

INVASSAT

Institut Valencià de
Seguretat i Salut en el Treball

Calidad de aire interior. Detección y evaluación. Medidas preventivas

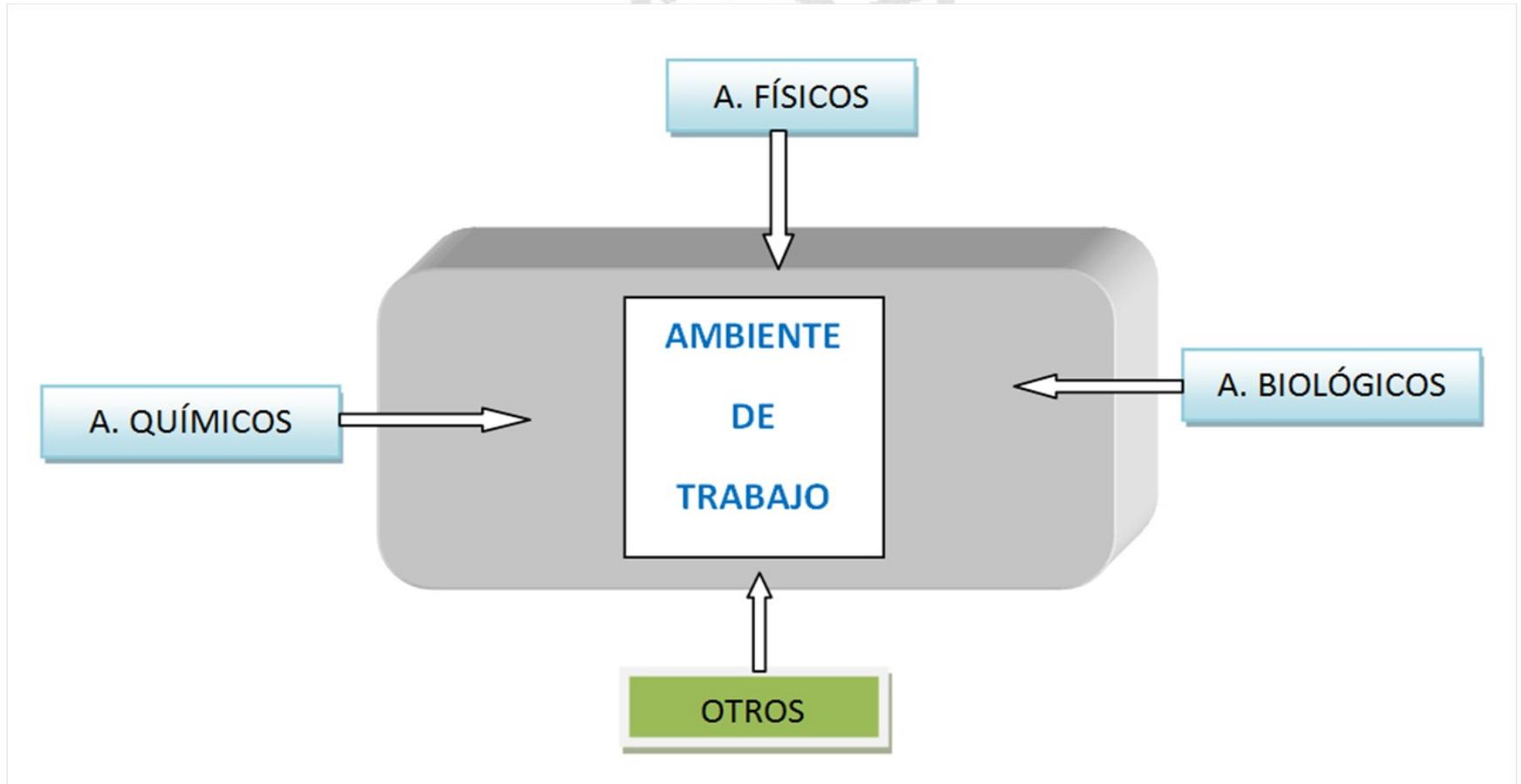
Burjassot, a 11 de abril de 2013
Centro Territorial de Valencia del INVASSAT

M^a José Zafra Barranco
Técnico de análisis instrumental



GENERALITAT VALENCIANA
CONSELLERIA D'ECONOMIA, INDÚSTRIA, TURISME I OCUPACIÓ

Calidad del aire interior



- El término “aire interior”, es el aire que se respira en un espacio limitado, referido a ambientes interiores no industriales, edificios de oficinas, edificios públicos y residencias particulares.
- Cuando los ocupantes manifiestan tener problemas atribuidos a una “mala calidad de aire interior” pueden referirse tanto a problemas de salud como simplemente de bienestar.
- 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 (O₃, CO, HCHO, etc.) y los aerosoles respirables (polvo, fibras, humos y nieblas),
 - origen biológico, como bioaerosoles (microorganismos y subproductos).

- Cada vez más 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.
- En los últimos años ha cobrado especial relevancia al asociarse al término “síndrome del edificio enfermo” que comprende un amplio rango de síntomas o enfermedades que las personas que trabajan o habitan en dicho edificio atribuyen al edificio en sí.
- Como muestra de la creciente preocupación acerca de los efectos que sobre la salud tiene estos factores, los organismos internacionales como la Organización Mundial de la Salud, la Comisión Europea, y los nacionales, tienen ya legislación, informes y estudios relacionados con la contaminación del aire exterior, y en algunos casos incluyen también apartados específicos y menciones al aire interior a falta de un mayor desarrollo legislativo específico de la materia.



