruginosa	Humidificador
	Thermoactinomyces vulgaris	Aire acondicionado
Hongos	*Aureobasidium pullulans*	Sauna
	Cephalosporium spp.	Sótano; humidificador
	Cladosporium spp.	Cuartos de baño no ventilados
	Mucor spp.	Sistema de aire caliente
	Penicillium spp.	Humidificador del sistema de aire caliente
	P. casei	Paredes
	P. chrrysogenum/P. cyclopium	Entarimado
	Serpula lacrimans	Madera podrida
	Sporobolomyces	Paredes, techos
	Trichosporon cutaneum	Madera

Tabla 7.2.- Microorganismos en aire interior causantes de alveolitis alérgica relacionada con edificios

Efectos tóxicos

Muchos tipos de bacterias y de hongos producen sustancias que presentan efectos tóxicos. En el caso de las bacterias estas sustancias se denominan endotoxinas y son moléculas que forman parte estructural de la pared celular de las bacterias Gram negativo y, en el caso de los hongos, se denominan micotoxinas y son subproductos de sus procesos metabólicos. Tanto unas como otras pueden producir reacciones inflamatorias o tener efectos tóxicos en humanos.

Efectos irritativos o SEE

Aunque no se ha podido asociar de forma concluyente la presencia de bioaerosoles con los síntomas irritativos manifestados en un SEE, sí se han publicado algunos trabajos en los que se sugiere que las correlaciones existentes entre algunos de los síntomas del SEE y los procesos de enfriamiento y humidificación en un edificio eran debidas a la contaminación microbiana, y otros en los que se asocia el SEE con el desarrollo de hongos poco frecuentes. Estudios más recientes centran la relación entre el SEE y los bioaerosoles con las endotoxinas, micotoxinas y otros subproductos microbianos porque, teóricamente, sus efectos no dependerían de la sensibilización inmunológica y serían de una duración lo suficientemente corta como para explicar la existencia de unos trastornos que desaparecen cuando los individuos afectados abandonan el edificio.

CONTAMINANTES BIOLÓGICOS MÁS FRECUENTES EN UN AMBIENTE INTERIOR

Entre los agentes biológicos más característicos en un ambiente interior destacan:

Virus

Los virus son organismos submicroscópicos (0,004-0,05 µm de diámetro) muy importantes en cuanto a la cantidad de enfermedades que pueden provocar, pero al mismo tiempo son seres que no pueden sobrevivir fuera de las células, ya que son parásitos obligados y por lo tanto necesitan otro ser vivo para vivir. El medio principal de transmisión es el contacto huésped - huésped. Así, por ejemplo, las inhalaciones puntuales de los aerosoles generados por la tos y los estornudos (portadores de virus en el resfriado común y la gripe) pueden ser un importante medio de transmisión de dichas enfermedades entre un colectivo de personas.

Bacterias

Las bacterias son organismos unicelulares microscópicos (0,06-0,7 µm de

diámetro) más complejos que los virus y que, a diferencia de ellos, son capaces de vivir, en un medio adecuado, sin la necesidad de un huésped para completar su desarrollo. En general son formas de vida libre, algunas, parásitos obligados y otras, parásitos facultativos. Presentan diferencias morfológicas y estructurales y una gran diversidad en cuanto a su capacidad de colonizar diferentes substratos bajo condiciones ambientales distintas. Un buen número de ellas es patógeno para el hombre, siendo los efectos adversos más frecuentes, asociados a la exposición a bacterias, los siguientes: las infecciones, los procesos alérgicos y los efectos tóxicos causados por las endotoxinas, ya citadas.

Algunas bacterias tienen la capacidad de formar esporas, que son formas resistentes de vida capaces de aguantar, durante mucho tiempo, condiciones ambientales adversas y de revertir a las formas vegetativas cuando las condiciones vuelven a ser favorables. Algunos ejemplos de este grupo son: *Thermoactinomyces* spp. y *Bacillus anthracis* (carbunco).

Las bacterias se dividen en dos grandes grupos de acuerdo con la reacción de la tinción de Gram (ver tabla 7.3). El grupo más común en el aire interior es el formado por las bacterias Gram-positivo, procedentes de las mucosas de la boca, nariz, nasofaringe y piel, especialmente *Staphylococcus epidermis*, *S. aureus* y *Aerococcus* spp, *Micrococcus* spp y *Streptococcus* spp.

Las bacterias Gram-negativo no son generalmente tan abundantes en los

Organismo	Gram	Forma	Enfermedad	Presencia en aire	
				Exterior	Interior
Legionella pneumophila	-	Bacilo	Legionelosis	Rara	Rara
Pseudomonas	-	Bacilo	Neumonitis	Ocasional	Rara
Entéricos	-	Bacilo	Varias	Rara	Rara
Bacillus	+	Bacilo	Neumonía por hipersensibilidad	Común	Común
Micrococcus	+	Coco	Generalmente ninguna	Común	Común
Mycobacterium	(+)*	Bacilo irregular	Tuberculosis	Común	Común
Thermoactinomyces	+	Filamentos	Hipersensibilidad	Rara	Rara
Corynebacterium	(+)*	Bacilo	Generalmente ninguna	Rara	Ocasional

** Se colorean mal o toman el Gram débilmente*

Tabla 7.3.- Clasificación de las bacterias más usuales en aire interior causantes de enfermedades

ambientes interiores, pero se pueden encontrar especies de *Actinobacter*, *Aeromonas*, *Flavobacterium* y en especial *Pseudomonas*, que viven en el agua o en el suelo y crecen rápidamente en una gran variedad de nutrientes.

La bacteria *Legionella pneumophila,* causante de la enfermedad del legionario o legionelosis, puede estar presente en las instalaciones de suministro de agua, encontrándose preferentemente allí donde la temperatura del agua alcanza los valores idóneos para su desarrollo (30°C – 45°C). Los focos de contaminación más frecuentes son: las torres de refrigeración, los humidificadores del aire acondicionado, así como los equipos de terapia respiratoria y de hidromasaje, como jacuzzis. Su transmisión es por vía aérea a través de la inhalación de los aerosoles producidos en esas instalaciones. El tiempo de supervivencia de *L. pneumophila* en aire interior no supera normalmente los 15 minutos.

También puede encontrarse en el aire interior Actinomycetes, un tipo de bacterias filamentosas que producen dispersión aérea de esporas. Estas bacterias parece que están asociadas a los materiales de construcción con problemas de humedad y tienen un olor característico a tierra. Dos de estas bacterias, *Faenia rectivirgula* (antiguamente *Micropolyspora faeni*) y *Thermoactinomyces vulgaris,* pueden crecer a 60°C y pueden encontrarse en los humidificadores y otros equipos del sistema de ventilación y climatización si se alcanzan estas temperaturas.

Hongos

Los hongos son organismos eucariotas, es decir, poseen núcleo verdadero, están rodeados de membrana celular y son portadores de varios cromosomas. Pueden ser unicelulares o pluricelulares. Se presentan como formas de vida libre, parásitos y parásitos facultativos. Su hábitat natural es el suelo, pero algunos componentes de este grupo son parásitos, tanto de hombres y animales como de vegetales.

En función de su estructura se pueden diferenciar dos grandes grupos: las levaduras, que son formas unice-

- *Alternaria alternata* (20% - 30% de muestras)*
- *Aspergillus* spp. (*A. fumigatus, A. niger, A. ochroaceus, A. oryzae, A. versicolor*, y/o *A. glaucus*) (37% de muestras)
- *Aureobasidium pullulans* (20% - 30% de muestras)
- *Botrytis cinerea* (>50% de muestras)
- *Cladosporium* spp. (*C. cladosporoides, C. herbarum,* y/o *C. sphaerospermum*) (>80% de muestras)
- *Epicoccum purpurascens* (20% - 30% de muestras)
- *Geotrichum candidum* (20% - 30% de muestras)
- Levaduras rosas y blancas (>79% de muestras)
- Mucor spp.
- *Paecillomyces variotii*
- *Penicillium* spp. (80% de muestras)
- *Phoma* spp.
- Sistrotema brinkmannii (>70% de muestras)
- *Stachybotrys atra*
- *Trichoderma harzianum*
- *Trichoderma viride*
- *Ulocladium* spp. (*U. chartarum* y/o *U. consortiale*) (20% - 30% de muestras)

* Frecuencia en forma de percentil de muestra en que se encuentra cada una de estas especies.

Tabla 7.4. Hongos comunes en polvo doméstico

lulares, y los mohos, que son formas micelares; los individuos de la colonia permanecen unidos formando estructuras ramificadas comunicadas. La propagación de la colonia se realiza por esporas (3-200 μm).

Los principales efectos sobre la salud son los procesos alérgicos, causados principalmente por la inhalación de esporas; algunos hongos pueden causar infecciones, sobre todo cutáneas, y también presentan efectos tóxicos causados por las sustancias (micotoxinas) que elaboran y entre las que destacan las aflatoxinas que tienen un elevado poder cancerígeno. Son ejemplos de este grupo: *Histoplama capsulatum* (histoplasmosis) y *Aspergillus fumigatus* (aspergilosis).

Las especies más comunes que se encuentran en aire interior son las reflejadas en la tabla 7.4, a partir de los resultados obtenidos en diferentes estudios.

Protozoos

Los protozoos son organismos unicelulares, siendo algunos de ellos parásitos de los vertebrados. Su ciclo vital es complejo, necesitando a veces de varios huéspedes para completar su desarrollo. La transmisión de un huésped a otro la realizan habitualmente insectos. Son ejemplos de protozoos que pueden estar presentes en aire interior las amebas *Acanthamoeba* y *Naegleria,* animales microscópicos unicelulares (8-20 μm) que se alimentan de bacterias y otras partículas orgánicas en humidificadores y aguas estancadas de desagües así como en los sistemas de ventilación y climatización.

Algunas amebas de vida libre son conocidas por ingerir bacterias Gram-negativo, como *Legionella*. Dentro de la ameba, la bacteria puede permanecer viva e infecciosa y al mismo tiempo la ameba protege a la bacteria de un entorno agresivo y la hace resistente a los biocidas.

Las amebas producen antígenos, y la aerosolización de estas sustancias se ha descrito como posible causa de la fiebre del humidificador.

Polen y esporas fúngicas

El polen y las esporas son elementos reproductores de las plantas fanerógamas y los hongos, respectivamente, que son liberados de las anteras y esporangios por dehiscencia (abertura natural) de estos órganos. Esta liberación puede ser de forma explosiva, de una sola vez, o de forma gradual, dependiendo de la planta de que se trate. Por ello, se puede considerar a las plantas como centros emisores de partículas, en este caso de partículas biológicas.

El polen se origina principalmente en las plantas de exterior y su concentración en el interior de edificios es normalmente mucho más baja que en el exterior debido al denominado efecto escudo. En consecuencia, los problemas

respiratorios asociables a la presencia de polen en interiores aparecerán en situaciones de elevada concentración exterior. En los edificios cerrados la presencia de polen en el aire interior pondrá de manifiesto un mal funcionamiento del sistema de filtración del aire de renovación, o bien que hay aberturas al exterior no controladas, aunque también puede llegar a través de las personas o materiales procedentes del exterior.

Caspa y pelos de animales

La caspa y los pelos de animales (junto a saliva y orina secas) son una fuente de alérgenos que pueden ser causa a la vez de rinitis o asma en individuos susceptibles. Generalmente, la caspa y los pelos en ambientes interiores proceden de los gatos y perros, pero también pueden proceder de ratas y ratones (como mascotas o animales de experimentación), hámsteres, cobayas o pájaros enjaulados.

La presencia de alérgenos procedentes de animales domésticos en el aire interior de un edificio de oficinas generalmente es debida a personas que tienen animales de compañía en su casa y transportan estos alérgenos en sus ropas.

Insectos

Los insectos, así como sus excretas, pueden causar alergias respiratorias. Además, los insectos son una fuente adicional de partículas. Los fragmentos de pulgas de gato, polillas de la ropa y cucarachas también pueden causar alergias, aunque su incidencia es menor.

Ácaros

Los ácaros son arácnidos microscópicos muy comunes en el polvo doméstico; muchos ácaros pueden parasitar al hombre y los animales. En calidad de aire interior los ácaros tienen importancia por ser responsables (ellos mismos o sus excretas) de reacciones alérgicas que producen en algunas personas condiciones similares al asma. Los principales implicados parecen ser los ácaros del polvo casero (*Dermatophagoides pteronyssinus* o *D. farinae*) que se encuentran en gran número en el polvo de colchones, alfombras y moquetas.

La presencia de ácaros como *Acarus, Glyciphagus y Tyrophagus*, en almacenes de alimentos y forrajes para animales, puede generar la aparición de fragmentos alergénicos en al aire interior de estos edificios.

Micotoxinas

Las micotoxinas son compuestos orgánicos tóxicos producidos por diferentes especies de hongos. Éstos, como organismos sin clorofila, a diferencia de las plantas verdes, no poseen la capacidad de realizar la fotosíntesis, por lo

que necesitan el suministro del carbono fijado orgánicamente, usando para ello la materia orgánica muerta como alimento por liberación de enzimas que digieren las sustancias que contienen carbono, como la celulosa y materiales orgánicos. Estos procesos producen compuestos (azúcares), que los hongos usan como energía, y metabolitos secundarios, la mayoría de los cuales son tóxicos para las células humanas y animales y que son las micotoxinas. Algunos de estos compuestos secundarios pueden ser tóxicos para las células bacterianas, denominándose antibióticos, como es el caso de la penicilina.

En general, las micotoxinas no son volátiles y permanecen asociadas a la estructura de los hongos, a las esporas o al substrato en el que crecen los hongos. Aunque la formación de toxinas por parte de los hongos es un proceso variable que depende de la disponibilidad de nutrientes, de la existencia de ciertas condiciones de temperatura o de la presencia o ausencia de luz, se parte de la idea de que si un hongo que produce toxinas está presente en el ambiente, probablemente su toxina también lo estará. Se pueden distinguir dos grupos principales de micotoxinas: las aflatoxinas y los tricotecenos.

Las aflatoxinas son sustancias para las que se han descrito efectos cancerígenos, mutagénicos y teratogénicos y de las cuales se conocen unos 20 compuestos químicamente similares. Fueron descubiertas en 1960 por un grupo de investigación británico. Su nombre procede de la toxina del *Aspergillus flavus* y fue propuesto en 1962 por sus descubridores.

Los tricotecenos pueden causar diferentes efectos tóxicos entre los que destacan: la irritación gastrointestinal, la destrucción de las células sanguíneas o alteraciones del sistema inmunitario. Se han clasificado con este nombre más de 40 micotoxinas derivadas de un compuesto terpénico de cuatro ciclos, el escirpeno, caracterizado por la presencia en posición 12-13 de un ciclo epoxi estable. Están producidas, entre otros, por los géneros *Fusarium, Cephalosporium, Giberella, Myrothecium, Stachybotrys, Trichothecum y Trichoderma.* Entre los tricotecenos que han sido detectados en cereales contaminados se encuentran la toxina T-2 (un tricoteceno producido por *Fusarium),* el nivalenol y derivados de estos compuestos. De las diferentes formas de micotoxinas, los tricotecenos se encuentran entre las bioquímicamente más activas, son muy solubles en agua y pueden hallarse formando parte de aerosoles en el medio ambiente; en solución diluida son estables bajo la acción de la luz, al contrario de las aflatoxinas, que se degradan.

Aunque la exposición laboral está asociada, principalmente, a actividades de tipo agrícola, se han descrito intoxicaciones en ambientes interiores y en viviendas en los que ha habido una colonización por hongos toxigénicos.

Endotoxinas

Las endotoxinas, nombre genérico que se aplica a diferentes moléculas de lipopolisacáridos, forman parte de la pared celular de las bacterias Gram nega-

tivo. Dependiendo de la dosis, se han demostrado efectos que van desde síndromes pseudogripales leves, fiebre, hipertensión, coagulación intravascular hasta incluso la muerte. La exposición laboral a endotoxinas está relacionada con actividades en las que la concentración ambiental de estas bacterias suele ser elevada, como, por ejemplo: en la manipulación de fibras vegetales, sobre todo el algodón; en plantas de tratamiento de aguas residuales, y en tratamientos de lodos y actividades agroalimentarias.

Una exposición menos evidente es la que puede tener lugar en espacios interiores climatizados, sobre todo aquellos que disponen de humidificadores. La falta de mantenimiento de estos equipos facilita la colonización de las aguas por parte de las bacterias Gram negativas las cuales proliferan durante los períodos de parada y son arrastradas con el aire durante el funcionamiento del sistema de ventilación y climatización.

COVM

Los compuestos orgánicos volátiles procedentes de microorganismos (COVM) varían considerablemente en composición química y son los responsables de su olor. Se han identificado más de 500 COVM procedentes de diferentes hongos. El denominado alcohol de seta, 1-octano-3-ol (que tiene un olor a setas frescas), está producido por diferentes mohos. Otros compuestos volátiles menos comunes incluyen 3,5-dimetil-1,2,4-tritiolona (descrito como "fétido"), geosmin o 1,10-dimetil-trans-9-decalol ("terroso") y 6-pentil-a-pirona ("coco", "mohoso"). Algunas bacterias, como distintas especies de *Pseudomonas,* producen piracinas con un olor a "patatas mohosas". El olor de un microorganismo individual es el producto de una mezcla compleja de COVM.

AGENTES BIOLÓGICOS Y AIRE ACONDICIONADO

La mayor parte de los edificios industriales, comerciales y de oficinas, cualquiera que sea su tamaño, disponen de sistemas mecánicos de suministro de aire fresco el cual puede ser filtrado, calentado o enfriado y, en ocasiones, humidificado.

En estos equipos se pueden dar las condiciones idóneas para el crecimiento y dispersión de los microorganismos o agentes biológicos.

Los microorganismos son transportados por el agua destinada a la humidificación, por el agua de la red general de la ciudad (esta agua es potable, pero esto no implica que sea estéril), o por el agua proveniente de pozos. También son transportados por el aire exterior que puede contener polen, esporas fúngicas, bacterias, o por el aire reciclado que aporta los aerosoles generados por las personas que ocupan los edificios.

Si las condiciones son favorables a su desarrollo, es decir, disponen de elementos nutritivos y el pH y la temperatura son los adecuados, los microorganismos proliferan, produciendo desechos que pueden ser utilizados como substrato por otros agentes biológicos, permitiendo así el asentamiento de nuevas especies.

La naturaleza del sistema de ventilación y climatización juega un papel preponderante en el riesgo de proliferación microbiológica, en su transferencia al ambiente y en su dispersión a todo el edificio afectando a las personas expuestas.

Los principales focos de contaminación biológica relacionados con los sistemas de ventilación/climatización son:

1. El aire exterior. Éste transporta granos de polen, bacterias y hongos tanto en sus formas vegetativas como en sus formas resistentes (esporas); la mayoría son inocuos para el hombre pero algunos pueden ser patógenos.
2. Los sistemas de filtración. En ellos, y ésa es su misión, queda retenida buena parte del material particulado que lleva el aire y al que pueden ir asociados microorganismos; este material es un buen medio para la proliferación de los mismos.
3. Sistema de refrigeración. Durante la estación cálida el vapor de agua que contiene el aire condensa sobre los serpentines de refrigeración, pudiendo quedar estancada en las bandejas de drenaje o en el suelo del equipo donde, junto a la suciedad que allí pueda estar acumulada, se crearán las condiciones adecuadas para el desarrollo de agentes biológicos.

   Otro foco de contaminación asociado al sistema de refrigeración lo constituyen las torres de refrigeración; en ellas las temperaturas que alcanza el agua no están lejos de las que favorecen el desarrollo de las bacterias causantes de la legionelosis y de otros microorganismos como algas, amebas y bacterias. De las torres de refrigeración, debido a su diseño y funcionamiento, se desprenden a la atmósfera aerosoles que pueden contener microorganismos, los cuales se suman a la contaminación exterior, pudiendo reintroducirse en el sistema de ventilación del mismo edificio o de los edificios situados en las proximidades, dependiendo de la dirección de los vientos predominantes en la zona así como de la ubicación de las tomas de aire.
4. Los humidificadores, y especialmente aquellos en los que el agua es reciclada, pueden convertirse en reservorios y diseminadores de los microorganismos que se desarrollen en ellos.
5. Los materiales porosos que en ocasiones están presentes en los sistemas de ventilación y climatización, normalmente como aislantes acústicos o como material de construcción de los conductos. En ellos se pueden dar las circunstancias que favorecen el crecimiento de agentes biológicos, por ejemplo: la suciedad que aporta nutrientes y el agua que transporta el aire.

6. El aire interior de los locales, el cual ha ido recogiendo la contaminación producida en los diferentes focos. Uno de los más importantes son las personas que ocupan el edificio, que pueden ser portadores sintomáticos o asintomáticos de agentes biológicos. Hay que tener en cuenta que muchos sistemas de ventilación funcionan reciclando parte del aire interior por lo que el sistema puede, en conjunto, convertirse en el diseminador de la contaminación generada en una zona, al resto del edificio.

La mera presencia de microorganismos no es un indicador de enfermedades potenciales y, dado que por el momento no están establecidos criterios de valoración cuantitativos para agentes biológicos, lo más recomendable será mantener sus niveles lo más bajos posible, tanto por lo que respecta a los focos de contaminación como al aire interior.

El control de la contaminación microbiológica en ambientes interiores se puede conseguir con un buen diseño de los sistemas y un eficaz programa de mantenimiento de las instalaciones. El método más directo para limitar el desarrollo de microorganismos es restringir la disponibilidad tanto de nutrientes como de agua.

MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA DEL AIRE INTERIOR

Muchos de los instrumentos utilizados en la captación de agentes biológicos son modificaciones de los utilizados en Higiene Industrial para la medición, mediante toma de muestras, de compuestos químicos. La característica que los diferencia es el propio contaminante ya que algunos de los agentes biológicos que se han de muestrear son seres vivos, por lo que el sistema que se seleccione para su captación debe asegurar su viabilidad con el fin de que la evaluación sea lo más precisa posible.

En términos generales, la toma de muestras consiste en un equipo de aspiración que fuerza el paso del aire sobre un soporte de retención adecuado al contaminante que se va a analizar. En el caso de los agentes biológicos, el soporte de retención debe ser un soporte que no destruya el microorganismo y que lo mantenga con vida hasta el análisis. El soporte de retención más adecuado para la captación de agentes biológicos vivos son los medios de cultivo gelatinosos con sustancias nutrientes. La captación de las formas resistentes de los agentes biológicos o la de sus productos se puede realizar utilizando otro tipo de soportes como los filtros.

Captadores ambientales

Filtración

El sistema de captación sobre filtros se basa en hacer pasar un volumen de

aire a través de un filtro conectado a una bomba de bajo volumen. El procedimiento se emplea principalmente para la captación de agentes biológicos "contables", como polen y esporas fúngicas, microorganismos muertos o sus fragmentos, etc., expresándose el resultado en número de unidades contadas por unidad de volumen de aire (por ejemplo, esporas/m^3). Si después del muestreo, se coloca el filtro en un agar nutritivo para su incubación o se procede a su lavado, incubándose las aguas de lavado sobre medios de cultivo adecuados, se puede obtener información sobre los tipos y cantidades de colonias formadas. En este caso, se habla de agentes biológicos "cultivables", expresándose el resultado en unidades formadoras de colonias por unidad de volumen de aire, normalmente m^3: ufc/m^3. Este segundo procedimiento, sin embargo, es poco usado, ya que no se dispone de garantías sobre la viabilidad de los agentes retenidos en el filtro.

Recogida en medio acuoso

Una alternativa al muestreo a través de filtro es el muestreo a través de un medio acuoso. Consiste en hacer borbotear un volumen de aire a través de un medio de cultivo diluido o una solución isotónica contenida en un frasco lavador. Tras el muestreo se procede a la siembra del líquido o a su filtración y la colocación del filtro en un agar nutritivo para su incubación. Los resultados se expresan en ufc/m^3.

Sedimentación

El sistema más simple consiste en utilizar placas de Petri con agar nutritivo en las que las partículas con los agentes biológicos asociados se depositarán por efecto de la gravedad. Este método es útil cuando el tamaño de partícula es grande y el aire está en calma, de modo que las partículas pueden sedimentar. La información que proporcionan es únicamente cualitativa, ya que no es posible estimar la concentración.

Impactación

Los sistemas denominados "impactadores" se basan en forzar el paso del aire, normalmente, a través de pequeños orificios y en hacer impactar las partículas sobre placas con agar nutritivo; los resultados se expresan en ufc/m^3 de aire. A continuación se describen las características de los más importantes (ver figura 7.1).

Recolector de impacto tipo disco perforado SAS (Surface Air Sampler). El aire es aspirado a través de una superficie que contiene orificios equidistantes y que tiene como misión distribuir uniformemente las partículas sobre la placa con el medio de cultivo en la que se producirá la impactación. Las placas utilizadas son las placas RODAC que permiten, además, el muestreo de superficies. Este equipo tiene un caudal de aire fijo que varía según el modelo entre 180 ó 90 litros por minuto y un programa-

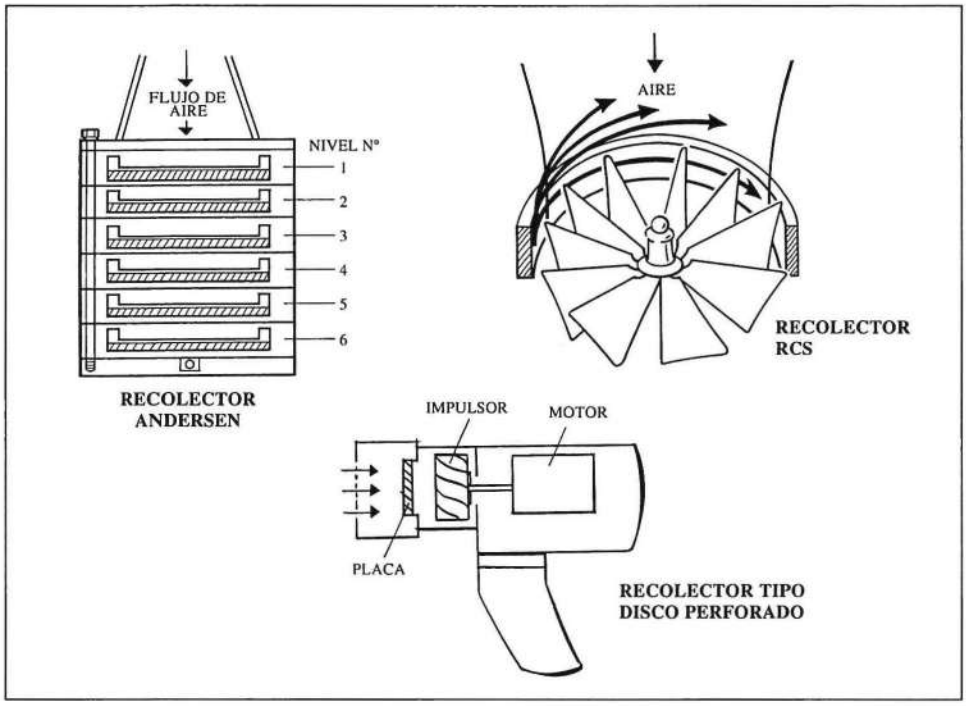


Figura 7.1.- Diversos tipos de muestreadores por impactación

dor de tiempo que permite realizar muestreos desde 20 segundos a 5 minutos.

