

CONTAMINACIÓN ODORÍFERA. ESTRATEGIAS DE ANÁLISIS DE OLORES

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

La protección del Medio Ambiente constituye en la actualidad una de las mayores preocupaciones de los estados con vistas a asegurar la salubridad y la calidad de vida de los ciudadanos. Para ello se ha elaborado en los países desarrollados, desde hace varias décadas, una extensa legislación relativa a la protección de la atmósfera, las aguas y los suelos.

En este artículo se trata sobre un caso particular de contaminación atmosférica cual es la Contaminación odorífera. Se entiende como tal el conjunto de molestias que produce en la población la presencia de malos olores en la atmósfera.

La contaminación odorífera constituye una demanda social por las causas de orden psicológico que ocasiona entre la población. Son numerosas las quejas que por este concepto se producen [1].

En el caso de la protección atmosférica - dentro de la que debe inscribirse la contaminación odorífera- en la Comunidad Europea, la Directiva 96/62/CE del Consejo, de 27 de septiembre de 1996, sobre la evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente, relaciona en su Anexo I, una larga lista de contaminantes atmosféricos que deben ser tenidos en cuenta por sus efectos nocivos para la salud, pero ninguno de ellos se caracteriza por ser contaminante odorífero. De manera análoga ha venido sucediendo en la legislación española con la Ley 38/1972. Más reciente es la Ley 7/1994 de Protección Ambiental que señala diversos contaminantes atmosféricos, pero ninguno de ellos es contaminante odorífero. Y, la más reciente aún Ley 34, de 15 de noviembre, de Calidad del Aire y Protección de la atmósfera en España, aunque deroga el antiguo Reglamento de Actividades Molestas Insalubres y Peligrosas (RAMINP), no hace ninguna mención explícita al problema de olores. En estas condiciones este antiguo reglamento se sigue aplicando de hecho en todas aquellas corporaciones que lo habían adoptado en su normativa [2]. Un ejemplo de cómo la demanda social se viene extendiendo más allá de la salud al confort, lo constituye la Ley sobre ruidos y vibraciones pero, llama la atención el hecho de que en España, si bien existe una normativa trazada en el Borrador de Anteproyecto de Ley de la Generalitat de Cataluña [3], ésta no haya sido aún elevada al rango de Ley.

El olor se define [4] como la *propiedad organoléptica perceptible por el órgano olfativo cuando se aspiran determinadas sustancias volátiles*. Estas sustancias son las que denominamos moléculas odoríferas.

Entendemos por moléculas odoríferas todas aquellas moléculas que son susceptibles de producir un olor fácilmente perceptible por el olfato humano en el medio, olor que puede ser agradable como los diversos perfumes, naturales o sintéticos, o bien desagradable como los olores emitidos por las materias putrefactas. Cada molécula odorífera presenta un olor característico.

Distinguimos entre olores simples y olores compuestos. *Olores simples son aquellos que corresponden a una sola especie molecular. Olores compuestos son los que se perciben como consecuencia de la mezcla de más de un olor simple.*

Las moléculas odoríferas se caracterizan por su alta volatilidad, por estar formadas por grupos reductores y por poseer una elevada polarizabilidad. Se dividen en tres grupos: grupo del azufre, grupo del nitrógeno y grupo del oxígeno.

Se desprenden especialmente en determinadas explotaciones industriales, agropecuarias, plantas de tratamiento de residuos y estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR). La *Tabla 1* [5] muestra las características de los principales compuestos responsables de olores en estas estaciones.

Las moléculas odoríferas se caracterizan por ser reductoras. Se forman en las zonas de las redes de saneamiento pobres en oxígeno. La falta de oxígeno viene propiciada por diseños de la red de saneamiento con codos y conducción en carga. Cuando el potencial redox es de -150 mV comienza a producirse el H₂S.

Tabla 1. Características de los principales compuestos responsables de olores en estaciones de depuración.

Clase de compuesto	Compuesto	Peso molecular (g/mol)	Fórmula química	Características del olor	Umbral olfativo (mg/Nm ³ aire)
Sulfurados	Sulfuro de hidrógeno	34,1	H ₂ S	huevos podridos	0,0001 a
	Metil mercaptano	48,1	CH ₃ SH	col, ajo	0,03
	Etil mercaptano	62,1	C ₂ H ₅ SH	col en	0,0005 a
	Dimetil sulfuro	62,13	(CH ₃) ₂ S	descomposición	0,08
	Dietil sulfuro	90,2	(C ₂ H ₅) ₂ S	legumbres en	0,0001 a
	Dimetildisulfuro	94,2	(CH ₃) ₂ S ₂	descomposición	0,03
				etéreo	0,0025 a
				pútrido	0,65
				0,0045 a	
				0,31	
				0,003 a	
				0,014	