ELEMENTOS
QUIMICOS Y BIOLOGICOS

AGENTES QUIMICOS

En forma de moléculas individuales: **GASES** o **VAPORES**

En forma de agregados moleculares: **AEROSOLES** (sólido o líquido)

AGENTES BIOLOGICOS

Parásitos obligados: **BACTERIAS, VIRUS Y HONGOS**

Parásitos oportunistas: **BACTERIAS, VIRUS Y PROTOZOOS**

ELEMENTOS
QUIMICOS Y BIOLOGICOS

AGENTES QUIMICOS

En forma de moléculas individuales: **GASES** o **VAPORES**

En forma de agregados moleculares: **AEROSOLES** (sólido o líquido)

AGENTES BIOLOGICOS

Parásitos obligados: **BACTERIAS, VIRUS Y HONGOS**

Parásitos oportunistas: **BACTERIAS, VIRUS Y PROTOZOOS**

ESTUDIO DESDE TRES FRENTES

- ✓ FACTORES MEDIBLES DEL AMBIENTE
- ✓ EFECTOS FISIOLÓGICOS
- ✓ COMO SIENTE EL TRABAJADOR DICHO AMBIENTE

Clasificación de contaminantes del aire interior

Inorgánicos	CO, CO ₂ , N _x O _y , O ₃ , SO _x , partículas, fibras minerales
Orgánicos	Compuestos orgánicos volátiles (COV)
Contaminantes de origen biológico	Virus, hongos, bacterias, ácaros, pelo y caspa de mascotas
Mezclas	Humo ambiental (tabaco?), plaguicidas, ambientadores, desinfectantes y otros productos de uso doméstico
Alergénicos	Hongos, mohos, ácaros del polvo, caspa y pelo de mascotas, cucarachas, plantas

- La higiene industrial es una actividad de referencia permanente en la gestión de de la calidad de aire interior.
 - Requiriendo unos ajustes basados en en tiempos de exposición, discontinuidad de la misma y características de la población afectada.
- Se puede definir como la pureza del aire que se respira y la presencia de compuestos químicos y/o agentes biológicos susceptibles de provocar **enfermedades** o **disconfort**.



- Se define el aire de calidad **aceptable** como el aire que no contiene sustancias contaminantes en cantidades tales que resulten nocivas para la salud y cuya calidad sea ajustada como satisfactoria por al menos el 80% de las personas expuestas a sus efectos
- Una teórica buena calidad del aire se basaría, en la presencia en el mismo de los componentes necesarios en la proporción adecuada.

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

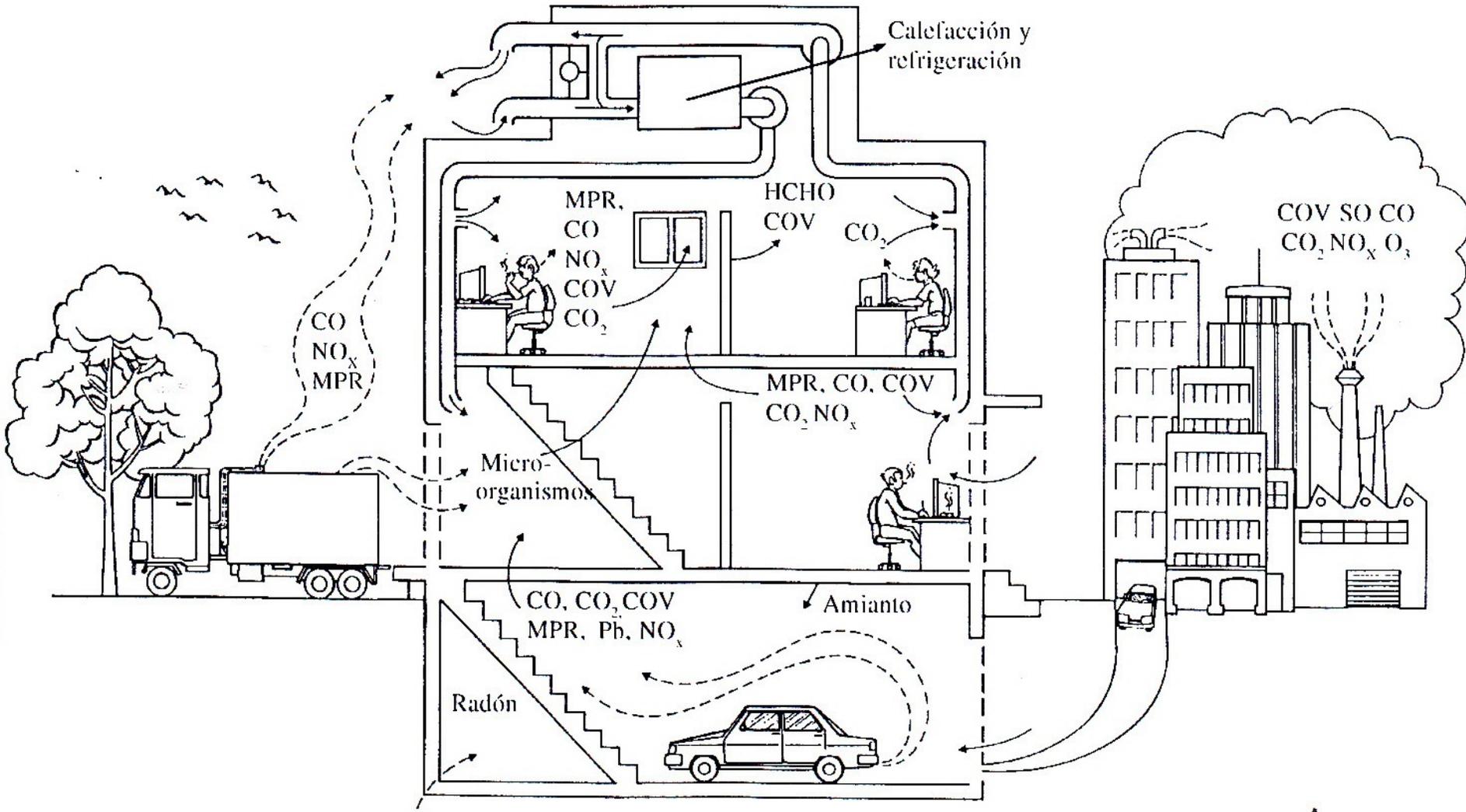
- Existen estándares que se refieren a la calidad del aire exterior y tienen como finalidad la protección de la población en general frente a los efectos adversos sobre la salud o molestias resultantes de la exposición a contaminantes ambientales que pueden estar presentes en forma habitual en el aire exterior:
 - Como son los propuestos por la **EPA**, que a menudo, son tomados como referencia para definir la calidad del aire que puede utilizarse para la ventilación de un edificio.
 - otra serie de estándares son los valores límites ambientales adoptados como límites de exposición profesional (**LEP**) por el **INSHT**, son los criterios técnicos de los TLV de la ACGIH de Estados Unidos y otros valores límite establecido en diferentes países.
 - Por su parte la **OMS** establece valores de referencia para la calidad del aire para diversos contaminantes, incluyendo los “clásicos” en aire (óxidos de carbono, nitrógeno y azufre, O₃ y Pb), una serie de compuestos no carcinógenos y un grupo de compuestos carcinógenos. Valores útiles como guía general para una aceptable calidad 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.