Recolector de impacto tipo tamiz, en cascada (Andersen). Consiste en un equipo de aspiración del aire con un caudal fijo (28 litros por minuto) y un dispositivo dividido en seis niveles en los que se colocan los soportes de retención. Cada nivel tiene una placa perforada para la entrada del aire y los orificios, equidistantes entre sí, tienen diámetros progresivamente inferiores de un nivel al siguiente por lo que el aire sufre una aceleración. Atendiendo a la velocidad con que discurre el aire, se produce la impactación de las partículas separándose por su tamaño. Existe un modelo que consta únicamente de dos niveles en el que las partículas se separan en dos categorías, la fracción respirable y la inhalable.

Reuter Centrifugal System (RCS). En este equipo, un volumen de aire es impulsado por una hélice sobre una cinta de plástico portadora de alvéolos que contienen el medio de cultivo. Las partículas y los microorganismos asociados presentes en el aire son proyectados, por acción de la fuerza centrífuga, sobre el medio de cultivo. El equipo, precalibrado a un caudal de aspiración de aire de 40 litros por minuto, tiene un programador que permite regular el tiempo de muestreo y que oscila entre 30 segundos y 8 minutos, de modo que se puede seleccionar el volumen de aire que se desea muestrear.

Muestreo de superficies

Esta técnica tiene un interés especial puesto que permite determinar la posible contaminación por agentes biológicos de las superficies, las ropas, las manos, el mobiliario o los elementos de construcción que por sus características o por una deficiente desinfección pueden convertirse en focos de contaminación biológica.

Frotis: Este método consiste en la recogida del material depositado en las superficies con torundas estériles de algodón. Tras el muestreo se puede proceder a la siembra del material recogido aplicando directamente la torunda sobre el medio de cultivo o se puede lavar la torunda con un diluyente estéril y sembrar después el líquido obtenido. En general, este método no permite realizar estimaciones cuantitativas precisas de la contaminación y, básicamente, se utiliza para comprobar la presencia de un microorganismo concreto.

Muestreo con placas de cultivo por contacto: Es el método más utilizado y consiste en la aplicación de placas RODAC, con medio de cultivo ligeramente en exceso, sobre la superficie que se desea muestrear. El resultado del recuento de las colonias que han crecido se expresa en ufc/cm^2.

Muestreo de líquidos

En este caso, como en el anterior, el objetivo es poner de manifiesto la presencia de agentes biológicos en diversos tipos de fluidos, por ejemplo, el agua de un humidificador, de las torres de refrigeración de un sistema de climatización del aire, etc.

En la mayor parte de los casos, el método más sencillo de recogida de fluidos consiste en tomar una muestra del líquido en un recipiente estéril. Cuando el volumen de líquido que se ha de muestrear es grande y la contaminación escasa, es de utilidad realizar un filtrado del líquido.

Los resultados del recuento de colonias se expresan en unidades formadoras de colonias por mililitro o por litro de líquido (ufc/ml).

Análisis microbiológico

El tipo de análisis microbiológico dependerá del tipo de información que se desee obtener. Básicamente esta información se puede concretar en los siguientes puntos:

- Información cuantitativa: supone el recuento del número de microorganismos o de sus productos, por ejemplo: bacterias, hongos, granos de polen, fragmentos de insectos, etc.

- Comparación entre diferentes ambientes: consiste en la relación entre las concentraciones medidas en un ambiente problema y un ambiente que se utiliza como control, por ejemplo, entre el interior de un edificio y el exterior.
- Información cualitativa: supone la identificación de las especies presentes en las muestras tomadas, o la búsqueda de un microorganismo concreto, por ejemplo, la presencia de Legionelas en el agua de las torres de refrigeración de la instalación de climatización.
- Detección de la presencia de productos bioquímicos elaborados por los microorganismos, por ejemplo, endotoxinas o micotoxinas.

Cada situación determinará el muestreador, el soporte de retención y el análisis que se debe realizar. De estos aspectos, uno de los más importantes que se ha de tener en cuenta es el medio de cultivo en el que crecerán los microorganismos cultivables. En términos generales, estos medios de cultivo consisten en una sustancia gelatinosa, el agar, a la que se añaden diferentes sustancias que son los elementos nutritivos para los microorganismos. En ocasiones, se incorporan otras sustancias cuya misión es inhibir el crecimiento de algún tipo particular de microorganismos.

Una vez seleccionados los medios de cultivo y tras haber realizado la toma de muestras, éstas serán transportadas al laboratorio lo más rápidamente que sea posible, allí las muestras se colocarán en estufas de cultivo a las temperaturas adecuadas a los diferentes microorganismos captados.

Tras la incubación, se procederá al análisis de las muestras, que puede comprender el recuento y/o la identificación de las especies captadas. La identificación de las especies es la parte más compleja del estudio y requiere personal especializado. Las pruebas de identificación consisten, en general, en el estudio morfológico de los elementos, diferentes pruebas de tinción y en pruebas bioquímicas. Sobre estos temas existe amplia información en textos especializados.

INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

La interpretación de los resultados es el proceso en el que se toman las decisiones acerca de: a) la importancia para la exposición de los valores ambientales, b) la asociación entre exposición y salud y c) la probabilidad de riesgos, presentes o futuros.

A esta interpretación de los resultados le seguirá la toma de decisiones sobre las medidas preventivas a adoptar para eliminar o minimizar esta exposición.

Valores límite

La comparación de unas concentraciones ambientales con unos estándares

es la metodología más sencilla para interpretar los resultados. Sin embargo, en el caso de los agentes biológicos no existen valores límite con los que comparar los resultados. Además, y según la Comisión para los Bioaerosoles de la American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), actualmente no es posible establecer un valor límite de exposición para la concentración de bioaerosoles cultivables (hongos y bacterias) o contables (polen, esporas fúngicas, células bacterianas). Esto es debido a que:

1. Los microorganismos cultivables y partículas biológicas contables no constituyen una sola entidad, es decir, los bioaerosoles en los lugares de trabajo son generalmente mezclas complejas de muy distintas partículas microbianas, de animales y plantas.
2. La respuesta de los seres humanos a los bioaerosoles puede variar desde efectos inocuos a graves, y aun fatales, y enfermedades, dependiendo del constituyente de que se trate y de la susceptibilidad del trabajador hacia él. Por lo tanto, un límite de exposición adecuado para un aerosol puede ser completamente inadecuado para otro.
3. No es posible obtener y evaluar todos los componentes de un bioaerosol utilizando un único método de muestreo. Hay muchos métodos fiables para obtener y analizar los constituyentes de los bioaerosoles. Sin embargo, métodos diferentes de toma de muestras y análisis pueden dar lugar a estimaciones diferentes en la concentración de bioaerosoles cultivables o contables.
4. La información asociando concentración de bioaerosoles cultivables y contables con los efectos para la salud es en general insuficiente para describir la relación exposición-respuesta.

Aunque en algunos casos se han publicado valores numéricos y recomendaciones (por ejemplo para la concentración total de hongos y de bacterias), este criterio puede variar en varios órdenes de magnitud. Por ello, la ACGIH no considera ningún criterio numérico para la interpretación de los resultados de agentes biológicos a partir de muestras de aire en ambientes no industriales.

En ausencia de criterios numéricos de valoración es necesario decidir con antelación las bases para la evaluación de la situación. Estas bases comprenden la estrategia de muestreo y los criterios de interpretación de los resultados. Éstos han de tener en cuenta la valoración médica de los síntomas, la evaluación del funcionamiento del edificio y el criterio del personal experto. En términos generales, se podrían considerar los siguientes criterios:

- Los tipos y frecuencias relativas de los contaminantes biológicos en el ambiente a evaluar y en un ambiente control (el exterior o cualquier otro sin problemas).
- La evidencia médica de que una infección o alergia ha sido causada por un agente biológico específico.

- Las relaciones cuantitativas existentes entre el ambiente interior y el ambiente control, lo que puede indicar posibles amplificaciones.
- La evaluación de los focos de contaminación y las posibilidades de amplificación y de diseminación de los agentes biológicos.

Además, algunos estudios han relacionado los niveles de contaminación en aire interior y el polvo existente (ver tabla 7.5). En términos generales se ha observado que la carga microbiana en aire interior de edificios con aire acondicionado es inferior a la del aire exterior.

Por lo tanto, la interpretación de los resultados de la evaluación ambiental de bioaerosoles es compleja y puede depender en gran medida de la competencia y experiencia del evaluador. Se recomienda obtener la mayor cantidad de información posible y mediante el conocimiento, la experiencia, la opinión de expertos y el sentido común interpretar la información y diseñar estrategias de control y mejora.

Tipo de contaminación	*ufc/m³ de aire		Hongos como ufc/g de polvo
	Bacterias	Hongos	
Muy bajo	< 50	< 25	< 10.000
Bajo	< 100	< 100	< 20.000
Intermedio	< 500	< 500	< 50.000
Alto	< 2.000	< 2.000	< 120.000
Muy alto	> 2.000	> 2.000	> 120.000
*ucf, unidades formadoras de colonias			

Tabla 7.5.- Niveles observados de microorganismos en aire y polvo en ambientes interiores no industriales

Bacterias

Por lo general, en ambientes en los que no se han detectado síntomas o amplificaciones específicas, las bacterias dominantes deberían ser las correspondientes a la flora bacteriana normal humana; es decir, bacterias Gram-positivo pertenecientes a los géneros *Micrococcus*, *Staphylococcus* y *Streptococcus*. La concentración de estas bacterias dependerá del número de personas presentes, su nivel de actividad y la ventilación del lugar. En cualquier caso, una concentración elevada de estos géneros bacterianos puede indicar que los niveles de ocupación son elevados y/o que la renovación del aire es insuficiente.

Si las bacterias dominantes son Gram-negativo, podría indicar la existencia de focos de contaminación inusuales; por ejemplo, niveles elevados de bacte-

rias Gram negativo, oxidasa negativo y fermentadoras de la glucosa, típicas de contaminación fecal, pueden sugerir un foco de contaminación de origen gastrointestinal (fugas de agua de los desagües de los lavabos o extracciones de los lavabos inadecuadas); sin embargo, hallar algunas de las bacterias mezcladas con la flora normal de los humanos no indica ningún problema. Si una concentración elevada de bacterias son Gram negativo y oxidasa positivo, puede indicar la contaminación de aguas estancadas, que puede haber pasado al ambiente en forma de aerosol.

La comparación estricta de la concentración de bacterias totales obtenida en el interior con la obtenida en el exterior o ambiente control es a menudo de poca utilidad y no se debería emplear para definir una situación como aceptable o no. En su lugar, es necesario determinar la concentración de las especies bacterianas presentes en los dos ambientes y excluir aquéllas de origen humano antes de concluir que existe una contaminación ambiental por bacterias.

Por otro lado, es difícil determinar qué concentración de bacterias constituye un riesgo importante para la salud, ya que se conoce poco acerca de los efectos potenciales en adultos sanos de la exposición a la mayoría de bacterias que se obtienen durante los muestreos ambientales; por lo tanto, a menudo sólo es posible establecer que una exposición se produce o no mediante la comparación con un ambiente control.

Endotoxinas

Debido a la imprecisión del ensayo empleado para evaluar la concentración de endotoxinas en aire (ensayo de lisado de amebocito Limulus) a lo largo del tiempo y entre laboratorios se hace imposible establecer un valor límite para un nivel de endotoxinas dado. Por lo tanto, la ACGIH propone una aproximación práctica alternativa para limitar la exposición a endotoxinas utilizando valores límite relativos. Esta aproximación se basa en la comparación de los niveles de endotoxinas en el ambiente a estudiar con niveles basales determinados simultáneamente; para ello, hay que asegurarse de que los niveles basales se determinan en condiciones apropiadas y representativas.

Estos valores límite relativos se han propuesto porque se ha observado que concentraciones de endotoxinas entre 10-100 veces superiores al valor basal se han asociado frecuentemente con efectos adversos sobre la salud. De esta forma, 10 veces el valor basal se ha propuesto valor límite relativo para la aparición de síntomas respiratorios. En ambientes con una potencial exposición a endotoxinas, pero en los que no se han producido enfermedades, el nivel de endotoxinas no debe exceder 30 veces el nivel basal determinado; este valor es un valor límite relativo máximo en ausencia de sintomatología.

Hongos

Aunque puede ser difícil establecer que se produce una exposición a aerosoles fúngicos, o que una exposición determinada representa un peligro, el crecimiento de hongos en interiores constituye una situación anómala que debe ser corregida.

La interpretación de los resultados ambientales obtenidos se centra generalmente en la comparación entre diferentes ambientes, los géneros y especies fúngicos identificados y la potencial susceptibilidad de la población expuesta.

Los valores de contaminación fúngica obtenida en interiores se deben interpretar con respecto a un ambiente control, que puede ser tanto el aire exterior como un aire interior sin problemas o síntomas. En general, la concentración de hongos en ambientes interiores es similar (en ambientes ventilados de forma natural) o inferior (en ambientes con ventilación mecánica) a la observada en el aire exterior.

Sin embargo puede suceder que la concentración en el exterior sea mucho más elevada que la obtenida en el interior, incluso cuando el crecimiento fúngico en el interior es aparente; o, al contrario, que la concentración fúngica en el exterior sea muy baja, con recuentos fúngicos mayores en el interior, incluso en ausencia de fuentes significativas de contaminación. Excepto en ambientes donde es constante la presencia de individuos inmunodeprimidos, una concentración de hongos saprofíticos inferior a 100 ufc/m^3 no es problemática.

Además, las especies fúngicas halladas en el aire interior y en el exterior deben ser similares, siempre que el aire exterior sea la fuente principal de contaminación. La comparación de las poblaciones en el aire interior y exterior precisa de la identificación, por lo menos a nivel de género y, si es posible, a nivel de especie, de los hongos obtenidos en los dos ambientes.

Por lo tanto, para una correcta interpretación de los resultados, además de la relación cuantitativa entre la concentración de hongos en el ambiente interior y exterior, considerando las posibles desviaciones en las concentraciones obtenidas en el aire exterior, se deben identificar y comparar los hongos presentes en los dos ambientes.

La guía técnica para la calidad del aire interior en edificios de oficinas (Health Canada) a partir de los resultados obtenidos en el estudio de más de 110 edificios del gobierno federal durante 10 años incluye una serie de recomendaciones para la interpretación de los resultados fúngicos:

- La flora fúngica en el aire interior, en edificios con sistema de climatización, es cuantitativamente inferior a la del aire exterior, pero cualitativamente similar.
- La presencia de una o más especies de hongos en el aire interior, pero no en el exterior, demuestra la existencia de una amplificación fúngica en el edificio.
- La identificación de las distintas especies fúngicas obtenidas tanto en el aire interior como exterior es muy importante. No se debe detectar la presencia en

niveles significativos de ciertos hongos patógenos como *Aspergillus fumigatus*, *Hystoplasma* y *Cryptococcus* en el aire interior.

- La presencia continuada de hongos toxigénicos como *Stachybotrys atra* y especies de *Aspergillus, Penicillium* y *Fusarium* en concentraciones significativas indica que se deben realizar más estudios y adoptar acciones correctoras.
- Una concentración superior a 50 ufc/m^3 de una especie (que no sea *Cladosporium o Alternaria*) puede ser motivo de preocupación.
- Valores hasta 150 ufc/m^3 son aceptables si las especies observadas son similares a las del aire exterior. Valores hasta 500 ufc/m^3 son aceptables en los meses de verano, siempre que las especies mayoritarias se correspondan con las obtenidas en el aire exterior.

Micotoxinas

Cuando se identifican en el aire interior hongos toxigénicos, a menudo se asume que se producen micotoxinas y que se desprenden partículas con toxinas. Sin embargo, su presencia no implica la exposición a micotoxinas; muchas cepas de los denominados hongos toxigénicos no producen toxinas siempre e, incluso cuando las toxinas están presentes, puede ser que no se desprendan suficientes partículas con toxinas como para producir una enfermedad. Y al contrario, el no haber identificado especies fúngicas toxigénicas no implica automáticamente que no existan micotoxinas.

Únicamente la detección específica de micotoxinas en muestras ambientales proporciona la evidencia de una potencial exposición. Una vez establecida una posible exposición, queda por determinar si la concentración de toxina detectada es suficiente para producir una enfermedad; sin embargo, los resultados de dosis-respuesta por vía inhalatoria únicamente se disponen para pocas micotoxinas.

Alérgenos biológicos

Las personas sensibilizadas pueden presentar reacciones alérgicas a una gran cantidad de alérgenos biológicos en aire interior como esporas fúngicas, pelos de gato, ácaros del polvo, cucarachas o polen de las plantas. Estos alérgenos puede causar en individuos sensibilizados: asma bronquial alérgica, jadeo, conjuntivitis, rinitis y, en algunos casos, eczema atópico.

Desde los años 20 se han reconocido las alergias al polvo doméstico. En las últimas décadas se ha realizado un progreso considerable en la identificación, purificación y caracterización de los alérgenos producidos por los ácaros del polvo doméstico, sobre todo los producidos por las especies *Dermatophagoides pteronyssimus* (Der p-I) y *Dermatophagoides farinae* (Der f-I). La designación "I" hace referencia al grupo de alérgenos I, asociados a los excrementos de

ácaros y que son transportados por las partículas de diámetro superior a 10 µm. Algunos autores han propuesto una clasificación en distintos niveles de riesgo en función de las concentraciones de ácaros en polvo que pueden causar sensibilización y la aparición de síntomas en personas sensibilizadas (ver tabla 7.6).

CONCENTRACIÓN µg Der p I/g o Der f I/g de polvo	NIVEL DE RIESGO
< 2	Bajo
2 - 10	Significativo
> 10	Alto

Tabla 7.6.- Concentraciones de alérgeno de ácaros en polvo y riesgo asociado

No se han propuesto valores límite de concentración para otros alérgenos ambientales aunque, en principio, debido a que los individuos sensibilizados reaccionan frente a dosis muy bajas de alérgeno, no parece correcto aceptar ningún valor de concentración como "seguro" para estas personas. Por otra parte, unos niveles muy bajos de alérgeno no constituyen, probablemente, un riesgo de sensibilización para nuevos habitantes. De todo ello se desprende que la aplicación de todas las medidas de control disponibles que rebajen los niveles ambientales de alérgeno pueden hacer que un edificio sea seguro para los ocupantes no sensibilizados, pero no para todas aquellas personas que hayan desarrollado la enfermedad a consecuencia de su permanencia en el edificio.

Cuando se determina el número de ácaros vivos en polvo, según la Sociedad Española de Alergólogos, se estima en 100 ácaros por gramo de polvo el umbral de riesgo de desencadenamiento de sintomatología en personas sensibilizadas.

MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y CONTROL

La prevención de la presencia de contaminantes biológicos en ambientes interiores sólo es posible si los factores que permiten su desarrollo están identificados y controlados. Como se ha comentado a lo largo del capítulo, estos factores son: los nutrientes, ciertas condiciones ambientales y los niveles de humedad existentes. De todos ellos, la humedad es el único factor sobre el que se puede ejercer un cierto grado de control.

En la figura 7.2 se muestran algunas de las posibles fuentes de humedad en ambientes interiores. Las acciones para la prevención y el control de los niveles de humedad comprenden las siguientes:

- Secar completamente, en un plazo no superior a 24 - 48 horas, los materiales humedecidos tras un escape de agua o una inundación.
- Eliminar los materiales porosos contaminados.
- Diseñar las envueltas del edificio para prevenir la entrada de agua de lluvia o nieve o la procedente de corrientes subterráneas.

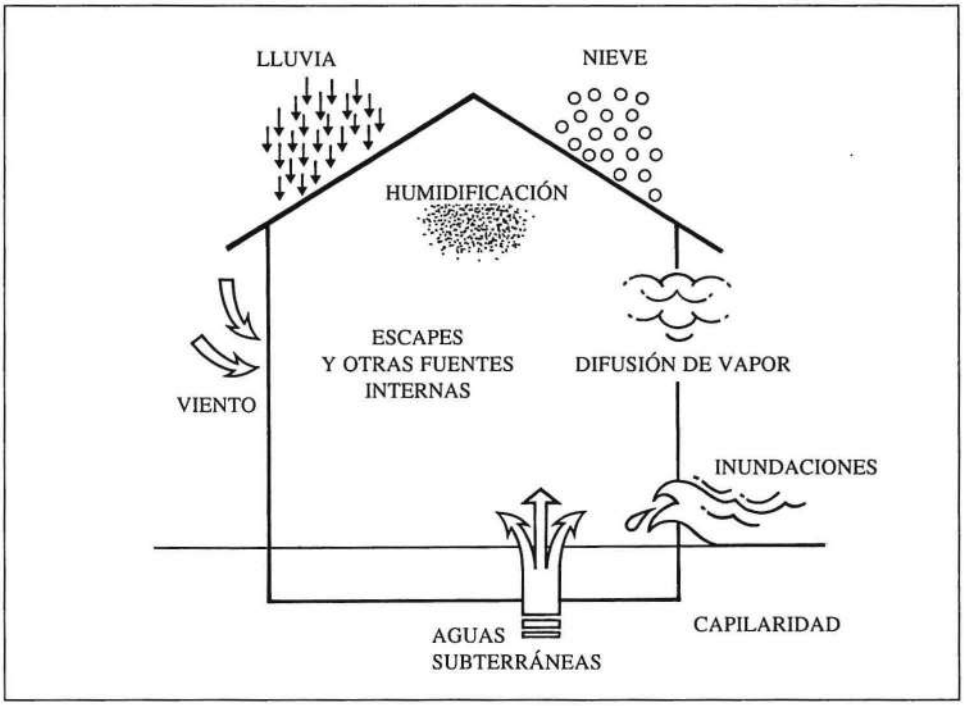


Figura 7.2.- Vías de entrada de agua al interior de los edificios

- Controlar los niveles de humedad relativa en los espacios interiores, por ejemplo: reduciendo las actividades que generen humedad, eliminando humedad mediante sistemas de extracción localizada, diluyendo los niveles de humedad mediante el aporte de aire más seco, utilizando sistemas de deshumidificación del aire, etc.
- Aumentar la temperatura de los materiales sobre los que se pueden producir condensaciones, por ejemplo: utilizando buenos aislamientos o barreras de vapor, estableciendo diferenciales de presión entre el interior y el exterior, etc.
- Actuar sobre las zonas y equipos del sistema de ventilación y climatización donde se acumula el agua o donde se generan aerosoles o vapor de agua, por ejemplo: los filtros, los materiales porosos de los conductos del aire, los plenos o los utilizados como aislante, las bandejas de drenaje, los humidificadores y las torres de refrigeración.

Otras acciones preventivas consisten en limitar la entrada de bioaerosoles procedentes del exterior. La más importante es la adecuada ubicación y orientación de la toma de aire exterior. En términos generales, ésta debe encontrarse en la zona del edificio donde el aire esté más limpio, alejada de otras fuentes de contaminación y orientada, atendiendo a la dirección dominante del

viento en la zona, de manera que no se pueda producir la entrada de contaminación procedente de otros focos, por ejemplo de los aerosoles emitidos por las torres de refrigeración.

Además de las acciones directas y concretas para remediar problemas debidos a la contaminación microbiológica, es muy importante implantar programas de mantenimiento preventivo del edificio y de los sistemas de ventilación y climatización, de los que formarán parte los programas de limpieza de las instalaciones. Los puntos más importantes de estos programas son: la utilización de aspiradores de alta eficacia, la utilización de métodos húmedos de limpieza, la selección de productos de limpieza adecuados y su uso según las indicaciones de los fabricantes y la atención a posibles escapes de agua.

Antes de una acción directa, por ejemplo la aplicación de un biocida, deben haberse agotado todos los procedimientos de limpieza razonablemente disponibles.

La limpieza es el proceso de identificación, contención y eliminación de la contaminación ambiental y de las superficies, su objetivo es proteger la salud y los materiales valiosos. Para la gestión de la calidad del aire interior, la limpieza es un aspecto vital, incluso cuando todas las demás acciones preventivas se han implantado, se mantienen y funcionan correctamente, la limpieza continúa siendo necesaria.

Medidas específicas frente a la legionelosis

Un caso especial, por su incidencia sobre la salud humana relacionada con ambientes interiores, es el de la legionelosis. Como ya se ha dicho el agente causal es la *Legionella*, bacteria que se encuentra de forma natural asociada a ambientes acuáticos (lagos, ríos, arroyos, lodos, etc.). También sobrevive en pequeñas cantidades en los sistemas potabilizadores de agua y puede ser transportada con ella a los edificios con la posibilidad de colonizar las instalaciones de suministro de agua y los sistemas de acondicionamiento de aire en los que se dan las condiciones óptimas para su desarrollo, en especial en lo que se refiere a temperatura. En la figura 7.3 se muestran las posibilidades de desarrollo de *Legionella* a diferentes temperaturas y en diferentes instalaciones.

