

## NTP 409: Contaminantes biológicos: criterios de valoración

Contaminants biologiques: Critères de valoration  
Biological contaminants: Evaluation criterial

Las NTP son guías de buenas prácticas. Sus indicaciones no son obligatorias salvo que estén recogidas en una disposición normativa vigente. A efectos de valorar la pertinencia de las recomendaciones contenidas en una NTP concreta es conveniente tener en cuenta su fecha de edición.

### Redactora:

Ana Hernández Calleja  
Lda. en Ciencias Biológicas

CENTRO NACIONAL DE CONDICIONES DE TRABAJO

*La evaluación de la exposición a contaminantes biológicos tiene el inconveniente de que, por el momento, no existen criterios de valoración numéricos que permitan una interpretación sencilla de la situación de trabajo analizada. En esta Nota Técnica se tratan de resumirlas razones que hacen difícil el establecimiento de dichos criterios, y de proporcionar unas guías básicas que faciliten la evaluación de esas exposiciones.*

### Introducción

Los contaminantes ambientales de procedencia biológica (bioaerosoles) están constituidos por las partículas, las moléculas de tamaño grande, o los compuestos orgánicos volátiles que están vivos o que proceden de un organismo vivo. En los bioaerosoles se pueden encontrar los microorganismos (cultivables, contables y los microorganismos muertos), y los fragmentos, toxinas y partículas producto de los desechos de todo tipo, cuyo origen es la materia viva.

La supervivencia, reproducción y dispersión al aire de los contaminantes biológicos dependen, en gran medida, de las condiciones del entorno en que se encuentran. Factores tales como la temperatura, la humedad relativa, el movimiento del aire, la luz, las fuentes de alimento y, por descontado, su presencia, van a determinar el grado en que los contaminantes biológicos se encontrarán en un ambiente.

En general, las temperaturas bajas inhiben el crecimiento de muchos microorganismos; no obstante, algunos de ellos (por ejemplo, mohos y levaduras) se desarrollan bien en ambientes fríos. Otras especies microbianas (por ejemplo, *Aspergillus*, *Legionella pneumophila* o *Thermoactinomyces vulgaris*), alcanzan su desarrollo óptimo a temperaturas elevadas.

Los ambientes muy húmedos favorecen el desarrollo de los hongos, de las bacterias y de los ácaros del polvo doméstico. El movimiento del aire contribuye al transporte, mantenimiento y paso al aire de los contaminantes biológicos procedentes del exterior o contenidos en un reservorio del interior.

El grado y tipo de luz también pueden favorecer o inhibir el desarrollo de los microorganismos. Por ejemplo, la luz ultravioleta inhibe dicho crecimiento y la ausencia de luz impide la formación de esporas de algunos hongos (*Alternaria* sp.).

Los organismos vivos precisan de nutrientes para su supervivencia y desarrollo; éstos son muy variados pero, resumiendo, se podría decir que el agua y la materia orgánica son los dos recursos principales de que se sirven estos organismos para vivir. Por lo tanto, todos aquellos materiales y estructuras en las que se reúnan esas dos condiciones pueden ser considerados como substratos colonizables por los microorganismos.

Una vez que los microorganismos se han asentado en un substrato (reservorio) e iniciado su desarrollo (amplificación), su paso al aire (diseminación), estará condicionado por varios factores, como pueden ser: su arrastre provocado por el movimiento del aire, de las personas o de la maquinaria; la alteración del reservorio debida principalmente, a obras de demolición, al movimiento de tierras o a las operaciones de limpieza.

La evaluación de la exposición a cualquier tipo de contaminante debería iniciarse con la recogida de la máxima información posible relativa a las características del trabajo y de su entorno y a las alteraciones de la salud existentes o sospechadas. Esta información, a menudo, proporciona las guías por donde deberá transcurrir la investigación. Lamentablemente, en algunas ocasiones las tareas de detección e identificación clara de los contaminantes, el establecimiento de las relaciones causa-efecto y la eliminación y prevención de los focos de contaminación no son sencillas. En particular, la evaluación de las exposiciones a contaminantes biológicos patógenos

supone, además, una serie de retos.

