

*Este artículo fue publicado en el número 33-2004, páginas 13 a 21.
Siguiendo la línea de la página Web del INSHT se incluirán los textos íntegros de los artículos
prescindiendo de imágenes y gráficos no significativos.*

Evaluación de los riesgos higiénicos por agentes químicos y biológicos en plantas de compostaje

Jordi Obiols

Centro Nacional de Condiciones de Trabajo. Barcelona. INSHT
cncinsht@mtas.es

El compost, producto final de un proceso de transformación de la fracción orgánica de los residuos, es un material de aspecto parecido al humus del suelo, fácil de almacenar y transportar, con un contenido en materia orgánica y elementos fertilizantes que permiten utilizarlo en distintas actividades agrícolas, así como en la mejora de suelos. En definitiva, y dicho de otro modo, su producción implica un proceso (compostaje) largo y biológicamente complejo en el que intervienen distintas poblaciones microbianas, que se desarrollan sucesivamente, llevando a cabo la transformación de los residuos, la materia prima inicial, que puede ser de origen diverso, por espacio de varias semanas, obteniéndose un producto final útil, que es el compost (Solans y otros, 2001).

Introducción

Para un tipo de instalación, un determinado sistema de producción y una capacidad de tratamiento de residuos, entre otros aspectos, existen unas condiciones operativas en las que se obtiene un producto de óptimas características. Es de la mayor importancia subrayar que la naturaleza, origen, estado físico y microbiológico de los materiales de partida, así como las proporciones de las mezclas y cantidades totales de materiales en cada fase y acumulados, son variables que influyen decisivamente en el proceso y, consiguientemente, en "las condiciones de trabajo" concurrentes para el trabajador, así como en las características del producto final obtenido. Por tal motivo, dado que todos estos aspectos del proceso productivo son altamente cambiantes a lo largo del tiempo, las condiciones reales en que se desarrolle lo hacen en la misma medida y al menos una parte importante de los factores determinantes del riesgo han de ser muy distintos de un momento a otro. Se han observado discrepancias importantes en los niveles de bacilos gramnegativos y de endotoxinas hallados en aire en diferentes plantas de compostaje, lo que, al menos, en parte es debido a las diferencias entre las plantas y sus procesos (Poulsen et al., 1995).

Desde un punto de vista estrictamente higiénico, los trabajadores en las plantas de elaboración de compost a partir de residuos sólido urbanos (RSU) están sometidos a riesgo por dos tipos de agentes (Domingo, 2001):

- a. **químicos**, derivado de la exposición a compuestos orgánicos volátiles (COV, o el correspondiente acrónimo inglés VOC de volatile organic compound).
- b. **biológicos**

Además de los potenciales daños sobre la salud por estos agentes, otro aspecto que debe ser tomado en consideración es la situación de disconfort en que habitualmente se encuentran los trabajadores de este tipo de plantas o instalaciones, en relación con el mal olor en el área de trabajo y ciertas consecuencias, debido a que, de entre los compuestos desprendidos, hay bastantes con umbrales olfativos realmente muy bajos.

Agentes químicos

Los trabajadores están inevitablemente expuestos a COV. Estos compuestos, algunos de los cuales muestran olor penetrante, se generan en condiciones aeróbicas tan pronto llega el material fresco a la planta, y se desprenden en los estadios iniciales del proceso. Los compuestos sulfurados de olor intenso se producen principalmente en condiciones anaeróbicas, debido a una aireación insuficiente y/o incompleta, mientras que los procesos de degradación incompletos producen emisiones de alcoholes, cetonas, ésteres y ácidos grasos.

Entre los agentes químicos se encuentran cancerígenos y genotóxicos como el benceno, 1,3-butadieno, formaldehído, hidrocarburos policíclicos aromáticos o PAH, tetraclorometano, cloroformo, 1,2-dicloroetano o tricloroetileno.

Los COV causantes de malos olores pueden producir trastornos secundarios como náuseas y vómitos, reacciones de hipersensibilidad e incluso alteraciones de tipo respiratorio. Los efectos más significativos de los COV son de tipo tóxico sistémico, entre los que cabe destacar trastornos renales, hematológicos, neurológicos, hepáticos e irritaciones mucosas (Domingo, 2001).