Es difícil disponer de métodos de prevención y control de *Legionella* totalmente eficaces, fundamentalmente por dos razones: por una parte, porque *Legionella* es una bacteria ubicua en el ambiente en el que la erradicación sería ilusoria y, por otra parte, porque esta bacteria es más resistente que otros microorganismos a la acción de los medios físicos o químicos de control habitualmente empleados. No obstante, existen una serie de medidas que pueden disminuir considerablemente el riesgo. Estas medidas se pueden clasificar en dos grupos: las relativas al diseño y montaje de las instalaciones y las relativas al mantenimiento y explotación de las mismas. Como referencia pueden

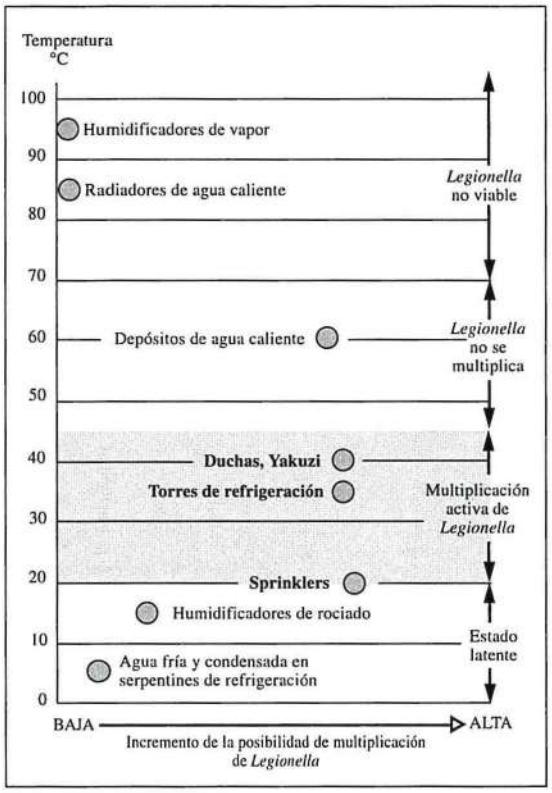


Figura 7.3.- Esquema de las posibilidades de desarrollo de Legionella a diferentes temperaturas y en diferentes instalaciones

considerarse las normas UNE 100030 IN, "Guía para la prevención y control de la proliferación y diseminación de legionela en instalaciones" y la UNE 100012, "Higienización de sistemas de climatización".

Normativa legal

En julio de 2001 aparece el Real Decreto 909/2001 por el que se establecen los criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control de la legionelosis. En esta norma básica se fijan: el ámbito de aplicación, definiendo las instalaciones a las que será de aplicación la norma, las medidas preventivas generales y las medidas preventivas de los centros sanitarios, la actuación en materia de prevención de riesgos laborales, las responsabilidades de los titulares de las instalaciones, las inspecciones y la investigación de brotes y el régimen de infracciones y sanciones. En los anexos 3, 4 y 5 se fijan los procedimientos particulares para el mantenimiento de sistemas de agua sanitaria caliente y agua fría de consumo humano, de torres de refrigeración y dispositivos análogos y de bañeras de hidromasaje y piscinas climatizadas con movimiento de agua de uso colectivo. Dichos anexos recogen los aspectos mínimos para una eficaz prevención de la proliferación de Legionella. Las medidas concretas se agrupan en tres apartados: revisión de las instalaciones, limpieza y desinfección y limpieza y desinfección en caso de brote.

En febrero de 2003 y mediante Orden SCO/317/2003 se regula una de las exigencias contenidas en el RD 909/2001 relativa a las sustancias desinfectantes y a las empresas aplicadoras de las mismas. Esta Orden establece el procedimiento para la homologación de los cursos de formación del personal que realiza las operaciones de mantenimiento higiénico-sanitario de las instalaciones consideradas como posibles focos de contaminación.

En julio de 2003 se publica el RD 865/2003 en el que se establecen los criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control de la legionelosis. Este Real Decreto, que deroga el anterior, surge por la necesaria adaptación a las innovaciones y al avance científico técnico en el control de la legionelosis.

Real Decreto 865/2003

El articulado de este Real Decreto, de estructura muy similar al anterior, tiene como objeto la prevención y control de la legionelosis mediante la adopción de medidas higiénico-sanitarias en aquellas instalaciones en las que la Legionella es capaz de proliferar y diseminarse. La diferencia fundamental con la normativa anterior radica en la clasificación de las instalaciones en función de la probabilidad de dispersión y proliferación de Legionella (ver tabla 7.7) y la adecuación de las medidas preventivas más idóneas para cada instalación.

RD 865/2003
ÁMBITO DE APLICACIÓN

Instalaciones con mayor probabilidad de proliferación y dispersión de Legionella

- Torres de refrigeración y condensadores evaporativos.
- Sistemas de agua caliente sanitaria con acumulador y circuito de retorno.
- Sistemas de agua climatizada con agitación constante y recirculación a través de chorros de alta velocidad o la inyección de aire (spas, jakuzzis, piscinas, vasos o bañeras terapéuticas, bañeras de hidromasaje, tratamientos con chorros a presión, otras).
- Centrales humidificadoras industriales.

Instalaciones con menor probabilidad de proliferación y dispersión de Legionella

- Sistemas de instalación interior de agua fría de consumo humano (tuberías, depósitos, aljibes), cisternas o depósitos móviles y agua caliente sanitaria sin circuito de retorno.
- Equipos de enfriamiento evaporativo que pulvericen agua, no contemplados en el apartado anterior.
- Humectadores.
- Fuentes ornamentales.
- Sistemas de riego por aspersión en el medio urbano.
- Sistemas de agua contra incendios.
- Elementos de refrigeración por aerosolización, al aire libre.
- Otros aparatos que acumulen agua y puedan producir aerosoles.

Instalaciones de riesgo en terapia respiratoria

- Equipos de terapia respiratoria.
- Respiradores.
- Nebulizadores.
- Otros equipos médicos en contacto con las vías respiratorias.
- Elementos de refrigeración por aerosolización al aire libre

Tabla 7.7.- Clasificación de las instalaciones en función de su probabilidad de proliferación y dispersión de Legionella

Las medidas preventivas contenidas en el Real Decreto se basan en dos principios fundamentales para el control de agentes biológicos: eliminar zonas sucias, donde se acumulan materiales que les pueden servir de alimento; y evitar y/o modificar las condiciones que favorecen su desarrollo. Estos objetivos se pueden conseguir mediante diseños adecuados, buenos programas de mantenimiento de las instalaciones, el control de la temperatura del agua y la desinfección continua de la misma. A continuación se resumen las más importantes:

Acciones para evitar la acumulación de suciedad

- Garantizar la estanqueidad del circuito.
- Evitar el estancamiento del agua.
- Disponer de sistemas de filtración del agua (UNE-EN 13443-1).
- Disponer de elementos de purga para vaciar el sistema.
- Facilitar la accesibilidad a los equipos para su inspección, limpieza, desinfección y toma de muestras.

Acciones para evitar el desarrollo de agentes biológicos

- Mantener la temperatura del agua de la red de suministro interior, depósitos y/o acumuladores, fuera de los márgenes que marcan la posibilidad de desarrollo de Legionella (20 °C - 45 °C).
- Evitar los materiales que favorecen el desarrollo (cuero, madera, fibrocemento, hormigón o los derivados de la celulosa).
- Disponer de aislamiento térmico para tuberías y depósitos.
- Utilizar desinfectantes (cloro u otros compuestos de probada eficacia).
- Disponer de instalaciones que permitan alcanzar en el circuito de agua caliente una temperatura de 70 °C.
- Utilizar materiales que resistan la acción agresiva de los desinfectantes.
- Seguir las instrucciones del fabricante para la limpieza y desinfección o esterilización de los equipos de terapia respiratoria.

Acciones para evitar la dispersión y transmisión de agentes biológicos

- Ubicar las torres de refrigeración y sistemas análogos en lugares alejados tanto de las personas como de las tomas de los sistemas de ventilación o aire acondicionado.
- Disponer de sistemas separadores de gotas de alta eficacia.
- En salas con pacientes de alto riesgo (inmunodeprimidos), utilizar equipos de terapia respiratoria en los que las partes que entran en contacto con los pacientes, o que canalicen fluidos respiratorios, sean de un solo uso.

TABLA 7.8.- Calendario de las operaciones de mantenimiento para la prevención de Legionella

Operación	A	S	T	m	s	d
Instalaciones interiores de ACS[1] y AFCH[2]						
Revisión de funcionamiento y conservación de toda la instalación	X					
Limpieza y desinfección de toda la instalación:	X					
• Cuando se ponga en funcionamiento por primera vez	En su momento					
• Tras una parada superior a un mes						
• Tras una reparación o modificación estructural						
• Cuando lo aconseje la revisión general.						
• Cuando lo determine la autoridad sanitaria.						
ACS						
Revisión de:						
• Depósitos acumuladores			X			
• Puntos terminales (grifos y duchas)[3]				X		
• Purga de válvulas de drenaje de las tuberías				X		
• Purga del fondo de los acumuladores					X	
• Apertura de grifos y duchas (habitaciones vacías)					X	
Medición de la temperatura:						
• Depósitos finales de acumulación (temperatura > 60 °C)						X
• Muestra de grifos ACS[3] (temperatura > 50 °C)				X		
• Todos los grifos y duchas	X					
• Determinación de *Legionella* en puntos representativos[4]	X					
AFCH						
Revisión de:						
• Depósitos			X			
• Puntos terminales (grifos y duchas)[3]				X		
Medición de la temperatura:						
• Depósito (temperatura < 20 °C)				X		
Torres de refrigeración y Condensadores evaporativos						
Revisión de funcionamiento, conservación y limpieza:						
• Separador de gotas	X					
• Condensador y relleno		X				
• Bandeja				X		
Control de la calidad del agua:						
• Temperatura, pH, conductividad, turbidez, hierro total				X		
• Nivel de cloro/biocida						X
• Recuento total de aerobios				X		
• Determinación de *Legionella*[4]			X			

Operación	A	S	T	m	s	d
Limpieza y desinfección de toda la instalación[5]		X				
• Cuando se ponga en funcionamiento por primera vez	En su momento					
• Tras una parada superior a un mes						
• Tras una reparación o modificación estructural						
• Cuando lo aconseje la revisión general						
• Cuando lo determine la autoridad sanitaria						
Bañeras y piscinas de hidromasaje						
Limpieza y desinfección de toda la instalación	Previa al funcionamiento					
Bañeras sin recirculación de uso individual						
Revisión de los elementos de la bañera y difusores				X		
Limpieza de paredes y fondo	Tras cada uso					
Limpieza y desinfección de:						
• Partes y el fondo del vaso						X
• Difusores del vaso		X				
• Conducciones, mezclador de temperatura, vaso, otros	X					
Piscinas con recirculación de uso colectivo						
Revisión de:						
• Conducciones y filtros				X		
• Boquillas de impulsión, grifos y duchas[6]		X				
Limpieza y desinfección de:						
• Boquillas de impulsión, grifos y duchas		X				
• Limpieza del revestimiento del vaso						X
• Depósitos, conducciones, filtro, vaso, difusores, otros		X				
Limpieza o cambio de filtro	Según características					

A: Anual **S:** Semestral **T:** Trimestral **m:** Mensual **s:** Semanal **d**: diario

[1] ACS: Agua corriente sanitaria

[2] AFCH: Agua fria de consumo humano

[3] En número representativo, rotatorio a lo largo del año, que cubra todos los puntos al cabo del año.

[4] Periodicidad adecuada al nivel de peligrosidad de la instalación, como mínimo trimestralmente, y siempre 15 días después del tratamiento de choque.

[5] Limpieza y desinfección del sistema completo dos veces al año, preferentemente en primavera y otoño cuando las instalaciones sean de funcionamiento no estacional.

[6] Los elementos nuevos deben desinfectarse antes de su puesta en servicio.

El Real Decreto 865/2003, en los anexos 3, 4 y 5 recoge las operaciones específicas de mantenimiento para tres tipos de instalaciones en los que se considera que existe una mayor probabilidad de proliferación y dispersión de

Legionella. Estas instalaciones son: las instalaciones interiores de agua caliente sanitaria y agua fría de consumo humano, torres de refrigeración y condensadores evaporativos y bañeras y piscinas de hidromasaje de uso colectivo. Para las dos primeras establece tres niveles que comprenden las acciones y la periodicidad con que deben realizarse las distintas actuaciones. Estos niveles hacen referencia a los siguientes aspectos: la revisión para la comprobación del correcto funcionamiento, el procedimiento de limpieza y desinfección rutinario y el procedimiento de limpieza y desinfección en caso de brote de legionelosis. En el caso de las bañeras y piscinas de hidromasaje, separa las actuaciones en las bañeras y en las piscinas y, para cada una de ellas, establece tres niveles que corresponden al diseño de la instalación, a la revisión y a la limpieza y desinfección de las mismas. En la tabla 7.8 se recoge el calendario de las operaciones de mantenimiento establecidas en los mencionados anexos.

8
VENTILACIÓN DE LOCALES

INTRODUCCIÓN

Como ya se ha comentado en otros capítulos, la ventilación se considera una herramienta fundamental para el control y la mejora de la calidad de aire interior, no solamente desde el punto de vista de los especialistas, sino también del de la población en general. Cuando en un local se detecta con frecuencia la presencia de humos, malos olores o sensación de aire enrarecido, se suele recurrir a la instalación de "extractores" en las paredes o el techo. Dado que se pretende reducir el nivel de contaminación renovando globalmente el aire del local a este tipo de ventilación se la denomina "ventilación general". Un sistema de estas características no permite controlar con exactitud la concentración de contaminante presente en los distintos puntos del local, por lo que no se recomienda su empleo cuando el contaminante en cuestión es muy tóxico, situación frecuente en el campo de la Higiene Industrial. En cambio, debe considerarse adecuada en aquellos casos en que los contaminantes son de baja toxicidad, su generación ocurre en muchos puntos del local y se encuentran en pequeñas concentraciones, siendo, pues, el método a emplear cuando lo que se pretende básicamente es eliminar el aire viciado, que es el caso de oficinas y otras actividades no estrictamente industriales y locales de pública concurrencia en general.

En el presente capítulo se expone resumidamente una serie de conceptos básicos de ventilación a partir de los cuales puede estimarse si la ventilación de un local es correcta. Téngase en cuenta, sin embargo, que una buena ventilación, aunque necesaria, puede no ser suficiente para lograr una ausencia efectiva de contaminación ambiental, por lo que, una vez comprobada aquélla, puede tener que recurrirse a la evaluación de la contaminación presente, no reducida suficientemente por la ventilación.

VENTILACIÓN Y CALIDAD DE AIRE INTERIOR

Por ventilación se entiende el proceso de suministrar y eliminar el aire de un espacio por medios naturales o mecánicos. De modo general se pueden distinguir los siguientes objetivos de la ventilación: reemplazar el aire contaminado o viciado de un local, evacuar los contaminantes y evitar la dispersión de los contaminantes hacia zonas no deseadas.

La ventilación de un local es siempre necesaria. La ausencia de la misma puede provocar molestias o disminución de la sensación de confort a sus ocupantes, efectos negativos sobre su salud e, incluso, daños a los elementos decorativos o constructivos. Desde el punto de vista de la ventilación, la estrategia para lograr una calidad de aire interior a un nivel suficiente de aceptabilidad consiste en actuar en distintas direcciones a la vez en función de las características del local, del tipo de contaminación y de su forma de generación.

Ventilación general

Consiste, como ya se ha dicho, en la renovación del aire de un local. Se trata de que el aire contaminado se mezcle con el aire del exterior y esta mezcla sea eliminada del local a un caudal igual al del nuevo aire que entra en el mismo. El objetivo de esta ventilación es lograr una mezcla perfecta en todo el local (principio del tanque agitado, usado en ingeniería química) de tal manera que la concentración de contaminantes a la salida sea lo más próxima posible a la existente en la "mezcla perfecta" del local. Es la llamada "ventilación por dilución", cuya eficacia será mayor cuando más próximas sean ambas concentraciones.

También mediante la ventilación general, se pueden controlar las condiciones termohigrométricas inconfortables, introduciendo en el local aire tratado para compensar las pérdidas, o ganancias, de calor y vapor de agua que se produzcan en el local. En los locales de trabajo de tipo no industrial esta medida de control no sólo está aconsejada sino que en las más de las veces es la única medida aplicable.

Existe otro tipo de ventilación general, la denominada "ventilación por desplazamiento", relativamente poco usada, consistente en la opción contraria: que el aire contaminado del local no se mezcle con el aire nuevo, sino que éste desplace el aire contaminado hacia la salida de manera uniforme a lo largo del local o de manera vertical. En este caso, la concentración de los contaminantes en el aire de salida es superior, hasta el doble de la concentración media de los contaminantes en el conjunto del espacio del local. En términos de eficacia, la de este tipo de ventilación se considera, pues, superior. Evidentemente, si la emisión de la contaminación es relativamente puntual y los ocupantes del local se hallan entre la entrada del aire y el foco, se puede lograr un

ambiente totalmente limpio para éstos. La ventilación por desplazamiento no se halla todavía muy desarrollada en cuanto a su utilización para la ventilación de locales en general.

Un sistema de ventilación general puede ser completamente mecánico (entradas y salidas mecánicas), natural (entradas y salidas no forzadas) o bien mixto (entrada mecánica y salida natural y viceversa).

Sea cual sea el sistema empleado, es necesario que los caudales de diseño se aseguren en todo momento, según establece el Real Decreto 486/1997. Cuando el sistema utilizado es la ventilación natural, es difícil un control riguroso del caudal de ventilación. Un sistema de este tipo requiere que exista un gradiente de temperaturas que fuerce el movimiento del aire o bien la existencia de viento fuera del edificio (o ambas simultáneamente). La variación climática, a lo largo de la jornada o a lo largo de las estaciones, hace que sea un sistema expuesto a numerosas variables que limitan su eficacia. Por todo ello, es un sistema desaconsejado, cuyo uso se restringe a casos particulares fuera del entorno industrial. En talleres y naves industriales es habitual la utilización de sistemas de ventilación mixtos o combinados. Éstos permiten controlar la mayor parte de las variables del sistema y resultan menos costosos que los sistemas con entrada y salida mecánicas. En los sistemas completamente mecánicos todos los parámetros están bajo control y además se añaden ventajas tales como conseguir la presurización adecuada del local, la preparación del aire de entrada según unas características determinadas, el aprovechamiento energético por recuperación de calor del aire extraído y una mejor distribución del aire.

Extracción localizada en los focos de contaminación

Es la forma de ventilación más eficaz para evitar la presencia de contaminación en un local. Si se pueden emplear sistemas específicos asociados a su vez a la forma en que se generan los contaminantes, se evita que éstos pasen al ambiente, reduciendo ostensiblemente los requerimientos de ventilación general del local. Son ejemplos de extracción localizada en calidad de aire interior: las chimeneas naturales, la utilización de campanas extractoras de cocina o las extracciones específicas que algunas máquinas llevan acopladas.

Depuración del aire recirculado

En la ventilación de locales raramente se renueva el 100% del aire; por motivos de ahorro energético, una parte del aire de retorno hasta un límite determinado es reintroducido en el sistema. Es el aire denominado "de recirculación". Evidentemente, para volver a utilizar este aire "gastado" debe tratarse (depurarse) para obtener unas condiciones del mismo equivalentes como mínimo a las requeridas al aire exterior.

PARÁMETROS BÁSICOS EN VENTILACIÓN

Los parámetros fundamentales que definen un sistema de ventilación son: el caudal de ventilación, la tasa de recirculación y la distribución de caudales, que se comentan a continuación. Se incluye asimismo un comentario sobre la "edad" del aire, concepto utilizado por algunos autores como medida de la eficacia de la ventilación de un local en su conjunto.

Caudal de ventilación

Por "caudal de ventilación" se entiende el caudal de aire aportado desde el exterior, llamado también aire "limpio", "nuevo" o "de reposición". Es un parámetro que, aunque responde a un concepto claro (es el aire que entra nuevo en el local para desplazar al aire contaminado existente), a menudo se confunde con el caudal total de aire aportado al local, incluyendo el aire proveniente de la recirculación.

Tasa de recirculación

La tasa de recirculación es precisamente el parámetro que define el porcentaje de aire que entra en un local que no corresponde al caudal de ventilación. Su estimación se lleva a cabo dividiendo el caudal de ventilación por el caudal total y restando el cociente, expresado en %, de 100, o de la unidad, si se expresa en tanto por uno (a este cociente se le denomina también "fracción de aire exterior"). Así, una tasa de recirculación del 100% o de 1 significa que no se cambia el aire del local, limitándose a una recirculación del mismo, normalmente previo tratamiento.

Distribución de caudales

Según las necesidades específicas de cada local o área del mismo se requerirán distintos caudales, básicamente en relación con la cantidad de contaminación a diluir o eliminar. Ello implicará necesariamente una distribución adecuada de los caudales de ventilación que se apliquen, tanto si se dispone de unidades independientes, como si existe una única unidad central. La adecuada distribución de los caudales afecta directamente a la eficacia de la ventilación.

Eficacia de la ventilación

La eficacia de la ventilación es una medida de la capacidad del sistema para extraer los contaminantes y renovar el aire. Aunque formalmente existen procedimientos matemáticos para su determinación, su cálculo suele ser difícil, estimándose casi siempre de manera indirecta. Más adelante se amplía el

concepto de eficacia y se comentan procedimientos para su determinación o estimación.

Edad del aire

Algunos autores utilizan la idea de la "edad del aire" asociada normalmente de manera directa al porcentaje de dióxido de carbono presente (a más concentración de éste, mayor edad), en el sentido de que un aire "gastado", "viejo" o poco "renovado" es el resultado de una insuficiente ventilación. Las causas de la misma pueden hallarse en cualquiera de los parámetros citados: caudal insuficiente, tasa de recirculación demasiado elevada, inadecuada distribución de caudales o ineficacia de la ventilación.

VENTILACIÓN POR DILUCIÓN

Principios de ventilación por dilución

Los principios básicos del diseño de ventilación por dilución son los siguientes:

1. El caudal de aire suficiente para conseguir una dilución satisfactoria del contaminante es función de la tasa de generación de contaminantes y del grado de concentración que se considere aceptable en el local en cuestión.
2. Hay que tener en cuenta que, en todo caso, se cumplirá el principio de conservación de la masa, que en el caso de la ventilación por dilución implica la reposición del aire extraído, es decir: el caudal de aire extraído de un local será siempre igual al caudal que entra en el mismo.
3. Ventilación por depresión. Cuando se extrae aire del local por métodos mecánicos, el aire de reposición entrará en el local a través de puertas, ventanas u otras aberturas. La misma situación se produce si la extracción y la impulsión son mecánicas pero hay un desequilibrio a favor de la extracción. En ese caso el local estará a presión negativa con respecto a la atmosférica o al resto de los locales anexos. Ésta es una situación que puede ser interesante cuando, además de la dilución de la contaminación del local, se pretende que esa contaminación no pase a otras áreas. Hay que tener en cuenta que si no están previstos puntos de suministro de aire, o el local es muy hermético, la dificultad para la circulación del aire irá en perjuicio de la eficacia del sistema de extracción, es decir, no se alcanzará el caudal necesario para lograr la dilución de la contaminación generada hasta los niveles esperados.
4. Ventilación por sobrepresión. La situación contraria se produce cuando se introduce aire en un local por medios mecánicos o hay un desequilibrio a favor de la impulsión. En este caso se produce una sobrepresión o presión positiva con respecto a la atmosférica y el aire sobrante sale por las aberturas o resquicios disponibles. Esta situación es la que se encuentra a menudo

en edificios, por ejemplo, de oficinas en los que además de ventilar se prepara el aire que se suministrará a los locales. En este caso no interesa la entrada incontrolada de aire del exterior sin tratar y a condiciones térmicas diferentes de las deseadas.

5. Se debe tener en cuenta el recorrido del aire en la zona, de modo que las zonas ocupadas queden entre la entrada y la extracción del aire.
6. Se debe evitar que el aire extraído vuelva a introducirse en el local descargándolo a una altura suficiente por encima de la cubierta o asegurándose de que ninguna ventana, toma de aire exterior u otra abertura se encuentran situadas cerca del punto de descarga.

Ecuación general de la ventilación por dilución

El caudal de ventilación necesario para mantener constante la concentración, para un valor dado de la generación de contaminante, se deduce a partir de la ecuación de balance de contaminante en el local, suponiendo que el aire que se introduce está libre de contaminación.

$$\text{Acumulación} = \text{Generación} - \text{Eliminación}$$

o lo que es lo mismo:

$$VdC = Gdt - Q'Cdt$$

donde:

V = volumen del local

G = velocidad de generación

Q'= caudal efectivo de ventilación

C = concentración del gas o vapor

t = tiempo

En estado estacionario, la acumulación es cero, es decir, tanta contaminación se genera como se elimina; en consecuencia dC es cero y el término VdC se anula. La ecuación queda:

$$Gdt = Q'Cdt$$

Si la concentración C y la velocidad de generación G son constantes:

$$Q' = \frac{G}{C}$$

Debido a que la mezcla no es completa, se introduce un factor de seguridad en el cálculo del caudal, de modo que:

$$Q' = \frac{Q}{K} \text{ y } Q = \frac{G}{C} K$$

donde:

G = velocidad de generación de la contaminación en mg/h

C = concentración del contaminante en el aire en mg/m^3

Q = caudal real de ventilación, m^3/h

Q' = caudal efectivo de ventilación, m^3/h

K = factor de seguridad para tener en cuenta que la mezcla no es completa

El valor de K, elegido de acuerdo con estas consideraciones, se encuentra entre 1 y 10. A menor eficacia del sistema de ventilación, mayor valor de K.

De estas fórmulas se desprenden varias consecuencias:

a) El caudal de aire necesario depende sólo de la cantidad de contaminante generado y del nivel de concentración admitido.

b) El volumen del local no interviene en el cálculo del caudal en la hipótesis de régimen estacionario.

c) El volumen del local sí es importante en los cálculos referentes a los regímenes transitorios (acumulación o eliminación de contaminante).

El Reglamento de Lugares de Trabajo (RD 486/1997) establece en su Anexo III que la renovación mínima del aire en los locales de trabajo debe ser de 30 m^3/h (8,3 l/s) de aire limpio por trabajador, en el caso de trabajos sedentarios en ambientes no calurosos ni contaminados por humo de tabaco, y de 50 m^3/h (14 l/s) por trabajador en los demás casos a fin de evitar el aire viciado y los olores desagradables. Estas renovaciones mínimas, indica el RD, se cumplirán sin perjuicio de lo establecido por el Reglamento de Instalaciones de Calefacción, Climatización y Agua Corriente Sanitaria (RD 1618/1980), sustituido finalmente por el RD 1027/2007. Éste último, en sus Instrucciones Técnicas, concretamente en la IT 1.1.4.2 referente a la calidad del aire interior, considera válido lo establecido en el procedimiento de la ya citada norma UNE-EN-13779.

