



Control ambiental y social de los olores en vertederos (*)

JOSÉ FRANCISCO CID MONTAÑÉS
Doctor en Ciencias Químicas. Laboratorio del Centro de Medio Ambiente.
Universidad Politécnica de Cataluña (UPC)

SUMARIO

El presente estudio demuestra que es posible controlar ambiental y socialmente los impactos derivados de la molestia por olores en poblaciones próximas a vertederos. Se ha comprobado que existe una relación significativa entre los olores percibidos por la población como una molestia y la composición química del aire respirado durante los episodios de olor desagradable. Mediante la metodología desarrollada en este trabajo todos los actores implicados en la problemática de los vertederos: industriales y gestores de residuos, Administraciones municipales y autonómicas, y poblaciones afectadas disponen de una base objetiva y barata de negociación para la futura gestión, tanto de la actividad como de la minimización de las molestias derivadas de la misma. Previamente, sin embargo, debería validarse la metodología para otras fuentes de olores y otras poblaciones afectadas.

Palabras clave: Control de olores, COVs, aire ambiente, percepción social, vertederos, índices de molestia de olores.

INTRODUCCION

Actualmente, cualquier proyecto de instalación de un nuevo vertedero en Cataluña debe afrontar una enorme contestación social. Para los responsables y expertos en gestión de residuos existe una desproporción aparente entre la gravedad objetiva del problema de los residuos (elevada) y la percepción social del mismo (escasa y poco solidaria), lo que les lleva a atribuir la responsabilidad de sus sucesivos fracasos a la propia población: efecto NIMBY (*Not in My BackYard*) o SPAN («Sí Pero Aquí No»). Sin embargo, en un estudio reciente el 77,6 por ciento de la población catalana consideraba que la gestión de residuos tiene una

(*) Este artículo es el resumen del trabajo presentado a la Fundación MAPFRE como resultado final de la investigación desarrollada durante el año 2001 a raíz de una beca concedida por la Fundación en la Convocatoria 2000-2001.

gran relevancia social, y el 83 por ciento afirmaba conocer las diferencias entre el típico «vertedero» sin control y el nuevo concepto/paradigma de depósito controlado de residuos (DCR). Además, la propia población encuestada priorizaba los factores que contribuyen al rechazo social de nuevos vertederos: 1) ausencia de información sobre la necesidad y el impacto potencial de los mismos; 2) ausencia de garantías sobre el control de los riesgos una vez construidos; 3) ausencia de comunicación Administración-población antes de la decisión sobre el emplazamiento, y 4) falta de credibilidad de los estudios técnicos que se llevan a cabo (Cid Montañés, 1999).

Por otra parte, la teoría de la percepción de olores indica que es la forma química de la molécula, y no su composición, la que estimula los receptores de la mucosa olfativa, y por ello, la complejidad que representa su determinación es debida, por una parte, a su percepción subjetiva, dado que las molestias están condicionadas por la sensibilidad de la persona expuesta, por su salud y por su capacidad de discernimiento olfativo, y por otra, a que, en general, los olores son una mezcla de sustancias con potencial odorígeno de las que no se conocen en la mayoría de situaciones sus posibles efectos sinérgicos, compensatorios, aditivos, etc. Un olor se convertirá en molestia para una comunidad cuando interfiera en la calidad de vida o bienestar de un número razonable de residentes. Sin embargo, y aunque parezca paradójico, no existe legislación específica europea o nacional al respecto, sea de *tipo procedimental* (pasos a seguir para obtener una licencia administrativa con la finalidad de ejercer y mantener una determinada actividad) o de *tipo sustantivo* (reguladora de la actividad concreta una vez obtenida la licencia). De entre las primeras, solamente Baleares (Decreto 18/1996, de 8 de febrero, anexos A y C) y Valencia (Decreto 54/1990, de 26 de marzo, anexo II) hacen referencia a las medidas correctoras y aislantes que las actividades que provoquen olores desagradables tienen que adoptar en función de su intensidad (Gallardo, 2001).

En Cataluña, los olores quedan encuadrados en la Ley 22/83, de 21 de noviembre, de protección del ambiente atmosférico, modificada sustancialmente por la Ley 6/96 de 18 de junio, la cual fue desarrollada dentro del ámbito reglamentario del Decreto 322/87, de 23 de septiembre. Ambas normas se corresponden con las de ámbito estatal: Ley 38/72 de protección del ambiente atmosférico, y su correspon-



diente Reglamento, el Decreto 833/75. Todas ellas precisan de una profunda revisión dado que han quedado básicamente obsoletas.

Metodologías para la determinación de olores

Cuando el objetivo es determinar la toxicidad o el potencial riesgo para la salud humana, la metodología básica

para la determinación de los perfiles de emisión de COVs es el análisis químico, mientras que cuando se trata de determinar «sólo» los olores, la primera se puede complementar con el análisis sensorial. La técnica analítica cromatografía de gases-espectrometría de masas (CG-EM) es la más utilizada y para la que existen métodos analíticos recomendados (NIOSH, 1996; Woolfenden, 1997; USEPA, 1999), ya que permite en muchos casos no sólo identificar a los COVs responsables de los olores y cuantificar sus niveles de emisión e inmisión sino también evaluar los posibles riesgos ambientales y para la salud humana de compuestos tóxicos sin olor (Roca *et al.*, 2000). El análisis sensorial se lleva a cabo mediante la olfatometría, la cual permite, hasta cierto límite, establecer una relación entre la fuente emisora y el efecto ambiental producido, incluyendo en el análisis las sinergias y antagonismos entre COVs. La metodología se basa en establecer mediante un panel de personas y con la ayuda de un olfatómetro el número de diluciones con aire limpio que son necesarias para no superar la dosis media efectiva (ED_{50}).

Actualmente, cualquier proyecto de instalación de un nuevo vertedero en Cataluña debe afrontar una enorme contestación social.