En primer lugar, se debe conocer cómo, dónde y qué se ha de muestrear. En ocasiones, la concentración ambiental de este tipo de contaminantes no está siempre ligada a un proceso de trabajo, sino a las diversas fases del desarrollo microbiológico (por ejemplo, liberación del polen, formación de esporas, producción de toxinas o de compuestos orgánicos volátiles), y a los factores que favorecen su diseminación.

En segundo lugar, se debe conocer cómo interpretar los resultados de una forma correcta, ya que la mera presencia de microorganismos o proteínas, incluso en concentraciones ambientales elevadas, no son prueba definitiva de que hayan causado una enfermedad.

El hecho de que hoy en día se desconozcan las relaciones dosis-respuesta entre muchos contaminantes biológicos y enfermedades en los seres humanos es, quizás, el mayor obstáculo a la hora de establecer unos criterios de valoración que faciliten la evaluación de la exposición a dichos contaminantes.

## ¿Por qué no existen criterios numéricos de valoración?

La comisión para los bioaerosoles de la ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) explica las razones por las que, hoy por hoy, no es posible establecer dichos criterios.

- a. 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) no tiene justificación científica porque:
  - o Los bioaerosoles son mezclas complejas de diferentes clases de partículas.
  - o 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.
  - o 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.
- b. No se han establecido valores límite de exposición para los bioaerosoles individuales cultivables o contables para prevenir la irritación o las respuestas tóxicas o alérgicas. Actualmente, la información relativa a las concentraciones de los bioaerosoles cultivables o contables que han producido irritación o respuestas tóxicas o alérgicas procede, en su mayor parte, de estudios de casos que contienen sólo datos cualitativos de la exposición. Los datos epidemiológicos que existen son insuficientes para describir las relaciones exposición- respuesta. Las razones de la ausencia de unos datos epidemiológicos de calidad para establecer esa relación son:
  - o La mayor parte de los datos de las concentraciones de los bioaerosoles específicos proceden más de medidas indicadoras que de la determinación de los agentes causantes reales. Por ejemplo, la determinación de hongos cultivables se utiliza para representar la exposición a los alérgenos. Además, la mayor parte de las determinaciones proceden de los puntos de acumulación de estos agentes (reservorios) o de las muestras del aire ambiental. Es poco probable que estas aproximaciones representen exactamente la exposición humana a los agentes causantes reales.
  - o Los componentes y las concentraciones de los bioaerosoles varían ampliamente. Los muestreadores de aire más comúnmente utilizados sólo toman muestras "puntuales" en períodos cortos de tiempo y estas muestras aisladas pueden no representar la exposición humana. Las muestras puntuales en períodos cortos de tiempo pueden contener una cantidad de un bioaerosol en concreto en órdenes de magnitud superiores o inferiores a la concentración media ambiental. Algunos organismos liberan aerosoles como "concentraciones de irrupción", que raramente pueden detectarse utilizando muestras puntuales. Estos episodios de los bioaerosoles pueden producir efectos significativos para la salud.
- c. Para algunos bioaerosoles infecciosos hay datos de dosis-respuesta. Actualmente, los protocolos del muestreo ambiental para los agentes infecciosos son limitados y adecuados solamente como tentativa científica. Los métodos tradicionales de salud pública, incluyendo los de inmunización, descubrimiento del agente activo y tratamiento médico siguen siendo las defensas primarias frente a los bioaerosoles infecciosos. En ciertos servicios públicos y médicos con riesgo elevado para la transmisión de la infección (por ejemplo, la tuberculosis), se deberían emplear controles de la exposición para reducir las posibles concentraciones ambientales a los agentes patógenos virulentos y oportunistas.
- d. Los contaminantes de procedencia biológica que son analizables son sustancias producidas por la materia viva, que se pueden detectar utilizando ensayos químicos, inmunológicos o biológicos y comprenden a las endotoxinas, micotoxinas, alérgenos y compuestos orgánicos volátiles. Los hechos todavía no respaldan el establecimiento de valores límite de exposición para ninguna de estas sustancias analizables. Los métodos de ensayo para ciertos aeroalérgenos comunes y endotoxinas están avanzando constantemente. También, las técnicas moleculares innovadoras están permitiendo analizar la concentración de organismos específicos, detectados normalmente sólo por cultivo o recuento. En estudios experimentales y ocasionalmente en estudios epidemiológicos se han observado relaciones dosis-respuesta para algunos bioaerosoles analizables. Asimismo, está progresando la validación de estos ensayos en el puesto de trabajo.