En el estudio multicentro más completo (un conjunto de 8 plantas de compostaje) realizado hasta el momento sobre agentes químicos en (Eitzer, 1995), se identificaron y cuantificaron en el aire de sus instalaciones un total de 58 especies químicas orgánicas, 36 de las cuales eran alifáticas o aromáticas y 27 del grupo de los terpenos. Las concentraciones ambientales variaban con las características de la zona muestreada. En los puntos de muestreo con mayor liberación de compuestos en 10 de las muestras (de 105) se superaron los 150 mg/m³ de VOC totales. A destacar, por ejemplo, que la 2-butanona alcanzó, en la muestra de concentración máxima, un índice de exposición (Conc./TLV, valor límite umbral de la ACGIH de 1993) de 0,54; la 2-hexanona, 0,30; el tolueno, 0,35; el etilbenceno, 0,41.

En otros estudios aparecen 5 mg/m³ de metanotiol (VLA 1 mg/m³; VLA, valor límite ambiental INSHT), 4,2 de amoníaco (VLA 18 mg/m³) y 2,8 de sulfuro de hidrógeno (VLA 14 mg/m³) durante las dos primeras semanas de almacenado de residuos domésticos, así como limoneno y otros compuestos (Poulsen, et al. 1995).

En otro trabajo se identificaron 110 compuestos diferentes en plantas de compostaje, muchos de los cuales son los causantes del mal olor. Algunos de tales compuestos, en las fases iniciales del proceso, se encuentran en concentraciones que superan ampliamente la concentración umbral olfativa, así el limoneno (196 mg/m³) corresponde a unas 20.000 veces dicho valor, el α -pineno a unas 3000 veces (Tolvanera et al., 1998). El índice de exposición del limoneno (considerando el valor OEL de Dinamarca de 560 mg/m³;OEL) se situaría en 0,34.

La evaluación del riesgo representado por estos índices no debe llevarse a cabo por separado para aquellos compuestos que tienen efectos similares, tomando en consideración el apartado siguiente y las posibilidades de inferencia estadística (McBean y Rovers, 1998) frente a la variabilidad del proceso, tal como se comenta en Exposiciones, valores límite y evaluación de riesgos.

Tipos de efectos sobre la salud

En el grupo de las alifáticas y aromáticas, en relación con los efectos tóxicos por su presencia en el aire, en el mencionado estudio se citan sustancias cuyas frases de riesgo correspondientes son: 3 sustancias, "tóxico por inhalación"; 11, nocivo por inhalación; 5, "irrita los ojos" y/o "irrita las vías respiratorias". Debe recordarse, en cuanto al significado de estas frases, que tanto la frase "tóxico por inhalación" como "nocivo por inhalación" hacen referencia a efectos tóxicos sistémicos, es

decir, que "pueden producir efectos agudos, crónicos o incluso la muerte" por vía inhalatoria. No se han incluido otros efectos (nocivos o tóxicos por ingestión, etc.). No se dispone de información específica de carácter toxicológico respecto de los terpenos.

En el mismo grupo de compuestos alifáticos y aromáticos se encontraron los siguientes cancerígenos objeto de aplicación de los reales decretos 665/1997, 1124/2000 y 349/2003 (categorías 1 y 2): benceno (cancerígeno de categoría 1), el dicloroetano (cancerígeno categoría 2) el tricloroetileno (clasificado como cancerígeno categoría 1 en el año 2003). Los carcinógenos de categoría 3 son: disulfuro de carbono, diclorometano, tetracloruro de carbono y tetracloroetileno.

Agentes biológicos

Los agentes biológicos que pueden encontrarse habitualmente en las plantas de compostaje dependen de los materiales de partida y de las mezclas que se lleven a cabo y de su procedencia, siendo los más frecuentes los señalados en la tabla 1.

Tabla 1
Agentes biológicos más frecuentes en las plantas de compostaje

Tipo	Ubicación	Ejemplo
Bacilos gramnegativos (1) (2)	Superficies vegetales	<i>Erwinia</i> , <i>E. herbicola</i> , <i>syn. Pantoea agglomerans</i> , <i>Enterobacter agglomerans</i>
	Polvos de origen vegetal	<i>Pseudomonas spp.</i> , <i>Klebsiella spp.</i> , <i>Rahnella spp.</i> y <i>Alcaligenes fecalis</i>