Validez de las metodologías de determinación de olores

Un buen número de los pocos estudios de olores realizados en España consideran a la olfatometría como la mejor técnica disponible frente a: a) los estudios de percepción social de olores, y b) los estudios basados en análisis químicos. Ello se justifica, en-

tre otros, en un supuesto menor coste económico y en una supuesta capacidad de integrar en un valor único (por cierto, definido en base a una escala consensuada por un panel no representativo de la población afectada) la complejidad de las mezclas de COVs que producen los olores.

Además, en la mayoría de estos estudios se critica la utilidad de las dos técnicas alternativas mencionadas, argumentando en el primer caso que las personas afectadas por olores no son objetivas (aunque sí son representativas) a la hora de relacionar olores con molestia, y en el segundo caso, que los límites de detección instrumental no permiten detectar todos los COVs con potencial odorígeno (Cortada *et al.*, 1996; Valor *et al.*, 1996; Valor *et al.* 2001). En este trabajo se postula que todas las técnicas mencionadas, además de los estudios de modelización de la dispersión de olores y los estudios con narices electrónicas, son complementarias (Leach *et al.*, 1999; Smet *et al.*, 1999; Roca *et al.*, 2000).

Olores y vertederos

Es un hecho contrastado que los olores desagradables constituyen actualmente una de las principales problemáticas de la implantación de instalaciones de tratamiento de residuos (ITRs), puesto que son innumerables las quejas que se registran en el entorno de cualquier instalación existente. Estas molestias continuadas pueden llegar a provocar el cierre de la misma, dado el clima de confrontación social que se llega a alcanzar. El rechazo que provoca este tipo de instalaciones en muchos colectivos, a pesar de que se les asegure su inocuidad, puede deberse al tipo de información que desde los organismos de control se les ofrece y que, a veces, se contraponen a la experiencia personal y a la percepción del problema (Zeiss, 1997).

En este sentido, Cid Montañés (1999) concluía, a partir de los resultados que se muestran en la Tabla 1 que: «el impacto ambiental clave para la aceptabilidad de un depósito controlado de residuos para la población catalana es la posible contaminación de las aguas subterráneas. Otros factores relevantes son la presencia de animales transmisores de enfermedades, la degradación del entorno y los olores desagradables. El control de este último vector de contaminación es decisivo en cualquier estrategia de comunicación para instalar nuevos

TABLA 1. Factores que influyen en la aceptabilidad de un vertedero/DCR (*).

FACTORES	DCR _{typ} %	DCR _{mu} %
Impacto visual	5,0	4,9
Nivel de ruido	5,4	5,9
Contaminación de las aguas de pozos subterráneos	36,9	21,4
Impacto sobre el entorno natural	16,4	16,9
Destrucción de zonas recreativas/históricas	6,2	6,1
Limpieza de las carreteras de acceso	3,3	3,0
Presencia de animales transmisores de enfermedades	12,2	19,3
Molestia por olores desagradables	13,0	21,5

(*) DCR_{typ}: Depósito Controlado de Residuos tóxicos y peligrosos (especiales).
DCR_{mu}: Depósito Controlado de Residuos municipales (ordinarios o urbanos).

depósitos controlados de residuos (DCRs)».

Ante el vacío legal existente, y con el fin de aportar una base de negociación objetiva para resolver o al menos reducir esta problemática, esta investigación ha desarrollado una metodología cuantitativa útil para disminuir el rechazo social a los vertederos (aunque puede aplicarse a otras ITRs u otras fuentes potenciales de molestia por olores). Los propios afectados por los supuestos olores desagradables procedentes de un vertedero han asumido la responsabilidad de responder a encuestas sobre las características descriptivas (intensidad y frecuencia) del vector ambiental (molestia por olores), y al mismo tiempo, se han encar-

gado de decidir el tiempo de toma de muestras correspondiente a lo que ellos han percibido como olores molestos provenientes del vertedero. Del análisis químico de las muestras de aire captadas y del tratamiento estadístico correspondiente se han obtenido las correspondientes correlaciones (o ausencia de ellas) entre olores percibidos y olores detectados, con lo cual se dispone de una base de datos objetiva para la futura gestión de la instalación y la minimización de los impactos sociales y ambientales derivados de ella.

REALIZACION EXPERIMENTAL

El objetivo principal del estudio era conocer la relación existente (o ausencia de ella) entre los olores percibidos por la población como una molestia y la composición química del aire respirado durante los episodios de olor desagradable para una fuente potencial como es un vertedero (o depósito controlado de residuos en su caso).

Trabajo de campo preparatorio

El estudio se ha llevado a cabo en Vacarisses (Vallès Occidental), población situada cerca de uno de los dos mayores vertederos de residuos no especiales de Catalunya, Coll Cardús. Se considera como día inicial del estudio el 19 de mayo de 2001, día en el que se mantuvo una reunión en el Ayuntamiento con representantes de las asociaciones de vecinos de zonas residenciales afectadas: Torreblanca I, La Carena Llarga y Verge de Montserrat. En ella se repartieron los formularios, se les explicó el proyecto y se estudió la posible ubicación de los captadores de olores.

La teoría de la percepción de olores indica que es la forma química de la molécula, y no su composición, la que estimula los receptores de la mucosa olfativa.

A partir de las entrevistas iniciales y del conocimiento de las asociaciones de vecinos se preparó un formulario tipo que se envió por correo electrónico al propio Ayuntamiento para facilitar la distribución de copias entre los vecinos participantes. En meses posteriores se ha seguido el mismo esquema de distribución de formularios, aunque ocasionalmente se han entregado en mano a los dos vecinos que han coordinado el reparto y recogida de los mismos. El día 30 de noviembre de 2001 se dio por finalizado el estudio. La estructura básica del formulario de olores divide cada día del mes en tres franjas horarias para evitar la presencia forzada de los vecinos en sus domicilios y que coinciden con el desayuno, comida y cena, según horario mediterráneo. La escala de intensidad de olores molestos empieza en 1 (ausencia total de olor) y acaba en 5 (olor muy desagradable), y además permite la opción de no rellenar una determinada franja horaria (ninguna opción marcada) por ausencia del vecino.