Aminados	Amoníaco	17	NH ₃	muy picante,	0,5 a 37
	Metil amina	31,05	CH ₃ NH ₂	irritante	0,021
	Etil amina	45,08	C ₂ H ₅ NH ₂	pescado en	0,05 a
	Dimetil amina	45,08	(CH ₃) ₂ NH	descomposición	0,83
	Indol	117,5	C ₈ H ₆ NH	picante, amoniacal	0,047 a
	Escatol	131,5	C ₉ H ₈ NH	pescado podrido	0,16
	Cadaverina	102,18	NH ₂ (CH ₂) ₅ NH ₂	fecal, nauseabundo	0,0006
			fecal, nauseabundo	0,0008 a	
			carne en	0,10	
			descomposición	/	
Ácidos	Acético	60,05	CH ₃ COOH	vinagre	0,025 a
	Butírico	88,1	C ₃ H ₇ COOH	mantequilla rancia	6,5
	Valeriánico	102,13	C ₄ H ₉ COOH	sudor, transpiración	0,0004 a
				3	
				0.0008 a	
				1,3	
Aldehídos y cetonas	Formaldehido	30,03	HCHO	acre, sofocante	0.033 a
	Acetaldehído	44,05	CH ₃ CHO	fruta, manzana	12
	Butiraldehído	72,1	C ₃ H ₇ CHO	rancio	0,04 a 1,8
	Ald. isovaleriánico	86,13	(CH ₃) ₂ CHCH ₂ CHO	fruta, manzana	0,013 a
	Acetona	55,08	CH ₃ COCH ₃	fruta dulce	15
				0,072	
				1,1 a 240	

2. CAUSAS DE FORMACIÓN DE MALOS OLORES

Los malos olores se producen en condiciones anaerobias. Un paradigma de mal olor lo constituye el (H₂S)_g, tanto por su característico y fétido olor a huevos podridos como por su bajo nivel de percepción de 1 x 10⁻⁴ mg m⁻³ (concentración a la que se percibe su presencia sin que se llegue a identificar), y nivel de identificación (concentración a la que, claramente, se puede decir que se percibe precisamente el sulfuro de hidrógeno) que es de 1x10 mg m⁻³.

Los sulfuros se forman en la red de saneamiento por la conjunción de diversos factores químicos, biológicos y físicos que a menudo se complementan y crean efectos sinérgicos [6].

Entre los factores de tipo químico que originan la formación de sulfuros cabe citar, por un lado, los aminoácidos con átomos de azufre procedentes de la degradación de las proteínas

que se hallan presentes en los detritus; y por otro lado los detergentes sulfonados y, en determinadas condiciones, a veces, los sulfatos [7].

El pH es un factor importante en la generación de sulfuros determinando la especie química que se forma.

El trazado de la red de saneamiento (conducción de las aguas residuales urbanas desde su vertido hasta la estación de tratamiento) tiene una primordial influencia en la formación del sulfuro de hidrógeno, pues propician su formación los trazados que producen tiempos de retención superiores a las 2 horas, así como las conducciones en carga (Figura 1).

(Figura 1. Etapas de formación de sulfuros en las redes de saneamiento).

En estas condiciones se alcanzan potenciales redox inferiores a -150 mV, a partir de los cuales es netamente perceptible el desprendimiento de sulfuro de hidrógeno, y no sólo por su olor sino por los deterioros que, en determinadas circunstancias, es capaz de provocar en las conducciones del alcantarillado: en efecto, la evaporación del medio acuoso se condensa en la corona de la conducción y, allí, con el concurso de las bacterias sulforreductoras *Desulfovibrio* y *Desulfomaculum* se produce la reducción de los sulfatos en un intervalo de potenciales normales redox comprendido entre -200 y -300 mV. Incluso, a partir de un potencial redox de -50 mV, puede ya apreciarse el desprendimiento de malos olores asociados a la presencia de $(\text{H}_2\text{S})_g$ y sulfuros orgánicos. La Figura 2 describe el ciclo del azufre en los sistemas de saneamiento. Se llega a las formas reducidas de este elemento a partir de sus formas oxidadas (el propio azufre elemental, sulfitos y sulfatos) presentes en otros compuestos sulfurados.

(Figura 2. Ciclo del azufre en saneamiento)

En las Estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR's) se produce la emisión de malos olores en diversas etapas del tratamiento (Figura 3):

- En la obra de llegada
- En la línea de fangos

(Figura 3. Esquema de una estación depuradora de aguas residuales.)