	Polvos de origen animal	<i>Escherichia coli</i>
Bacterias grampositivas	Polvos de origen animal comunes en polvos de materias vegetales almacenadas	Corinebacterias: <i>Arthrobacter spp.</i> , <i>Corynebacterium spp.</i> Cocos: <i>Staphylococcus saprophyticus</i> , <i>S. epidermis</i> , <i>Micococcus spp.</i> , <i>Streptococcus spp</i> Bacilos aerobios formadores de endosporas: <i>Bacillus subtilis</i> , <i>B. megaterium</i> y <i>B. Cereus</i> (en pequeñas cantidades)
Actinomicetos (3)	Frecuentes en los restos vegetales almacenados	Termófilos, produciendo un calentamiento espontáneo entre 50 y 60 °C del compost: <i>Saccharopolyspora rectivirgula</i> , <i>Thermoactinomyces vulagris</i> y <i>T. thalpophilus</i>
	Suelo y materiales vegetales	Mesófilos: <i>Streptomyces</i> , <i>Rhococcus</i> y <i>Agromyces</i>
Hongos (4)	Hongos de campo que se desarrollan sobre la hierba y otras plantas vivas	<i>Alternaria spp.</i> , <i>Cladosporium spp.</i> , <i>Dydimella spp.</i>
	Productos orgánicos almacenados, principalmente por encima de los 30°C	Hongos: <i>Aspergillus (A. fumigatus, A. flavus, A. candidus, A. terreus, A. clavatus, A. niger)</i> , <i>Penicillium</i> , <i>Eurotium</i> , <i>Trichoderma</i> , <i>Absidia</i> , <i>Mucor</i> y <i>Rhizopus</i> Levaduras: <i>Candida</i> y otras (5)
Enterovirus (6)	Pueden encontrarse en el material de partida	
Parásitos	Pueden encontrarse en el material de partida	Protozoos: <i>Giardia</i> y <i>Entamoeba</i> Helmintos: (<i>Ascaris</i> y <i>Taenia</i>)

(1) Algunos son conocidos patógenos, como *Salmonella*.

(2) Productores de endotoxinas

(3) Bacilos grampositivos filamentosos

(4) Formas multicelulares filamentosas (mohos) y levaduras unicelulares frecuentes en los polvos orgánicos

(5) Forman parte de los polvos orgánicos, procedentes de materia vegetal en la que se desarrollan

(6) Virus potencialmente patógenos

Conviene señalar que los daños pueden ser causados por las propias formas vivas ya citadas o por sus productos. Así, las **endotoxinas**, muy solubles en agua, constituyen los

principales inmutóxicos pulmonares. Están constituidas por lipopolisacáridos de alto peso molecular que forman parte de la pared celular de las bacterias gramnegativas, en la que se encuentran como heteropolímeros asociados a proteínas y fosfolípidos, y que pueden ser liberadas en grandes cantidades a los polvos orgánicos en forma de partículas discoides de 30-50 nm de diámetro, alcanzando en los ambientes laborales concentraciones entre 10^{-1} y 10^6 ng/m³ (Rylander, 1987; Dutkiewicz, 1997). Producen una respuesta inflamatoria en el tracto respiratorio y se ha demostrado una relación dosis-respuesta entre el nivel de endotoxina en el aire y la alteración de la función pulmonar en trabajadores expuestos a varios polvos orgánicos, siendo preciso señalar que los efectos de las endotoxinas se pueden producir en cualquier punto del árbol respiratorio, tras la exposición a partículas que no son respirables, sino de mayor tamaño, sin alcanzar la región alveolar (Rylander, 1987). Las bacterias grampositivas, si bien se consideran como menos peligrosas, tienen algunos componentes, como las enzimas y otras proteínas o peptidoglicanos de la pared celular, que deberían ser considerados como potenciales inmunotóxicos, tomando en consideración la enorme carga de tales bacterias en determinados ambientes de trabajo. Entre los actinomicetos, las especies termófilas producen alérgenos potentes causantes de alveolitis alérgica, y también especies mesófilas, como *Streptomyces*, se sabe que pueden producir esta respuesta. Los hongos se han identificado como causa de alveolitis alérgica. El asma y la rinitis alérgica también pueden ser causadas por hongos de campo y de almacenaje. Cada vez parece más claro que

los hongos pueden ser causantes de enfermedad inmunotóxica. Los (1→3)-β-D-glucanos, constituyentes básicos poliglucósidos de la pared fúngica, a niveles entre 10^{-2} y 10^2 ng/m³ se han sugerido como causa de inflamación pulmonar crónica y generar enfermedades como la bisinosis crónica o síndrome del edificio enfermo, habiéndose demostrado una relación dosis-efecto entre las concentraciones de (1→3)-β-D-glucano en el aire y los síntomas respiratorios de los trabajadores expuestos.