Toma de muestras

Formularios de percepción de olores

Durante el período 19 mayo a 30 noviembre de 2001 se han recogido un total de 117 formularios (10 en mayo; 16 en junio; 12 en julio; 12 en agosto; 23 en septiembre; 19 en octubre y 20 en noviembre). El vecino más próximo y el más alejado se encuentran a 1.176 y 2.423 m, respectivamente, respecto al centro del vertedero.

Muestras de aire ambiente (episodios de olor y fondos)

El sistema de toma de muestras de aire ambiente utilizado ha sido aplicado con éxito en estudios anteriores (Roca *et al.*, 2000) y consiste básicamente en el muestreo dinámico de aire a flujo constante a través de tubos multiadsorbentes, los cuales posibilitan la retención de un amplio intervalo de compuestos orgánicos volátiles (COVs). La activación de la bomba captadora se realiza mediante control remoto (radio de acción de 50 m), y el caudal de muestreo se calibra en 150 ml/min, aproximadamente, insertando el tubo mediante conexiones de Teflón (PTFE) en el captador. Existen varias versiones del mismo en función del tipo de alimentación: a) con batería autónoma de 8 h y b) mediante conexión a 220 V, o en función del tipo de muestras que se deseen: a) simples y b) duplicados. Estos dispositi-

Un buen indicador de la participación social y el interés en el estudio es el porcentaje de respuestas reales respecto a las posibles, o, en otras palabras, la frecuencia de respuestas.

vos (Figura 1) han sido diseñados y construidos en el Laboratorio del Centro del Medio Ambiente del Departamento de Ingeniería Química de la Universidad Politécnica de Catalunya (LCMA-UPC).

Análisis químicos

El objetivo de esta parte del estudio era la identificación y cuantificación de

los compuestos orgánicos volátiles (COVs) con potencial odorígeno en las muestras de aire ambiente recogidas durante los episodios de olor. La metodología de análisis ha consistido básicamente en purgar los tubos para eliminar restos de agua, desorberlos térmicamente y detectar los COVs mediante la cromatografía de gases acoplada a la espectrometría de masas (TD-CG-EM). La desorción térmica se ha llevado a cabo con el instrumento ATD-400, de la Perkin-Elmer, y el cromatógrafo de gases con detector selectivo de masas (HP 5890 Serie II-MSD 5971). El gas portador empleado ha sido He (0,5 ml/min), y la columna capilar, una DB-5 (50 m x 0,2 mm d.i. x 0,5 µm), de J&W Scientific. La programación de temperatura ha sido de 40 (1') a 230 °C (5') a 6 °C/min, y la línea de transferencia al espectrómetro de masas se ha mantenido a 200 °C. La temperatura del detector se ha mantenido en 280 °C. La adquisición de datos se ha realizado en modo de impacto electrónico (EI) a 70 eV y con un barrido de masas (SCAN) de 30-400 a.m.u.

Cada compuesto identificado positivamente en las muestras se ha cuantificado en función del factor de respuesta del patrón más parecido químicamente mediante la técnica del patrón externo. Los patrones utilizados son de elevada pureza (mezclas preparadas por Supelco) y pertenecen a un amplio intervalo de familias químicas: organoclorados, organonitrogenados, hidrocarburos aromáti-

FIGURA 1. Detalle del captador por control remoto de COVs.



cos, alcoholes, éteres, cetonas y ésteres.

Los límites de detección de los COVs dependen del volumen de muestra y varían entre 0,05 y 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Roca *et al.*, 2000) y entre 0,1 y 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para los COVs de origen biogénico (Cid Montañés, 1999; Sabillón y Cremades, 2001; Cid Montañés, 2002). Sin embargo, el espectrómetro de masas utilizado en este trabajo (cuadrupolo simple) tiene una sensibilidad 100-1000 veces menor a la que se puede obtener hoy en día con instrumentos más modernos (trampa de iones, triple cuadrupolo, etc.).

En la Figura 2 se presentan tres cromatogramas TD-CG-EM representativos de un episodio de olor (episodio 3), un fondo en día laborable y un fondo en día festivo (representa la calidad del aire óptima para la zona), respectivamente. Es precisamente con muestras complejas, como las presentadas en la figura, cuando la técnica analítica CG-EM demuestra su plena vigencia y potencial frente a las críticas del sector de los «olfatometristas», dado su excelente poder de resolución de los COVs coeluidos.