3. ESTRATEGIAS DE ANÁLISIS DE LOS OLORES

El establecimiento de una normativa con vistas a una legislación para la prevención y tratamiento de olores pasa por la utilización de una metodología enfocada adecuadamente al análisis de olores.

Para ello se dispone en la actualidad de técnicas sensoriales y de técnicas fisicoquímicas.

3.1 Técnicas sensoriales de determinación de olores

Las técnicas sensoriales se utilizan ampliamente en la cata de alimentos como vinos, quesos aceites e incluso aguas minerales. Están normalizadas. Un caso particular de técnica sensorial lo constituye la olfatometría dinámica.

Esta técnica, que está considerada como un método objetivo [8], se basa en la intervención

de un panel humano de expertos, *evaluadores* de olores en la percepción de olores u *olfatómetras*, mediante la utilización del *olfatómetro*, aparato en el cual una muestra de gas oloroso se diluye con gas neutro en una proporción definida y se presenta a los evaluadores hasta que se alcanza el *umbral de identificación*, o concentración de olor a la cual el 50% de los evaluadores reconocen el olor en las condiciones del ensayo. Cabe distinguir entre olfatometría dinámica de emisión y olfatometría en inmisión (Figura 4).

(Figura 4. Entrenamiento y calibración de olfatómetras del Cuerpo de Policía Local del Ayuntamiento de La Coruña.)

La olfatometría dinámica de emisión, que está regulada por la norma UNE-ES 13725:2004, [x] tiene por objeto estimar la cantidad de olor. Introduce, para ello, ciertos conceptos fundamentales, como:

- **Umbral de detección para un material de referencia:** es la concentración de sustancia odorífera que tiene una probabilidad del 50% de ser detectada en las condiciones del ensayo.
- **Masa de olor de referencia europea, MORE:** es el valor de referencia aceptado para la unidad de referencia europea, igual a una masa definida de un material de referencia certificado. Un MORE es equivalente a 123 μg de n-butanol (CAS-Nr 71-36-3), que evaporado en 1 m^3 de gas neutro produce una concentración de 0,040 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$.

La utilización de una sustancia patrón de referencia permite asegurar la trazabilidad de esta metodología.

- **Unidad de olor:** es la cantidad de una mezcla de sustancias olorosas presentes en 1 m^3 de gas oloroso en condiciones normales en el umbral del panel.
- **Concentración de olor:** es el número de unidades de olor europeas por metro cúbico de gas en condiciones normales.
- **Caudal de olor:** es la cantidad de unidades de olor europeas que pasa a través de una superficie dada por unidad de tiempo. Es el producto de la concentración de olor, c_{od} , la velocidad de salida v y el área de emisión A o el producto de la concentración de olor por el caudal volumétrico, Q_v , pertinente. Su unidad es ou_Eh^{-1} o $\text{ou}_E\text{min}^{-1}$ o ou_Es^{-1} .

La olfatometría dinámica de emisión se lleva a cabo a partir de muestras de aire contaminado que se toman en las fuentes de emisión, las cuales se localizan partiendo de las quejas de la población, y llevan establecer que una determinada explotación es generadora de malos olores. Las muestras de aire contaminado se transportan al laboratorio olfatómetrico que debe reunir determinadas condiciones especificadas en la norma UNE-ES 13725: 2004 y con los datos que ellas proporcionan se establece un modelo de dispersión que permite estimar los niveles de inmisión que las fuentes de emisión producirán en una zona situada a una determinada distancia de éstas.

Los niveles de inmisión se pueden estimar asimismo por la medida de frecuencias de olor mediante la aplicación de la norma alemana VDI 3940.

Tanto si se opera con los modelos de dispersión como con la citada norma los márgenes de incertidumbre son demasiado elevados (algunos suministradores de los citados modelos la han estimado hasta en un 40%). Por esta razón se ha venido experimentando en los últimos años la *olfatometría de campo*. Esta metodología consiste en la utilización

de aparatos denominados olfatómetros de campo (Figura 5) que son manejados por expertos, seleccionados con arreglo a las especificaciones de la norma UNE 13725 que, por tal motivo, están facultados para evaluar los olores que se perciben en las zonas requeridas en tiempo real. La utilización de esta metodología, que surgió en Estados Unidos, se viene aplicando en España desde 2004 [x]. (*Figura 5. Olfatómetro de campo.*)

Dentro de este contexto es conveniente, cuando ello sea posible, comparar los resultados obtenidos en inmisión mediante las tres metodologías citadas: extrapolación de los valores obtenidos experimentalmente en emisión utilizando modelos matemáticos de dispersión; la utilización de la norma VDI; el resultado de las medidas directas mediante olfatómetros de campo.