En cualquier caso, además de la vía inhalatoria, es necesario tener en cuenta la posible exposición por vía oral (a la que se hace mención en Giubileo et al., 1998), ya que la contaminación mano-boca, relacionada con los hábitos higiénicos personales, no es desdeñable, y también la vía parenteral, inadvertida, a través de pequeñas heridas y/o abrasiones. Conviene además no olvidar, en relación con las características del producto al foral obtenido por el proceso de compostaje (Giubileo et al. 1998), que la presencia de *Salmonella* en el compost se utiliza como marcador para comprobar el grado de higienización de dicho producto. Se comprende, entonces, que tales características son una condición de trabajo, tal como lo define la Ley 31/1995 en su Art. 4, 7º, puesto que modifican el riesgo.

Tipos de efectos

Los microorganismos propiamente infecciosos como *Salmonella* y los enterovirus pueden producir infecciones intestinales. Los parásitos intestinales anteriormente señalados pueden dar origen a las correspondientes parasitosis.

Aunque en su mayor parte no son de carácter infeccioso, las bacterias y hongos en los polvos orgánicos pueden producir trastornos de salud, ejerciendo efectos adversos sobre el tracto respiratorio de las personas expuestas (Dutkiewicz, 1997, Büniger et al. 2000). En la tabla 2 se presenta un resumen.

Tabla 2
Efectos adversos no infectivos de bacterias y hongos presentes en polvos orgánicos

Tipo de efecto	Ejemplos
Irritación de mucosas	
Enfermedades inmunotóxicas	<ul style="list-style-type: none"> • Síndrome por polvo tóxico orgánico (SPTO, o organic dust toxic syndrome, ODTS, otros sinónimos: fiebre por inhalación, fiebre de las semillas, fiebre del descargador de silos, neumonitis tóxica); • bisinosís • síndrome del humidificador • micotoxicosis • probablemente síndrome del edificio enfermo o enfermedad relacionada con los edificios.
Enfermedades alérgicas	<ul style="list-style-type: none"> • alveolitis alérgica (sinónimos: neumonitis por hipersensibilidad, hypersensitivity pneumonitis, HP o alveolitis alérgica extrínseca, neumonitis granulomatosa) • asma • rinitis alérgica
Infecciones	<ul style="list-style-type: none"> • principalmente de las vías respiratorias altas y de la piel

La exposición de los trabajadores de plantas de clasificación y reciclado de residuos a microorganismos y los consiguientes productos tóxicos son factores importantes causantes de multitud de trastornos experimentados por tales trabajadores: alteraciones pulmonares, síntomas de tipo ODTS, síntomas gastrointestinales, irritación de las vías respiratorias superiores, inflamación de los ojos y astenia, son frecuentes. Como ejemplo, en una planta concreta, donde se mezclaban residuos urbanos con sedimentos de depuradoras, 4 de los 13 trabajadores presentaban síntomas del tipo ODTS, tales como dolor de cabeza, fatiga, náuseas y diarrea. Tales síntomas pueden aparecer poco después de empezar el trabajo (unas pocas horas) y a menudo han desaparecido a la mañana siguiente (Lundholm y Rylander, 1980). En las plantas de compostaje, donde es muy frecuente que las concentraciones de esporas fúngicas y actinomicetos sean elevadas, los trabajadores experimentan los mencionados trastornos con mayor o menor frecuencia, y hay algunos casos de aspergilosis pulmonar. Parece que exposiciones continuadas entre 10^4 y 10^5 ufc/m³ se relacionan con irritación de mucosas, ODTS, HP y trastornos similares (Millner et al., 1994). Lacey (Lacey y Crook, 1988) hace una descripción similar del ODTS, añadiendo que "puede compartir algunos de los rasgos de la alveolitis alérgica" entre cuyas características señalan que se puede producir "...,con la exposición repetida, creciente disnea y pérdida de peso" por parte de la persona afectada.