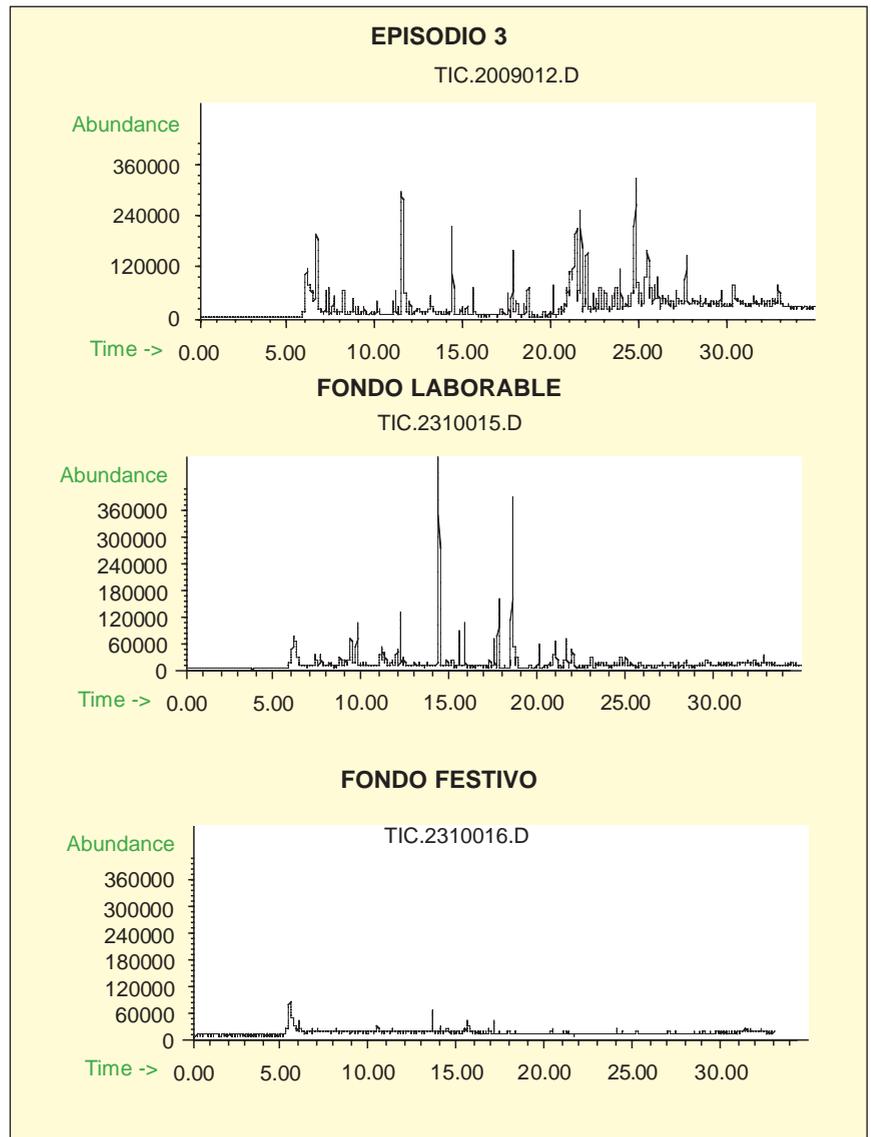
Condiciones meteorológicas

Es obvio que la meteorología y, en concreto, la dirección del viento influyen decisivamente en la percepción de los olores provenientes de cualquier fuente emisora, por lo que es fundamental caracterizarla correctamente. El segundo factor en orden de importancia es la velocidad del viento, ya que a mayor velocidad se produce una dilución mayor de la pluma odorífera, y por tanto, disminuye su percepción, pero, por otro lado, a mayor velocidad se reduce también el tiempo de posible degradación química y fotoquímica entre la fuente y el receptor. Finalmente, el aumento de la humedad relativa conlleva también una dilución del olor, aunque aumenta el tiempo de percepción del mismo.

Los datos meteorológicos utilizados en este estudio han sido proporcionados por el Servicio Catalán de Meteorología (SMC) a través de la base de datos disponible en Internet para la estación meteorológica de Vacarisses. Dicha estación fue instalada en 1996, se encuentra a 343 m de altitud, con unas coordenadas UTM: 409643(X) y 4605295 (Y), y posee una orientación N-S. Además, se encuentra al lado de una EDAR, que recoge los vertidos de un polígono industrial cercano.

Las variables que se miden en continuo y de las que se dispone de los

FIGURA 2. Cromatogramas TD-CG-EM de las muestras de aire (episodio y fondos).



promedios semihorarios, contados a partir de la hora indicada en tiempo universal (T.U.), son: temperatura (**T**) en $^{\circ}\text{C}$, dirección del viento (**DV**) en $^{\circ}$, velocidad del viento (**V**) en m/s, humedad relativa (**H**) en tanto por ciento, presión atmosférica (**P**) en kPa, radiación solar (**R**) en W/m^2 y precipitación (**PRE**) en mm. La dirección del viento semihoraria es el resultado de realizar la media vectorial de los valores instantáneos y la precipitación semihoraria es la acumulada en treinta minutos.

Dado que el período de toma de muestras de los formularios era de ocho horas, tres veces al día, se han calculado los promedios cada ocho horas para poder, entre otros, calcular otra variable importante: la frecuencia de la dirección del viento predominante (**FRE**) en tanto por ciento. Por cues-

tiones prácticas, al período 1:00-9:00 se le ha asignado el código MANANA; al período 9:00-17:00, el código DIA, y al período 17:00-1:00 del día siguiente, el código NOCHE.

Con los promedios cada ocho horas (16 medidas semihorarias) se han calculado las rosas de viento mensuales para poder visualizar mejor la distribución de frecuencias de la dirección del viento. Después de revisar y corregir manualmente los datos erróneos, se han considerado ocho direcciones principales, sin distinción de velocidades, dado que no se pretendía obtener la matriz de dispersión. En algunos casos han coincidido los porcentajes calculados para más de una dirección del viento, por lo que la asignación de la dirección predominante se ha realizado en esos casos aleatoriamente, con

el fin de no favorecer ninguna dirección concreta.

Tratamiento estadístico

Las respuestas obtenidas con los formularios durante los siete meses aproximadamente que ha durado el estudio se han utilizado para calcular y estimar diversos coeficientes e índices de olores, así como sus relaciones con variables ambientales y/o químicas. Para ello ha sido necesario calcular diferentes promedios en función del período del día considerado, del día de la semana, de la zona geográfica, etc. Como criterio general, sólo se han considerado válidos aquellos formularios que presentaban al menos el 10 por ciento de las respuestas posibles.

El Índice de Molestia de Olores (IMO) es un indicador de la molestia por olores, que varía de 0 (ninguna persona afectada) a 100 (todas las personas afectadas) y se calcula asignando en primer lugar, y para un período de tiempo determinado (período del día, día, semana, etc.), un peso estadístico arbitrario a cada valor de la intensidad de olor de los formularios:

Formulario	%
1	0
2	25
3	50
4	75
5	100

Posteriormente se suman los productos del número de respuestas de cada intensidad de olor por su peso correspondiente y se divide entre el número total de personas que han respondido (cuando no se ha rellenado el formulario se asigna el valor de intensidad de olor 0). Se ha calculado también el Índice de Molestia de Olores Ponderado (INOLAJUS) a partir de los coeficientes de ajuste (o pesos estadísticos) para cada participante y para cada período del día (mañana, día y noche). Estos coeficientes de ajuste individuales ponderan la participación mensual con respecto al total de participantes de ese mismo período con la finalidad de no atribuir un peso estadístico excesivo a los participantes con menores frecuencias de respuesta a los formularios. Posteriormente se calculan los promedios ponderados multiplicando cada respuesta del formulario por su correspondiente coeficiente de ajuste

y dividiendo entre la suma de los coeficientes de ajuste para todos los participantes en un período determinado. De este modo, el INOLAJUS es un indicador de la molestia de olores normalizado que varía de 0 a 1.