3.2 Técnicas fisicoquímicas de análisis de moléculas odoríferas

Las técnicas fisicoquímicas se fundamentan en la Química Analítica y a su vez se pueden subdividir en técnicas clásicas y en técnicas instrumentales.

Las técnicas clásicas se aplican mediante la captación de las moléculas odoríferas con el dispositivo que se muestra en la Figura 6 y ulterior aplicación de análisis gravimétrico y volumétrico. (*Figura 6. Dispositivo de captación y concentración por absorción de moléculas odoríferas, Le Cloirec et al., 1988.*)

Las técnicas instrumentales están representadas fundamentalmente por la Cromatografía de gases que constituye la herramienta más fina para el análisis químico de las moléculas odoríferas. Mediante esta técnica se vienen identificando desde hace ya cerca de tres décadas el sulfuro de hidrógeno los mercaptanos, sulfuros orgánicos y las aminas (figura 7)

(*Figura 7. Cromatograma de compuestos odoríferos de azufre.*)

En la actualidad se ha perfeccionado el empleo de esta técnica con el acoplamiento de detectores de masas.

Sin embargo había quedado un tanto descuidado el análisis de COV hasta fechas muy recientes, 2011, en que en el Ecoparc de Barcelona, y 2012, en el de Moncada y Reixach (Barcelona) (Sánchez, G) [xi], [xii], [xiii] se han llevado a cabo los análisis de estos compuestos teniendo en cuenta que, algunos de ellos, unen propiedades altamente nocivas para la salud a su carácter de contaminantes odoríferos. *La metodología instrumental usada para el análisis cualitativo y cuantitativo de los COV fue la desorción térmica acoplada a cromatografía de gases y detección por espectrometría de masas (TD-GC-MS) y la captación dinámica con un caudal entre los 80 y 120 ml/min en tubos multilecho rellenos de adsorbentes sólidos, Carbotrap, Carbopack X y Carboxen 569. Los compuestos se identificaron cualitativamente en base a la coincidencia de los espectros de masas y las ratios de los iones calificadoros de cada compuesto usando el programa "Xcalibur 1.2 validated software packaged" con la librería de espectros de masas "NISRT05" (NIST/EPA/NIH, Mist MS Search versión 2.0 d, Abril 2005). Los COVs identificados fueron verificados, cuando eso fue posible, usando los tiempos de retención de patrones reales de COVs.*

Es preciso hacer notar que lo que se consigue con la cromatografía de gases es la separación y cuantificación de moléculas odoríferas (olores simples) pero no necesariamente la medida del efecto olfativo de una mezcla de tales moléculas con sus sinergias, interferencias e inhibiciones (olores compuestos). Para este fin es necesario recurrir a las técnicas de análisis sensorial, concretamente a la olfatometría dinámica de la que se ha tratado anteriormente.

3.3 Sensores específicos para detección del sulfuro de hidrógeno

En la última década se ha incorporado a la medida de olores en el medio ambiente el uso de sensores. Se estudian en este artículo los sensores específicos del sulfuro de hidrógeno que se pueden clasificar en tres grupos [xiv]: sensores electroquímicos, sensores de película de oro y sensores de nanotubos de carbono.

- **Sensores electroquímicos:** De entre ellos cabe destacar el sensor de Ag/Nafion por su sensibilidad de $240 \text{ kAcm}^{-2} \text{ M}^{-1}$ y su bajo límite de detección de $3,7 \times 10^{-13}$ mol que se sitúa a $3,2 \times 10^{-5}$ veces por debajo del umbral olfatométrico. Se han medido estos valores por análisis de inyección de flujo.
- **Sensores con nanotubos de carbono:** Los nanotubos de carbono (CNTc) corresponden a estados alotrópicos del carbono. Se pueden dividir en dos grupos: monocapa y multicapa. Los nanotubos de carbón multicapas, de los que se trata en este artículo, (multiwalled carbón nanotubes, MWCNTs), se han utilizado como sensores específicos para el sulfuro de hidrógeno depositando en forma de fina película sobre superficies de alúmina entre electrodos de oro prefabricados [Figura 8. Vista esquemática de un sensor basado en filmes de nanotubos de carbono multicapa (MWCNTs)].