En consonancia con todo ello Boutin y Mouline en 1986 sugirieron que el "síndrome del trabajador del compost", caracterizado por fiebre frecuente, síntomas de tipo gripal, irritación de las vías respiratorias altas, inflamación ocular y astenia, se puede presentar

en los trabajadores de este tipo de plantas. Dado que los trastornos que se acaban de mencionar pueden afectar a los trabajadores de todos los tipos de plantas de reciclaje (Clark et al., 1983) y no están vinculados a un tipo concreto de materiales, Poulsen y su grupo de trabajo han sugerido la denominación "síndrome de los trabajadores del reciclado de desperdicios" ("waste recycling worker syndrome") como más apropiada por ser más amplia, aunque el riesgo sí varía con el tipo de planta (en cuanto a su probabilidad), y en las de reciclado de material biodegradable la exposición es muy variada: bacterias gramnegativas, endotoxinas, actinomicetos termófilos, mohos y (1→3)-β-D-glucanos, alérgenos, además de los VOC (Poulsen et al., 1995) y otros, todos ellos ya ampliamente comentados. Estos cuadros sintomáticos, sobre todo los accesos febriles, son muy coincidentes con los descritos en otros ambientes, también de elevado contenido en gérmenes (polvo de moho), con niveles que alcanzaban los 10^9 microorganismos/m³ en granjas con manejo de grano mohoso, heno, paja y virutas de madera (Malmberg, 1986).

En el estudio de 58 trabajadores de planta de compost, con un control normal (40 sin exposición reconocida) y un grupo de trabajadores de desperdicios (58), 20 trabajadores de compostaje presentaron varios anticuerpos IgG específicos (hongos y/o actinomicetos) significativamente elevados, comparado con uno solo del control. Se observó, además, una asociación significativa entre las enfermedades diagnosticadas y los anticuerpos IgG elevados en el grupo de los trabajadores del compost (Bünger et al. 2000).

Conviene señalar que la implicación de *Aspergillus*, que prácticamente se encuentra siempre presente en las plantas de compostaje (y de tratamiento de residuos, en general), ha sido objeto de muchos estudios y directrices de vigilancia de la salud de los trabajadores de estas instalaciones. Se sugirió (Clark, 1986) que, en este tipo de plantas, las concentraciones de hongos termófilos, como *A. fumigatus*, serían del orden de entre decenas y varios cientos de miles de ufc/m³, pero estudios posteriores han demostrado que este intervalo puede ser ampliamente sobrepasado. El estudio de la respuesta inmune, el test de transformación de linfocitos (TTL) frente a un precipitado purificado del cultivo y micelio, y las IgG, IgM, IgA e IgE específicas frente a antígenos de *A. fumigatus*, en un grupo de trabajadores de compostaje resultó ser similar al de individuos alérgicos reconocidos frente a este moho y más alta que el grupo control (no alérgico y laboralmente no expuesto) para el TTL, IgG e IgA, pudiendo hallarse la presencia de IgE específica en los expuestos y en los alérgicos, pero no en los controles. Se obtuvo crecimiento de *A. fumigatus* en más del 90% de los cultivos de muestras de cavidad nasal y conducto auditivo obtenidas con escobillón 2-3 horas después de trabajar en las pilas de compost. Por todo lo reseñado, es válida la afirmación de que "Sin dudar, el mayor potencial de riesgo biológico asociado con el compostaje es *A. fumigatus*, un patógeno oportunista y alérgeno" (Beffa et al. 1998). Estos autores han hallado *Aspergillus* en todos los tipos de compost y hasta 10^6 ufc/m³ de aire de las zonas de procesamiento, por lo que afirman que "la investigación en nuestro laboratorio ha demostrado que la presencia y abundancia de *A. fumigatus* en los composts y en el aire se puede tomar como indicador de la presencia y dispersión de otros microorganismos potencialmente patógenos y partículas".

Lacey y Crook (Lacey y Crook, 1988) hallan un total de bacterias correspondiente a $1,9 \times 10^7$ ufc/m³ en el aire de la zona de respiración de trabajadores que remueven pilas estáticas de compost. Los hongos representaban $8,2 \times 10^6$ ufc/m³, de los cuales el 93%

eran *A. fumigatus*. En su trabajo el grupo de Heida (Heida et al. 1995) describen que el 80% de los hongos que identifican pertenecen a los géneros *Aspergillus* y *Penicillium*. Además, destacan el hallazgo de que "la sustancia viscosa que recubría las paredes interiores de la planta era *Pseudomonas*, una bacteria gramnegativa que no sólo es capaz de liberar toxinas sino que ella misma puede ser patógena para el hombre [causando infecciones]."

El grupo de Tolvanen (Tolvanen et al. 1998), como todos los demás autores, encuentran *Aspergillus* y *Penicillium* en estas plantas, y entre los gérmenes presentes en los residuos domésticos hallados cita *Pseudomonas* y *Proteus*, patógenos reconocidos, ya comentado el primero de ellos, también en residuos biológicos. Niveles de *Aspergillus*, durante las fases de actividad normal, en diferentes zonas de trabajo donde hay movimiento de material en proceso en diferentes plantas de compostaje de Estados Unidos y Canadá, en concentraciones de 150 ufc/m³, 3600 ufc/m³, 1000 ufc/m³, 115 ufc/m³, 1999 ufc/m³ (Millner et al. 1994).