Con los valores del INOLAJUS y con la dirección del viento predominante para cada período de ocho horas se han determinado gráficamente las rosas de percepción de olores mensuales correspondientes para observar mejor la relación existente (ausencia de ella) entre los olores percibidos y la dirección del viento predominante. Por otra parte, disponer de un sistema de captación de los episodios de olor en tiempo real ha permitido relacionar el IMO diario con cada episodio o nivel de fondo y determinar cuantitativamente la relación existente entre la intensidad de olor y la composición química de las muestras de inmisión.

Para obtener los valores correspondientes a los umbrales de olor de los distintos COVs identificados en las muestras de aire se han utilizado diversas fuentes bibliográficas primarias y secundarias que han sido escrutadas y priorizadas en función de la calidad del trabajo experimental realizado para su determinación. El agrupamiento por familias químicas de los COVs detectados ha permitido comparar los niveles de inmisión medidos con los umbrales de olor disponibles, así como con los niveles aceptables de molestia por olores de otros países, como Holanda, Alemania y Australia, dado que no existen normas españolas al respecto. Se han calculado también las correlaciones no paramétricas (Spearman) entre los índices de molestia de olores y las variables meteorológicas con el fin de evaluar el grado de asociación existente entre ellas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las ventajas que presenta la metodología de los formularios con respecto a otras, en el caso de una única fuente potencial de olores, son: 1) todos los participantes trabajan con una escala definida y clara para expresar el grado de molestia experimentado; 2) la molestia que se registra se basa únicamente en la experiencia inmediata de los participantes, sin tener que recurrir a la memoria de incidentes lejanos en el pasado (de objetividad dudosa), y 3) el período de tiempo para las observaciones lo define el investigador responsable del estudio y se puede relacionar con los niveles de ciertos compuestos químicos, así como con las condiciones meteorológicas.

Participación social y formularios de percepción de olores

Durante el período de estudio se han recogido un total de 117 formularios, de los cuales se han eliminado 12 por no cumplir el criterio mínimo del 10 por ciento de respuestas válidas, con lo que la base de datos completa contiene más de 9.000 respuestas. Un buen indicador de la participación social y el interés en el estudio es el porcentaje de respuestas reales respecto a las posibles, o en otras palabras, la frecuencia de respuestas. En la Tabla 2 se presenta este indicador para cada mes y período del día, observándose una tendencia global creciente lo que demuestra el gran interés que ha suscitado el estudio.

Se observa asimismo una mejora significativa de los valores globales de la frecuencia de respuestas para los períodos MAÑANA y DIA a partir del mes de septiembre, aproximadamente tres meses después de haber iniciado el estudio, lo cual se corresponde con un período de autoentrenamiento de los propios participantes. La frecuencia máxima (93,8 por ciento) se ha alcanzado en el mes de noviembre en el período NOCHE.

En la Tabla 3 se presentan las frecuencias de intensidad de olor globales para cada período del día, observándose la máxima detección de olores molestos para todas las intensidades (de 2 a 5) en el período denominado NOCHE y la mínima durante el período MAÑANA (ausencia de exposición mientras la población está durmiendo). Asimismo se observa que durante una gran parte del tiempo (59,2 por ciento en promedio) no hay olores molestos en la zona de estudio.

Medidas químicas y meteorología

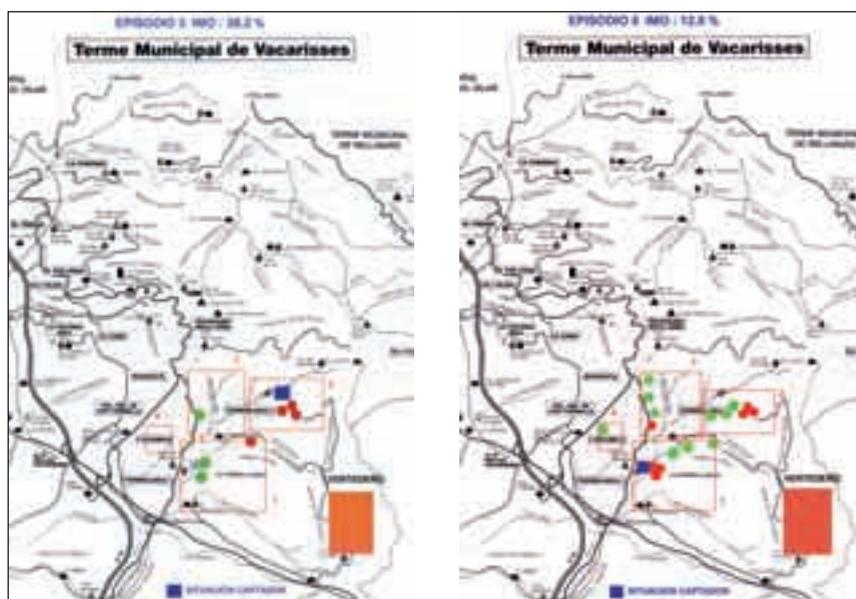
En la Figura 3 se presentan los mapas de percepción de olores molestos para dos episodios (3 y 5) correspondientes a las dos localizaciones (vecinos) donde se ha instalado el captador de COVs (■). Se indican con (●) aquellos vecinos que se encontraban en casa, pero no detectaron ningún olor molesto, y con (●) aquellos que sí detectaron alguno (intensidad > 1) en el momento de producirse el episodio o durante el período de ocho horas correspondiente. De ellos puede inferirse, por ejemplo, que para el episodio 3 casi un 70 por ciento de los vecinos perciben una molestia (intensidad variable), mientras que para el episodio 5 es de un 30 por ciento aproximadamente.

En la Figura 4 se presentan para todos los episodios de olor registrados las superaciones de los umbrales de olor correspondientes a tres COVs escogidos: un ácido carboxílico, un alcohol y un aldehído.