VENTILACIÓN DE EDIFICIOS NO RESIDENCIALES. UNE-EN 13779

Esta norma es de aplicación al diseño de los sistemas de ventilación y acondicionamiento de recintos y reúne los requisitos de las prestaciones de dichos sistemas. Los criterios de diseño se basarán en toda la información disponible acerca de:

- Las características generales del edificio, que comprenden datos sobre su localización y las condiciones exteriores que pueden tener influencia en el diseño del sistema. Destacan la calidad del aire exterior, las emisiones, los vientos dominantes, el clima exterior, etc. De igual modo es importante disponer de datos sobre los períodos de funcionamiento del edificio que permitirían establecer los esquemas de ocupación.

- El uso de los recintos. Información que debería contener: el tipo de actividades que se van a desarrollar en los diferentes espacios y el nivel de ocupación humana. Este último dato es una condición básica, puesto que la tasa de ventilación debe diseñarse para ese nivel de ocupación y la presencia de otros contaminantes que debe ser definida en términos de la concentración límite a la que esos contaminantes pueden encontrarse en el recinto.
- Los requisitos del recinto en cuanto a ambiente térmico, calidad de aire interior, iluminación y nivel de ruido. Éstos serán los niveles de calidad que el sistema debe proporcionar en los diferentes recintos, según sus actividades y los objetivos especificados.
- Los requisitos generales para el mantenimiento, de modo que se facilite la inspección, limpieza, funcionamiento y mantenimiento.

Especificación y clasificación de los tipos de aire

En esta parte de la norma se dan las indicaciones para diferenciar y conocer los diferentes tipos de aire en el interior de la instalación y de los recintos, fijando sus características y estableciendo distintas categorías en cuanto a su calidad que pueden servir de base para elaborar las hipótesis de diseño de la instalación.

En la figura 8.1 y en la tabla 8.1 se indican las especificaciones de los diferentes tipos de aire.

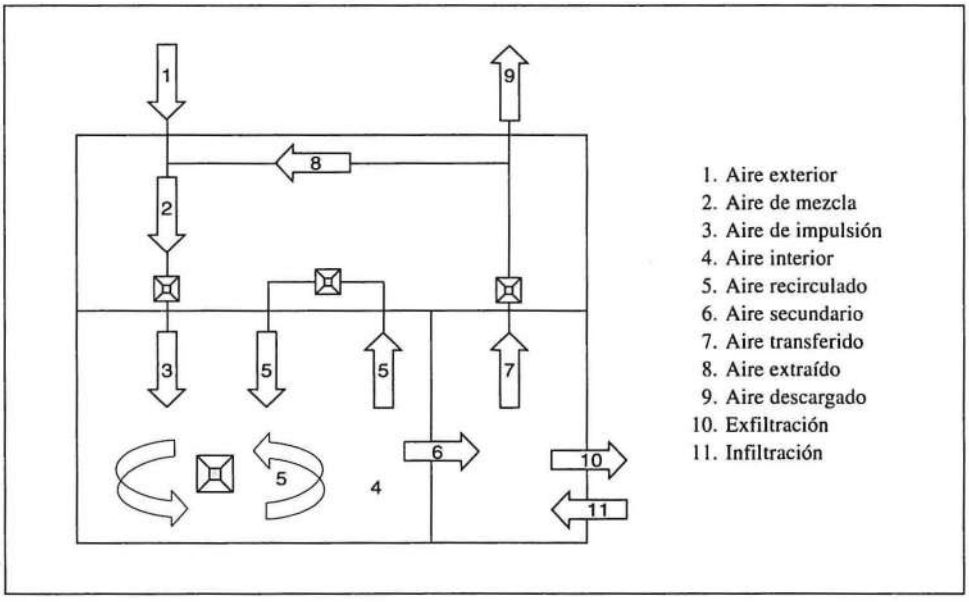


Figura 8.1.- Tipos de aire

	TIPO DE AIRE	DEFINICIÓN
1	**Aire exterior ODA**	Aire que entra en el sistema o por una abertura desde el exterior antes de cualquier tratamiento
2	Aire de mezcla MEZ	Aire que contiene dos o más corrientes de aire
3	Aire de impulsión IMP	Flujo de aire que entra en el recinto tratado, o aire que entra en el sistema después de cualquier tratamiento
4	**Aire interior IDA**	Aire en el recinto o zona tratada
5	Aire recirculado REC	Aire extraído que vuelve al sistema de tratamiento de aire
6	Aire secundario SEC	Flujo de aire tomado de un recinto y retornado al mismo sin ningún tratamiento
7	Aire transferido TRA	Aire interior que pasa de un recinto a otro recinto tratado
8	**Aire extraído ETA**	Flujo de aire que sale del recinto tratado
9	**Aire descargado EHA**	Flujo de aire descargado a la atmósfera
10	Exfiltración EXF	Fuga de aire del edificio hacia el exterior a través de los elementos de separación con el ambiente exterior
11	Infiltración INF	Entradas de aire del exterior hacia el edificio a través de los elementos de separación con el ambiente exterior

***Nota**: Las siglas corresponden a la terminología en inglés*

Tabla 8.1.- Especificaciones de los tipos de aire

Las siguientes tablas proporcionan una orientación sobre la clasificación de algunos de los tipos de aire que puede resultar útil a la hora de definir las prestaciones aceptables en cuanto a la calidad de aire que se desea obtener en los recintos. Estas clasificaciones hacen referencia al aire exterior, al aire extraído y descargado y, sobre todo, al aire interior.

Clasificación del aire exterior (ODA)

Conocer la calidad del aire exterior es importante en varios aspectos. Por una parte y en la fase de diseño de un edificio, para proponer la localización del mismo y/o para determinar la categoría del aire alrededor del edificio. Por otra parte y conocida la calidad de aire exterior, ya en la fase de diseño puede haber dos opciones para tratar de corregir una deficiente calidad del aire exterior: una de ellas consiste en ubicar la toma de aire exterior en zonas donde el aire esté menos contaminado; la otra, seleccionar los métodos de limpieza del aire más adecuados, los cuales dependerán del nivel de calidad de aire interior que se proyecte y del estado físico en que se presentan los contaminantes (gases, vapores, materia particulada y características de la misma).

En la tabla 8.2 se muestran las distintas categorías que contempla la norma referentes a la calidad del aire exterior. Ver tabla 4.15 sobre los valores guía para contaminantes típicos de exterior según la OMS, valores que están basados en efectos conocidos para la salud.

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN
ODA 1	Aire puro que solo puede ensuciarse temporalmente (polen).
ODA 2	Aire exterior con altas concentraciones de partículas.
ODA 3	Aire exterior con altas concentraciones de gases contaminantes.
ODA 4	Aire exterior con altas concentraciones de gases contaminantes y de partículas.
ODA 5	Aire exterior con muy altas concentraciones de gases contaminantes o de partículas.

Notas

El aire se llama "puro" cuando se cumplen las pautas de la Air Quality Guidelines for Europe de 1999 de la Organización Mundial de la Salud (OMS) o de cualquier norma nacional de calidad de aire o reglamentación sobre las sustancias relevantes en el exterior

Se llaman concentraciones "altas", cuando se exceden los requisitos anteriores por un factor de hasta 1,5

Se llaman concentraciones "muy altas", cuando se exceden los requisitos por un factor mayor que 1,5

TABLA 8.2.- Clasificación del aire exterior

Por lo que respecta a la materia particulada, en ese concepto se deben incluir todas las partículas sólidas o líquidas del aire. Normalmente la información disponible hace referencia a las partículas con tamaño de diámetro de hasta 10 μm (PM_{10}) fracción inhalable, pero al considerar los posibles efectos para la salud se debería disponer de datos sobre las partículas de menor tamaño o fracción respirable. De igual forma, esta información no es relevante cuando se trata de partículas a las que pueden ir asociados agentes biológicos o contaminantes de origen biológico, en esos casos hay que prestar atención a los posibles peligros asociados ya sean de tipo infeccioso, inmunológico o toxicológico.

Clasificación del aire interior

La norma clasifica el aire interior de la zona ocupada en cuatro grupos básicos:

- IDA 1 Calidad de aire interior alta
- IDA 2 Calidad de aire interior media
- IDA 3 Calidad de aire interior moderada
- IDA 4 Calidad de aire interior baja

Es evidente que el significado de los calificativos sobre la calidad del aire interior necesita una definición más amplia en la que se especifiquen la naturaleza de las fuentes contaminantes incluyendo: los tipos de contaminantes emitidos, la localización de la fuente y el tipo de emisión (intermitente o continuo); así como los efectos que se pueden expresar en términos de percepción de calidad de aire o en efectos sobre la salud. La magnitud de los efectos puede variar según se trate de personas adaptadas o no, ancianos o niños o adultos sanos o enfermos.

Como ya se ha indicado, precisar con exactitud el significado de las categorías de calidad de aire interior es difícil. A efectos prácticos, la calidad de aire interior puede cuantificarse según uno de los cinco métodos propuestos en la misma que, aunque diferentes, conducen a una misma categoría de calidad de aire interior.

Clasificación por nivel de CO_2

Este método propone la categorización de la calidad del aire interior en función del nivel de dióxido de carbono permitido en un recinto. Éste sería el método que, a través de los años, se ha venido utilizando para el establecimiento de los estándares de ventilación cuando la contaminación es debida casi exclusivamente a los ocupantes y su actividad y en recintos donde no está permitido fumar. Como se ha comentado antes, el CO_2 es un buen indicador de los contaminantes emitidos por los humanos, también denominados "bioefluentes", y es el compuesto utilizado para el cálculo del caudal de ventilación necesario para mantener los niveles de CO_2 en valores constantes y que permitan asegurar el bienestar de los ocupantes. En la tabla 8.3 se indican estos valores para cada una de las categorías de calidad establecidas.

CATEGORÍA	NIVELES DE CO_2 SOBRE EL NIVEL DEL AIRE EXTERIOR ppm	
	Intervalo típico	Valores por defecto
IDA 1	≤ 400	350
IDA 2	400 – 600	500
IDA 3	600 – 1.000	800
IDA 4	> 1.000	1.200

Tabla 8.3.- Niveles de CO_2 en los recintos

Clasificación indirecta por la tasa de aire exterior por persona

Este método permite establecer, de forma indirecta, la ventilación necesaria para recintos con una ocupación humana prevista típica. Estos son los

valores que a menudo se utilizan para el diseño de sistemas. Es un método indirecto no sobre la ocupación real sino sobre la ocupación teórica.

En la tabla 8.4 se dan los valores calculados para recintos en los que la actividad física típica es de 1,2 met. En los casos en que la actividad física sea alta (> 1,2 met), las tasas de aire exterior se deberían incrementar por un factor de (met/1,2).

Estos valores deben cumplirse en la zona ocupada.

CATEGORÍA	UNIDAD	TASA DE AIRE EXTERIOR POR PERSONA			
		Zona de no fumadores		Zona de fumadores	
		Intervalo típico	Valor por defecto	Intervalo típico	Valor por defecto
IDA 1	m^3/h/persona l/s/persona	> 54 > 15	72 20	> 108 > 30	144 40
IDA 2	m^3/h/persona l/s/persona	36 – 54 10 – 15	45 12,5	72 – 108 20 – 30	90 25
IDA 3	m^3/h/persona l/s/persona	22 – 36 6 – 10	29 8	43 – 72 12 – 20	58 16
IDA 4	m^3/h/persona l/s/persona	< 22 < 6	18 5	< 43 < 12	36 10

Nota

Las tasas dadas para la zona de no fumadores toman en consideración el metabolismo humano así como las emisiones típicas en edificios de baja contaminación.

Tabla 8.4.- Tasas de aire exterior persona

Clasificación indirecta por caudal de aire por superficie de suelo

Este método se puede utilizar para el diseño de recintos que no tienen ocupación humana. En la tabla 8.5 se especifican las tasas de caudales de aire por unidad de superficie de suelo y que están basadas en tiempo de funcionamiento del sistema del 50% y altura del local de hasta 3 m. Para tiempos de funcionamiento menores y alturas mayores se recomiendan caudales de aire superiores.

Clasificación por niveles de concentración de contaminantes específicos

Este método se basa en el cálculo del caudal de aire necesario para la reducción de la concentración de contaminantes. Dicho caudal es función de la generación del contaminante y de la concentración establecida como objetivo,

CATEGORÍA	UNIDAD	TASA DE AIRE EXTERIOR O TRANSFERIDO POR UNIDAD DE SUPERFICIE DE SUELO **	
		Intervalo típico	Valor por defecto
IDA 1	$m^3/h/m^2$ $l/s/m^2$	* *	* *
IDA 2	$m^3/h/m^2$ $l/s/m^2$	> 2,5 > 0,7	3 0,83
IDA 3	$m^3/h/m^2$ $l/s/m^2$	1,3 – 2,5 0,35 – 0,7	2 0,55
IDA 4	$m^3/h/m^2$ $l/s/m^2$	< 1,3 < 0,35	1 0,28
Nota * Para IDA 1 este método no es suficiente ** Superficie neta			

Tabla 8.5.- Tasas de aire exterior o transferido por unidad de superficie de suelo

por lo que es necesario conocer o poder llegar a determinar las tasas de generación de los contaminantes en el recinto considerado. El caudal de aire requerido se calcula según la siguiente ecuación:

$$Q_{IMP} = \frac{q_{emi}}{C_{IDA} - C_{IMP}}$$

donde:

Q_{IMP} = caudal volumétrico de aire de impulsión (m^3/s)

q_{emi} = caudal másico de emisión en el recinto (mg/s)

C_{IDA} = concentración permitida en el recinto (mg/m^3)

C_{IMP} = concentración en aire de impulsión (mg/m^3)

Clasificación por la calidad de aire percibida

Este método de clasificación está descrito en el Informe CEN CR 1752 y es aplicable a los recintos ocupados en los que no hay riesgo de presencia de contaminantes peligrosos y/o no perceptibles, por ejemplo, el monóxido de carbono o el radón. La tabla 8.6 contiene las especificaciones relativas a este método.

CATEGORÍA	CALIDAD DE AIRE PERCIBIDA EN DECIPOLS	
	Intervalo típico	Valores por defecto
IDA 1	≤ 1,0	0,8
IDA 2	1,0 – 1,4	1,2
IDA 3	1,4 – 2,5	2,0
IDA 4	> 2,5	3,0

Tabla 8.6.- Calidad del aire percibido en la zona ocupada

Este método se basa en los estudios realizados por Fanger y su equipo encaminados a establecer nuevos estándares de ventilación basados en el impacto sensorial que la carga de contaminación de un espacio puede producir en los ocupantes. En ellos se parte de la idea de que los estándares de ventilación que prescriben una cierta cantidad de aire exterior que se debe suministrar a un espacio interior por ocupante de ese espacio no garantizan una buena calidad de aire interior, por tres razones:

1. Asumen que los ocupantes son las únicas fuentes de contaminación.
2. La cantidad de aire exterior suministrada es la misma, independientemente de su calidad.
3. No definen claramente el nivel de calidad del aire interior que se desea obtener.

Por lo tanto se propone que los futuros estándares de ventilación deberían basarse en tres premisas:

a) Establecer una categoría de calidad de aire interior que se desea obtener.

b) Considerar la carga total de contaminación en el espacio ocupado.

c) Tener en cuenta la calidad del aire exterior que se va a suministrar.

El término "calidad" puede definirse como el grado en que se satisfacen las exigencias del ser humano. En relación con el aire, lo que un ser humano le exige es que se perciba como fresco en lugar de cargado, viciado o irritante; y saber que el riesgo que comporta respirar ese aire es despreciable.

La idea de Fanger fue cuantificar la contaminación del aire interior mediante su comparación con el olor producido por una fuente de contaminación bien conocida: el cuerpo humano. Para ello introdujo dos nuevas unidades, que ya se han comentado en el capítulo 3, el olf y el decipol que le permiten evaluar el grado de calidad de aire interior.

Carga de contaminación química

La contaminación que proviene de un material puede ser expresada por la tasa de emisión de cada sustancia química. La carga total de contaminación

química se estima por la suma de todas las fuentes y se puede expresar en mg/s.

La estimación de esta carga es difícil, debido a que los datos sobre tasas de emisión de los materiales de uso común son escasos. En el capítulo 4 se ha hecho referencia de manera lateral a esta cuestión al citar la emisión de formaldehído por los tableros de polvo de madera.

Carga sensorial

Es la causada por aquellas fuentes de contaminación que tienen impacto en la calidad del aire percibida; su valor se halla mediante la suma de los olf de las diferentes fuentes de contaminación existentes en un espacio. Como en el caso anterior, todavía no existe mucha información disponible sobre los olf/m^2 de los materiales, por lo que resulta más práctico estimar la carga sensorial de todo el edificio, incluyendo los ocupantes, el mobiliario y el sistema de ventilación.

Otra de las premisas que se debe tener en cuenta, a la hora de establecer los nuevos criterios de ventilación, es la calidad del aire exterior disponible. Cuando no se alcancen unos niveles suficientes de calidad, será necesario efectuar una limpieza adecuada del aire exterior antes de suministrarlo.

Otro factor importante que influye en el cálculo de la tasa de ventilación requerida es la *eficacia de la ventilación* (E_v), que se define como la relación entre las concentraciones de contaminantes en la extracción del aire (C_e) y en la zona respiratoria (C_r):

$$E_v = \frac{C_e}{C_r}$$

La eficacia de la ventilación depende de la distribución del aire y de la ubicación de los focos de contaminación en el local.

Es posible calcular la eficacia de la ventilación mediante medición, pero cuando no se dispone de información suficiente se pueden utilizar datos basados en las diferencias de temperatura en las zonas de interés. En general, y suponiendo que los sistemas funcionan como deben funcionar, cuando la ventilación se realiza por mezcla se toma el valor 1. El valor correspondiente a una situación óptima en una ventilación por desplazamiento sería 2.

CÁLCULO DE LA VENTILACIÓN REQUERIDA

Ventilación requerida para confort

El cálculo empieza por la decisión sobre la calidad del aire interior que se desea obtener en el espacio ocupado y la estimación de la calidad del aire

exterior. El siguiente paso consiste en estimar la carga de contaminación sensorial correspondiente a los ocupantes, sus actividades y el edificio; la carga total se obtiene sumando todos los factores. Se determina la eficacia en función del tipo de ventilación y se aplica la ecuación:

$$Q_c = 10 \cdot \frac{G}{C_i - C_o} \cdot \frac{1}{E_v}$$

donde:

Q_C = caudal requerido para confort (l/s·m^2).

G = carga sensorial total (generación, olf/m^2).

C_i = Calidad de aire interior deseada (decipol, 0,1 olf/l/s).

C_o = calidad del aire exterior (decipol, 0,1 olf/l/s).

E_v = eficacia de la ventilación.

Nótese que esta ecuación es similar a la expuesta antes, sustituyendo el factor de seguridad K por el inverso de la eficacia de la ventilación ($1/E_v$).

Ventilación requerida para calidad de aire interior

El procedimiento de cálculo es análogo al descrito. El término G implica la identificación de la sustancia o grupo de sustancias críticas y la estimación de su tasa de generación. Se utiliza el criterio de valoración para interiores de esa sustancia, teniendo en cuenta otras características, como el tipo de población. Como ya se ha comentado, es difícil estimar esta tasa de ventilación por la falta de datos sobre generación y sobre criterios de valoración específicos.

$$Q_s = 10 \cdot \frac{G}{C_v - C_o} \cdot \frac{1}{E_v}$$

donde:

Q_s = caudal requerido para CAI (l/s m^2).

G = concentración de contaminantes químicos (µg/s).

C_v = criterio de valoración de CAI (µg/l).

C_o = concentración del compuesto en la toma (µg/l).

E_v = eficacia de la ventilación.

Ventilación para el control del ambiente térmico

La ventilación puede utilizarse para eliminar el calor y la humedad excesivos siempre que se disponga de aire de sustitución más frío o más seco. Si es posible encerrar la fuente de calor, una chimenea de tiro natural o forzado puede ser suficiente para impedir que el exceso de calor penetre en el local;

pero en otras ocasiones puede estar indicado recurrir a la ventilación general. Para calcular el caudal de ventilación necesario se debe estimar la cantidad de calor sensible (energía térmica que provoca un cambio de temperatura) y de calor latente (energía térmica que provoca un cambio de estado físico, de líquido a gas, sin cambio de temperatura), aportados por cada una de las fuentes, y también se debe determinar previamente el aumento de temperatura y de humedad que se considerará aceptable.

El caudal necesario para la eliminación del calor sensible puede estimarse a partir de la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{C_{ts}}{0{,}29\ \Delta T}$$

donde:

C_{ts} = Carga térmica sensible en kcal/h.

ΔT = temperatura seca del interior - temperatura seca del exterior en °C.

0,29 = calor específico del aire en kcal/m^3 °C.

Respecto al caudal calculado mediante este procedimiento, debe hacerse una advertencia: Q, en este caso, corresponde al *caudal total* aplicado, comprendiendo también el recirculado, ya que el tratamiento termohigrométrico de éste es habitual; cosa que no suele ocurrir con la contaminación química del aire.

Para emplear esta ecuación es preciso evaluar antes la carga térmica, incluyendo la radiación solar, las personas, la iluminación, los motores y cualquier otra fuente específica de calor. De todas ellas, la radiación solar, los motores y la iluminación aportan exclusivamente calor sensible.

La carga térmica que aportan las personas es en parte sensible y en parte latente; también existen procesos en los que el calor aportado al ambiente es de los dos tipos, luego se debe estimar la producción de los dos.

El proceso para estimar el caudal de ventilación requerido para la eliminación del calor latente es similar al anterior. Si se conoce la cantidad total de vapor de agua emitido, la siguiente ecuación permite conocer el caudal requerido:

$$Q_c = \frac{C_{tl}}{\Delta H\ d}$$

donde:

C_{tl} = carga térmica latente en kg vapor/h.

d = densidad del aire kg/m^3.

ΔH = diferencia entre la humedad absoluta del aire exterior y el valor máximo de humedad absoluta aceptable para el interior (kg vapor/kg aire).

Q, al igual que en el caso anterior, corresponde al caudal total. Los caudales de aire calculados no deben sumarse, sino que debe emplearse el mayor de los caudales obtenidos, ya que el calor sensible y el latente son eliminados simultáneamente. Por otro lado, en la mayor parte de los casos, la carga térmica sensible es muy superior a la latente, de manera que el caudal de ventilación puede calcularse teniendo en cuenta sólo la carga térmica sensible.

CONTROL DE LA VENTILACIÓN MEDIANTE GASES TRAZADORES

La mayor parte de los procedimientos existentes para estimar la eficacia de la ventilación de un local o un edificio son de tipo indirecto, mientras que la utilización de gases trazadores es un procedimiento que se puede considerar de tipo directo. El principio básico de su utilización consiste en liberar una cantidad de un gas, llamado gas trazador, que viene a sustituir al gas o vapor contaminante, para estudiar su comportamiento. Ello permite obtener unas condiciones relativamente representativas de la situación real y llevar así a cabo estudios y mediciones sobre la ventilación como los siguientes:

a) medir la infiltración y renovación del aire;

b) estudiar los movimientos del aire;

c) estudiar la dispersión de los contaminantes;

d) medir la eficacia de los sistemas de extracción;

e) medir el caudal de aire en los conductos.

Características de los gases trazadores

Un gas trazador ideal debería ser inerte, incoloro e inodoro y no debería estar presente en el aire interior ni en el exterior. En la práctica es recomendable que un gas trazador tenga las características siguientes:

- Ser químicamente inerte.
- No representar ningún peligro para la seguridad ni la salud de los ocupantes ni ser causa de disconfort para los mismos.
- Su densidad debe ser del mismo orden que la del aire, aunque puede haber excepciones en función del tipo de estudio a realizar.
- No debe ser un componente habitual del aire o, caso de serlo, hallarse habitualmente a concentraciones de un orden de magnitud muy inferior a la que se va a utilizar en el ensayo.
- Debe ser fácil su medición a bajas concentraciones y tiempos cortos.
- No debe condensar con facilidad.
- Debe ser un producto comercializado y de bajo coste.

Ningún gas cumple todos estos requisitos simultáneamente, aunque existen una serie de gases aceptables: dióxido de carbono, óxido de dinitrógeno, hexafluoruro de azufre y distintos freones (12, 13B1 y 115). Los dos primeros son de densidad próxima al aire, mientras que los otros cuatro la tienen 4 o 5 veces mayor. El orden en que son habitualmente más utilizados es: hexafluoruro de azufre, freones, óxido de dinitrógeno y dióxido de carbono.

Técnicas de medida

Básicamente se utilizan tres métodos diferentes, cuyas circunstancias de utilización, ventajas, inconvenientes y equipo mínimo necesario se resumen en la tabla 8.7.

MÉTODO	UTILIZACIÓN	VENTAJAS	INCONVENIENTES	EQUIPO MÍNIMO
CAÍDA DE LA CONCENTRACIÓN	Renovaciones de aire discretas en periodos cortos	Equipo de medida sencillo, bajo costo y poco consumo de gas trazador	No indicado para mediciones de larga duración	Botella de gas trazador Ventilador Monitor de gas
EMISIÓN CONSTANTE	Renovación continua de aire durante periodos largos de tiempo	Equipo de medida sencillo	Consumo elevado de gas trazador	Botella de gas trazador Medidor de caudal Ventilador Monitor de gas
CONCENTRACIÓN CONSTANTE	Renovación continua de aire en edificios ocupados	Permite medir la renovación media de aire en periodos largos con variaciones en la renovación y dar detalles de las mismas	Coste de gas trazador elevado Equipo de medida caro	Botella de gas trazador Medidor de caudal Ventilador Monitor de gas Dosificador del gas trazador

Tabla 8.7.- Características de los diferentes métodos de medida de gases trazadores

Los tres métodos se basan en la ecuación del balance de masas:

$$V \frac{dC}{dt} = F + Q C_0 - Q C$$

donde:

V = volumen de aire del recinto.

C = concentración de gas trazador en el aire del recinto.

t = tiempo.

F = velocidad de generación del gas trazador en el recinto.

C_0 = concentración de gas trazador en el aire exterior.

Q = caudal de aire a través del recinto.

Si el gas trazador no se halla presente en el aire exterior, $C_0 = 0$, quedando la ecuación:

$$V \frac{dC}{dt} = F - Q\,C$$

Ambas ecuaciones permiten el cálculo del caudal de aire de ventilación.