Exposiciones, valores límite y evaluación de riesgos

Agentes químicos

Los riesgos relacionados con las exposiciones a los agentes químicos deberían evaluarse a tenor de lo establecido en el RD 374/2001, de prevención de riesgos por agentes químicos en el lugar de trabajo, lo que implica la medición de sus concentraciones en la zona de respiración del trabajador y su comparación los valores límite ambientales (VLA). A este respecto, es recomendable seguir los procedimientos propuestos por la Guía para la evaluación y prevención de los riesgos presentes en los lugares de trabajo relacionados con agentes químicos del INSHT. La presencia de sustancias clasificadas como cancerígenas o mutágenas de categorías 1 y 2, implicará la aplicación de la legislación correspondiente ya citada (reales decretos 665/97, 1124/2000 y 349/2003).

Agentes biológicos

Por lo que se refiere a los riesgos relacionados con los bioaerosoles, las evaluaciones de exposición y riesgo se basan en los siguientes parámetros: bacterias totales, bacterias gramnegativas, actinomicetos, hongos, endotoxinas y polvo total.

En todos los estudios revisados se han hallados niveles importantes de bacterias gramnegativas. Con respecto a los agentes biológicos no existen valores límite ambientales, aunque se han propuesto valores OEL (occupational exposure limit). Rylander sugirió (citado por Poulsen et al., 1987) que las bacterias gramnegativas deberían encontrarse por debajo de las 10³ ufc/m³ de aire. El umbral de concentración de endotoxinas en aire susceptible de ocasionar el descenso de FEV₁ se situaría entre 0,1 y 0,2 µg/m³ y el de la concentración susceptible de producir bronquitis, en los 0,02 µg/m³. (Rylander, 1987). En cuanto a la relación dosis-efecto, se ha propuesto que el valor umbral de la aparición de los síntomas respiratorios, irritación de membranas y ODS se sitúa en 10⁶ esporas de hongo/m³. Dinamarca tiene establecido como límite para el polvo orgánico total 3 mg/m³.

En los proyectos escandinavos de valores OEL se han sugerido 5-10 x 10³ ufc/m³ para microorganismos totales, 10³ ufc/m³ para las bacterias gramnegativas y 12 x 10² ng/m³,

para las endotoxinas (Millner et al., 1994, Sigsgaard et al., 1990). El proyecto preparado en Polonia para el establecimiento de este tipo de valores sugiere 10^5 ufc/m³ para microorganismos totales, 2×10^4 ufc/m³ para las bacterias gramnegativas y actinomicetos termófilos y 5×10^4 ufc/m³ para los hongos; valores que están basados en que los trastornos respiratorios en trabajadores expuestos por encima de 10^5 ufc/m³ son muy frecuentes (Dutkiewicz, 1997).

En la tabla 3 se presenta un cuadro resumen de valores limite para agentes biológicos propuestos por distintos autores, a que se hace referencia en los párrafos anteriores.

Tabla 3
Límites propuestos para agentes biológicos en unidades de compostaje

Agente	Límite	Comentario
Actinomicetos termófilos	2×10^4 ufc/m ³	Polonia; a $>10^5$ ufdm ³ , trastornos respiratorios frecuentes
Bacterias gramnegativas	$<10^3$ ufc/m ³ 10^3 ufc/m ³ 2×10^4 ufc/m ³	OEL, Escandinavia Polonia; a $>10^5$ ufc/m ³ , trastornos respiratorios frecuentes
Endotoxinas	0,1-0,2 mg/m ³ 0,02 mg/m ³	Descenso de FEV1. OEL, Escandinavia Bronquitis
Esporas	10^6 esporas /m ³	Síntomas respiratorios, irritación de membranas y ODTS
Hongos	5×10^4 ufc/m ³	Polonia; a $>10^5$ ufc/m ³ , trastornos respiratorios frecuentes
Microorganismos totales	$5-10 \times 10^3$ ufc/m ³ 10^5 ufc/m ³	OEL, Escandinavia Polonia; a $>10^5$ ufc/m ³ , trastornos respiratorios frecuentes
Polvo orgánico total	3 mg/m ³	