- “Conjunto de síntomas que afectan a un determinado porcentaje (más del 20%) de los ocupantes de un edificio y para los cuales no se puede identificar la causa”.
- Los síntomas característicos :
 - parecen estar relacionados con la irritación de las mucosas (ojos, nariz o garganta) o
 - con efectos neurotóxicos (dolor de cabeza, letargo, dificultades en la concentración, etc) y
 - desaparecen al dejar el edificio.
- Estos edificios son eficientes en **la conservación de energía** , son de nuevo diseño y construcción o recientemente decorados o re modelados, y los ocupantes no pueden controlar la temperatura, humedad o iluminación del puesto de trabajo.



- Ventilación inadecuada por falta de mantenimiento.
- Mala distribución e insuficiencia de entrada de aire fresco (50-52 %).
- Contaminación generada en el interior, de los equipos de oficina, productos de limpieza (17- 19%)
- Contaminación proveniente de exterior por localización inadecuada de entradas y salidas de aire (11%).
- Contaminación microbiológica proveniente de agua encharcada en los conductos de sistema de ventilación, humidificadores y torres de refrigeración (5%).
- Compuestos orgánicos y formaldehido provenientes de materiales de construcción y decoración (3-4%).

Aire interior/exterior



CO = monóxido de carbono; **CO₂** = dióxido de carbono; **HCHO** = formaldehído; **NO_x** = óxidos de nitrógeno; **Pb** = plomo;
MPR = materia particulada respirable; **COV** = compuestos orgánicos volátiles

- La contaminación interior puede tener diferentes **orígenes**:
 - Los ocupantes a través de la respiración, la emisión de bioefluentes y utilización de productos de consumo.
 - Los materiales inadecuados o con defectos técnicos empleados en la construcción.
 - Las actividades desarrolladas, que implican la utilización de equipos y productos habituales para el mantenimiento del edificio.
 - Gases de combustión.
- Respecto a la contaminación biológica, el origen más frecuente son los propios ocupantes del edificio, presencia de agua estancada, materiales húmedos y, junto con el deficiente mantenimiento del sistema de ventilación, los humidificadores y torres de refrigeración.
- La contaminación procedente del exterior, relacionado con el entorno y con la actividad humana.

Algunos contaminantes que pueden generarse en el propio ambiente interior

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

- Respecto a las fuentes debido a la actividad humana, por procesos de combustión los principales contaminantes emitidos son:
 - Óxidos de carbono, nitrógeno y azufre.
 - Partículas y compuestos orgánicos volátiles (COV), incluidos HC alifáticos, aromáticos y policíclicos.
- La combustión interna en vehículos es la principal fuente de CO e hidrocarburos y es importante en cuanto a óxidos de nitrógeno.
- La combustión de fuentes estacionarias es la principal fuente de óxidos de azufre.
- Los procesos industriales y las fuentes de combustión estacionarias generan más de la mitad de las partículas emitidas al aire por la actividad humana y los primeros pueden ser fuente de COV.