Método de la caída de la concentración

Es el método más utilizado para determinar velocidades de ventilación, aunque también es adecuado para medir infiltraciones e identificar zonas de estancamiento. Consiste en introducir una cantidad conocida de gas trazador en el recinto que se quiere controlar, mezclarlo completamente con el aire para obtener una concentración uniforme y medir la caída de la misma a lo largo de un periodo de tiempo. Ello se puede llevar a cabo mediante la toma y análisis de muestras de corta duración o mediante sistemas continuos de medida. Para lograr unas condiciones iniciales adecuadas el gas trazador puede liberarse a través del sistema de ventilación o en un punto del recinto, aunque en este último caso se precisará de un sistema mecánico (ventilador) para lograr una concentración homogénea. Si el aporte de aire al recinto es constante la concentración de gas trazador caerá exponencialmente con el tiempo. En la figura 8.2 se representa la relación concentración/tiempo lineal (a) y semilogarítmica (b) a considerar en este método. El caudal de renovación de aire se calcularía, en este caso, según la ecuación:

$$Q = V \frac{\ln C_0 - \ln C_t}{t}$$

donde:

V = volumen del local (m^3).

C_0 = concentración en el tiempo 0.

C_t = concentración en el tiempo t.

t = periodo de medida (h).

Método de la emisión constante

Este método se utiliza principalmente para medir velocidades de ventilación y caudales de aire en los conductos o para efectuar un seguimiento de la contaminación existente. Consiste en liberar el gas trazador en el recinto a una velocidad constante a lo largo de todo el periodo de medida. Cualquier cambio que se presente en la concentración de gas trazador estará relacionado con la velocidad de renovación.

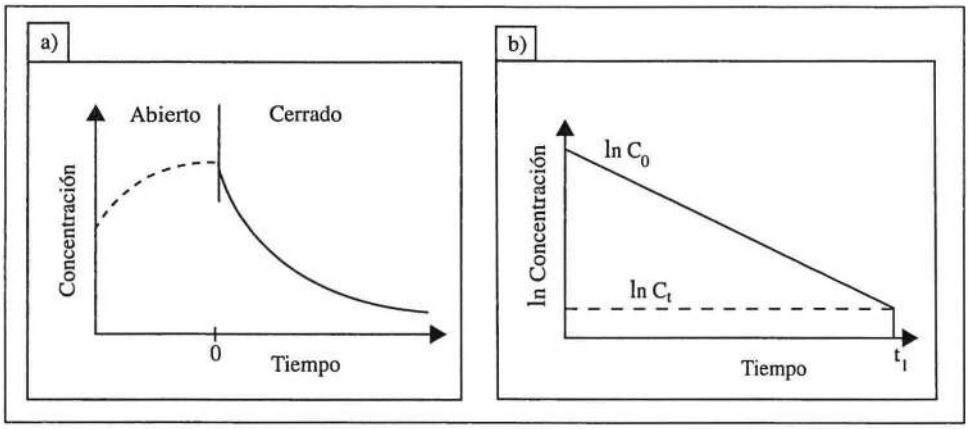


Figura 8.2.- Método de la caída de la concentración

Si la renovación del aire y la concentración de gas trazador que se va a medir son constantes, el caudal de aire se calcula mediante la fórmula:

$$Q = 10^6 \frac{F}{C}$$

donde:

F = velocidad de introducción de gas trazador en el recinto (m^3/h).

C = concentración de gas trazador en el aire del recinto (ppm).

Cuando la renovación de aire o la emisión de gas trazador no se mantengan constantes, deberá recurrirse a la ecuación de balance de masas. En la figura 8.3 se representa un ejemplo en el cual, a partir de la medida de la concentra-

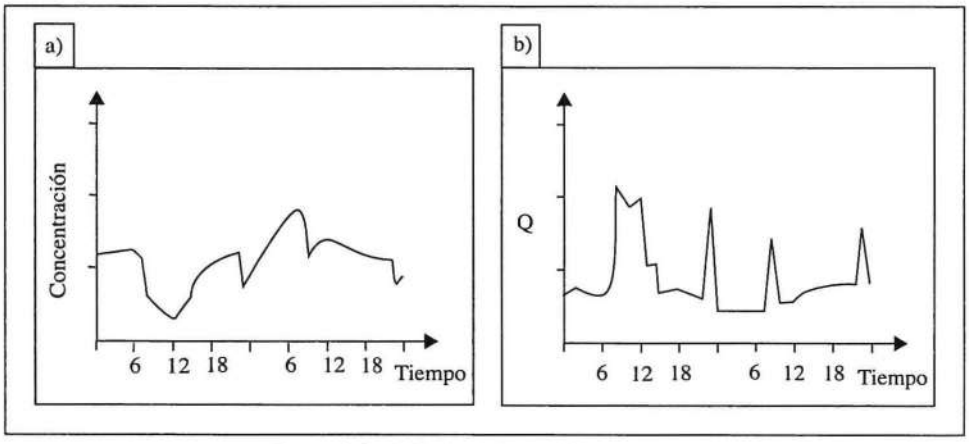


Figura 8.3.- Método de la emisión constante

ción del gas trazador a lo largo del tiempo (a), se puede obtener el caudal a lo largo del mismo periodo de tiempo (b).

Método de la concentración constante

Puede aplicarse en los mismos casos que el método de la emisión constante. En este método el gas trazador se dosifica para mantener su concentración constante. El caudal de aire es directamente proporcional a la velocidad de emisión de gas trazador requerida para mantener la concentración constante. La fórmula es la misma que en el método anterior:

$$Q = 10^6 \frac{F}{C}$$

donde:

F= velocidad de introducción de gas trazador en el recinto (m^3/h).

C= concentración de gas trazador en el aire del recinto (ppm).

Si el caudal de aire o la emisión de gas trazador no se mantienen constantes, deberá recurrirse a la ecuación de balance de masas. En la figura 8.4 se muestra cómo pequeñas variaciones en la concentración de trazador (a) corresponderían a variaciones en el caudal de aire (b).

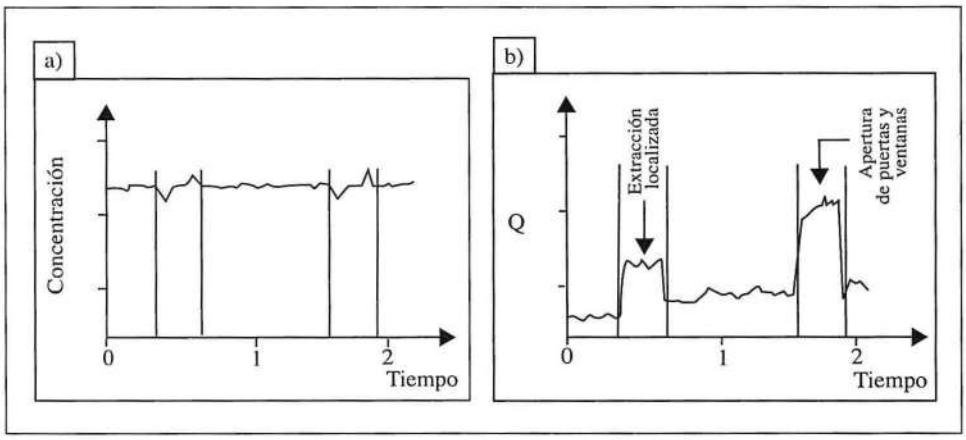


Figura 8.4.- Método de la concentración constante

Comentarios

Debe tenerse en cuenta que es importante estudiar no sólo el correcto funcionamiento de los equipos de ventilación sino también el seguimiento de problemas relacionados con la difusión de contaminantes, que pueden manifestarse a veces en forma de paso de olores molestos o no deseados, de unas zonas a otras.

La velocidad con la que un gas liberado en una zona de un edificio es detectado en otra puede informar sobre la existencia de paredes porosas, de caminos de paso no previstos o de presiones interiores no identificadas. Además, la utilización de técnicas de gas trazador permite conocer las velocidades de renovación, los porcentajes de aire exterior e incluso los aportes de aire por persona.

En los edificios muy compartimentados la ventilación puede ser excesiva en unas zonas e insuficiente en otras, aunque el aporte total de aire de renovación sea el adecuado. Para detectar el origen de los problemas, en algunos casos se requiere la utilización de técnicas que incluyen la utilización de varios gases trazadores. Estas técnicas consisten en liberar gases trazadores diferentes a cada uno de los espacios interconectados a estudiar y medir las concentraciones en función del tiempo.

ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE VENTILACIÓN Y CLIMATIZACIÓN

En un sistema de ventilación/climatización se pueden identificar varios elementos característicos. Siempre debe existir una toma de aire exterior que da paso a una cámara o pleno de mezcla. Tanto las tomas como los demás conductos del sistema tienen, en general, reguladores que permiten controlar la proporción de la mezcla. Como ya se ha dicho, la mezcla puede oscilar entre un 100% de aire exterior, es decir, todo el aire es nuevo, y un 0% de aire exterior o, lo que es lo mismo, no entra nada de aire nuevo y siempre se usa el mismo aire del interior que da vueltas por todo el edificio. Entre estos dos extremos hay todo un abanico de posibilidades.

En este punto, aunque también pueden estar situados en otros, el aire pasa por la unidad de tratamiento del aire en la que el aire se limpia y se climatiza. El aire tratado es distribuido a través de una red de conducciones por todos los locales del edificio y, habitualmente, mediante una red diferente, es extraído de los mismos para volver a la unidad central, desde donde una parte de ese aire será expulsado al exterior y otra parte será reciclado.

Unidades de limpieza del aire

Antes de ser distribuido a todo el edificio, el aire procedente del pleno de mezcla pasa a través de diferentes unidades de limpieza, cuya función es retirar del mismo el máximo de impurezas que pueda contener.

Los sistemas de limpieza del aire que habitualmente se encuentran instalados son los filtros cuya finalidad es retirar del flujo de aire la materia particulada. Estos filtros también cumplen con otra misión que es la de proteger otras partes del sistema, por ejemplo, evitando la acumulación de polvo y suciedad sobre las unidades de climatización, lo que reduciría la eficacia del

intercambio térmico, y la de prevenir la formación de focos de contaminación, principalmente microbiológica, ya que la suciedad sirve de alimento a los contaminantes biológicos.

Estos filtros suelen estar constituidos por materiales porosos, tales como fibras textiles, papel, etc. El material del que están fabricados y su estructura determinan diversas características de los filtros que deben tenerse en cuenta a la hora de diseñar un sistema de ventilación. Estas características se pueden resumir en las siguientes: el mecanismo de captación de las partículas, que puede ser por tamizado, inercia, interceptación o difusión; la capacidad de retención, que indica la cantidad máxima de materia particulada que puede retener el filtro; la pérdida de carga, que expresa la resistencia que opone el filtro al paso del aire, y la eficacia que indica el comportamiento y la utilidad del filtro.

Generalmente, los filtros se clasifican en tres categorías, atendiendo a su eficacia de captación: gruesos, finos y absolutos. Esta clasificación se obtiene tras ensayar el comportamiento de los diferentes materiales filtrantes frente a materia particulada de composición conocida. La eficacia se expresa en porcentaje e indicando la clasificación del filtro en función del tipo de partícula; por ejemplo, un filtro G4 del 90% indica que es un filtro grueso con una eficacia del 90% para partículas de tamaño grueso ensayado por el método gravimétrico, según especificaciones de la norma UNE – EN 779-1996. Todas esas indicaciones señalan su utilidad como prefiltro, es decir, el primer paso en la filtración del aire.

Una unidad típica de filtración debería estar formada, como mínimo, por un prefiltro y un filtro verdadero o, dicho de otro modo, un filtro grueso y otro fino; el primero tendría como misión retirar del aire las partículas más grandes y proteger y alargar la vida del filtro fino que sería el encargado de retener las partículas más pequeñas.

Los filtros absolutos, también denominados filtros HEPA (High Efficiency Particulate Air), son filtros con eficacias de retención del 99,99% y superiores para partículas de 0,3 μm de diámetro. Estos tipos de filtros tienen aplicaciones muy concretas, son los utilizados cuando se precisa obtener ambientes estériles o libres de partículas, por ejemplo: las salas limpias, los quirófanos o la industria microelectrónica.

Otros sistemas de limpieza del aire son los precipitadores electrostáticos que también se utilizan para retirar del aire la materia particulada. El principio físico de la precipitación electrostática se basa en la facultad que tienen las partículas cargadas eléctricamente de atraerse unas a otras. Así, las partículas del aire que son cargadas positivamente, al atravesar un campo eléctrico, son atrapadas en unos soportes metálicos que han sido cargados negativamente.

La filtración mecánica no es útil a la hora de eliminar del aire otro tipo de

sustancias, los gases y vapores, por lo que se necesitan otros sistemas entre los que se pueden destacar: la absorción química que se basa en la retención de algunos contaminantes químicos (óxidos de azufre y nitrógeno) mediante su disolución o combinación química con otro compuesto y la adsorción que se basa en la atención que tiene lugar entre las moléculas implicadas, en este caso, de los gases y el material empleado como adsorbente. Algunos de los materiales que se usan como adsorbentes son el carbón activo, la alúmina y la sílica gel.

Climatización del aire

Tras la limpieza del aire, éste pasa a través de las unidades de intercambio de calor, bien se trate de aporte de calor, bien de su eliminación. La mayor parte de los sistemas de calefacción utilizan la electricidad, el agua caliente o el vapor como medio para calentar el aire, y agua fría o líquidos refrigerantes para enfriarlo. El aire, al entrar en contacto con los circuitos por donde circulan estos medios, gana calor en el primero de los casos o lo cede en el segundo.

En algunos sistemas de refrigeración, los medios empleados para enfriar el aire pasan por las torres de refrigeración o los condensadores evaporativos en los que el agua que en ellas se encuentra absorbe el calor de los refrigerantes disipándolo finalmente a la atmósfera.

Algunos edificios disponen, en sus diferentes locales, de sistemas suplementarios de climatización del aire. Dichos sistemas consisten en un pequeño ventilador, un sistema de filtración y las unidades de calefacción/refrigeración. El equipo, en general, trabaja reciclando completamente el aire del local en el que están ubicados y habitualmente están dispuestos rodeando el perímetro del edificio, con el fin de contrarrestar la influencia de las condiciones climáticas del exterior en esas zonas.

Humidificación del aire

Los niveles de humedad del aire deben ser controlados para garantizar ambientes termohigrométricos confortables, así como para evitar las molestias ocasionadas por las descargas de la electricidad estática que ocurren en ambientes excesivamente secos. Existen diversos tipos de humidificadores cuya función es añadir vapor de agua al aire, ello se consigue mediante el rociado de agua en la corriente de aire, la evaporación de agua desde los depósitos donde está contenida o por inyección directa de vapor de agua al flujo de aire.

Distribución del aire en los espacios ocupados

El aire tratado llega a los locales del edificio a través de una red de conducciones, es introducido por los difusores en los espacios ocupados y en su recorrido por los mismos se deben cumplir los objetivos del sistema de ventilación y de climatización; y finalmente es extraído del local por las rejillas de retorno.

Dado que el aire debe realizar un buen barrido de la zona respiratoria antes de ser extraído, ello se puede lograr seleccionando adecuadamente los tamaños y ubicaciones de los difusores y los retornos. El ciclo se completa cuando el aire extraído de los diferentes locales vuelve al equipo central y, bien al 100%, bien en una determinada proporción, este aire es vertido al exterior.

CONTRIBUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE VENTILACIÓN Y DE CLIMATIZACIÓN AL DETERIORO DE LA CALIDAD DEL AIRE INTERIOR

Los aspectos que se deben considerar cuando se habla de la contribución de estos sistemas al deterioro de la calidad del aire en espacios interiores son dos: por un lado, el propio funcionamiento de la instalación y, por otro, la falta de un programa de mantenimiento de las instalaciones que permita que determinados puntos o zonas de la instalación se puedan convertir en fuentes de contaminación, fundamentalmente de tipo microbiológico, como ya se ha comentado en el capítulo anterior dedicado a la contaminación biológica.

Diseño y funcionamiento del sistema de ventilación

La posible contribución al deterioro de la calidad del aire interior de los sistemas de ventilación, por lo que hace referencia a un mal diseño y funcionamiento del mismo, se basa en los aspectos que se comentan a continuación, algunos de los cuales ya han sido citados específicamente en capítulos anteriores como posible origen de una mala calidad de aire interior.

Favorecer la entrada de contaminantes del exterior

La mayor parte de contaminantes del exterior pueden penetrar en los edificios a través de las tomas de aire, de aberturas no controladas o por una limpieza del aire insuficiente. En el primero de los casos, la entrada de contaminantes se produce porque las tomas de aire exterior están situadas demasiado próximas a los focos de contaminación, por ejemplo: tomas de aire al nivel de una calle con tráfico rodado; tomas de aire excesivamente próximas a la expulsión del sistema o a otras extracciones (lavabos, torres de refrigeración). En el segundo caso, aire del exterior, no tratado, se infiltra en el edificio por las grietas y resquicios debidos a una falta de hermeticidad del mismo, y, en el tercero de los casos, la entrada de contaminación se produce porque los elementos de limpieza instalados no son los adecuados para retener y eliminar del aire los diferentes contaminantes, o porque están mal instalados. Todo ello puede verse afectado por la dirección dominante del viento en la zona.

Favorecer el aumento de la contaminación interior

El régimen de trabajo del sistema de ventilación condiciona el grado en el que se consigue el objetivo de la ventilación que es diluir y eliminar los con-

taminantes de los espacios interiores. Al iniciar el apartado referente a la ventilación, se comentaba que los regímenes de trabajo de las instalaciones son variables, oscilando desde aquellas que trabajan con el 100% de renovación hasta las que trabajan con el 100% de aire reciclado. Entre estos extremos se pueden encontrar distintas proporciones de aire nuevo y aire reciclado que tratan de combinar la renovación del aire y el ahorro energético. Cuando el caudal de aire exterior no es suficiente se puede producir un incremento de la concentración de la contaminación interior.

Favorecer la dispersión de la contaminación

En ocasiones, la utilización de un sistema de ventilación general para todo el edificio puede propiciar la dispersión de los contaminantes generados en unas zonas a otras. Fundamentalmente esto ocurre cuando se recicla el aire y no se dispone de los elementos de limpieza del aire adecuados. También puede ocurrir cuando las presiones entre los locales no son las adecuadas, por ejemplo, cuando un local donde se genera un contaminante se encuentra a presión positiva con respecto a los locales adyacentes; esta presión positiva creará un flujo de aire desde el local contaminado hasta los que se encuentren en las inmediaciones.

Favorecer la creación de zonas mal ventiladas

Existen diferentes aspectos que, en mayor o menor medida, pueden contribuir a estas deficiencias en ventilación. Entre los más destacables están: la alteración del equilibrado del sistema de distribución del aire; una selección e instalación de difusores y retornos no adecuados en forma, tamaño y número, así como su operatividad, y una compartimentación de los locales en los que no estén siempre contempladas las entradas y salidas del aire.

Mantenimiento

Debido a un mantenimiento deficiente, el sistema de ventilación y de climatización puede convertirse en foco generador de contaminación, básicamente microbiológica. Las zonas concretas de la instalación que pueden convertirse en focos de contaminación son las siguientes: los sistemas de filtración, las unidades de climatización, las torres de refrigeración, el humidificador, los materiales empleados en la fabricación y el aislamiento de los conductos. En todos ellos existe un factor común, el deficiente mantenimiento de las instalaciones.

Los filtros que se emplean normalmente sólo retienen materia particulada; a esas partículas pueden ir asociados microorganismos y durante las operaciones de sustitución y/o limpieza de los filtros puede existir un mayor riesgo de exposición a los contaminantes allí retenidos. Por otra parte, el uso de filtros

de baja eficacia de retención favorece el paso de materia particulada que se acumula en otras partes del sistema, permitiendo el crecimiento de microorganismos que pueden ser incorporados al flujo de aire.

Al refrigerar el aire, el vapor de agua contenido en el mismo puede condensar sobre la superficie del refrigerador, caer directamente al suelo o ser recogido en algún recipiente. El estancamiento del agua, más la suciedad que pudiera estar presente, son excelentes caldos de cultivo para el desarrollo de microorganismos. Algo similar puede ocurrir en los equipos suplementarios de climatización distribuidos por el edificio.

En los equipos humidificadores las torres de refrigeración o los condensadores evaporativos, cuyo principio de funcionamiento se basa en la pulverización del agua reciclada que procede de depósitos, son serios candidatos, si no se realiza un buen mantenimiento del equipo, a convertirse en focos de contaminación microbiológica, en especial, de las bacterias del género *Legionella*, ya que en esos equipos encuentran las condiciones idóneas de temperatura, humedad y alimento que permiten su desarrollo y difusión al aire.

Los materiales de construcción y/o aislamiento empleados en el sistema pueden constituir un doble foco de contaminación, por ejemplo, los materiales aislantes porosos y/o fibrosos, pueden ser focos de contaminación porque su deterioro, además de liberar sus fibras, permite que se acumule el agua y la suciedad y, por tanto, permite el desarrollo de microorganismos.

Medidas preventivas

El diseño del sistema de ventilación y climatización estará condicionado por las características del edificio, fundamentalmente: su ubicación, que dará idea de las posibles fuentes de contaminación exterior; el fin al que está destinado, que permitirá definir las actividades que se lleven a cabo en el edificio y los posibles focos de contaminación interior; y el número de ocupantes, que debe incluir los trabajadores y el público que puede acudir a esas instalaciones. Cada uno de esos aspectos influirá en las características de las distintas partes del sistema.

Al describir el sistema de ventilación y climatización se han analizado las posibles causas o deficiencias que pueden contribuir al deterioro de la calidad del aire interior; en muchos casos, la descripción de la deficiencia sugiere qué medidas preventivas y de control se deberían aplicar. En este apartado se trata de dar una visión de conjunto de todas esas medidas.

El primer paso es conocer la calidad del aire exterior, determinada por el tipo de entorno del edificio (urbano, rural, etc.) y las fuentes de contaminación. Esta información, junto con la decisión sobre la calidad del aire que se desea obtener en el interior, permitirá seleccionar los sistemas de limpieza del

aire más idóneos y sus eficacias de captación. La elección de los sistemas de limpieza del aire está ligada a la selección del ventilador, de manera que éste debe tener potencia suficiente para proporcionar los caudales de aire necesarios y para vencer las pérdidas de carga que puedan suponer los distintos elementos del sistema de ventilación y climatización.

Una de las razones del deterioro de la calidad del aire interior es la entrada de contaminación proveniente del exterior. Para prevenir esta posibilidad hay que tener en cuenta: la ubicación y orientación de las tomas de aire exterior, las aberturas no controladas del edificio y los sistemas de limpieza del aire. En términos generales, las acciones preventivas consistirían en las siguientes:

- Las tomas de aire exterior deben ubicarse en las zonas donde el aire esté más limpio, normalmente esa zona corresponde a las azoteas debido al factor dilución que supone la atmósfera. Independientemente del lugar en el que estén situadas, las tomas de aire deben estar protegidas con rejillas y otros elementos que impidan la entrada de animales y agua al sistema.
- Las tomas de aire exterior deben orientarse de manera opuesta a la expulsión del sistema, alejada de la misma así como de otras extracciones del edificio y teniendo en cuenta la dirección de los vientos dominantes en la zona.
- La infiltración del aire no tratado a través de las aberturas del edificio se puede prevenir sellando las grietas y/o diseñando el sistema de ventilación para que trabaje a ligera presión positiva respecto de la atmosférica, de manera que el exceso de aire introducido en el edificio tienda a salir por todas las aberturas.
- Como se ha indicado anteriormente, la selección de los elementos de limpieza del aire estará condicionada por la contaminación exterior y el grado de limpieza que se desea obtener. Con respecto a los filtros, es recomendable instalar, como mínimo, un prefiltro para materia particulada gruesa y un filtro para partículas finas. El número y ubicación de estos elementos dependerá de las características del sistema.

Otras razones del deterioro de la calidad del aire interior son el incremento de la contaminación y la dispersión de los contaminantes en el edificio. Como ya se ha comentado en apartados anteriores, el Real Decreto 486/1997 establece los caudales de aire necesarios para la ventilación de los locales. Asimismo, establece que el sistema de ventilación empleado y, en particular, la distribución de las entradas de aire limpio y salidas de aire viciado, deberá asegurar una efectiva renovación del aire del local de trabajo.

El sistema de ventilación debe asegurar en todo momento los caudales de ventilación establecidos y debe proporcionarlos siempre que el edificio esté ocupado, incluidas las operaciones de limpieza u otros trabajos que se realicen en el edificio.

Dependiendo de la actividad, en el edificio pueden existir zonas en las que

se generen determinados contaminantes, por ejemplo: pequeñas imprentas, salas de fotocopiadoras, salas destinadas a fumadores, cocinas, etc. Cuando el sistema de ventilación es general para todo el edificio y se recicla una parte del aire de los locales, es el propio sistema el encargado de dispersar los contaminantes generados en esas zonas al resto de los locales. Las posibles soluciones consistirían en dotar a esas zonas de sistemas de ventilación independientes, instalar sistemas de extracción localizada en el foco de contaminación y/o provocar una ligera presión negativa en esos locales, mediante la instalación de extractores suplementarios, de manera que el aire entrará en esas zonas desde los locales adyacentes, impidiendo, por tanto, la salida de los contaminantes.

Otro aspecto es el que hace referencia a la posibilidad de que la distribución del aire permita la creación de zonas donde no se produzca la mezcla del aire; existen diferentes razones que lo explican: el desequilibrado del sistema de distribución del aire debido a la modificación o cierre de los registros, una deficiente selección de los difusores y retornos o una mala compartimentación de los espacios.

El equilibrado del sistema de ventilación consiste en que por cada difusor entre la cantidad de aire establecida en la fase de diseño y que debe corresponder al grado de ocupación del local. Esta operación debe realizarse tras la instalación del sistema de ventilación y, si no se modifica la posición de los reguladores en los conductos de distribución ni en los registros de entrada y salida del aire, debería mantenerse.

En ocasiones, son los propios ocupantes los que alteran la distribución del aire al cubrir los difusores, al colocar el mobiliario tapando los registros o al no tener en cuenta la existencia de una entrada y una salida del aire en cada espacio nuevo que se crea al compartimentar las plantas del edificio. Para asegurar la eficacia de la ventilación es conveniente controlar la operatividad de estos elementos y comprobar que todo local disponga de suministro y extracción del aire.