Por otra parte, en ellos se ha conseguido imbricar sensores de Pt, Mo, del grupo CO y del grupo $\text{CONHC}_{18}\text{H}_{37}$ habiéndose conseguido unas medidas de sensibilidad de concentración de $(\text{H}_2\text{S})_g$ de 1.500 ppm. Aunque este resultado es relativamente elevado, las amplias posibilidades de combinación entre nuevas estructuras y nuevos grupos suponen un prometedor campo de investigación.

3.4 Narices electrónicas

Mediante el acoplamiento (*array*) de diversos tipos de sensores se han elaborado los dispositivos conocidos como *narices electrónicas*.

El funcionamiento de las narices electrónicas es similar al que rige al órgano olfativo humano (Figura 9. Comparación entre la nariz humana y la nariz electrónica).

En éste los olores son captados por las células olfativas receptoras que transmiten la señal al bulbo olfativo y éste, a su vez, al cortex olfativo donde quedan registradas (identificación del olor).

En las narices electrónicas se sigue un proceso análogo: los olores son captados inicialmente por la batería o matriz de sensores que transmite los datos correspondientes a un dispositivo de medida y pretratamiento de datos desde donde se comunica al dispositivo final de reconocimiento de formas. La Figura 10 muestra otra forma de explicar el principio de funcionamiento de la nariz electrónica en el que aparece una matriz de sensores y un conjunto de gases que constituyen el olor compuesto que se va a determinar. Cada uno de estos gases es reconocido por un determinado sensor de la batería, obteniéndose una firma o huella digital (digital empreint). El conjunto de señales así registradas se denomina *clase*. La clasificación de grupos de gases y de concentraciones se trata por *Análisis de Compuestos Principales* (PCA).

(Figura 10. Otro esquema del principio de funcionamiento de la nariz electrónica)

4. RESUMEN COMPARATIVO ENTRE LAS TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN Y CONTROL DE OLORES.

El Análisis Químico clásico está sujeto a las incertidumbres asociadas a las pesadas en gravimetría y a los errores de apreciación visual inherentes a las volumetrías. Su alcance se limita a la determinación del rendimiento de los sistemas de eliminación de olores [xv].

El Análisis Químico por cromatografía de gases se muestra como técnica de alta exactitud y precisión pero adolece de limitaciones para el análisis en continuo y monitorización en planta de tratamiento de aguas residuales. Los sensores electroquímicos de membrana polimérica (Naflon) con fina lámina de Ag posibilitan la determinación de niveles del orden del umbral de detección olfativa ($0.03\mu\text{g}/\text{Nm}^3$, ppb), determinados por olfatometría dinámica cuando se analizan por arrastre catódico.

Entre los sensores metálicos destaca el sensor de filme de oro que utiliza el sistema de detección específica del sulfuro de hidrógeno, Jerome. Este sistema se ha utilizado en la EDAR de San Vicente de la Barquera (Cantabria) [xvi]. Su límite de detección para el H_2S , es de 3 ppb con una incertidumbre de ± 1 ppb para una calibración con 5 ppb, que satisface los requisitos de la EPA para la detección de dicho gas. Ofrece buenos resultados unido a su sencillez. Tiene además la ventaja de permitir la elaboración de líneas isodoras, pero adolece del inconveniente de no ser apto para la determinación de NH_3 .

Los sensores de nanotubos de carbono se encuentran en fase de investigación y no se han probado para concentraciones de H_2S del orden de los límites de detección e identificación de este contaminante.

Los sensores MOX acoplados, que constituyen la mayoría de los modelos comerciales de narices electrónicas, representan una técnica en desarrollo que tiene la ventaja de posibilitar la realización de análisis de olores globales medioambientales, si bien adolecen de la limitación que supone el que no todos los olores puedan ser probados en la etapa de "aprendizaje", así como de la dispersión de resultados, muy superior a la que ofrece la cromatografía de gases con detector electroquímico (Medor) [xvii]. Por otra parte, las condiciones ambientales- temperatura y humedad- afectan de manera importante al sistema, sin que conste en la bibliografía que este problema esté resuelto.

5. CONCLUSIONES

Llegados a este punto, cabe formularse la siguiente pregunta: ¿Cuál es la técnica analítica más adecuada para la determinación de olores. Pues bien, depende del objetivo que se persiga:

Cuando se trata de medir el rendimiento de un sistema de prevención de olores en la red de saneamiento, la utilización de los tubos Dräger [xviii] es sencilla y suficientemente exacta a la vez que específica.

Si se trata de medir el rendimiento de un sistema de minimización de de olores (lavado químico, carbón activo o biodesodorización) el análisis químico es la técnica de elección resultando especialmente recomendable el empleo de aparatos detectores de H_2S por su elevada sensibilidad (ppb) y su facilidad de manejo. No consta en la bibliografía la

existencia de detectores de amoníaco. Los laboratorios de análisis de olores tienden en la actualidad en España a combinar las técnicas olfatométricas con la cromatografía de gases.