Contaminantes que pueden encontrarse en un ambiente interior precedentes del exterior

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

Legislación

INVASSAT

Institut Valencià de
Seguretat i Salut en el Treball



- Hasta la fecha no hay legislación específica sobre Calidad del aire interior aunque sí se empieza a trabajar en el tema, *empezando a considerarse la calidad del aire interior en ambientes laborales no industriales, como factor determinante de la salud.*
- Son de destacar las iniciativas europeas Index y SCHER que trabajan específicamente sobre el aire interior no industrial y no laboral.
- Sí hay una importante base normativa dirigida a los ambientes laborales, que podría tomarse de referencia a la hora de establecer valores límites de exposición, emisión, ambientales, establecer tasas de renovación, etc.
- Es importante tener en cuenta que los valores guía que da la legislación laboral no son de aplicación directa a los ambientes interiores, los valores laborales necesitan un factor de conversión para su aplicación.
- Además de estas normas, de obligado cumplimiento en ambientes laborales, existen Notas Técnicas de Prevención, del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, que no son vinculantes sino una guía para la aplicación y cumplimiento de la normativa.

- Real Decreto 1027/2007 de 20 de Julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE).
- Real Decreto 1054/2002 de 11 de octubre, por el que se regula el proceso de evaluación para el registro, autorización y comercialización de biocidas.
- Real Decreto 865/2003, de 4 de julio, por el que se establecen los criterios higiénicosanitarios para la prevención y control de la legionelosis.
- Real Decreto 1406/1989, de 10 de noviembre por el que se imponen limitaciones a la comercialización y al uso de ciertas sustancias y preparados peligrosos.
- Real Decreto 396/2006, de 31 de marzo, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud aplicables a los trabajos con riesgo de exposición al amianto.
- LEY 42/2010, de 30 de diciembre, de medidas sanitarias frente al tabaquismo y reguladora de la venta, el suministro, el consumo y la publicidad de los productos del tabaco.

- Las notas técnicas están redactadas no sólo para servir de guía para el cumplimiento de la legislación laboral sino como recomendaciones que se pueden aplicar en ambientes no laborales.
- NTP 243: Ambientes cerrados: calidad del aire.
- NTP 289: Síndrome del edificio enfermo: factores de riesgo.
- **NTP 290: El síndrome del edificio enfermo: cuestionario para su detección.**
- NTP 315: Calidad del aire: gases presentes a bajas concentraciones en ambientes cerrados.
- NTP 343: Nuevos criterios para futuros estándares de ventilación de interiores.
- NTP 358: Olores: un factor de calidad y confort en ambientes interiores.
- **NTP 380: El síndrome del edificio enfermo: cuestionario simplificado.**
- **NTP 431: Caracterización de la calidad del aire en ambientes interiores.**

- NTP 466: Calidad del aire: determinación ambiental de formaldehído y medición de su contenido en tableros.
- NTP 521: Calidad de aire interior: emisiones de materiales utilizados en la construcción, decoración y mantenimiento de edificios.
- NTP 549: El dióxido de carbono en la evaluación de la calidad del aire interior.
- **NTP 607: Guías de calidad de aire interior: contaminantes químicos.**
- Según el INSHT, las guías deberían ser aplicables a cualquier ambiente interior no ocupacional y servir de ayuda al desarrollo de regulaciones y estándares para los edificios, incluidos escuelas hospitales y servicios en general.

- **UNE 171330: Parte 1: Diagnóstico de calidad ambiental interior** Recoge la metodología para llevar a cabo el diagnóstico de la calidad ambiental interior. Cada una de las fases del proceso de diagnóstico se encuentra desarrollada en el texto, junto a subprocesos e instalaciones que se pueden encontrar. Julio 2008.
- **UNE 10030IN: Guía para la prevención y control de la proliferación y diseminación de legionela en instalaciones** Se adapta a la legislación vigente sobre Legionella. Real Decreto 865/2003.
- **UNE 100012: Higienización de sistemas de climatización** Vincula la higiene del sistema de climatización a la calidad del aire interior y establece valores microbiológicos y de contenido en partículas. Define una serie de Límites de Aceptabilidad en referencia a las instalaciones de aire acondicionado y del aire que manipulan.
- **UNE 100713: Instalaciones de acondicionamiento de aire en hospitales** Establece las características que debe tener una instalación de acondicionamiento en hospitales, distinguiendo las necesidades de ventilación en las diferentes zonas (quirófanos, consultas, etc.), tomas de aire exterior, filtros, etc.

- **Benceno**
 - No se puede recomendar ningún nivel de exposición seguro.
- **Monóxido de carbono**
 - Nivel guía 15 minutos: 100 mg/m³
 - Nivel guía 1 hora: 35 mg/m³
 - Nivel guía 8 horas: 10 mg/m³
 - Nivel guía 24 horas: 7 mg/m³
- **Formaldehido**
 - Nivel guía: 0.1 mg/m³ (concentración media 30 minutos)
- **Naftaleno**
 - Nivel guía: 0.01 mg/m³ (concentración media anual)
- **Dióxido de nitrógeno**
 - Nivel guía: 200 µg/m³ (media 1 hora)
 - Nivel guía: 40 µg/ m³ (media anual)