Vale la pena subrayar que, de todos los estudios revisados sobre plantas de compostaje, sólo en uno los autores (Marchand et al., 1995) se declaran "incapaces de identificar la presencia de *A. fumigatus* en las muestras recogidas ese día", pero no dudan que las encontrarían "en posibles muestras de otro momento del día o del año." Las muestras las habían tomado, siguiendo las recomendaciones de la ACGIH de 1989, dos veces en un día, pero afirman que "este sistema de muestreo sólo da información del periodo durante el que se ha realizado" la captación. En otras palabras, consideran simplemente que las muestras no son representativas de la población habitual del bioaerosol de la planta, por razones de momento de la toma. Esta consideración de los autores es un punto muy a tener en cuenta de cara a la evaluación del riesgo por agentes biológicos a partir de las muestras en aire, ya que está directamente relacionado con la estrategia de muestreo, que se comenta más adelante. Tanto más cuanto que, en un cierto entorno en el que es típica o característica la presencia de un agente biológico concreto, su presencia puede no ser detectada por una cuestión de muestreo, azar o cualquier otro factor determinante

de una falta de representatividad del resultado obtenido en un momento determinado, respecto de la situación habitual o "promedio" del puesto, lugar o zona de trabajo.

Desde el punto de vista técnico, deben ser tomados en consideración algunos de los aspectos recogidos en el Apéndice 3: Identificación y Evaluación de agentes Biológicos en los Lugares de Trabajo, de la Guía Técnica para la Evaluación y Prevención de los Riesgos Relacionados con la Exposición a Agentes Biológicos del INSHT. En dicho Apéndice se proponen, para plantas de compostaje, como posibles indicadores a tal fin, los expuestos en la tabla 4.

Tabla 4
Indicadores de exposición a agentes biológicos en plantas de compostaje

Tipo	Indicador
Globales	Bacterias, hongos
De grupo	Grampositivos, gramnegativos, endotoxinas, bacterias formadoras de esporas y actinomicetos
Individuales	<i>Aspergillus fumigatus</i>
Individuales, problemas específicos	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>

Tales aspectos son de sumo interés, no por el hecho de estar recogidos en la referida Guía (que carece de valor normativo), sino por su valor técnico en cuanto a que pueden contribuir decisivamente a la evaluación del riesgo de puestos de trabajo como los ubicados en plantas de compostaje.

No debe dejarse de lado la cuestión de la *estrategia de muestreo* que, como en toda evaluación, debe ser objeto de especial selección para evitar errores al evaluar la exposición, lo que significa que se requieren múltiples medidas para caracterizar el perfil de la exposición en cada puesto de trabajo, tomando en cuenta las principales fuentes de variación. De modo que en ciertas situaciones concretas, según el tipo de estudio o su finalidad, pueden interesar las exposiciones promedio o las exposiciones pico, aunque en el ámbito del tratamiento o reciclado de desperdicios esta cuestión todavía no está resuelta (Poulsen et al., 1995).

Aplicación de criterios de evaluación

En la práctica, es fundamental todo cuanto hace referencia a las variables que influyen en el proceso y las condiciones de trabajo, anteriormente mencionadas, a la hora de llevar a cabo la evaluación de riesgos de los puestos de trabajo. Esto hace que en muchas situaciones reales las mediciones ambientales de agentes químicos puedan tener sólo un interés relativo para la evaluación del riesgo higiénico cuando las condiciones de trabajo son absolutamente cambiantes, sin un ciclo repetitivo que se pueda establecer. En tales casos, deberán tomarse las medidas preventivas a tenor del tipo de proceso y del tipo de contaminantes que se puedan generar, más que a partir de los niveles existentes en momentos determinados. En tales situaciones, estos niveles no se ajustan a una distribución (normal, lognormal, Poisson u otra) que constituya un descriptor razonable de los datos obtenidos o que se puedan obtener.

El carácter cambiante afecta también a las mediciones de agentes biológicos, pero aquí, además, los niveles de contaminación pueden ser extremadamente elevados, puesto que se trata de un proceso biotecnológico desarrollado por microorganismos. Por tal motivo, sí puede ser muy pertinente efectuar mediciones a fin de conocer los niveles de exposición de los trabajadores, especialmente cuando por las condiciones de trabajo se infiera o presuma que se pueda dar tal circunstancia.