La dirección del viento predominante durante el período 19-V-2001 a 30-XI-2001 ha sido la componente sur (S) de mayo a septiembre, seguida de la sureste (SE) de junio a septiembre, mientras que para octubre la predominante ha sido la noroeste (NW), seguida de la sur. Finalmente, para noviembre la dirección del viento predominante ha sido la norte (N) seguida de la noroeste (NW). En la Figura 5 se presentan conjuntamente la rosa de vientos y la rosa de percepción de olores para el mes de agosto, las cuales nos permiten observar visualmente su grado de correlación.

Las correlaciones estadísticas (no paramétricas-Rho de Spearman) entre los índices de molestia global (IMO e INOLAJUS) y las variables meteorológicas estudiadas son muy significativas (99 por ciento) con **T** y **R** y significativas (95 por ciento) con la **H** (negativa) para el IMO y con la **H** (negativa) y la **P** para el INOLAJUS.

FIGURA 3. Mapas de percepción de los episodios de olor.



Relaciones entre las medidas y la percepción social

En la Figura 6 se presenta la relación entre el IMO diario global y los

episodios de olor (→) y las muestras de aire de fondo (↔). De forma sorprendente se comprueba que los cuatro primeros episodios (zona 2) coinciden con el IMO máximo del mes respectivo, lo cual valida plenamente al vecino encargado de activar el captador de COVs, dado que ha sabido discriminar entre muchos episodios de molestia comparable. El episodio 5 ha sido recogido por otro vecino (zona 1) y no corresponde al IMO máximo del mes de referencia debido probablemente a su proximidad a otra fuente potencial de olores: un polígono industrial que se encuentra situado a la izquierda del punto 4 (como se puede apreciar en la Figura 3). Asimismo se observa que la muestra de aire de fondo del día festivo presenta un IMO muy bajo (5 por ciento), pero la del día laborable presenta un IMO del 15 por ciento, superior incluso al del episodio 5 (12,5 por ciento), lo cual confirma la existencia para las zonas 1 y 4 de otra fuente de olores: el polígono industrial de Can Torrella.

Por otra parte, con el fin de obtener una idea aproximada del grado de molestia global y del porcentaje de superación (días al año) de los niveles de molestia de olores que se consideran aceptables en otros países se han representado los correspondientes a:

Alemania (10 por ciento), Holanda (12 por ciento) y Australia-Nueva Zelanda (15 por ciento)

De los ciento noventa y seis días que ha durado el período de estudio, en Vacarisses se han superado ochenta y seis días los niveles aceptables de Alemania (44 por ciento), se-

TABLA 2. Frecuencia global (%) de respuestas a los formularios.

MES	MAÑANA 1:00-9:00	DIA 9:00-17:00	NOCHE 17:00-1:00
Mayo	21,5	20,8	55,4
Junio	46,3	67,7	64
Julio	40,1	51,9	81,5
Agosto	46,6	47,6	74,9
Septiembre	76,5	75,9	79,8
Octubre	91,0	84,6	87,3
Noviembre	91,2	92	93,8
Global	68,4	70,8	81,0

TABLA 3. Frecuencias globales (%) de la intensidad de olor .

Intensidad de olor	MAÑANA 1:00-9:00		DIA 9:00-17:00		NOCHE 17:00-1:00	
Código (*)	n (**)	%	n	%	n	%
1	1912	63,2	1765	58,4	1697	56,1
2	99	3,3	179	5,9	251	8,3
3	34	1,1	98	3,2	204	6,7
4	8	0,3	52	1,7	169	5,6
5	16	0,5	47	1,6	128	4,2

(*) Los códigos numéricos se corresponden con los del formulario utilizado (Anexo 7.2)

(**) n corresponde a la frecuencia absoluta de casos sobre un total de 3.024 casos posibles para cada período.

senta y cinco días los de Holanda (34 por ciento) y cincuenta y tres días los de Australia-Nueva Zelanda (27 por ciento), lo cual indica claramente la necesidad de reducir los niveles de molestia de olores de la zona, dado que superan con creces todos los niveles de referencia, determinados en su mayor parte en zonas de fuerte implantación industrial.

La relación entre la molestia por olores (IMO) individual y la distancia de cada vecino que ha participado al menos tres meses con sus formularios de percepción validados (50 por ciento del período de estudio) al centro geométrico del vertedero indica que el nivel de molestia de olores sólo alcanza niveles aceptables (IMO < 10 por ciento) a partir de distancias superiores a 2.000 m respecto al vertedero de Coll Cardús.

Estrategias de actuación futura

No se ha podido conseguir información fidedigna sobre las operaciones concretas que se estaban realizando en el vertedero en el momento de producirse los episodios de olor ni sobre las características reales de los residuos depositados, por lo que no es posible afirmar por el momento que el vertedero sea la única fuente emisora responsable de los olores en todas las zonas (1 a 4), ya que existe en las cercanías otra fuente emisora de olores potencial: el polígono industrial de Can Torrella. En base a los resultados obtenidos en este estudio, parece, pues, oportuno y conveniente establecer sistemas de vigilancia y control de las emisiones de olor en vertederos que combinen las medidas directas (sistemas convencionales de olfatometría y análisis químico) e indirectas (teledetección y análisis de imágenes) con los formularios de percepción social y los modelos de dispersión de olores (adaptados a la escala y topografía locales). Otras medidas posibles serían:

- 1) Adoptar criterios de control de olores y emisiones de COVs tóxicos que tengan en cuenta las particularidades de la exposición a dichos contaminantes y la topografía de la zona concreta afectada.
- 2) Adaptar criterios o normas de calidad del aire internacionalmente reconocidos cuando no se disponga de normativa propia.
- 3) Adaptar los modelos de dispersión generalmente utilizados para áreas muy extensas a las singularidades de cada zona afectada, incluyendo un módulo de percepción social asociado a los niveles de emisión (modelo austriaco).

FIGURA 4. Superación de los umbrales de olor de varios COVs.