## Evaluación de la exposición a contaminantes biológicos

El Consejo de las Comunidades Europeas en su Directiva 90/679/CEE, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos

relacionados con la exposición a agentes biológicos durante el trabajo, en su artículo 3, da las siguientes pautas para poder realizar la evaluación de la exposición a contaminantes biológicos:

- a. En toda actividad que pueda suponer un riesgo de exposición a agentes biológicos, se determinará la índole, el grado y la duración de la exposición, para poder evaluar los riesgos que corren la seguridad o la salud de los trabajadores y poder determinar las medidas que proceda adoptar.
- b. Cuando se trate de trabajos que impliquen la exposición a varias categorías de agentes biológicos, los riesgos se evaluarán basándose en el peligro presentado por todos los agentes biológicos peligrosos presentes.
- c. La evaluación deberá repetirse regularmente y, en cualquier caso, cada vez que se produzca un cambio en las condiciones que puedan afectar a la exposición de los trabajadores. Esta evaluación se efectuará teniendo en cuenta la totalidad de la información disponible, comprendidos:
  - o La clasificación de los agentes biológicos en los grupos de riesgo, en función de su diferente índice de riesgo de infección, que puedan constituir un peligro para la salud humana. En la siguiente tabla 1 se incluyen las definiciones de los cuatro grupos de riesgo establecidas en la directiva, así como algunos ejemplos de microorganismos ya clasificados.

**Tabla 1: Clasificación de los agentes biológicos en función del riesgo de infección**

Categoría	Definición	Ejemplos
Grupo 1	Agente biológico que resulte poco probable que cause enfermedad en el hombre.	La clasificación comunitaria no incluye los agentes biológicos del grupo 1, el hecho de que un agente biológico no esté clasificado en los grupos de riesgo 2 a 4 de esta clasificación, no significa que estén implícitamente clasificados en el grupo 1.
Grupo 2	Agente patógeno que pueda causar una enfermedad en el hombre y pueda suponer un peligro para los trabajadores; es poco probable que se propague a la colectividad; existen, generalmente, profilaxis o tratamientos eficaces.	Bacterias: Legionella pneumophila Virus: virus de la gripe Hongos: Penicillium sp.
Grupo 3	Agente patógeno que pueda causar una enfermedad en el hombre y presente un serio peligro para los trabajadores; exista el riesgo de que se propague a la colectividad, pero existen, generalmente, profilaxis o tratamientos eficaces.	Bacterias: Mycobacterium tuberculosis Virus: virus de la Hepatitis B Hongos: Histoplasma capsulatum
Grupo 4	Agente patógeno que cause una enfermedad grave en el hombre y suponga un serio peligro para los trabajadores; existan muchas posibilidades de que se propague a la colectividad; no existe, generalmente, profilaxis o tratamiento eficaces.	Bacterias: No hay ninguna clasificada en este grupo Virus: virus de Ébola Hongos: No hay ninguno clasificado en este grupo

- o Las recomendaciones de una autoridad responsable que indiquen que conviene controlar el agente biológico, a fin de proteger la salud de los trabajadores cuando éstos estén o puedan estar expuestos a dichos agentes en razón de su trabajo.
- o La información sobre las enfermedades que pudieran contraer los trabajadores en razón de la naturaleza de su trabajo.
- o Los efectos alérgicos o tóxicos potenciales vinculados a la índole del trabajo.
- o El conocimiento de una enfermedad que se haya detectado en un trabajador y que esté directamente ligada a su trabajo.

En la directiva se incluyen, asimismo, las medidas de contención aplicables para impedir o minimizar la exposición, cuyo nivel de exigencia se categoriza en cuatro niveles y que se corresponden con los grupos de riesgo en los que se han clasificado los agentes biológicos, por ejemplo, las operaciones en las que estén involucrados agentes biológicos clasificados en el grupo de riesgo 3 se realizarán en zonas de trabajo a las que corresponda, por lo menos, un nivel de contención 3.