- **Hidrocarburos aromáticos policíclicos**
 - No puede determinarse ningún nivel umbral ya que todas las exposiciones en el interior se consideran relevantes para la salud.
- **Radón**
 - No puede determinarse ningún nivel umbral ya que todas las exposiciones en el interior se consideran relevantes para la salud.
- **Tricloroetileno**
 - No puede determinarse ningún nivel umbral ya que todas las exposiciones en el interior se consideran relevantes para la salud.
- **Tetracloroetileno**
 - Nivel guía: 0.25 mg/m³ (media anual)

Factores que se incluyen en la guía de calidad de aire interior de la OMS

Grupo A. Contaminantes	Grupo B. Agentes biológicos	Grupo C. combustiones interiores
Formaldehido	Humedad y hongos	Ventilación de estufas
Benceno	Ventilación natural	Chimeneas
Naftaleno	Ventilación mecánica/forzada	Campanas
Dióxido de nitrógeno	Alergénos :	Tipo de combustible:
Monóxido de carbono	- de ácaros	- sólido
Radón	- de mascotas	- sólido procesado
Partículas		- líquido
Compuestos halogenados		- gas
HC aromáticos policíclicos		- electricidad

Valores guía según la OMS basados en efectos conocidos para la salud

Compuesto	Efecto sobre la salud	Valor guía (µg/m ³)	Tiempo de exposición
SO ₂	Cambios en la función pulmonar en asmáticos Aumento de los síntomas respiratorios en individuos sensibles	500	10 min.
		125	24 horas
		50	1 año
NO ₂	Ligeros cambios de la función pulmonar en asmáticos	200 (0,1 ppm)	1 hora
		40 (0,02 ppm)	1 año
CO	Nivel crítico de Carboxihemoglobina <2,5%	100000 (90 ppm)	15 min.
		60000 (50 ppm)	30 min.
		30000 (25 ppm)	1 hora
		10000 (10 ppm)	8 horas
O ₃	Respuestas de la función respiratoria	120	8 horas

Las concentraciones aconsejadas en ambientes cerrados por la OSHA. NTP 243 del INSHT.

Contaminante	Concentración
Formaldehído	0.1 ppm
Compuestos orgánicos volátiles:	30 - 50 mg/ m3
Tolueno	20 ppm
Cloruro de metileno	50 ppm
Benceno	1 ppm
Acetona	75 ppm
Estireno	5 ppm
Asbestos	0.02 fibras/cm3
Amoniaco	3.5 mg/m3
Humo de tabaco	0.1 - 0.15 mg/ m3
Tetracloruro de carbono (productos de limpieza)	1 ppm

Efectos fisiológicos

INVASSAT

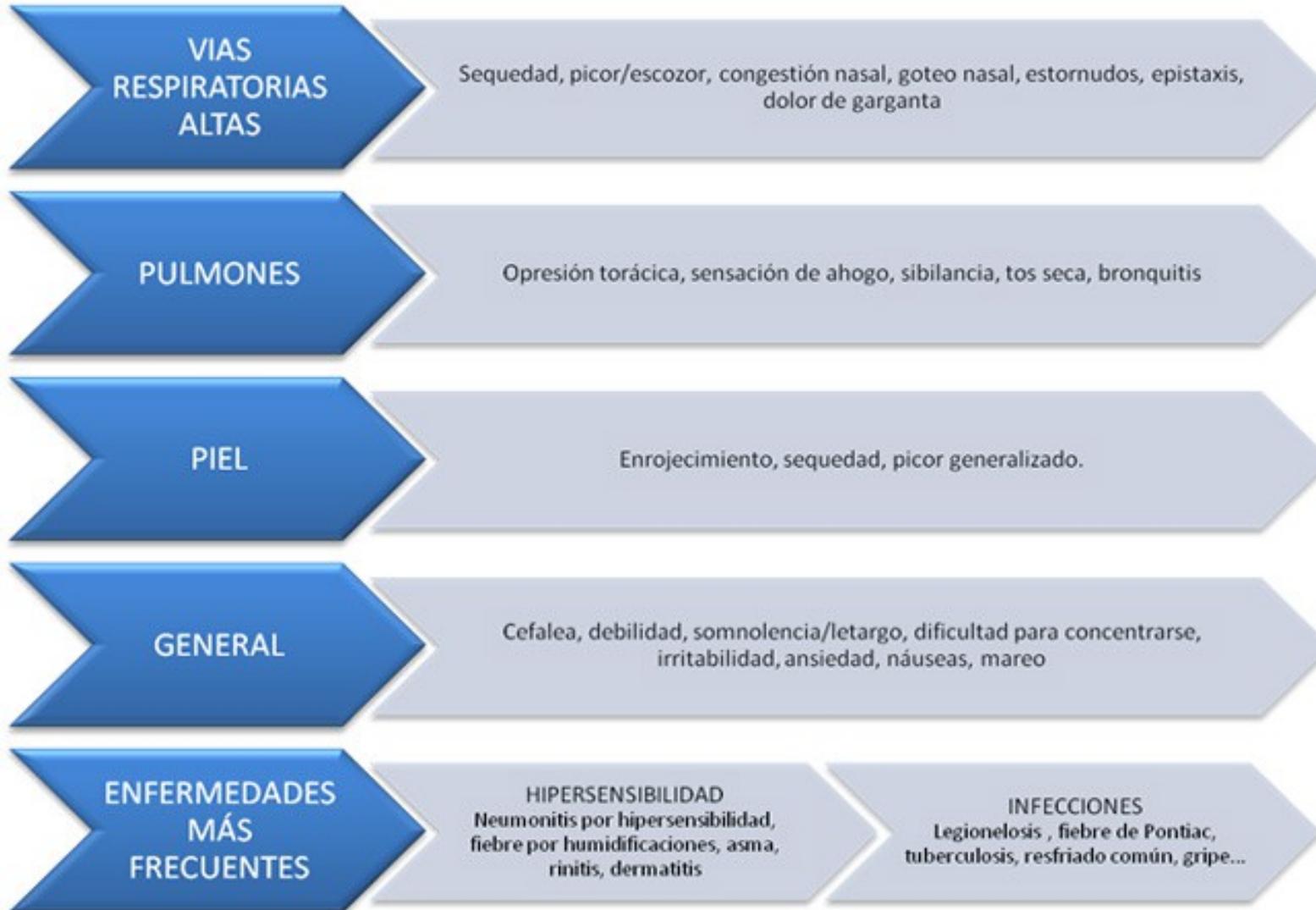
Institut Valencià de
Seguretat i Salut en el Treball