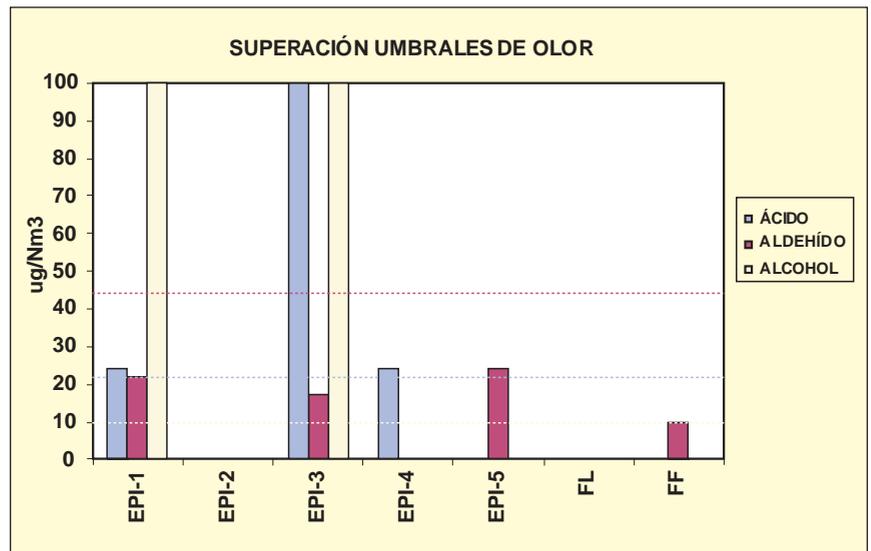


FIGURA 5. Ejemplo de rosa de vientos y rosa de percepción de olores molestos (agosto 2001).

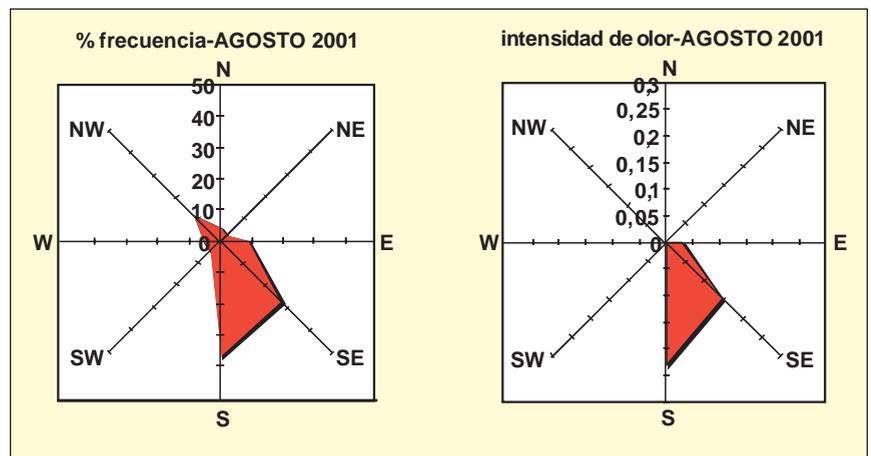
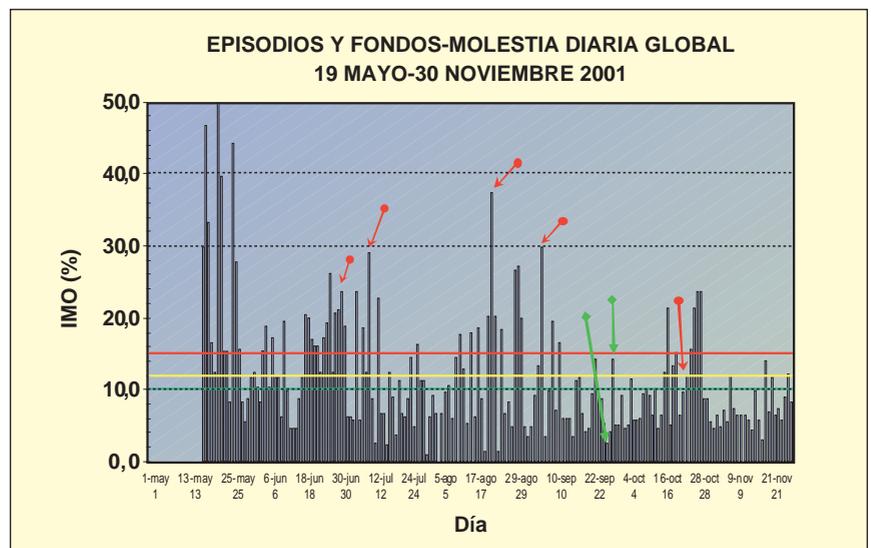


FIGURA 6. Relaciones entre los episodios de olor y su percepción social.



Con la metodología desarrollada en este trabajo (o similares) todos los actores implicados: industriales y gestores de residuos, Administraciones municipales y autonómicas y poblaciones afectadas, disponen de un base objetiva y **barata** de negociación para la futura gestión, tanto de la actividad como de la minimización de las molestias derivadas de la misma. Previamente, sin embargo, debería validarse la metodología para otras fuentes de olores y otras poblaciones afectadas. La inexistencia de legislación española específica sobre olores es, por tanto, una cuestión meramente política que se justifica erróneamente en la subjetividad de la percepción de los olores y en supuestos conflictos competenciales entre administraciones.

CONCLUSIONES

En este trabajo se ha demostrado la existencia de una relación entre los olores molestos percibidos por la población y la composición química del aire respirado en los diferentes episodios de olor detectados, por lo que el objetivo principal del trabajo se ha cumplido plenamente.

La metodología desarrollada, siguiendo los principios básicos del método científico, permite entre otros:

- Controlar la intensidad y el grado de molestia real de los episodios de olor
- Determinar con rigurosidad si las quejas relacionadas con los olores molestos son inciertas o, por el contrario, tienen una base fundada (niveles de inmisión de COVs superiores a los umbrales de olor).
- Delimitar el alcance geográfico y direccional real de la molestia de olores percibida por la población afectada.
- Establecer relaciones predictivas simples y de bajo coste para su futura utilización en un sistema de gestión de depósitos controlados sostenible, tanto ambiental como socialmente.
- Aplicarla a otras poblaciones u otras fuentes potenciales de olores molestos.