## Criterios de interpretación de resultados

La Comisión para Bioaerosoles de la ACGIH ha desarrollado unas guías para la evaluación de la exposición a contaminantes biológicos en ambientes interiores. Estas guías tienen en cuenta la valoración médica de los síntomas, la evaluación del funcionamiento del edificio y el juicio profesional.

En ausencia de criterios numéricos de valoración, es necesario decidir con antelación los criterios de interpretación que serán utilizados

para determinar si un ambiente está o no contaminado. 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 existentes entre el ambiente interior y el ambiente control pueden indicar posibles amplificaciones.
- La evaluación de los reservorios y las posibilidades de amplificación y de diseminación.

A continuación, y a título de ejemplo, se incluyen las guías para la interpretación de los resultados elaboradas por expertos en la materia, en ocasiones fruto de sus experiencias, y clasificadas según los grupos de organismos más frecuentes en la composición de los bioaerosoles.

## **Virus**

Muchas de las enfermedades asociadas a los virus presentan síntomas bien definidos, por lo que la existencia de una enfermedad es la demostración de que el virus estuvo presente.

No se conoce el número de partículas necesarias para causar una infección en un individuo susceptible, aunque algunas evidencias sugieren que un único virus es capaz de iniciar la infección. Por el momento no existen pruebas de que la exposición a virus pueda causar intoxicaciones o sensibilizaciones.

El hecho de que los virus sean parásitos obligados (necesitan de un ser vivo para su desarrollo) y, por lo tanto, sean las personas las que actúan como amplificadores y diseminadores (el habla, los estornudos o la tos), hace innecesaria la evaluación del ambiente control. Factores tales como el aumento de la ocupación o una escasa renovación del aire pueden contribuir al aumento de la tasa de contagio.

## **Bacterias**

Por lo general, en ambientes en los que no se ha detectado ninguna amplificación específica, las bacterias dominantes deberían ser las correspondientes a la flora bacteriana normal humana, es decir, bacterias Gram positivo pertenecientes a los géneros *Micrococcus* y *Staphylococcus*.

Las concentraciones ambientales elevadas de estos tipos de bacterias, que se encuentran en la piel y en las secreciones respiratorias, indican que los niveles de ocupación son altos y/o que la renovación del aire es insuficiente.

Si las bacterias dominantes son Gram negativo, eso indicaría la existencia de focos de contaminación inusuales; por ejemplo, niveles elevados de bacterias Gram negativo, oxidasa negativa y fermentadoras de la glucosa sugieren un foco de contaminación de origen gastrointestinal (extracciones de los lavabos); si las bacterias encontradas son Gram negativo, oxidasa positiva y sus colonias son de color amarillo, el foco de contaminación más probable son aguas estancadas y contaminadas.

Algunos autores han sugerido la cifra de 4.500 unidades formadoras de colonias (ufc) por metro cúbico de aire, como límite superior de concentración de bacterias totales para interiores y en climas subárticos. Esa cifra sólo es aplicable para organismos de origen humano y excluyendo cualquier tipo de patógenos. Tampoco es aplicable para climas más cálidos.

## **Endotoxinas**

Las endotoxinas son componentes (lipopolisacáridos) de las membranas externas de las bacterias Gram negativas. Son compuestos altamente tóxicos que pueden causar fiebre y malestar, alteraciones en el número de leucocitos, alteraciones respiratorias, etc. Algunos autores sugieren niveles de entre 100 y 1.000 veces superiores a los niveles medidos en los ambientes control.

## **Hongos**

El origen de los hongos que habitualmente se encuentran en los ambientes interiores es mayoritariamente el exterior, por lo que preferentemente se utilizará éste como ambiente control.

Las diferencias en las relaciones entre los hongos del interior y del exterior dependen, fundamentalmente, del sistema de ventilación disponible. Esta relación es prácticamente idéntica cuando el edificio está ventilado de forma natural, mientras que, en edificios ventilados de forma mecánica, incluso en los que el sistema de filtración es deficiente, la concentración de hongos encontrados en el interior debería ser inferior a la presente en el exterior. En cualquier caso, los diferentes tipos de hongos encontrados del interior deberían corresponder a las especies del exterior propias de la estación climática.

Los niveles de hasta 100 ufc/m<sup>3</sup> de hongos saprofitos pueden ser considerados normales, siempre y cuando se trate de ambientes en los que no exista población con deficiencias o enfermedades del sistema inmunitario.