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

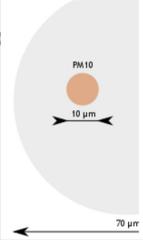
- Los efectos **agudos** van desde:
 - efectos leves en el tracto respiratorio alto, como la congestión nasal, estornudos, enfermedades respiratorias agudas, dificultades para respirar, y
 - otros efectos como la conjuntivitis hasta efectos sistémicos como dolor de cabeza, dificultad para concentrarse, etc.
- Con respecto a los efectos **crónicos** adversos, se conocen desde:
 - enfermedades respiratorias crónicas, broncoconstricción, bronquiolitis, diagnóstico de asma, reducción de la capacidad pulmonar, hipersensibilidad bronquial, dolor muscular, asfixia,
 - dilatación del corazón, disfunción endotelial, convulsiones, secreciones del oído medio, ataques cardíacos, coma,
 - enfermedades reproductivas, alteraciones endocrinas, ataques cardíacos, coma,
 - desarrollo de varios tipos de tumores, benignos y malignos, entre otras enfermedades hasta incluso la muerte.

Efectos sobre la salud



Contaminantes del aire interior según estudios toxicológicos actuales / potenciales efectos sobre la salud

Principales contaminantes del interior, valores guía, mecanismos involucrados y potenciales consecuencias sobre la salud

Contaminante (media ponderada en el tiempo/tiempo)	Mecanismo	Efectos potenciales sobre la salud
Dióxido de azufre (365 µg/m ³ por 24 h)	<ul style="list-style-type: none"> Hipersensibilidad bronquial después de exposición aguda, relacionada con partículas 	<ul style="list-style-type: none"> Exacerbación de asma EPOC Enfermedades cardíacas
PM10 (150 µg/m ³ por 24 h) 	<ul style="list-style-type: none"> Inflamación, irritación e hipersensibilidad de las vías aéreas Disminución de la limpieza mucociliar Disminución de la respuesta de macrófagos Disminución de la inmunidad bronquial Disfunción autónoma Actividad procoagulante Estrés oxidativo 	
Ozono (235 µg/m ³ /h)	<ul style="list-style-type: none"> Inflamación de vías altas y bajas 	<ul style="list-style-type: none"> Deterioro de la función pulmonar Exacerbación del asma
Dióxido de nitrógeno (200 µg/m ³ por 8 h)	<ul style="list-style-type: none"> Hipersensibilidad bronquial después de exposición aguda 	<ul style="list-style-type: none"> Exacerbación del asma Interacción con infecciones respiratorias Disminución de la función pulmonar en niños
Monóxido de carbono (10 mg/m ³ por 8 h)	<ul style="list-style-type: none"> Unión con hemoglobina para producir carboxihemoglobina con incremento de hipoxia tisular 	
Formaldehído (0.1 µg/m ³ por 30 min)	<ul style="list-style-type: none"> Irritación de vías altas y bajas Susceptibilidad a infecciones virales y bacterianas 	<ul style="list-style-type: none"> Mortalidad perinatal Incremento de susceptibilidad a infecciones

Factores medibles del ambiente



- Un problema de calidad de aire en un edificio, **es urgente** cuando, el problema ya afecta a sus ocupantes que presentan enfermedades demostrables, con un elevado absentismo y una baja productividad. Pero también puede hallarse a un nivel de quejas o estar aún en un estadio potencial, que puede evitarse el problema aplicando un programa preventivo.
- Para una adecuada prevención, evaluación y control de los problemas de CAI, 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;
 - La documentación de un edificio disponible y la opinión de los 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 las buenas prácticas, guías y estándares;
 - La propuesta de soluciones para la eliminación y control de las fuentes; y
 - la formación e información del personal afectado respecto a las medidas tomadas.

Nivel I: Su objetivo es detectar las situaciones de riesgo mediante una identificación rápida y sencilla cuya finalidad es detectar las situaciones de riesgos ergonómicos existente.

Será de aplicación la NTP 380: El síndrome del edificio enfermo: cuestionario simplificado.

Nivel II: Pretende una evaluación del riesgo a partir de métodos de evaluación específicos que se salen del ámbito de aplicación del Nivel I.

Será de aplicación la NTP 290: El síndrome del edificio enfermo: cuestionario para su detección.