Para la determinación de olores compuestos, que es la mayor problemática que afecta a EDARs y Plantas de Tratamiento de Residuos, los requisitos de los proyectos de las grandes empresas de obras públicas están imponiendo la olfatometría dinámica. Ello a pesar de las limitaciones que afectan a las metodologías de estimación de los datos de inmisión a partir de los de emisión y a la de medidas directas con aplicación de la norma VDI 3940 en cuanto a la elevada incertidumbre de ambas, según se ha señalado anteriormente. Sin embargo, sobre estas metodologías se está fundamentando el establecimiento de una normativa específica sobre olores en las Comunidades Autónomas de España, basada en el Borrador de Anteproyecto de Ley de Cataluña. Por consiguiente, parece recomendable valorar detenidamente la alternativa de incorporar la olfatometría de campo de cara al establecimiento de una Ley sobre control y limitación y de la contaminación odorífera.

En cuanto a las narices electrónicas representan una opción válida para el seguimiento de olores en continuo y constituyen una técnica llamada a competir con la olfatometría en los próximos años.

El Cuadro 1 representa de forma esquemática los criterios de valoración para adoptar una u otra tecnología para la prevención y el control de olores.

Cuadro 1. Criterios de valoración para la elección de la técnica adecuada con vistas a la prevención y el control de olores.

Aplicación	Técnica		
	Olfatometría/Narices electrónicas	Análisis Químico Instrumental (GC)	Análisis Químico Clásico
Evaluación global de olor (Impacto ambiental)	IDONEO	INADECUADO	INVIABLE
Análisis puntuales	MUY CARO	IDONEO	IDONEO
Análisis continuo en	MUY CARO	IDONEO	INADECUADO

6. REFERENCIAS

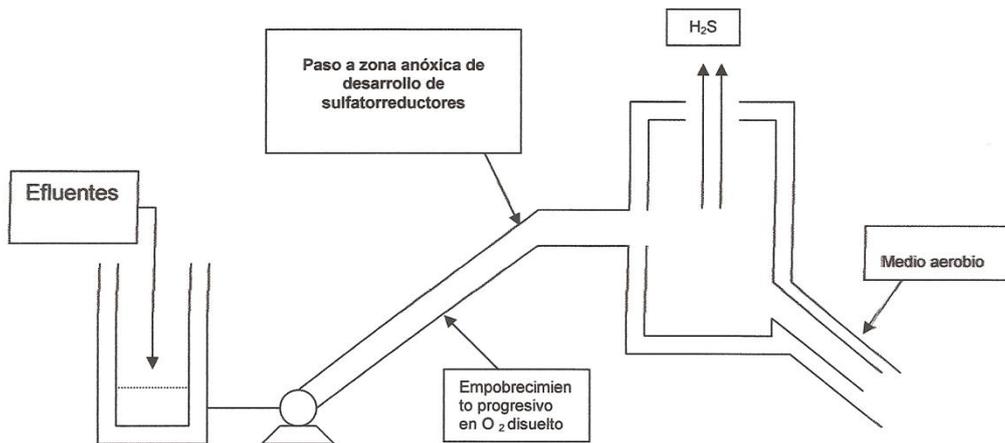


Figura 1. Etapas de formación de sulfuros en las redes de saneamiento



Figura 2. Ciclo del azufre en saneamiento.