Una de las medidas más importantes en prevención es el mantenimiento, pero lo es en especial medida, cuando se trata de las instalaciones de ventilación y climatización. Al describir estos sistemas, se ha comentado la posibilidad de que distintas partes de los mismos pudieran convertirse en focos de contaminación, principalmente microbiológica. Un programa de mantenimiento preventivo efectivo permitirá asegurar que el sistema de ventilación está trabajando de acuerdo con las especificaciones de diseño, reducirá las operaciones de mantenimiento no previstas y mantendrá los requisitos proyectados, asimismo, evitará que se den las circunstancias que permiten el desarrollo microbiológico. Para mantener el adecuado funcionamiento, los diferentes componentes del sistema de ventilación deberán ser inspeccionados, limpiados, calibrados o reemplazados según las necesidades. Estas actuaciones se

realizarán en los siguientes componentes: los filtros del aire y sus juntas, las bandejas de drenaje, los serpentines de calefacción y de refrigeración, las torres de refrigeración, difusores y retornos, reguladores, sensores, ventilador, humidificadores, etc. Todos estos elementos deberán tener un acceso suficiente para poder realizar el trabajo. La IT 3 "Mantenimiento y uso" del RD 1027/2007 incluye un esquema de las distintas operaciones de mantenimiento preventivo así como la periodicidad con que deben llevarse a cabo.

9
LA INVESTIGACIÓN DE UN PROBLEMA DE CALIDAD DE AIRE INTERIOR

INTRODUCCIÓN

Investigar un problema de calidad de aire interior (CAI) puede ser, en muchos casos, complicado ya que no siempre es fácil identificar el origen o sacar conclusiones sobre la situación existente, pudiéndose dar una serie de razones que dificulten su solución. Así, por ejemplo, puede suceder que:

- La causa del problema no sea evidente, siendo incluso difícil atribuirlo a un origen químico, biológico, a condiciones termohigrométricas o a un inadecuado funcionamiento del sistema de renovación y climatización del aire.
- No sea fácil identificar la fuente contaminante.
- Los métodos analíticos disponibles no permitan la determinación de los contaminantes presentes.
- No se disponga de valores de referencia aplicables a ambientes interiores.
- El problema sea episódico o cíclico.
- Los síntomas y las quejas manifestadas por los ocupantes del edificio sean atribuibles simultáneamente a varias causas distintas.
- Los datos obtenidos en distintas mediciones (por ejemplo tasas de ventilación o concentración de contaminantes) no se correlacionen con la intensidad de los síntomas y quejas manifestados.
- El problema tenga una carga emocional añadida que dificulte cualquier planteo lógico del mismo.

Todo ello condiciona la metodología a aplicar para investigar, diagnosticar y proponer soluciones frente a un problema de CAI.

PLANTEO DEL PROBLEMA

Muchos de los problemas asociados a la CAI son multifactoriales y, por ello, la selección del procedimiento operativo depende básicamente del tipo de edificio. En consecuencia, es recomendable que, al realizar un estudio, su responsable tenga una total flexibilidad para adaptarse a las particularidades del edificio en cuestión, a la preocupación manifestada por sus ocupantes y, evidentemente, a los medios disponibles para afrontar el problema.

En general se aconseja trabajar de forma secuencial por fases que permitan aproximaciones sucesivas mediante el establecimiento de hipótesis que relacionen causas y efectos y su posterior comprobación.

Una aproximación simplificada del problema implicaría:

- Identificación del posible problema.
- Obtención de datos.
- Evaluación de la situación (fuentes potenciales, comportamiento del aire, comportamiento de los ocupantes).
- Recogida de información adicional (si es necesaria).
- Establecer conclusiones o hipótesis de trabajo.
- Comprobar hipótesis y proponer soluciones.
- Efectuar los cambios necesarios para solucionar el problema y para evitar que reaparezca en el futuro.

La figura 9.1 recoge, a modo de resumen, un diagrama de flujo simplificado aplicable a la investigación de un problema de CAI.

En general, en la práctica, pueden identificarse varias fases (habitualmente tres) que se dividen o simultanean según las circunstancias. Este sistema facilita, en muchos casos, la aplicación de soluciones y de medidas preventivas en la primera fase del estudio, eliminando o reduciendo el problema con rapidez y evitando, así, la necesidad de prolongarlo, con el correspondiente ahorro de tiempo y costes.

Toda investigación debe iniciarse siempre con una inspección inicial del edificio y de sus instalaciones, especialmente del sistema de ventilación, calefacción y aire acondicionado, recogiendo toda la información posible que pueda ayudar a la identificación del problema. Debe estructurarse de tal manera que pueda realizarla un higienista industrial o una persona con conocimientos básicos en el tema y muchas veces puede ayudarse con la determinación de parámetros semicuantitativos indicadores de la CAI. A la luz de la inspección inicial y de las determinaciones efectuadas se plantean, en su caso, unas hipótesis sobre las causas o factores que pueden afectar a la CAI y se efectúan las comprobaciones y correcciones que se consideren oportunas.

Si con las medidas aplicadas no se solucionan los problemas, es preciso

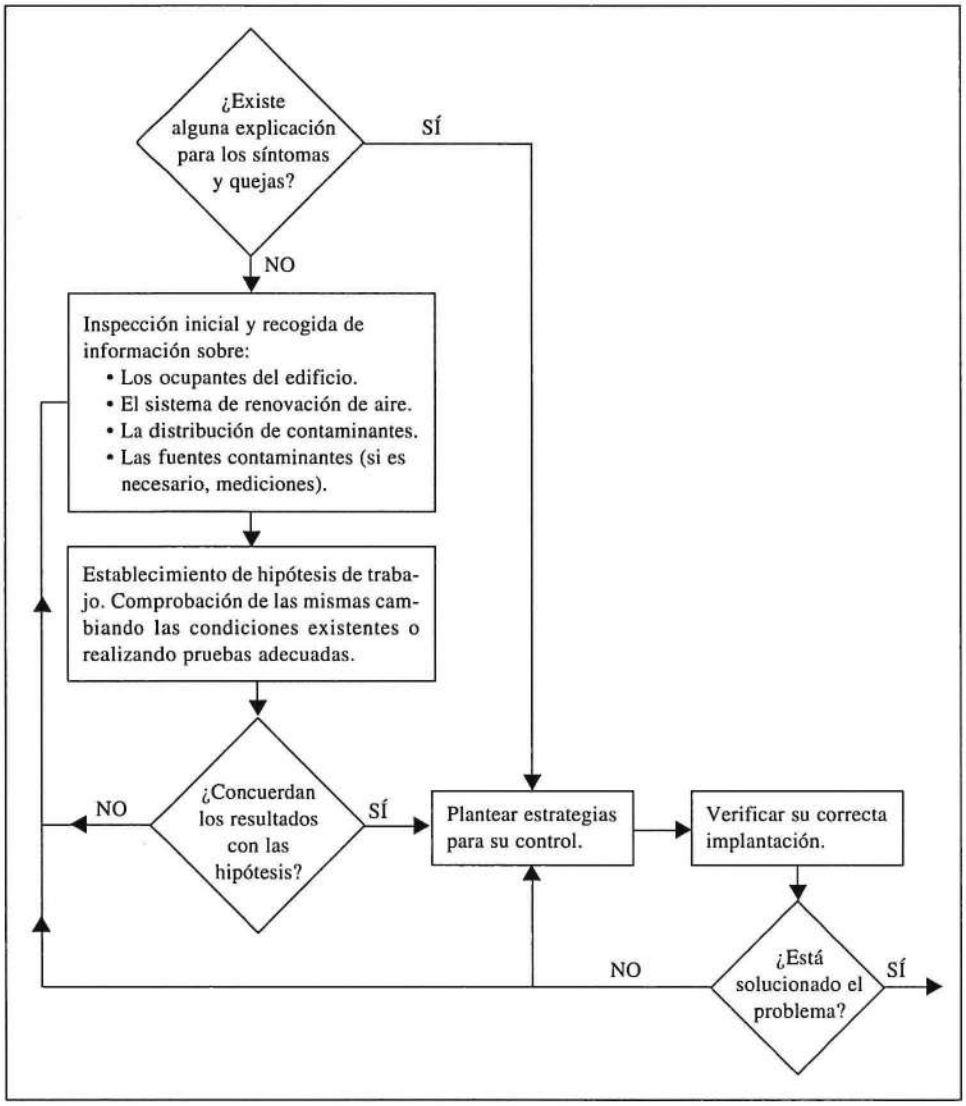


Figura 9.1. Diagrama de flujo simplificado aplicable a la investigación de un problema de CAI en un edificio.

confirmar una hipótesis compleja o bien se desea profundizar en la investigación, se programan estudios más completos que implican, probablemente, la determinación de algunos contaminantes concretos, una revisión completa del funcionamiento del edificio, especialmente del sistema de ventilación y climatización e, incluso, revisiones médicas específicas y estudios epidemiológicos mediante la aplicación de cuestionarios de síntomas.

INVESTIGACIÓN INICIAL

Como ya se ha dicho, el objetivo básico de la investigación inicial es recoger información sobre el edificio y sobre su funcionamiento llevando a cabo una revisión general del mismo, mediante una visita detallada, que debe incluir el sistema de renovación y climatización del aire. Es conveniente buscar información a partir de aquellas personas que conozcan la historia del edificio, tanto el destino inicial como los cambios experimentados a lo largo del tiempo, que intervengan en su diseño funcional y en su mantenimiento y que sean usuarios del mismo.

Otro objetivo de esta parte inicial es descartar, hasta los niveles de seguridad que sean razonablemente alcanzables, orígenes del problema distintos a una mala calidad de aire.

Entrevistas personales

Se debe obtener información inicial sobre el problema existente a partir de una persona que actúe como responsable del mismo (propietario, empresario, supervisor, prevencionista, médico, jefe de mantenimiento, etc.), el cual puede aportar información general sobre el edificio, las instalaciones, las actividades desarrolladas, los ocupantes y el tipo de quejas.

Si es posible debe contactarse con el personal afectado, ya que son los que están más familiarizados con el problema y aunque, a menudo, no identifiquen la causa correcta, sí suelen proporcionar información importante para su identificación (momento de aparición del problema, frecuencia, coincidencias, etc.). Hay que asegurarse de que el problema está estrictamente relacionado con la permanencia en el edificio, aunque puede estar amplificado por otras circunstancias.

Cuestionarios

En función del tipo de problema, de las características del edificio y del número de personas afectadas y para completar la información obtenida en las entrevistas, si la situación así lo justifica, podría ser de utilidad la utilización de algún cuestionario que facilite la identificación del problema, de los síntomas y quejas, de su causa o de su extensión y/o localización.

Es conveniente que el cuestionario se adapte, en cada caso, a las necesidades concretas del edificio, sea lógico, fácil de leer y lo más corto y sencillo que sea posible, incluyendo preguntas específicas con respuesta corta, de preferencia "sí o no". Desde el punto de vista del encuestador debe permitir obtener la información que se busca y debe ser fácil de codificar y de trasladar a un procesador de datos.

Es importante que el cuestionario sea anónimo, que se garantice la con-

fidencialidad y que se cumplimente de forma individual. A título de ejemplo en la tabla 9.1 se presenta un cuestionario aplicable a un ambiente interior tipo oficina para determinar la causa de las quejas existentes.

El objeto de este cuestionario es identificar el origen de las quejas manifestadas por los ocupantes del edificio en el que Vd. desarrolla su actividad laboral. Para ello necesitamos que responda a las preguntas. No es necesario que se identifique ya que es totalmente anónimo y confidencial.

Gracias por su colaboración.

INFORMACIÓN GENERAL:

Nº de cuestionario ( ) Fecha __ /__ /__

Edad ( ) Sexo ( ) Localización (planta o departamento) ( )

¿EN EL ÚLTIMO MES HA TENIDO ALGUNO DE LOS SIGUIENTES SÍNTOMAS Y LOS RELACIONA CON SU ESTANCIA EN EL EDIFICIO?

	Sí	No	No lo sabe
• Síntomas oculares			
Enrojecimiento	☐	☐	☐
Escozor / picor	☐	☐	☐
Sequedad	☐	☐	☐
Lagrimeo	☐	☐	☐
Hinchazón	☐	☐	☐
Visión borrosa	☐	☐	☐
Otros	☐	☐	☐
• Síntomas nasales			
Hemorragia nasal	☐	☐	☐
Congestión nasal	☐	☐	☐
Sequedad nasal	☐	☐	☐
Rinitis (goteo nasal)	☐	☐	☐
Estornudos seguidos (más de tres)	☐	☐	☐
Otros	☐	☐	☐
• Síntomas de garganta			
Sequedad	☐	☐	☐
Picor	☐	☐	☐
Dolor	☐	☐	☐
Otros	☐	☐	☐
• Transtornos respiratorios			
Dificultad para respirar	☐	☐	☐
Tos	☐	☐	☐
Dolor en el pecho	☐	☐	☐
Otros	☐	☐	☐

	Sí	No	No lo sabe
• Síntomas bucales			
Sabores extraños	☐	☐	☐
Sequedad/sensación de sed	☐	☐	☐
Otros	☐	☐	☐
• Transtornos cutáneos			
Sequedad de piel	☐	☐	☐
Erupciones	☐	☐	☐
Escamas	☐	☐	☐
Picor	☐	☐	☐
Otros	☐	☐	☐
• Transtornos digestivos			
Mala digestión	☐	☐	☐
Náuseas	☐	☐	☐
Vómitos	☐	☐	☐
Diarrea	☐	☐	☐
Estreñimiento	☐	☐	☐
Dolor / pinchazos	☐	☐	☐
Otros	☐	☐	☐
• Síntomas dolorosos			
De espalda	☐	☐	☐
Musculares	☐	☐	☐
De articulaciones	☐	☐	☐
Otros	☐	☐	☐

Tabla 9.1- Cuestionario sobre la calidad del aire en espacios interiores *(continúa)*

Continuación tabla 9,1

	Sí	No	No lo sabe
Síntomas parecidos a la gripe			
Fiebre	☐	☐	☐
Escalofríos	☐	☐	☐
Debilidad	☐	☐	☐
Otros	☐	☐	☐
Síntomas de tensión			
Ansiedad	☐	☐	☐
Irritabilidad	☐	☐	☐
Insomnio	☐	☐	☐
Agotamiento	☐	☐	☐
Depresión	☐	☐	☐
Sensación de pánico	☐	☐	☐
Otros	☐	☐	☐
Transtornos generales			
Apatía	☐	☐	☐
Debilidad	☐	☐	☐
Mareo	☐	☐	☐
Dificultad de concentración	☐	☐	☐
Dolor de cabeza	☐	☐	☐
Aletargamiento / falta de energía	☐	☐	☐
Menstruación irregular	☐	☐	☐

PREGUNTAS GENERALES:

	Sí	No
¿Cree conocer el origen del problema?	☐	☐
¿Lleva lentes de contacto?	☐	☐
¿Es fumador?	☐	☐
En caso afirmativo. ¿Cuántos cigarrillos fuma al día?	(	)
¿Le molesta que se fume en el trabajo?	☐	☐
¿Trabaja cerca de un fumador?	☐	☐

PARA LOS SÍNTOMAS MANIFESTADOS PUEDE DECIRNOS:	Sí	No	No lo sabe
¿Tiene alguna enfermedad que los justifique?	☐	☐	☐
¿Mejoran los síntomas cuando deja la oficina?			
¿Puede usar sus lentes de contacto en el trabajo?	☐	☐	☐
¿Hay algún momento durante el día en que los síntomas son peores?	☐	☐	☐

En caso afirmativo. ¿Cuándo?	(	)
¿Cuántos días en el último mes ha tenido los síntomas?	(	)
A partir de su llegada al trabajo, ¿cuándo aparecen los síntomas?	(min)	(horas)

AÑADA CUALQUIER OTRA INFORMACIÓN QUE PUEDA SER DE INTERÉS:

(Comente en especial su opinión sobre el problema)

.....

.....

.....

.....

.....

Tabla 9.1- Cuestionario sobre la calidad del aire en espacios interiores

Revisión del edificio y recogida de información

El objetivo de una revisión inicial es familiarizarse con el edificio para obtener una idea general del mismo, de sus ocupantes, de las actividades realizadas y del sistema de renovación y climatización de aire. En la tabla 9.2 se presenta un listado orientativo de aspectos a considerar.

Los datos obtenidos deben complementarse con la información existente que pueda ayudar a la identificación de un posible problema: planos del edificio, modificaciones realizadas, descripción del sistema de renovación de aire, incidencias registradas, absentismo, etc.

Toda esta información debe completarse con las opiniones, las quejas y los problemas específicos de confort y salud manifestados por los usuarios del edificio.

Identificación del edificio Nombre, dirección, localización, propietario, arrendatarios, etc.
Personas contactadas Gerente, jefe de mantenimiento, usuario(s), etc.
Utilización del edificio Actividades básicas: oficinas, escuela, centro sanitario, zonas comerciales, etc. Locales complementarios: cafetería, aparcamiento, laboratorio, almacenes, etc.
Descripción de actividades Nº de ocupantes, distribución por espacios, procesos, operaciones, equipos utilizados (fotocopiadoras, impresoras, etc.), productos químicos, horarios, etc.
Construcción Año de edificación, nº de plantas, uso proyectado y actual, materiales utilizados, etc.
Modificaciones y reparaciones Obras y renovaciones efectuadas, motivo y materiales utilizados.
Acabados, decoración y mobiliario Recubrimientos de suelos, paredes y techos, compartimentación, etc.
Entorno Urbano, rural, comercial; proximidad e intensidad de tráfico, cercanía de instalaciones contaminantes como gasolineras, parques de almacenamiento, industrias, tintorerías, etc.
Mantenimiento Escapes de agua e inundaciones recientes, problemas de humedades, electricidad, fontanería, sistema de renovación de aire, reparaciones en aislamientos, renovaciones de muebles, de tapizados, pintado, barnizado, encerado, limpieza, etc.
Desinsectaciones Fecha de la última desinsectación, productos utilizados, certificado, tiempo de seguridad establecido y cumplido, etc.

Tabla 9.2. Aspectos a considerar en la inspección inicial del edificio

Productos químicos. Utilización y focos de emisión

Un aspecto importante lo constituye la revisión de los productos químicos utilizados de manera más o menos habitual en el edificio, considerando las posibles relaciones entre la utilización y/o almacenamiento de estos productos químicos y las quejas existentes. Conviene siempre revisar las etiquetas y, en su caso, las fichas de datos de seguridad de los mismos. Destacan entre ellos:

- Productos de limpieza, desinfectantes, odorizantes y ceras utilizados por los servicios de limpieza.
- Los pesticidas y herbicidas utilizados para la eliminación de plagas (desinsectantes), cuidado del jardín y plantas de interior.
- Los desinfectantes e inhibidores de crecimiento usados en el mantenimiento de los sistemas de renovación de aire.
- Materiales utilizados en las fotocopiadoras e impresoras.
- Productos químicos especiales utilizados en aplicaciones concretas como pueden ser trabajos en artes gráficas, en el mantenimiento del edificio, empaquetado y envío, etc.

Igualmente la existencia de olores al entrar en las distintas zonas también debe ser anotada e investigada para identificar su origen.

En cuanto a los productos de combustión, deben localizarse los focos existentes (cocinas, hornillos de gas, calentadores de agua, calderas de calefacción, etc.) y caracterizarlos teniendo en cuenta el tipo de combustible utilizado, su ubicación, los conductos de eliminación de gases, los horarios de funcionamiento y la posible diseminación de los gases por el edificio. También debe considerarse la política que se sigue en el edificio respecto al fumar, la ubicación de áreas de fumadores y no fumadores y las garantías de separación efectiva entre ellas.

También hay que cuestionar la posibilidad de entrada en el edificio de contaminantes procedentes del exterior, ya sea a través del aire, con los propios ocupantes o por el subsuelo, por ejemplo, por escapes en conducciones y depósitos soterrados.

Como norma básica, si entre los síntomas manifestados por los ocupantes se identifican algunos característicos, atribuibles a determinados contaminantes ambientales, es conveniente intentar identificar las posibles fuentes.

Otros factores

También debe recabarse información sobre escapes de agua o inundaciones, incluyendo daños ya reparados, ya que pueden suponer la existencia de humedades y de crecimiento microbiano, con la correspondiente contaminación biológica y/o generación de olores.

Paralelamente debe considerarse la posibilidad de que otros factores de estrés, como pueden ser una iluminación insuficiente, ruidos molestos, radiaciones, etc., puedan influir en la apreciación, por parte de los usuarios, de la calidad del aire.

Revisión del sistema de ventilación y climatización

Dado que el diseño, estado y funcionamiento del sistema de ventilación y climatización es con frecuencia el responsable de una deficiente CAI, conviene definir en este primer estadio de la investigación los puntos esenciales en que se fundamenta la renovación del aire en el edificio. Hay que conocer el tipo de ventilación y recoger información concreta sobre el sistema (planos, informes de revisiones efectuadas, modificaciones, funcionamiento, mantenimiento, etc.) y completarla con datos sobre cambios en la ocupación de las distintas zonas y sobre variaciones en la compartimentación de los locales.

El objetivo de esta revisión es averiguar si el funcionamiento del sistema de ventilación y climatización de que dispone el edificio puede afectar negativamente a la calidad del aire. Para ello, debe revisarse el sistema, considerando inicialmente si el acceso a los diferentes componentes facilita su reparación, mantenimiento y limpieza general. Debe prestarse especial atención a la localización y estado de:

- las unidades de calefacción y de refrigeración,
- las tomas de aire exterior,
- los puntos de expulsión del aire de retorno,
- las torres de refrigeración.

Conviene considerar la posible contribución del sistema a la entrada de contaminantes exteriores en el edificio. También debe tenerse en cuenta la posibilidad de su generación por el propio sistema, contribuyendo con olores no deseados, emitiendo productos procedentes de los materiales utilizados en la instalación o en sus tratamientos u operaciones de mantenimiento, tales como materiales fibrosos utilizados como recubrimiento interior, productos de limpieza o desinfección. También debe recordarse que el sistema puede actuar como reservorio, amplificador y diseminador de los microorganismos.

Entre las situaciones incorrectas que con más frecuencia suelen detectarse y que conviene investigar directamente destacan:

- Las localizaciones de las tomas de aire exterior que posibilitan la entrada de contaminantes procedentes de fuentes exteriores y/o la reentrada de aire expulsado.
- Las tomas de aire no están bien protegidas de la lluvia y permiten la entrada de agua en el sistema y/o no disponen de rejillas protectoras para pájaros, facilitándose en ambos casos un posible crecimiento microbiológico.

- No existen filtros, no son los adecuados o suficientes o no se lleva a cabo un mantenimiento de los mismos, lo que puede afectar tanto al flujo de aire como a la presencia de partículas en el mismo.
- Los usuarios del edificio interfieren en el funcionamiento del sistema de ventilación y climatización. Son ejemplos de ello: difusores y rejillas de retorno cerradas o modificadas para eliminar corrientes de aire, ubicación inadecuada de muebles o elementos decorativos que impiden el paso del aire, cambios no previstos en la compartimentación, eliminación o cortocircuitado de conductos o difusores, apertura sistemática de ventanas y puertas al exterior e incluso, decisiones unilaterales de modificar las condiciones de funcionamiento.
- Hay obras de reparación y de mantenimiento inacabadas que afectan el funcionamiento del sistema de ventilación y climatización. No es infrecuente que por errores organizativos queden conductos cortados o desconectados o que reparaciones provisionales se conviertan en definitivas siendo fuentes de mal funcionamiento.
- Hay zonas en las que se acumula la suciedad y/o el agua estancada, favoreciéndose un aumento en la concentración de contaminantes microbiológicos en aire.
- Los termostatos cubren zonas con necesidades de ventilación o climatización muy diferentes o están mal ubicados, lo cual puede implicar la existencia de notables diferencias de temperatura.

Conclusiones o hipótesis de trabajo

Finalizada la investigación inicial del edificio y del sistema de ventilación y climatización, se debe disponer de suficiente información para establecer unas conclusiones dirigidas a tomar acciones inmediatamente o bien establecer unas hipótesis de trabajo a comprobar. Debe insistirse en el hecho de que en muchos casos un diagnóstico adecuado basta para solucionar el problema y dar por terminado el estudio.

En la tabla 9.3 se presenta un listado de aspectos que deben conocerse al final de este primer estadio.

INVESTIGACIÓN BÁSICA. EVALUACIÓN INICIAL DE LA CAI

Si las soluciones no son evidentes, para confirmar o rechazar algunas de las hipótesis de trabajo que se van planteando es conveniente medir una serie de parámetros que se utilizan como indicadores de la CAI y que ayudan a identificar y evaluar la contribución en el problema de algunas fuentes potenciales presentes.

En muchos casos algunas de estas medidas pueden haberse podido simul-

La información general sobre el edificio, incluidas las modificaciones realizadas en el diseño original y si ha habido renovaciones o modificaciones recientes.
El tipo de quejas específicas sobre salud y confort y proporción de ocupantes que manifiestan cada queja.
La distribución en el tiempo (hora y día de la semana, época del año) de los efectos adversos, incluidas las situaciones de disconfort.
La identificación, localización y distribución de los ocupantes afectados (puesto de trabajo habitual, jornada, turnicidad, etc.).
La posible relación entre quejas y potenciales fuentes contaminantes.
La localización de las potenciales fuentes contaminantes del ambiente interior y su comportamiento en el tiempo.
La información sobre el diseño, la instalación, la operación y el mantenimiento del sistema de ventilación y climatización en todo aquello que pueda afectar a los contaminantes.
La relación de posibles deficiencias en la distribución del aire de renovación.
La existencia de opiniones médicas sobre posibles problemas de salud atribuibles a la CAI.
Cualquier otra información que pueda ser de interés, como por ejemplo, si se sospecha cuál puede ser el origen del problema, si está permitido fumar en el edificio, origen y actividades de las visitas, etc.

Tabla 9.3.- Aspectos que deben conocerse al final de la primera fase

tanear con la inspección inicial, en función de las circunstancias y disponibilidades del responsable de la investigación.

No hay que olvidar que, para que los datos obtenidos sean significativos y poder, así, alcanzar conclusiones, las medidas deben efectuarse en:

- Las zonas donde se manifiesta el problema o se sospecha que existe.
- El sistema de ventilación y climatización y/o sus zonas de acceso.
- Una zona que debe definirse como de referencia o control.
- El exterior del edificio.

Vale la pena insistir en la importancia de realizar mediciones de los contaminantes en el aire exterior como referencia imprescindible para establecer comparaciones en aquellas situaciones en las que no se disponga de valores de referencia en ambientes interiores.

Además, para detectar cambios durante el día, deben efectuarse medidas a lo largo de toda la jornada laboral, por ejemplo: al inicio de la jornada, antes, a mitad y al finalizar la misma.