Finalmente, vale la pena señalar que, si bien para evaluar el riesgo que los bioaerosoles implican por vía inhalatoria para la salud es preferible el muestreo de la "fracción inhalable" a la determinación del "bioaerosol total", por razones técnicas se suele determinar este último. Y por otro lado, puesto que los trastornos de salud se pueden relacionar tanto con los microorganismos viables como no viables, se debería preferir la determinación de microorganismos totales, aunque los no cultivables, por razones técnicas, raramente se determinan (Poulsen et al., 1995). A todos estos efectos son interesantes los comentarios sobre los agentes biológicos realizados por la ACGIH (AGIH, 2002). Queda claro, en cualquier caso, que en principio no tendría sentido valorar únicamente la fracción respirable del bioaerosol, sin tener en cuenta el resto de la fracción susceptible de penetrar en el aparato respiratorio.

Bibliografía

- ACGIH (2002)- TLVs and BEIs. Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices. Cincinnati, 2002.
- Beffa, T., Staib, F. et al. (1998)- Mycological control and surveillance of biological waste and compost. *Medical Mycology* 36 (supplement 1): 137-145.
- Bünger, J., Antlauf-Lammers, M. et al. (2000)- Health complaints and immunological markers of exposure to bioaerosols among biowaste collector and compost workers. *Occup. Environ. Med.* 57: 458-464.
- Clark, S., Rylander, R and L. Larson (1983)- Airborne bacteria, endotoxin and fungi in dust in poultry and swine confinement buildings. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, 44: 537-541.
- Clark, S. (1986)- Comparison of Organic Dust Exposure in Agricultural Occupations and Waste processing Industries. *Am. J. Ind. Med.* 10: 286-287.
- Domingo J. L. (2001)- Disseny d'un pla de seguiment de la salut laboral per contaminants biològics i químics a l'eco-parc de Barcelona.
- Dutkiewicz, J.(1997)- Bacteria and fungi in organic dust as potential health hazard. *Ann. Agric. Environ. Med.* 4: 11-16.
- Giubileo, L., Sarti, A. M. et al. (1998)- Rassegna dei rischi da agenti biologici e intervinenti per la tutela della salute degli impianti di produzione del compost. *Med. Lav.* 89: 301-315.
- Guía Técnica para la Evaluación y Prevención de los Riesgos Relacionados con la Exposición a Agentes Biológicos. RD 664/1997, de 12 de mayo. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, INSHT.
- Heida, H., Bartman, F. and S. C. van der Zee (1995)- Occupational Exposure and Indoor air Quality Monitoring in a Composting Facility. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 56: 39-43.
- Lacey, J., and B. Crook (1988)- Fungal and actinomycete spores as pollutants of the workplace and occupational allergies. *Ann. Occup. Health.* 32: 515-533.

- Lundholm, M. and R. Rylander (1983)- Work related symptoms among sewage workers. *Br. J. Ind. Med.*, 40: 325-329.
- McBean, E. A. and F. A. Rovers.- *Statistical Procedures for Analysis of Environmental Monitoring Data and Risk Assessment*. Prentice Hall , Inc., Upper Saddle River, NJ, 1998.
- Malmberg, P, Palmgren and A. Rask-Anderson (1986). Relationship Between Symptoms and Exposure to Mold Dust in Swedish Farmers. *Am.J.Ind.Med.* 10: 316-317.
- Marchand, G., Lavoie, J., and L. Lazure (1995)- Evaluation of Bioaerosols in a Municipal Solid Waste Recycling and Composting Plant. *Air & Waste Manage. Assoc.* 45: 778781.
- Millner, P. D. Olenchock, S.A. et al. (1994)- Bioaerosols Associated with Composting Facilities. *Compost Science & Utilization*, 2: 6-57.
- Poulsen, O., Breum, N. et al. (1995)- Sorting and recycling of domestic waste. Review of occupational health problems and their possible causes. *Se. Tot. Environm.* 168: 33-56
- Rylander, R. (1987)- The Role of Endotoxin for Reactions After Exposure to Cotton Dust. *Am. J. Ind. Med.* 12: 687:697.
- Sigsgaard, T., Bach, B and P. Malmros (1990). Respiratory impairment among workers in garbage-handling plant. *Amer J. Ind. Med.* 17: 92-93.
- Solans, X., Alonso, R. M^a, Gadea E. - NTP 597: Plantas de compostaje para el tratamiento de residuos: riesgos higiénicos. INSHT, M^o de Trabajo y Asuntos Sociales, Madrid.
- Tolvanen, O. K, Hänninen, K. I. et al. (1998)- Occupational hygiene in biowaste composting. *Waste Manage. Res.* 16: 6: 525-540.