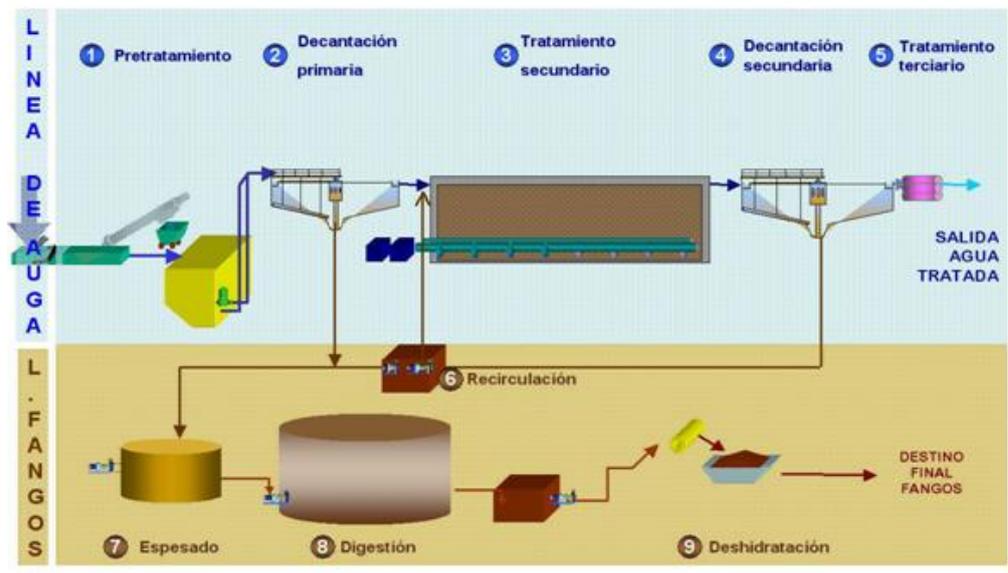


Figura 3. Esquema de una estación depuradora de aguas residuales.



Figura 4. Entrenamiento y calibración de olfatómetros del Cuerpo de Policía Local del Ayuntamiento de La Coruña.

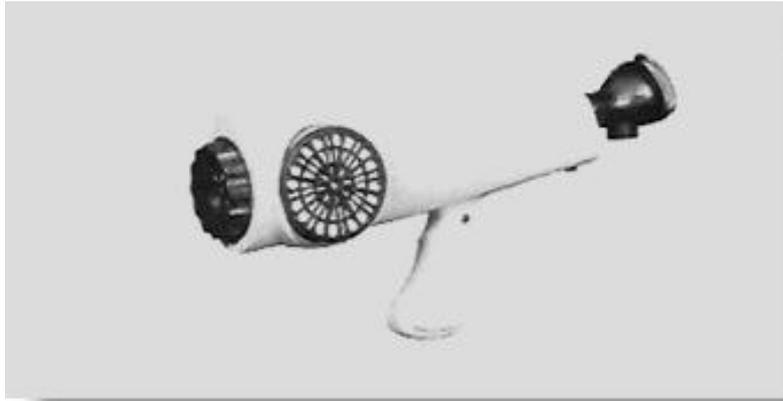


Figura 5. Olfatómetro de campo.

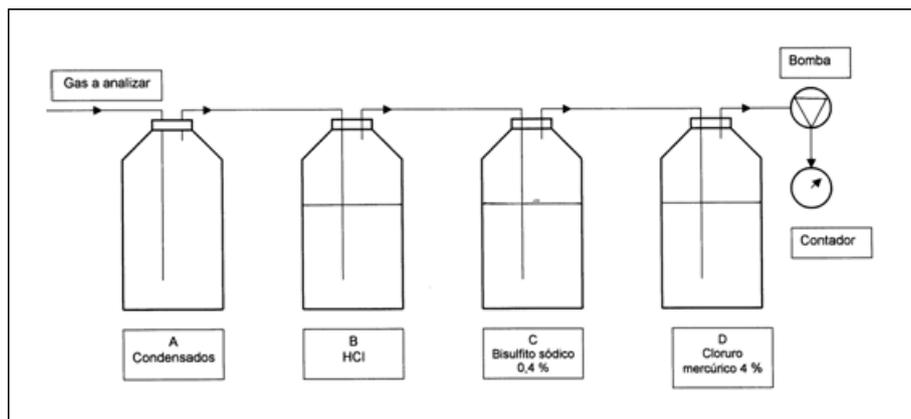


Figura 6. Dispositivo de captación y concentración por absorción de moléculas odoríferas, Le Cloirec et al., 1988.