En la Tabla 9.4 se relacionan los parámetros de medida más habituales, los instrumentos generalmente utilizados, el intervalo en el que la técnica suele ser válida y el intervalo considerado aceptable. También en aquellos casos en

que haya sospechas de la presencia de algún contaminante concreto pueden realizarse mediciones del mismo para confirmar su presencia.

Parámetro	Instrumentos	Intervalo de medida	Intervalo aceptable
Temperatura	Termómetro	0 – 50°C	20 – 26°C
Humedad relativa	Psicrómetro o Sensor electrónico	0 - 100% HR	30 - 70% HR
Movimientos del aire	Tubos de humo	Cualitativo	—
Velocidad de aire	Anemómetros	0,05 - 10 m/seg	0,25 - 0,5 m/s
Caudal de aire	Medidor de caudal [1] Tubos de pitot[2]	20 - 3500 m^3/h	30-50 m^3 aire exterior / hora/persona
Dióxido de carbono (CO_2)	Med. de lectura directa Tubos colorimétricos	200 - 4000 ppm	<1000 ppm
[1] *Medidas directas en difusores* [2] *Miden flujos de aire en un conducto*			

Tabla 9.4.- Determinación de algunos parámetros habituales

Las temperaturas elevadas, además de causar disconfort, potencian los síntomas inducidos por los contaminantes presentes en el aire. En general, temperaturas y humedades, no comprendidas en los límites aconsejados por las normas de ventilación, generan quejas en una mayoría de los ocupantes de un edificio, siendo importante, según la Norma UNE-EN ISO 7730-1996, tener en cuenta no sólo la insatisfacción debida a calor o frío en la totalidad del cuerpo (ver tabla 1.1) sino también la insatisfacción debida al enfriamiento o calentamiento no deseado de una parte del cuerpo debido a: corrientes de aire, diferencias de temperatura anormalmente elevadas entre cabeza y tobillo (superior a 3°C), suelo demasiado caliente o frío (en invierno <19°C y >26°C o >29°C para sistemas de calefacción por suelo), alta asimetría en la radiación térmica (en invierno <10°C para planos verticales fríos –ventanas, etc.– y >5°C para un techo ligeramente caliente) y producción de energía metabólica demasiado elevada o exceso de ropa.

El conjunto de las medidas de aire (caudal, velocidad y dirección) dan información sobre si el sistema de renovación de aire cumple con su función básica.

En general, el dióxido de carbono (CO_2), presente en el aire interior, procede de la respiración humana y se usa como referencia del nivel de contaminación existente en el interior como consecuencia de una insuficiente renovación del aire en los espacios ocupados. Es preferible medir el CO_2 con un equipo de lectura directa que permita registrar los cambios que se producen a lo largo del día en diferentes lugares. Las muestras promediadas sólo pro-

porcionan resultados limitados y las muestras puntuales tienen que tomarse en número suficiente para representar adecuadamente las variaciones de nivel a lo largo de la jornada. En ningún caso debe considerarse que unos bajos niveles de CO_2 garantizan una correcta CAI, sino tan sólo una buena distribución del aire de renovación en función de los ocupantes del edificio.

Las actuaciones aconsejables dependen de la zona de que se trate. A título de ejemplo, en la tabla 9.5 se resumen algunas de las acciones a realizar y puntos significativos a considerar en localizaciones concretas.

Ubicación	**Acciones**
En la zona donde se localizan las quejas	Entrevistas a las personas afectadas y/o cumplimentación de cuestionarios. Buscar causas obvias para el problema. Comprobar la temperatura y la humedad. Presencia de olores. Medir CO_2. Informarse sobre la renovación de aire.
En garajes y aparcamientos, cuartos de calderas de calefacción, grupos electrógenos, etc.	Medir SO_2, CO, CO_2 y NO_2. (Pueden utilizarse equipos de lectura directa o tubos indicadores).
Oficinas generales	Medir CO_2, temperatura, humedad y formaldehído con equipos de lectura directa. Presencia de humedades. Buscar fuentes de compuestos químicos.
Instalaciones de renovación de aire	Localizar mohos, humedades, agua estancada y fuentes de compuestos químicos.
En las salas de ordenadores y salas de fotocopiadoras	Medir ozono.
Laboratorios, salas de revelado fotográfico, almacenes de productos químicos	Medir COV. Localizar derrames, recipientes abiertos, campanas de laboratorio inoperantes, almacenamientos inadecuados y suministro de aire y retorno.
Cafeterías y servicios de restauración	Localizar restos de alimentos, suciedad y otras fuentes de olores. Medir CO y CO_2.
Aseos y vestuarios	Localizar crecimientos microbiológicos, derrames de agua y revisar la distribución del aire. Medir CO_2.
Azoteas, torres de refrigeración, tomas de aire de renovación	Localizar suciedad, mohos, pájaros muertos, derrames de agua, etc. Localizar problemas de mantenimiento y distancias a fuentes contaminantes externas.
Áreas para fumadores	Revisar el sistema de renovación de aire. Medir CO y CO_2.

Tabla 9.5. Acciones a realizar y puntos significativos a considerar en localizaciones concretas

INVESTIGACIÓN EN PROFUNDIDAD. DETERMINACIÓN DE COMPUESTOS ESPECÍFICOS

La identificación de muchos de los problemas inicialmente planteados se habrá completado con las actuaciones realizadas hasta este momento. Sin embargo, en algunos casos, puede ser conveniente confirmar alguna hipótesis realizando el análisis de compuestos específicos. En otros casos las hipótesis de trabajo planteadas y las soluciones propuestas no habrán sido suficientes para resolver los problemas existentes. Entonces debe ser necesaria una reconsideración del problema estudiando cuidadosamente toda la información disponible y desarrollando a partir de ella unas nuevas hipótesis que, normalmente, implican la realización de estudios más completos que pueden incluir el análisis en aire, o sobre superficies, de determinados contaminantes, el análisis de muestras de agua si se sospecha la presencia de microorganismos y una revisión completa por especialistas del funcionamiento y diseño del sistema de ventilación y climatización. También puede ser conveniente en algunos casos el realizar exámenes médicos y estudios de tipo epidemiológico.

En la tabla 9.6 se relacionan los contaminantes cuya determinación en ambientes interiores está con más frecuencia justificada por las quejas y síntomas existentes y por el tipo de actividad realizada. Se incluye el margen de concentraciones habitual en ambientes no contaminados y unos valores a partir de los cuales es conveniente investigar la procedencia. Destacan entre ellos los que se comentan a continuación.

Productos de combustión

Proceden, entre otras fuentes, de vehículos y de humo de tabaco, yendo acompañados de partículas sólidas.

Como ya se ha indicado, el CO_2 se utiliza como indicador de un correcto suministro de aire a los ocupantes del edificio, pero también pueden tener otras procedencias. Es aconsejable su determinación junto con la de CO cuando en el edificio existan garajes, calderas de calefacción, grupos electrógenos o cualquier tipo de motor de combustión interna. En algunos casos la determinación de CO puede simultanearse con las mediciones iniciales ya que una concentración de CO que supere en 3 ppm el nivel exterior se considera como una alerta de una concentración interior anormal y hace aconsejable se investiguen las posibles fuentes. Hay que tener en cuenta que se considera que un aumento de 2 ppm debido a humo de tabaco justifica una irritación ocular. El NO_2 y el SO_2 se determinan si el tipo de quejas o los resultados de la investigación inicial hacen sospechar su presencia, ya sea procedentes de fuentes interiores o exteriores.

Deben tomarse muestras en las zonas donde se manifiesten las quejas, en un área de control y en zonas entre el punto de las quejas y las supuestas

Compuesto	Concentración típica en un interior	Concentración a investigar
Amianto	< 0,01 fb/cc < 2 μg/m³	> 0,01 fb/cc
Bioaerosoles	Varía con la localización	2 veces superior a la de otros espacios o a la del exterior
COVT	Hasta 300 μg/m³	Depende del compuesto; 300 μg/m³ hasta 3000 μg/m³
Dióxido de carbono	450 – 1.000 ppm	Aire exterior más 650 ppm
Formaldehído	0,01 – 0,05 ppm	> 0,05 ppm (60 μg/m³)
Monóxido de carbono	1 – 5 ppm	> 5 ppm
NO_2	0,01 – 0,05 ppm	> 0,05 ppm
Olores	Ninguna	Cualquiera que se detecte durante amplios periodos de tiempo
Ozono	0,01 – 0,02 ppm	> 0,05 ppm
Partículas	Hasta 50 μg/m³ (total) Hasta 50 μg/m³ (MP_{10}, $MP_{2,5}$)	≥ 50 μg/m³ ≥ 50 μg/m³ • Aerosoles visibles • Cantidades importantes de polvo depositadas en superficies planas • Partículas visibles emitidas por los difusores
Radón*	< 0,5 pCi/L	> 4 pCi/L (148 Bq/m³)
* *Ver apartado 7 del capítulo 5*		

Tabla 9.6. Contaminantes de interior, concentraciones típicas y concentraciones a las que es recomendable investigar su procedencia.

fuentes de combustión para identificar caminos de distribución. Deben además tomarse muestras de aire exterior suficientes veces y en distintos puntos para tener un valor de concentración lo más real posible.

La interpretación de los resultados consiste normalmente en comparar las concentraciones en las áreas con problemas con las de los puntos de control y la exterior. Excepto en aquellos puntos en los que esté permitido fumar no debe haber diferencia significativa entre los niveles en el aire exterior y en las zonas ocupadas. Si la concentración de productos de combustión específicos en el interior supera significativamente el valor exterior, es conveniente revi-

sar cuidadosamente el edificio para localizar las fuentes, independientemente de su relación con los síntomas manifestados.

Otros gases inorgánicos

No es frecuente su estudio en ambientes interiores, a no ser que se identifiquen posibles fuentes. Sería el caso, por ejemplo, del ozono, mercurio o amoníaco, cuya presencia se asociaría a fuentes de radiación ultravioleta que originaran su formación en el caso del ozono, a vertidos (incluso muy antiguos) en el caso del mercurio y a su uso directo en operaciones de limpieza o su generación en digestiones anaerobias en el caso del amoníaco.

Compuestos orgánicos volátiles

La utilidad de los datos obtenidos en la determinación de estos compuestos (COV) en ambientes interiores es, a menudo, muy limitada debido a que, por su elevado número y las bajas concentraciones en que se hallan presentes, no existe información disponible sobre sus efectos. Sin embargo, hay circunstancias en que es ventajoso efectuar este análisis, principalmente para identificar y caracterizar fuentes contaminantes. Por ejemplo: una presencia elevada de hidrocarburos alifáticos ligeros puede ser atribuible al tráfico de vehículos; de hidrocarburos alifáticos de cadena larga y de aromáticos, a combustibles de calefacción; de terpenos, a productos de limpieza, etc. También puede ser de interés su determinación cuando en el edificio se utilice algún producto que contenga compuestos específicos que puedan pasar al aire como sería el caso de disolventes, pinturas, pegamentos, desinfectantes o pesticidas. Además, el nivel de concentración de COVT (COV totales) en distintos puntos de un edificio también puede utilizarse como indicador de la contaminación existente en el mismo si proceden de la misma fuente contaminante.

El muestreo de COV debe realizarse en las áreas con problemas, en zonas de control, similares a aquellas en que se manifiestan los problemas pero sin quejas, y siempre en el exterior para, a partir de diferencias cualitativas y cuantitativas en su composición, comprobar los productos que proceden del interior del edificio diferenciando los procedentes del exterior.

Formaldehído

Debe recordarse que el origen de la presencia de este compuesto en un ambiente interior es la descomposición o curado defectuoso de las resinas empleadas para el apelmazamiento del polvo de madera, siendo un componente básico de los tableros y de otros productos utilizados para la fabricación de muebles y de paneles para la decoración de paredes y para la separación de espacios. Es conveniente su determinación cuando haya habido cambios en la

decoración o el mobiliario y hayan aparecido síntomas de irritación de mucosas que lo justifiquen y se hayan potenciado los problemas de olor. Deben tomarse muestras en zonas de control y en las zonas donde se manifiesten las quejas para poder relacionar la concentración y el nivel de malestar manifestado. También se manifiesta su presencia después de ciertas operaciones de restauración y barnizado de madera, especialmente de tableros empleados como suelos (parqués).

Partículas

El muestreo de partículas en aire debe realizarse cuando en la investigación inicial exista evidencia visual de un exceso de polvo, o cuando las quejas consistan en irritación o reacciones alérgicas. El muestreo ha de permitir comprobar las vías de propagación del polvo procedente de las fuentes específicas, tales como equipos mecánicos o actividades de construcción.

Amianto y otras fibras

Deben efectuarse mediciones cuando se haya detectado su presencia y se considere posible su liberación.

Bioaerosoles

La determinación de bioaerosoles debe realizarse cuando exista evidencia de que hay una enfermedad inducida por microorganismos, por ejemplo: la enfermedad del legionario, la hipersensibilidad neumonítica o el asma alérgica. El muestreo debe permitir establecer los caminos de distribución de los microorganismos específicos desde los reservorios o amplificadores detectados con anterioridad. Aunque los hongos (mohos y levaduras) y las bacterias son los que se muestrean con más frecuencia, en algunos casos se requiere muestrear endotoxinas, micotoxinas, enzimas y también protozoos.

Cuando el muestreo sea necesario, las muestras deben recogerse en los potenciales amplificadores y reservorios de los microorganismos, cerca de los ocupantes afectados y en el aire exterior. Si es posible, las muestras deben recogerse varias veces al día a lo largo de un periodo de varios días.

La interpretación de los resultados debe hacerse con sumo cuidado. El procedimiento más extendido para interpretar estos datos consiste en ordenar los organismos identificados en cada punto de muestreo en orden decreciente de concentración. Una comparación entre las distintas zonas debiera delatar la situación de los reservorios o amplificadores. Los resultados obtenidos deben correlacionarse con la evidencia médica disponible sobre infecciones y alergias antes de establecer relaciones causa-efecto. Una explicación detallada de los procedimientos existentes se ha expuesto en el capítulo 7.

COMENTARIO FINAL

Normalmente, completado el estudio sobre CAI y planteadas y realizadas modificaciones para la solución de los problemas detectados, deben haber desaparecido la mayoría de las quejas iniciales. Sin embargo, en muchos casos es conveniente esperar un tiempo prudencial tras la implantación de medidas correctoras, especialmente si ha habido algún tipo de impregnación, para realizar nuevas medidas y comprobaciones para asegurarse de su efectividad.

En otros casos, puede ocurrir que, solucionado aparentemente el origen de una mala calidad de aire interior, los ocupantes continúen manifestando quejas. Entonces es conveniente reiniciar el estudio del problema desde un punto de vista más global, aprovechando, sin embargo, toda la labor realizada y buscando asesoramiento de expertos en distintos campos. Uno de los objetivos de este nuevo estudio del problema debe ser también descartar que su origen no haya sido específicamente una mala calidad de aire interior y que, en consecuencia, aunque se haya mejorado ésta, las quejas persistan por tener otro origen.

GLOSARIO

ABSORBENTE: Material que atrae sustancias líquidas o gaseosas que penetran en su estructura interna experimentando cambios químicos y/o físicos.

ÁCARO: Arácnido microscópico común en el polvo doméstico, que puede parasitar el hombre y los animales. En calidad de aire interior los ácaros tienen importancia por ser responsables (ellos mismos o sus excretas) de reacciones alérgicas. Los principales implicados parecen ser los ácaros del polvo casero (*Dermatophagoides pteronyssinus* o *D. farinae*) que se encuentran en el polvo de colchones, alfombras, moquetas y cortinas.

ACONDICIONADOR DE AIRE: Equipo que trata el aire para alcanzar unos requerimientos ambientales de un espacio mediante el control de su temperatura, humedad, limpieza y distribución.

ADSORBENTE: Material que atrae en su superficie moléculas de un líquido o gas condensándolas o reteniéndolas sin experimentar ninguna alteración.

AEROSOL: Suspensión en un medio gaseoso de partículas sólidas o líquidas de dimensión comprendida entre 0,1 y 50 µm.

AGENTE BIOLÓGICO: El Real Decreto 664/1997 incluye dentro de la definición de agente biológico a los microorganismos, con inclusión de los genéticamente modificados, los cultivos celulares y los endoparásitos humanos, susceptibles de originar cualquier tipo de infección, alergia o toxicidad. Se consideran también incluidos los agentes no convencionales asociados con las encefalopatías espongiformes transmisibles (priones).

AGENTE INFECCIOSO: Agente biológico capaz de implantar y de desarrollar seres vivientes patógenos en el organismo produciendo una acción morbosa y una reacción orgánica consecutiva.

AIRE: Mezcla de gases, constituida aproximadamente por el 79% de N_2 y el 21% de O_2 en volumen. Una definición estándar del mismo se halla en la norma UNE-EN 132:1990

AIRE AMBIENTE: Aire del espacio interior de un edificio.

AIRE DE EXPULSIÓN: Aire extraído de un local y expulsado al exterior.

AIRE EXTERIOR: Aire de la atmósfera exterior de un edificio.

AIRE DE IMPULSIÓN: Aire impulsado en los locales y usado para ventilación, calentamiento, refrigeración, humectación y deshumectación.

AIRE DE RECIRCULACIÓN: Aire extraído de un local que vuelve al sistema de tratamiento de aire.

AIRE DE RETORNO: Aire extraído de un local y retornado al mismo previo tratamiento.

AIRE DE VENTILACIÓN: Aire que es parte del aire de impulsión y que está constituido por aire exterior y aire de retorno filtrado, para mantener en el ambiente interior una calidad aceptable de aire.

AIRE NORMALIZADO: Aire a 20°C y 101,325 kPa.

AIRE TRATADO/AIRE ACONDICIONADO: Aire que ha sido sometido a uno o más tratamientos de filtración, térmicos o higrométricos.

ALCANOS: Grupo de hidrocarburos saturados alifáticos presentes en muchas ceras, pulimentos y lubricantes.

ALDEHÍDOS: Grupo de compuestos orgánicos muy reactivos que contienen el grupo CHO (por ejemplo: formaldehído, acroleína, glutaraldehído).

ALÉRGENO: Sustancia que puede provocar una reacción alérgica; también se conoce como antígeno. Los alérgenos incluyen agentes vivos como bacterias, hongos, amebas y algas, y productos biológicos no vivos como polvo doméstico, exfoliaciones de la piel y pelos de animales, esporas y excrementos de insectos.

ALERGIA: Conjunto de fenómenos de carácter respiratorio, nervioso o eruptivo producidos por la absorción de ciertas sustancias que dan al organismo una sensibilidad especial ante una nueva acción de tales sustancias, aun en cantidades mínimas.

ALERGIA POLÍNICA: Alergia producida por inhalación de los granos de polen presentes en el aire, en especial durante la primavera.

ALGAS: Plantas talofitas de estructura sencilla provistas de clorofila y acuáticas la mayoría.

ALTERNARIA: Especies de hongos comunes que en aire interior se asocian con neumonitis por hipersensibilidad y reacciones alérgicas.

AMIANTO: Grupo de minerales metamórficos fibrosos constituidos por silicatos de composición y estructura variada. La exposición al mismo provoca enfermedades respiratorias y neoplásicas. Su uso en la UE está prohibido a partir del año 2005.

AMEBA: Organismo animal protozoario unicelular del género *Amoeba* u otros; es una simple masa protoplasmática nucleada, que varía constantemente su forma por la aparición en la periferia de prolongaciones protoplasmáticas denominadas seudópodos, por medio de los cuales se mueve y engloba alimentos.

AMPLIFICACIÓN: Un incremento en el número o en la concentración presente en un lugar de un microorganismo.

ANTICUERPO: Sustancia que se produce en el organismo y que se opone a la acción de elementos patógenos. También se define como substancia específica de los animales inmunes, producida como reacción a la presencia de un antígeno y que ejerce una acción antagónica específica sobre la sustancia por cuya influencia se ha formado. Es el agente de la inmunidad.

ANTÍGENO: Sustancia que, introducida en el organismo, estimula la formación de anticuerpos.

ÁNTRAX: Enfermedad infecciosa del ganado transmisible al hombre, producida por el *Bacillus anthracis*, caracterizada por la formación de un edema duro y úlceras en el punto de inoculación y por fenómenos generales y de colapso.

ASMA: Enfermedad caracterizada por ataques de disnea respiratoria de duración variable, con tos, sibilancias y sensación de constricción debida al espasmo de los bronquios. Su origen es diverso, aunque en muchos casos se trata de una manifestación alérgica.

ASMA ALÉRGICA: Asma bronquial de causa alérgica o anafiláctica.

ASPERGILLUS: Género de hongos ascomicetos que se desarrollan sobre materias orgánicas en descomposición. Son comunes en aire interior y exterior, siendo algunos de ellos potencialmente patógenos para el hombre; *Aspergillus fumigatus* y *A. niger* pueden ocasionar reacciones alérgicas como asma, también pueden ocasionar infecciones oportunistas en individuos sometidos a terapia antibacteriana o antifúngica.

ASPERGILOSIS: Estado patológico provocado por la presencia de aspergilos en el organismo.

BACILO: Es una forma de bacteria alargada o en bastoncillo y de diámetro inferior a 1 µm. No se ha de confundir con el término *Bacillus* que designa un género de bacilo.

BACILLUS ANTHRACIS: Bacilo que produce el ántrax.

BACTERIAS: Organismos procariotas (células con núcleo organizado) que pueden ser simples o multicelulares, con diferentes formas como: esferas (cocos), bastoncitos (bacilos), en espiral (espirilos) o largos filamentos (actinomicetes). Si bien algunas bacterias son patógenos obligados (requieren un huésped vivo para reproducirse) muchas son saprofíticas (no requieren un huésped vivo, sobreviviendo en materia orgánica).

BANDEJA DE DRENAJE: Bandeja metálica situada debajo del serpentín de refrigeración de la unidad de tratamiento del aire, para la recogida del agua condensada. Estos elementos están frecuentemente implicados en los edificios con problemas; debido a la acumulación de agua y polvo constituyen un foco potencial de contaminación microbiológica.

BATERÍAS DE INTERCAMBIO DE CALOR: Elementos de calefacción o refrigeración en los que se produce el intercambio térmico con el aire que las rodea.

BENCENO: Hidrocarburo aromático de fórmula C_6H_6 clasificado como cancerígeno de primera categoría. La principal fuente interior es el humo de tabaco; otras fuentes son los productos derivados del petróleo tales como combustibles y disolventes.

BIOAEROSOL: Son partículas transportadas por el aire, constituidas por seres vivos (bacterias, hongos, protozoos, virus, etc.) o moléculas grandes (micotoxinas, granos de polen etc.) que han sido liberadas por un ser vivo

BIOEFLUENTE: Compuestos orgánicos emitidos por el ser humano, generalmente por transpiración o exhalación y que son los principales responsables del olor corporal.

CALIDAD DE AIRE INTERIOR (CAI): Características del clima interior de un edificio, incluyendo la composición gaseosa, la temperatura, la humedad relativa y los niveles de contaminantes en aire.

CALIDAD ACEPTABLE DE AIRE: Aire que no contiene sustancias contaminantes en cantidades tales que resulten nocivas para la salud y cuya calidad sea juzgada satisfactoria por al menos el 80% de las personas expuestas a sus efectos.

CÁNCER: Proliferación anárquica de células anormales, de manera difusa o bajo la forma de un tumor, destruyendo la estructura tisular.

CANCERÍGENO: Ver carcinogénico.

CARCINOGÉNICO: Agente del que se sospecha o se sabe que puede provocar un cáncer.

CARCINOGENICIDAD: Riesgo relativo o potencial de que un compuesto cause cáncer en humanos. Los criterios para la clasificación de sustancias carcinogénicas están basados, principalmente, en pruebas obtenidas a partir de estudios epidemiológicos en humanos y animales de experimentación. La Unión Europea diferencia las siguientes categorías:

Primera categoría. Sustancias que, se sabe, son carcinogénicas para el hombre. Se dispone de elementos suficientes para establecer la existencia de una relación causa/efecto entre la exposición del hombre a tales sustancias y la aparición del cáncer.

Segunda categoría. Sustancias que pueden considerarse como carcinogénicas para el hombre. Se dispone de suficientes elementos para suponer que la exposición del hombre a tales sustancias puede producir cáncer.

Tercera categoría. Sustancias cuyos posibles efectos carcinogénicos en el hombre son preocupantes, pero de las que no se dispone de información suficiente para realizar una evaluación satisfactoria. Hay algunas pruebas procedentes de análisis con animales, pero que resultan insuficientes para incluirlas en la segunda categoría.

Formalmente reciben la clasificación como carcinogénicas las sustancias de primera y segunda categoría.

CITOTOXINA: Sustancia tóxica para las células.

CLADOSPORIUM: Es uno de los géneros que forma parte de las especies de hongos que se encuentran comúnmente en el aire interior y exterior y presenta pocos problemas excepto

cuando se encuentra en concentraciones muy altas.

COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES (COV): Clase de compuestos químicos que contiene uno o más átomos de carbono y tienden a evaporar a temperatura ambiente a presión atmosférica normal. En el aire interior los COV proceden del humo de tabaco, de materiales de construcción, mobiliario, productos de limpieza, disolventes y productos de consumo general. En cantidad suficiente los COV pueden causar irritación de ojos, nariz y garganta, mareos y dolor de cabeza. Algunos COV son sospechosos cancerígenos. Existen pocos datos sobre los efectos para la salud por exposición a mezclas complejas de bajos niveles de COV en aire interior.

CONTAMINANTES: Componentes del aire que reducen su grado de aceptabilidad y que pueden provocar incomodidad, molestias y efectos adversos en las personas que entran en contacto con ellos.

CRYPTOCOCCUS: Hongo infeccioso que, como el *Histoplasma*, está asociado con las deposiciones de los pájaros. Este hongo es un problema potencial para el aire interior cuando los pájaros anidan en las tomas de aire de ventilación.

DEPRESURIZACIÓN ACTIVA DEL SUELO: Técnica para el control de radón que previene su entrada en el edificio reduciendo la presión del aire en contacto con el suelo debajo de los cimientos.

DERMATITIS: Inflamación de la piel producida por una gran variedad de sustancias.

DERMATITIS ALÉRGICA: Dermatitis de origen alérgico.

DESINFECTANTE: Un agente antimicrobiano que destruye o inactiva de forma irreversible los microorganismos patógenos, pero no necesariamente sus esporas, en todos los ambientes, materias o partes en que pueden ser nocivos, utilizando para ello distintos medios mecánicos, físicos o químicos contrarios a su vida o desarrollo.