Nivel III: Pretende una evaluación cuantitativa del riesgo en situaciones complejas que no pueden ser abordadas con la suficiente precisión con los métodos de evaluación propuestos en el Nivel I y II.

Será de aplicación la NTP 380: Caracterización de la calidad del aire en ambientes interiores.

- Muchos de los problemas asociados a la CAI son multifactoriales y, por ello, la selección del procedimiento operativo depende básicamente del tipo de edificio.
- Toda investigación debe iniciarse siempre con una primera fase: **inspección inicial** del edificio y de las instalaciones del sistema de ventilación, calefacción y aire acondicionado
- Segunda fase: **evaluación inicial** de la CAI. Si con las medidas aplicadas no se solucionan los problemas, o es preciso confirmar una hipótesis compleja o bien se desea profundizar en la investigación.
- Tercera fase: **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, convendrá confirmar alguna hipótesis realizando el análisis de compuestos específicos.

Determinación y valoración de los contaminantes químicos

- 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.

- 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.

- 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?.

- 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.

Métodos para la determinación de contaminantes de aire interior

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 Borboteador Filtro Combinaciones		CG (DCE-FL 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.

Contadores manuales de partículas en aire



Detectores de gases portátiles

INVASSAT

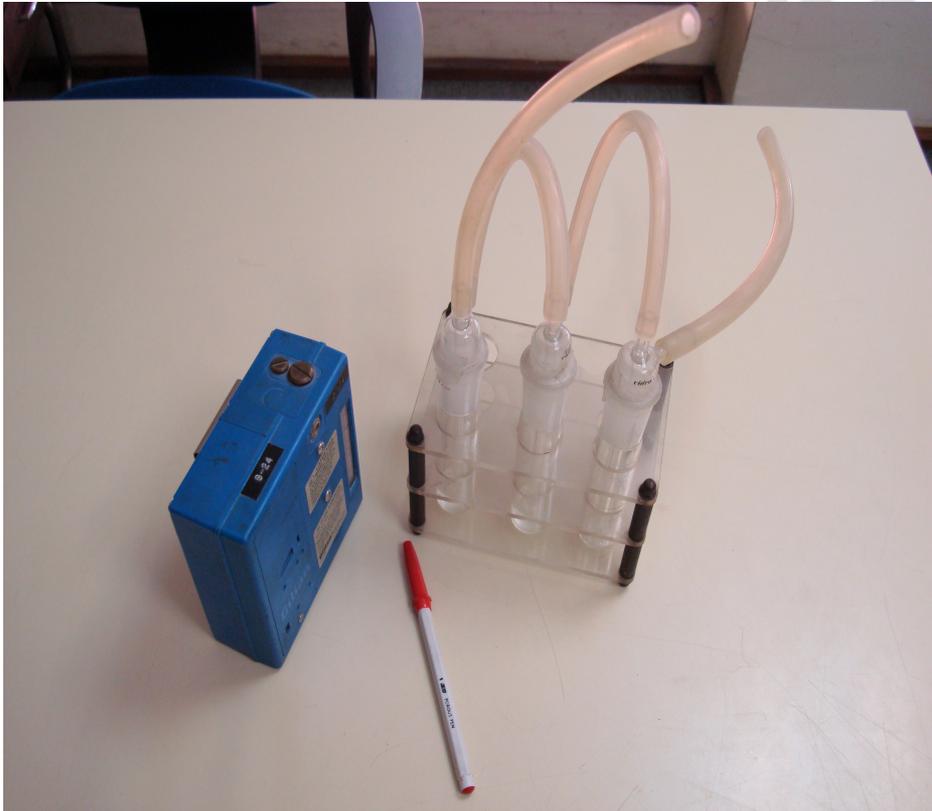
Institut Valencià de
Seguretat i Salut en el Treball



Muestreadores pasivos



Muestreadores activos



Toma muestras/análisis

GONTAMINANTE	CAPTACIÓN (TIEMPO, VOLUMEN DE MUESTREO)	PROCEDIMIENTO ANALÍTICO	MARGEN DE TRABAJO mg/m ³	SENSIBILIDAD mg/m ³
COLORO	Borboteador (30 min, 20 l)	UV-VIS	0,2 -3	0,1
DIÓXIDO DE AZUFRE	Borboteador (60 min, 60 l)	UV-VIS	0,25-2	0,075
DIÓXIDO DE CARBONO	Bolsa (-)	CG	900-27000	<90
DIÓXIDO DE NITRÓGENO	Borboteador (10 min, 5l)	UV-VIS	0,07-10	0,07
FORMALDEHÍDO	Borboteador (30 min, 30l)	UV-VIS	0,1-2	0,015
METILMERCAPTANO	Borboteador (50 min, 50l)	UV-VIS	0,02-200	0,02
MONÓXIDO DE CARBONO	Bolsa (-)	CG	0,06-1100	0,06
OZONO	Borboteador (30 min, 30 l)	UV-VIS	0,04-0,4	0,01
RADÓN	-	-	-	-
SULFURO DE HIDRÓGENO	Filtro impregnado (30 min, 5 l)	Polarografía	0,2- 11	0,1

- Con los sistemas activos los contaminantes pueden captarse haciendo pasar el aire a través de un soporte, en el que se atrapa el contaminante.
- El caudal y el volumen de aire muestreado se especifican en los métodos de referencia o deben determinarse por ensayo previos.
- No hay que olvidar que la eficacia de captación aumenta al disminuir el caudal del aire que pasa por el soporte.
- 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, CO₂, H₂S, O₂) y resulta útil como una medida de exploración cuando se desconoce el tipo de contaminante en el aire.
- Los sistemas pasivos captan los contaminantes por difusión sobre un soporte de retención.