La participación e interés creciente de los vecinos de Vacarisses en el estudio puede calificarse como sobresaliente si se tienen en cuenta las tasas de erosión de la participación que hasta ahora se consideraban como normales (estudios similares realizados en otros países). Este deseo claro de implicación de los vecinos de los barrios de Torreblanca I, La Carena Llarga i Verge de Montserrat en el conocimiento real del problema (molestia de olores) y de sus posibles soluciones (gestión adecuada del vertedero) sólo es

aplicable de momento a esta población y para la fuente de olores que es el vertedero cercano de Coll Cardús, lo cual puede ser debido al entorno socio-histórico del mismo.

Un olor se convertirá en molestia para una comunidad cuando interfiera en la calidad de vida o bienestar de un número razonable de residentes.

BIBLIOGRAFÍA

- A. I. H. A. (1989): «Odor thresholds for chemicals with established health standards», *AIHA Press*.
- AITKEN, M. D. y OKUN, M. F. (1992): «Quantification of wastewater odors by the affected public», *Wat. Environ. Res.*, 64, 720-727.
- AMOORE, J. y HAUTALA, E. (1983): «Odor as an aid to chemical safety: odor thresholds compared with threshold limit values and volatilities for 214 industrial chemicals in air and water dilution», *J. Appl. Toxicol.*, 3, 272-290.
- CID MONTAÑÉS, J. F. (1999): «Informe Final del Contrato de Reincorporación de Doctores a España 1996-1998 asociado al proyecto CICYT AMB95-0417: Identificación y medida de las emisiones de contaminantes atmosféricos de origen biogénico terrestre típicas de un área mediterránea, noviembre 1999, Terrassa (Barcelona)».
- CID MONTAÑÉS, J. F. (1999): «Guía para la instalación de vertederos socialmente aceptables». *Memoria Final Acción IDE*, (61 pp).
- CID MONTAÑÉS, J. F. (2002): «Field sampling and analytical variability of biogenic terpene emissions» (enviado para publicación).
- CORTADA, C.; VALOR, I. y BAENA, A. (1996): «La olfometría como solución a los problemas medioambientales de olores». *Conferencia Anual ATEGRUS 1996 «Calidad, medio ambiente y gestión de residuos en una sociedad sostenible»*, 159-163.
- GALLARDO, L. (2001): «La regulación jurídica de los olores». En «*Les Olores*» SAM nº 6; *Monográfico de la Diputación de Barcelona* (en catalán).
- H. M. I. P. (1995): «The categorisation of Volatile Organic Compounds. Department of the Environment». *HMIP Commissioned Research*. Wales, UK.
- KÖSTER, E. P. (1991): «Tonalité affective et maîtrise de la pollution odorante». En: *Odeurs et désodorisation dans l'environnement*. TEC& DOC Lavoisier, París.
- LEACH, J.; BLANCH, A. Y BIANCHI, A. C. (1999): «Volatile organic compounds in an urban airborne environment adjacent to a municipal incinerator, waste collection centre and sewage treatment plant». *Atmos. Environ.*, 33, 4309-4325.
- MIEDEMA, H. M. E. y HAM, J. M. (1988): «Odour annoyance in residential areas». *Atmos. Environ.*, 22, 2501-2507.
- N. I. O. S. H. (1996): «Volatile Organic Compounds (screening)-Method 2549». En *NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM)*, Fourth Edition, 15 may 1996.
- QUÉRE, S.; PERRIN, M. L.; HUCHET, N.; DLMAS, V. y LEDENVIC, P. (1994): «Odour annoyance in industrial zones of the river Seine estuary». En: *Characterization and Control of Odours and VOC in the Process Industries, Studies In Environmental Science*, 61, pp 127-136, Elsevier Science.
- Roca, X.; Folch, J.; Corrachaga, A.; Cremades, L. V. y Cid, J. F. (2000): «Control de olores industriales en áreas urbanas. Diseño de un sistema de detección». *Ingeniería Química*, 367, abril 2000, 189-194.
- SABILLÓN, D. y CREMADES, L. (2001): «Diurnal and seasonal variation of monoterpene emission rates for two typical Mediterranean species (Pinus pinea and Quercus ilex) from field measurements-relationship with temperature and PAR». *Atmos. Environ.*, 35, 4419-4431.
- SMET, E.; VAN LANGENHOVE, H. y DE BO, I. (1999): «The emission of volatile compounds during the aerobic and the combined anaerobic/aerobic composting of bio-waste». *Atmos. Environ.*, 33, 1295-1303.
- U. S. EPA (1999): «Determination of Volatile Organic Compounds in Ambient Air using Active Sampling onto Sorbent Tubes-Method TO17. Addendum to Compendium of Methods for the Determination of Toxic Organic Compounds in Ambient Air. Second Edition. EPA/625/R-96/010b». *Environmental Protection Agency, Atmospheric Research and Exposure Assessment Laboratory, Research, Triangle Park, NC*.
- VALOR, I.; CORTADA, E.; URIBARRI, E. Y SUAREZ, C. (1996): «Diagnóstico y soluciones a los problemas de olores en la EDAR de Monte Orgegia (Alicante) mediante técnicas de olfometría». *Residuos*, 31, 28-34.
- VALOR, I.; MARTÍNEZ, J. V.; CORTADA, E.; URIBARRI, E.; MUÑOZ, F. Y SUÁREZ, C. (2001): «La olfometría. Control y solución a los problemas de olores». *Ingeniería Química*, 378, abril 2001, 191-196.
- VAN LANGEHOVE, H.; LOOTENS, A. Y SCHAMP, N. (1988): «Objective evaluation of an odor nuisance problem based on inquiry results». *Atmos. Environ.*, 22, 2509-2513.
- WOOLFENDEN, E. (1997): «Monitoring VOCs in air using sorbent tubes followed by thermal desorption-capillary GC analysis: summary of data and practical guidelines». *J. Air. Waste & Manage. Assoc.*, 47, 20-36.
- ZEISS, C. (1997): «The role of technical information in waste facility siting and impact management». En: *Proceedings Sardinia 97, Sixth International Landfill Symposium*. Ed. by CISA, *Environmental Sanitary Engineering Centre*, pp 115-123, Cagliari, Italy.