DIFUSOR: Elemento de distribución del aire en un local. Consiste normalmente en rejillas, generalmente compuestas por una serie de aletas que dirigen y mezclan el flujo del aire en un local.

DIÓXIDO DE CARBONO (CO_2): Gas incoloro e inodoro que a elevados niveles (por encima del 1,5% o 15.000 ppm) puede tener efectos fisiológicos. Generado normalmente en procesos de combustión, la principal fuente en aire interior es la respiración humana. Su medida se utiliza como indicador de la eficacia de la ventilación.

DIÓXIDO DE AZUFRE (SO_2): Contaminante asociado a la combustión de materiales conteniendo azufre. Es un irritante pulmonar.

DIÓXIDO DE NITRÓGENO (NO_2): Contaminante asociado a combustiones. Es un irritante pulmonar.

DISEMINACIÓN: Dispersión en el aire interior de los edificios de microbios o de sus productos desde los reservorios ambientales.

DISNEA: Respiración dificultosa.

EDIFICIO ENFERMO: Edificio en el cual la calidad del aire interior se considera inaceptable para una proporción importante de ocupantes.

EFECTO CHIMENEA: Situación resultante de la elevación del aire caliente creando una presión positiva en la parte alta de un edificio y negativa en las plantas inferiores. El efecto chimenea puede distorsionar el funcionamiento de un sistema de ventilación mecánico alterando la adecuada circulación del aire y facilitando la infiltración y el estancamiento de contaminantes.

EMISIÓN: Liberación de contaminantes al aire a partir de una fuente.

ENDOTOXINA: Contaminante biológico que forma parte de la membrana externa de las bacterias Gram-negativas.

ENFERMEDAD DEL LEGIONARIO: Grave enfermedad multisistémica causada por la bacteria *Legionella pneumophila* que puede afectar no sólo los pulmones sino también el tracto gastrointestinal, el sistema nervioso central y los riñones. Tiene un largo período de incubación (4-10 días) y, aunque solo el 2%-3% de los infectados con la bacteria contrae la enfermedad, ésta puede ser fatal.

ENFERMEDAD RELACIONADA CON EL EDIFICIO (ERE): Enfermedad con síntomas identificables que se puede diagnosticar y que puede atribuirse directamente a la presencia de contaminantes específicos en el edificio (por ejemplo, Legionelosis, neumonitis por hipersensibilidad).

EQUIPO PURIFICADOR DE AIRE: Dispositivo utilizado para eliminar del aire impurezas como gases, humos, microorganismos, partículas y vapores.

ERITEMA: Enrojecimiento anormal de la piel debido a una congestión capilar.

ESPORA: Elemento reproductor de las criptógamas y de los bacilos. También corpúsculo que se produce en una bacteria cuando las condiciones del medio se han hecho desfavorables para ella.

ESTÁNDAR DE CALIDAD DE AIRE: Concentración máxima de un contaminante en aire adoptada por una autoridad competente.

ESTÁNDAR DE EMISIÓN: Regulación o guía que especifica la tasa máxima a la que un contaminante puede ser liberado por una fuente.

ESTÁNDAR DE VENTILACIÓN: Una especificación, legal o técnica, de la tasa mínima de entrada de aire exterior a los espacios interiores.

EXFILTRACIÓN: Migración de aire desde un espacio hasta su entorno a través de aperturas en los elementos de cerramiento por efecto de una diferencia de presión.

FANCOIL: Unidad compacta para la calefacción y la refrigeración del aire de una zona.

FIBRAS MINERALES: Productos aislantes fibrosos que incluyen lana de vidrio, fibra de vidrio, lana de roca, lana de escoria y también fibra cerámica refractaria.

FIBRAS SINTÉTICAS: Productos aislantes fibrosos que incluyen las fibras de aramida, las fibras de carbono y fibras a base de poliolefinas.

FICHAS DE DATOS DE SEGURIDAD (FDS): Documentación suministrada por los proveedores de productos químicos peligrosos, que contiene información sobre posibles contaminantes en aire, precauciones de utilización, efectos sobre la salud, olor, descripción, volatilidad, reactividad, contaminantes generados por combustión y procedimientos de eliminación. Las FDS no siempre son útiles en el contexto de la evaluación de un aire interior ya que algunos componentes y subproductos formados en las emisiones pueden no estar citados y además los controles recomendados no ser aplicables a las condiciones y bajas concentraciones encontradas en un interior.

FIEBRE DEL HUMIDIFICADOR: Una forma de neumonitis atribuida a las reacciones alérgicas de las paredes alveolares de los pulmones a las amebas, bacterias u hongos encontrados en reservorios del humidificador, así como en los equipos de aire acondicionado.

FIEBRE DE PONTIAC: Una forma de legionelosis mucho más suave que la enfermedad del Legionario. Tiene una incubación corta (2-3 días) y ataca al 90% de los infectados. Son raros los informes sobre la fiebre Pontiac, posiblemente por ser similares los síntomas (fiebre, escalofríos, dolor de cabeza y muscular) a los de la gripe.

FILTRACIÓN: Método de purificación del aire consistente en la eliminación de partículas en suspensión por interceptación, restricción, difusión o efecto electrostático.

FILTROS HEPA (*High Efficiency Particulate Air*): Filtro capaz de retener el 99,97% de partículas de 0,3 µm de diámetro comprobados mediante el test D.O.P. (dioctil ftalato) según normas MIL-F51068C y BS 3928.

FORMALDEHÍDO (HCHO): Compuesto orgánico volátil frecuente en ambientes interiores. A niveles superiores a 0,1 $\mu g/m^3$ es irritante para membranas mucosas. Está clasificado como cancerígeno de categoría 3. De amplio uso industrial y sanitario, se halla presente en muchas resinas y adhesivos. Su disolución (37%) en agua conteniendo un 15% de metanol se denomina formol o formalina y tiene un uso extensísimo en el ámbito sanitario. Se encuentra también en el humo de tabaco.

GAS TRAZADOR: Compuesto inerte que no se encuentra habitualmente en el aire interior, por ejemplo el hexafluoruro de azufre

(SF_6), que se libera en el edificio y se controla cualitativa y/o cuantitativamente para caracterizar el flujo de aire determinando los caminos de distribución, las infiltraciones y la eficiencia de la ventilación.

GASES: Sustancias en forma de moléculas no agregadas, que satisfacen, dentro de ciertos límites de precisión, las leyes de los gases perfectos.

GRAM-NEGATIVO: Un tipo de bacterias que no se colorean cuando se efectúa la tinción de Gram. Las bacterias Gram-negativas están asociadas con las endotoxinas e incluyen un número significativo de géneros, entre ellos, *Legionella, Pseudomonas* y *Flavobacterium*. Otra característica de estas bacterias es que son difíciles de captar y cultivar.

HERPES: Afección inflamatoria de la piel, causada por una familia de virus y caracterizada por la aparición de pequeñas vesículas transparentes reunidas en grupos rodeados de una areola roja.

HIDROCARBUROS ALIFÁTICOS: Clase de compuestos orgánicos formados por carbono e hidrógeno de cadenas lineales. Sus fuentes incluyen productos del petróleo tales como gasolina, disolventes y adhesivos.

HIDROCARBUROS AROMÁTICOS: Clase de compuestos orgánicos formados por carbono e hidrógeno conteniendo un anillo bencénico (por ejemplo, benceno, tolueno, xilenos, etilbenceno y estireno). Sus fuentes incluyen, pinturas, adhesivos y disolventes.

HISTOPLASMOSIS: Enfermedad crónica pulmonar que puede desarrollarse cuando los individuos están expuestos a las esporas asexuales del hongo *Histoplasma capsulatum* muy común en los excrementos de pájaros y murciélagos. Este hongo puede convertirse en un problema en aire interior cuando los pájaros anidan en las tomas de aire de los sistemas de ventilación.

HONGOS: Organismos eucariotas multicelulares o unicelulares que comprende un gran grupo de microflora que incluye mohos, mildius, levaduras, setas, royas y tizón. Los hongos son heterótrofos, es decir, requieren fuentes de alimentación externas, así como una fuente de nitrógeno diferente del nitrógeno atmosférico. Muchos hongos producen esporas, que se esparcen a través del aire. La mayoría son saprófitos, aunque algunos pueden parasitar las células vivas y causar enfermedades infecciosas. Sus efectos molestos o adversos sobre la salud están también asociados a respuestas alérgicas al material antigénico, a los efectos tóxicos de las micotoxinas y a la generación de compuestos orgánicos volátiles.

HUMOS: Partículas sólidas en suspensión de tamaño usualmente inferior a 1μm, formadas por condensación, sublimación, destilación, calcificación y reacciones químicas, principalmente la combustión.

HUMIDIFICADOR: Equipo que añade humedad al aire mediante el rociado de agua o vapor.

INFECCIÓN: Penetración en el organismo de agentes patógenos responsables de enfermedades infecciosas. Es el conjunto de manifestaciones de estas enfermedades.

INMUNIDAD: Conjunto de manifestaciones que un organismo vivo es capaz de desarrollar en su esfuerzo para adquirir un estado refractario frente a las infecciones. La inmunidad es el resultado de numerosos tipos de células inmunitarias cooperando entre ellas.

INFILTRACIÓN: Migración de aire desde el exterior hacia un espacio a través de aperturas en los elementos de cerramiento por efecto de una diferencia de presión.

IONIZADOR: Elemento de purificación del aire que utiliza cargas estáticas para eliminar partículas del aire interior. Estas partículas una vez cargadas son atraídas y retenidas por las superficies.

LEGIONELLA: Género de bacterias totalmente común asociado con la enfermedad del Legionario y la fiebre de Pontiac.

LEGIONELOSIS: Enfermedades causadas por la bacteria *Legionella*; básicamente son dos: la enfermedad del Legionario y la fiebre de Pontiac.

MANTENIMIENTO PREVENTIVO: Programa de mantenimiento del edificio implementado para reducir la posibilidad de problemas de CAI, basado generalmente en una periódica inspección, limpieza, ajuste, cali-

bración y sustitución de elementos del sistema de ventilación/climatización del edificio, además de prácticas generales de reducción de emisión de contaminantes potenciales.

MATERIAL CAPTADOR: Material que tiene la propiedad de adsorber un producto o un contaminante químico con la posibilidad de una posterior reemisión.

MICOTOXINA: Producto metabólico generado por ciertos hongos cuya función aparente es interferir el crecimiento competitivo de especies fúngicas en un substrato; incluye a la vez sustancias útiles como la penicilina, y sustancias perjudiciales, como las aflatoxinas.

MICROORGANISMOS: Organismos microscópicos, como bacterias, hongos, protozoos.

MONÓXIDO DE CARBONO (CO): Gas incoloro e inodoro formado por combustión incompleta de compuestos orgánicos. Es un asfixiante químico; interfiere en el transporte por la sangre del oxígeno a los tejidos. La exposición a CO puede afectar el pulmón, el corazón y el sistema nervioso y puede causar la muerte. A concentraciones más bajas produce dolor de cabeza y mareos. Las fuentes incluyen equipos de cocinas y de calefacción, humo de tabaco, emisiones procedentes de garajes y de zonas de carga y descarga de camiones.

NEUMONITIS POR HIPERSENSIBILIDAD: Enfermedad grave poco común con síntomas parecidos a los de la gripe. La exposición continuada al agente causal puede provocar un daño progresivo en los pulmones. Fuentes de HP incluyen partículas viables y no viables de bacterias, hongos y protozoos.

NIEBLA: Suspensión de partículas líquidas en aire.

OLOR: Calidad de gases, vapores o partículas percibida por el órgano olfativo.

OZONIZADOR: Equipo purificador del aire que produce ozono el cual elimina olores al reaccionar con los compuestos orgánicos volátiles para formar productos supuestamente no peligrosos, actuando también como desinfectante. La utilización de estos equipos para tratar directamente el aire ambiente interior está sujeta a controversia ya que se requieren concentraciones de ozono superiores a los valores límite recomendados, especialmente bajos.

OZONO (O_3): Forma trivalente del oxígeno altamente reactiva. La exposición a O_3 puede provocar irritación de membranas mucosas y daño pulmonar. La principal fuente de O_3 es la niebla fotoquímica en el aire exterior, aunque algunas fuentes luminosas intensas pueden emitir cantidades apreciables.

PARTÍCULAS: Agregados moleculares en forma sólida o líquida en suspensión en el aire, de tamaño, usualmente, entre 0,001 y 100 µm.

PATÓGENO: Que produce una enfermedad.

PENICILLIUM: Genero de hongos que se han asociado con la neumonitis por hipersensibilidad en individuos susceptibles y que puede encontrarse en aire interior, materiales de instalación y materiales de aislamiento húmedos.

PLAGUICIDA: Producto químico usado para matar o controlar organismos vivos. El término plaguicida incluye insecticidas, herbicidas, fungicidas, rodenticidas, agentes antimicrobianos y reguladores del crecimiento de plantas.

PLENO: Partes del sistema de distribución de aire que utilizan la estructura del edificio y conductos de chapa metálica para conectar a la unidad de tratamiento de aire. Muchos edificios utilizan el espacio del falso techo como pleno. Este espacio, generalmente, también contiene sistemas eléctricos, instalaciones y líneas de comunicación.

POLEN: Polvillo fecundante constituido por microsporas, de los estambres de las flores.

POLVO: Partículas sólidas en suspensión en el aire, en tamaños usualmente inferiores a 100 µm. En general se consideran como sedimentables las de tamaño superior a 5 µm.

PRECIPITADOR ELECTROSTÁTICO: Equipo que usa cargas eléctricas para atraer partículas contenidas en el flujo del aire.

PROTOZOO: Organismos eucariotas unicelulares, como las amebas de vida libre. Son raros los casos de enfermedades relaciona-

das con los edificios provocadas por las amebas de vida libre. En particular, dos géneros, *Naegleria* y *Acanthamoeba*, se han asociado con infección. Además existen señales de la existencia de enfermedades por hipersensibilidad producidas por *Naegleria*. Los protozoos pueden ingerir las bacterias Gram-negativas como *Legionella* sin perjudicarlas, protegiéndolas así de la acción de los biocidas.

RADÓN: Gas procedente de la desintegración del radio, y anteriormente del uranio, que es la causa principal de la radiación natural. Al tratarse de un gas, una vez formado pasa fácilmente al ambiente interior de un edificio a través del suelo. Emite partículas α al transformarse a su vez en Polonio-218.

RETORNO: Rejilla de extracción del aire en un local. Aire que puede ser recirculado o expulsado al exterior.

RESERVORIO: Substrato medioambiental o fuente de un organismo en particular. Los reservorios para biocontaminantes de aire interior incluyen agua estancada, superficies húmedas y polvo.

RINITIS: Inflamación de la membrana mucosa de la nariz causada por una infección o exposición a un alérgeno.

RICKETTSIA: Grupo de microorganismos bacteriformes endoparásitos de artrópodos, piojos especialmente, algunos de ellos patógenos, que se cultivan con dificultad en medios artificiales. Pueden causar enfermedades como la fiebre tífica y la fiebre maculosa de las Montañas Rocosas.

SIDA: Síndrome de inmunodeficiencia adquirida causada por el virus de inmunodeficiencia humana VIH.

SÍNDROME DEL EDIFICIO ENFERMO (SEE): Fenómeno según el cual los ocupantes de un edificio experimentan una variedad de efectos de salud y/o confort inequívocamente relacionados con el tiempo que pasan en un edificio en particular, pero que no permiten identificarlos con ninguna enfermedad específica o relacionarlos con ningún agente causal. Los síntomas incluyen, a menudo, dolor de cabeza, irritación de ojos e irritación del tracto respiratorio.

SÍNDROME DE SENSIBILIDAD QUÍMICA MÚLTIPLE: Alteración de la salud caracterizada por la manifestación de una serie de síntomas recurrentes, referibles a múltiples órganos y sistemas, como consecuencia de una exposición a gran variedad de productos químicos a dosis muy inferiores a las que está establecido que en la población general puedan manifestarse efectos nocivos.

TASA DE EMISIÓN: Medida de la cantidad de contaminante liberada desde la superficie de una fuente por unidad de tiempo, expresada en unidades tales como $\mu g/m^2/hr$; o la concentración de un contaminante procedente de una fuente que está presente en el aire próximo a la misma, expresado en partes por millón o en $\mu g/m^3$.

TASA DE VENTILACIÓN: La tasa de entrada de aire exterior a los espacios interiores.

TOMA DE AIRE EXTERIOR: Una abertura en el edificio que es el punto de entrada del aire exterior.

TORRE DE REFRIGERACIÓN: Elemento donde enfría, con aire exterior, el agua o líquido refrigerante caliente de las baterías de intercambio de calor usado para la refrigeración del aire de ventilación.

TOXINA: Sustancia tóxica de origen biológico, bacteriano particularmente.

TUBERCULOSIS: Enfermedad infecciosa, contagiosa e inoculable, causada por el bacilo de Koch *Mycobacterium tuberculosis*.

VAPORES: Sustancias en forma de gases que se encuentran cerca del equilibrio con su fase líquida, por debajo de su temperatura crítica; no siguen las leyes de los gases perfectos, aunque su comportamiento es parecido.

VENTILACIÓN: Proceso de alimentación y extracción del aire de un local, por medios naturales o mecánicos, para controlar la calidad desde el punto de vista de sus constituyentes. Este aire puede ser o no ser tratado desde el punto de vista térmico o higrométrico.

VENTILACIÓN NATURAL: Suministro pasivo de aire exterior a través de ventanas, chimeneas, puertas y otras rutas de infiltración.

VIRUS: Es la forma de vida más pequeña y sencilla en su composición que se conoce. Es

un parásito intracelular obligatorio. Consta de un único tipo de ácido nucleico, DNA (ácido desoxirribonucleico) o ARN (ácido ribonucleico), y una cubierta proteica o cápsida que rodea este ácido nucleico; también puede poseer además una membrana lipídica que envuelve esta cápsida.

ZONA OCUPADA: A efectos de definir en ventilación la zona ocupada por personas, se define como el volumen de aire confinado por planos verticales y horizontales. Los planos verticales son normalmente paralelos a las paredes del recinto y generalmente también hay un límite situado en la altura de la zona ocupada. Así, la zona ocupada en un recinto es el espacio en el que los ocupantes normalmente residen y donde deben satisfacerse los requisitos del ambiente interior. (UNE-EN 13779).

BIBLIOGRAFÍA

LEGISLACIÓN (publicada hasta el 1 de septiembre de 2007)

España

REAL DECRETO 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo (BOE de 23.4.97). Ver la GUÍA TÉCNICA para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a la utilización de los lugares de trabajo. INSHT, Madrid (sin fecha).

REAL DECRETO 664/1997, de 12 de mayo, sobre protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos durante el trabajo (BOE de 24 de mayo). Añadido y modificado por Orden de 25.3.98. (BOE 30. 3 y rect. 15.4.98). Ver la GUÍA TÉCNICA para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos. INSHT, Madrid (sin fecha).

REAL DECRETO 374/2001, de 6 de abril, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos en el trabajo (BOE de 1.5.2001). Ver la GUÍA TÉCNICA para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con los agentes químicos presentes en los lugares de trabajo. INSHT, Madrid (en prensa).

REAL DECRETO 865/2003, de 4 de julio, por el que se establecen los criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control de la legionelosis (BOE de 18.7.2003).

LEY 28/2005, de 26 de diciembre, sobre medidas sanitarias frente al tabaquismo y reguladora de la venta, el suministro, el consumo y la publicidad (BOE de 27.12.2005)

REAL DECRETO 665/1997, de 12 de mayo, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos durante el trabajo (BOE de 24.5.97). Modificado por RD 1124/2000 (BOE de 17.6.2000) y RD 349/ 2003 (BOE de 5.4.2003).

REAL DECRETO 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los edificios (RITE) (BOE de 29.8.2007).

Comunidad Europea

COMISIÓN DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS. Recomendación de la Comisión de 21-2-1990 relativa a la protección de la población contra los peligros de una exposición a radón en el interior de edificios (90/143/Euratom). DOCE L80, 26-28.

European Prestandard (borrador) prENV 1752. Ventilation for Buildings: Design Criteria for the Indoor Environment (June 1996, CENT/TC 156/WG 6).

Directiva 2000/54/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 18 de septiembre de 2000 sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos durante el trabajo. Diario Oficial de las Comunidades Europeas de 17.10.2000, L262/21-45.

NORMAS UNE

UNE-EN 1379. Ventilación de edificios no industriales. Requisitos de prestaciones de los sistemas de ventilación y acondicionamiento de recintos.

UNE 100030. Guía para la prevención y control de la proliferación y diseminación de legionela en instalaciones.

UNE-EN ISO 7730-1996. Ambientes térmicos moderados. Determinación de los índices PMV y PPD y especificaciones de las condiciones para el bienestar térmico.

UNE-EN ISO 7730-1996. Ambientes térmicos moderados. Determinación de los índices PMV y PPD y especificaciones de las condiciones para el bienestar térmico.

UNE-EN 13098: 2001, Atmósferas en el lugar de trabajo. Directrices para la medición de microorganismos y endotoxinas en el aire.

UNE-EN 100012: 2005, Higienización de sistemas de climatización.

UNE-EN 14583: 2005, Atmósferas en el lugar de trabajo. Equipos para la toma de muestra volumétrica de bioaerosoles. Requisitos y métodos de ensayo.

BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

Bioaerosols: Assessment and Control. JM Macher, Ed; HM Ammann, HA Burge, DK Milton, and PR Morey, Asst. Eds. ACGIH®,OH (1999).

AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

2008 TLVs and BEIs. Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices. ACGIH, Cincinnati, 2008.

AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

Ventilación Industrial. Manual de recomendaciones prácticas para la prevención de riesgos profesionales. Edición en español. Generalitat Valenciana. Valencia, 1992.

AMERICAN INDUSTRIAL HYGIENE ASSOCIATION (AIHA)

Odor Thresholds for Chemicals with Established Occupational Health Standards. AIHA, Akron., 1989.

AWBI, H., B.

Ventilation of buildings. Chapman & Hall. London, 1991.

BARDANA, E. J. AND MONTANARO, A. ED.

Indoor Air Pollution and Health. Marcel Dekker, Inc. New York, 1997.

BURTON, D. J.

IAQ and HVAC Workbook. IVE, Inc., Utah, 1999.

DAGMAR SCHMIDT, E.

Biocontaminants in Indoor Environments. Cutter Information Corp., Arlington, 1994

DAGMAR SCHMIDT, E.

Indoor Air Quality Primer. Cutter Information Corp., Arlington, 1995.

DAGMAR SCHMIDT, E.

Particulates in Indoor Environments: Characterization and Health Effects. Cutter Information Corp., Arlington, 1994.

DAGMAR SCHMIDT, E.

Particulates in Indoor Environments: Detection and Control. Cutter Information Corp., Arlington, 1995.

DAGMAR SCHMIDT, E.

Volatil Organic Compounds in Indoor Environments. Cutter Information Corp., Arlington, 1996.

FANGER, P. O.

Introduction of the olf and decipol unit to quantify air pollution perceived by humans indoors and outdoors. Energy and Buildings, 12, 1-6, 1988.

HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE

Methods for the Determination of Hazardous Substances. HSE, Pub. Stanley Precint, Bootle, 1981.

INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO

Colección de_Notas Técnicas de Prevención. CNCT, Barcelona, 1989-2008.

INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO

Límites de exposición profesional para Agentes Químicos en España 2008 INSHT, Madrid, 2008.

INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO

Colección de Métodos de Toma de Muestras y Análisis. INSHT, Madrid, 1987-1999 (46 métodos).

KEITH, L.H. Ed.

Compilation of EPA's Sampling and Analysis Methods. Lewis Publishers, CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida, 1996.

KNÖPPEL, H AND WOLKOFF, P. Ed.

Chemical, Microbiological, Health and Comfort Aspects of Indoor Air Quality-State of the art in SBS. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1992.

LENNETTE, BALOWS, HAUSLER, SHADOMY

Manual de Microbiología Clínica. Editorial Médica Panamericana, Buenos Aires, 1987.

NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH

Manual of Analytical Methods. NIOSH, Cincinnati, 4 th Edition, Vol. 1-4, 1994.

PUMAROLA, A., et al

Microbiología y Parasitología Médica. Salvat Editores, S.A., Barcelona, 1999.

OFICINA INTERNACIONAL DEL TRABAJO

Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo. Vol. 2. Capítulos 44 y 45. OIT, Madrid, 1998.

OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION

Inorganic and Organic Methods. OSHA, Analytical Laboratory, Salt Lake City. 2nd Edition, Part I, Vol. 1-4 (1990-93), Part II, Vol 1-2, (1991).

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD

Guidelines for Air Quality. WHO, Geneva, 2000 y 2005. www.who.int

RAFFERTY, PJ. Ed.

The industrial hygienist's guide to indoor air quality investigations. American Industrial Hygiene Association. Fairfax, 1993.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA) AND NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH (NIOSH)

Building air quality. A Guide for Building Owners and Facility Managers. EPA/400/1-91/033, DHHS (NIOSH) Pub. Nº 91-144. Washington, 1991.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA) AND NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH (NIOSH)

Building air quality. Action Plan. EPA Pub. Nº 402-K-98-001, DHHS (NIOSH) Pub. Nº 98-123. Washington, 1998.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY

Compendium of Methods for the determination of Toxic Organic Compounds in Ambient Air. Research Triangle Park, North Carolina, 1984.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY.

Compilation of EPA's. Sampling and Analysis Methods. Keith, L. H. Ed. Lewis Pub. Boca Raton, 1996.

WADDEN, R. A.Y SCHEFF, P. A.

Indoor air Pollution. Characterization, Prediction, and Control. John Wiley & Sons. New York, 1983.

YOCOM, J. E., McCARTHY, S. M.

Measuring Indoor Air Quality. A Practical Guide. John Wiley & Sons, Inc. Chichester, 1991.

Páginas Web

Colección Notas Técnicas de Prevención en formato electrónico (NTP-e). (http://www.mtas.es/insht/ntp/index.htm).

Air Quality Guidelines (http://www.euro who.int/air/activities/20050222_2).

ENCICLOPEDIA OIT (http://www.mtas.es/insht/EncOIT/Index.htm).

ET090
9 788474 257526

MINISTERIO
DE TRABAJO
E INMIGRACIÓN

INSTITUTO NACIONAL
DE SEGURIDAD E HIGIENE
EN EL TRABAJO