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	Espectroscopía 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 Borboteador 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.

- 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 cantidad mínima requerida , es la que determina la sensibilidad requerida por el método analítico utilizado.
- 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.

Métodos utilizados en el análisis

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

- 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 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.

Límites de detección de algunos gases mediante monitores aplicables a CAI

Contaminante	Medidor 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
Formaldehido	-	5 ppb (1 semana)
* monitores pasivos (tiempo de exposición)		

Valores guía según la OMS basados en efectos conocidos para la salud

Compuesto	Efecto sobre la salud	Valor guía (µg/m ³)	Tiempo de exposición
SO ₂	Cambios en la función pulmonar en asmáticos Aumento de los síntomas respiratorios en individuos sensibles	500	10 min.
		125	24 horas
		50	1 año
NO ₂	Ligeros cambios de la función pulmonar en asmáticos	200 (0,1 ppm)	1 hora
		40 (0,02 ppm)	1 año
CO	Nivel crítico de Carboxihemoglobina <2,5%	100000 (90 ppm)	15 min.
		60000 (50 ppm)	30 min.
		30000 (25 ppm)	1 hora
		10000 (10 ppm)	8 horas
O ₃	Respuestas de la función respiratoria	120	8 horas

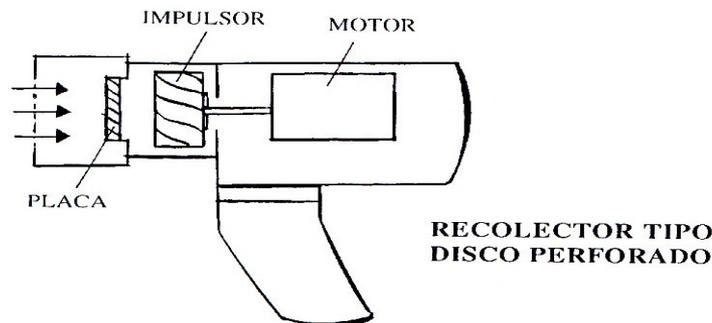
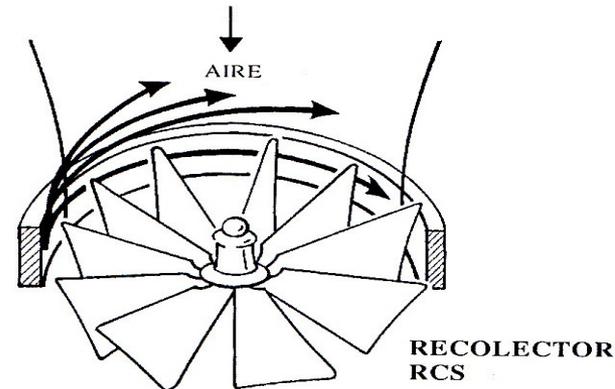
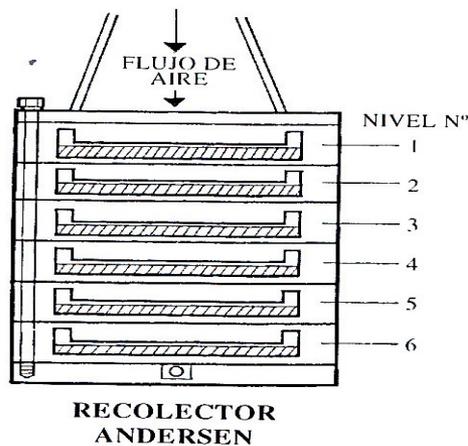
Métodos de evaluación de la calidad microbiológica del aire interior

- 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 al 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.

- 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/m³).
- 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 m³: ufc/m³. 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 (impinger)
- Una alternativa al muestreo a través de filtro es el muestreo a través de un medio acuoso (impinger). 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/m³.
- 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 cualitativo, 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/m³ de aire.



- 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.

- Según la comisión para los Bioaerosoles de la American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), hoy por hoy no es posible establecer un valor límite de exposición general para la concentración de los bioaerosoles cultivables (hongos y bacterias totales) o contables (polen total, esporas de hongos o bacterias); algunas de las razones que aducen son las siguientes:
 - Los bioaerosoles son mezclas complejas de diferentes clases de partículas.
 - Las respuestas de los seres humanos a los bioaerosoles varían desde efectos inocuos hasta enfermedades graves, dependiendo del agente específico y de los factores de susceptibilidad de cada persona.
 - Las concentraciones medidas de los bioaerosoles cultivables y contables dependen del método de toma de muestra y análisis. No es posible recoger y evaluar todos los componentes de los bioaerosoles utilizando un único método de muestreo.

- 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. Estos 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 de interpretación de los resultados obtenidos:
 - Los tipos y frecuencias relativas de los contaminantes biológicos en el ambiente con problemas y en un ambiente "control" (el exterior u otro local sin problemas).
 - La evidencia médica de que una infección o alergia ha sido causada por un contaminante 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.

- *Fin*