## **Micotoxinas**

Durante los procesos de destrucción de la materia orgánica, utilizada como fuente de energía por los hongos, se producen metabolitos secundarios; algunos de ellos son tóxicos para las bacterias (antibióticos), mientras que otros lo son para los animales y los seres humanos (micotoxinas: tricotecenos y aflatoxinas).

La exposición a estos compuestos se relaciona, básicamente, con ambientes agrícolas y el almacenamiento de grano. Los efectos para la salud que han sido descritos son: su potencialidad para inducir procesos cancerígenos, el deterioro del sistema inmunitario y daños en diversos órganos como son el corazón, el hígado o los riñones.

En la actualidad se dispone de algunos datos sobre las dosis a las que algunas micotoxinas producen efectos adversos para la salud. Diversos tricotecenos se caracterizan por tener dosis letales para el 50 % de los individuos expuestos inferiores a 1 mg/kg (vía digestiva). La aparición de efectos crónicos (cáncer) en relación con la exposición a aflatoxinas puede ocurrir a dosis del orden de  $\mu\text{g}/\text{kg}$ . Es bastante probable que los efectos crónicos causados por la exposición a micotoxinas sean amplificados cuando la vía de entrada en el organismo sea la inhalatoria.

La identificación y evaluación de los riesgos debidos a la exposición a micotoxinas es compleja y requiere, en general, del muestreo tanto de los hongos que las producen como de cada tipo de micotoxinas. El hecho de encontrar hongos productores de micotoxinas en muestras ambientales no siempre es evidencia de que exista exposición a las mismas.

Muchas de las cepas de los hongos denominados toxigénicos no producen micotoxinas de una forma rutinaria y algunos sólo las producen en condiciones de laboratorio. En muestreos ambientales con medios de cultivo inespecíficos, algunos de estos hongos no pueden competir con otras especies de hongos, por lo que los niveles de hongos toxigénicos son inferiores a los niveles ambientales reales.

No obstante, el hecho de encontrar niveles inusuales de hongos toxigénicos debería ir acompañado del muestreo ambiental de toxinas específicas.

## Protozoos

El tamaño de estos organismos hace que su presencia en los bioaerosoles sea menos frecuente, ya que tienden a sedimentar rápidamente. Si existieran evidencias de que algún tipo de problema se puede relacionar con organismos patógenos de este grupo, se deberían analizar sus reservorios (humidificadores, aguas estancadas), para poder determinar el origen de los problemas y eliminar los focos de contaminación.

## Antígenos

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 del ácaro Dermatophagoides (Der p I y II, Der f I y 11 y Der m I y II).

Algunos autores han propuesto los valores de antígeno de ácaros en polvo que pueden causar sensibilización y la aparición de síntomas en personas sensibilizadas. (Ver tabla 2)

**Tabla 2: Concentraciones de antígeno de ácaros en polvo y riesgo asociado**

Concentración $\mu\text{g Der p I/g o}$ $\text{Der f I/g de polvo}$	Nivel de riesgo
< 2	Bajo
2 - 10	Significativo
> 10	Alto

Sin embargo, todavía no se han propuesto valores límite de concentración para otros antígenos ambientales; no obstante, debido a que los individuos sensibilizados reaccionan frente a dosis muy bajas de antígeno, no se debería aceptar ningún valor de concentración como seguro para esas personas.

Por otra parte, unos niveles muy bajos de antígeno, probablemente, no constituyen un riesgo de sensibilización para nuevos pacientes. De todo ello se desprende que la aplicación de todas las medidas de control disponibles que rebajen los niveles ambientales de antígeno 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.

## Bibliografía

(1) SELTZER, J.M.

**Effects of the indoor environment on health**  
Occupational Medicine, 1995, volumen 10 nº 1

(2) AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

**Guidelines for the assessment of bioaerosols in the indoor environment**  
Cincinnati, ACGIH 1989

(3) COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES

**Biological particies in indoor environments**

(4) MOREY, P.R. et al.

**Biological contaminants in indoor environments**

Philadelphia, Ed. ASTM, 1990

(5) AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

**TLVs Threshold limit values and biological exposure indices**

Cincinnati, ACGIP 1995-1996