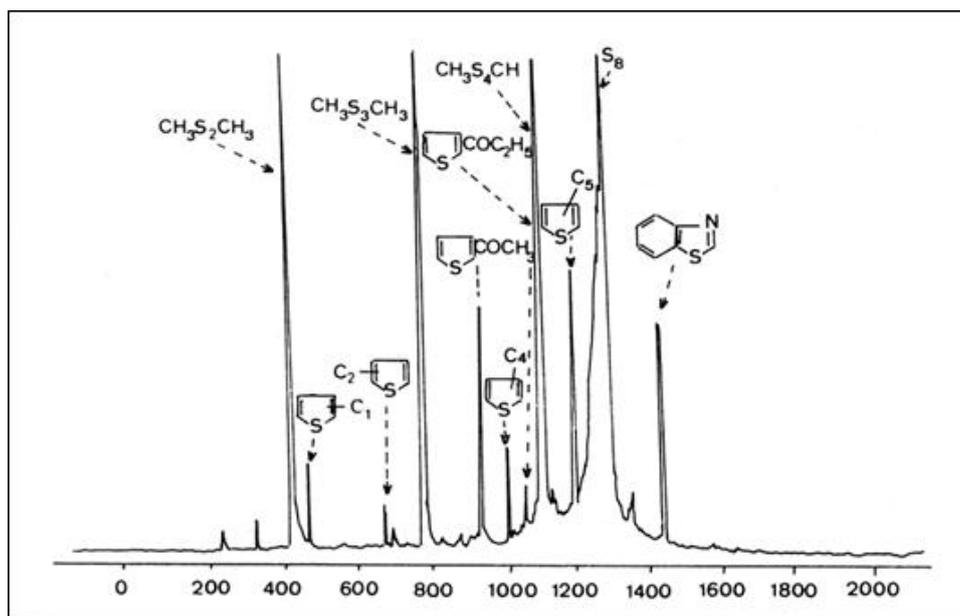


Figura 7. Cromatograma de compuestos odoríferos de azufre.

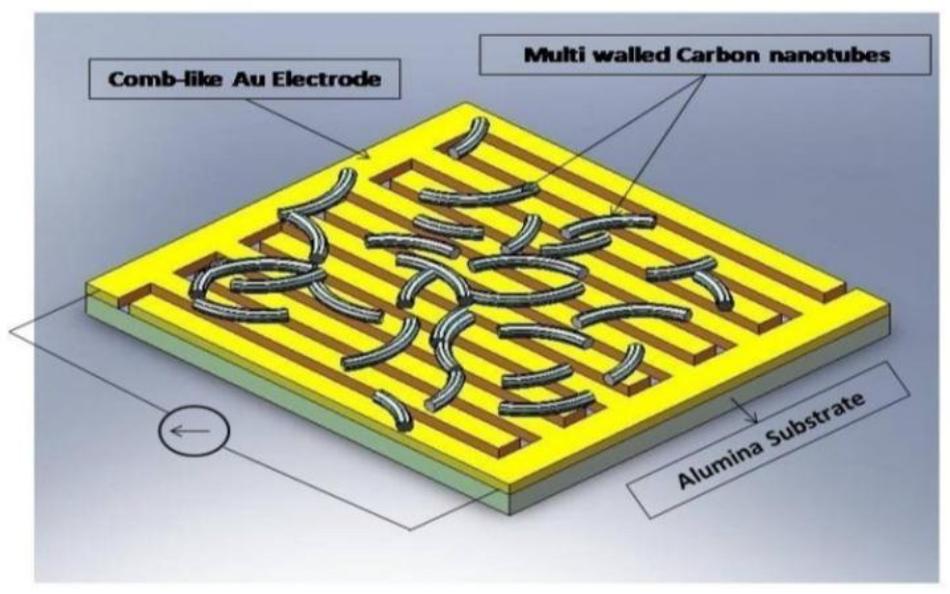


Figura 8. Vista esquemática de un sensor basado en filmes de nanotubos de carbono multicapa (MWCNTs).

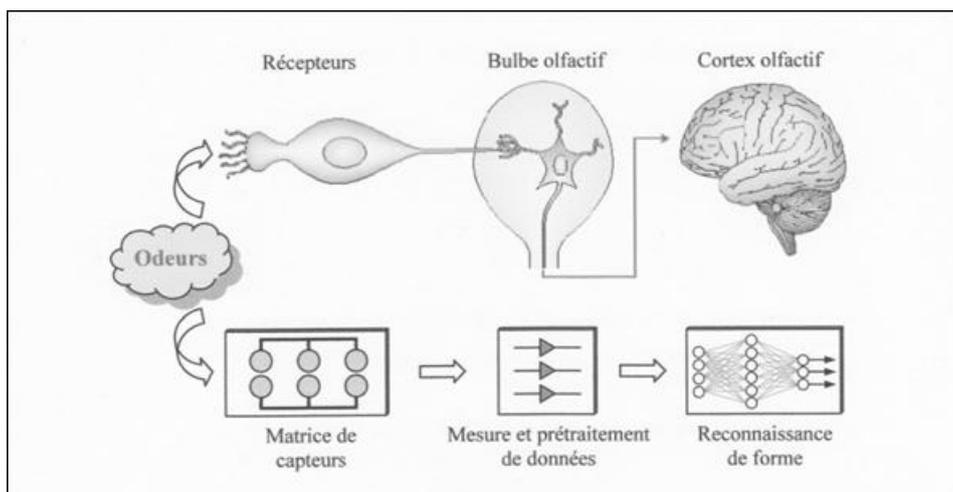


Figura 9. Comparación entre la nariz humana y la nariz electrónica.

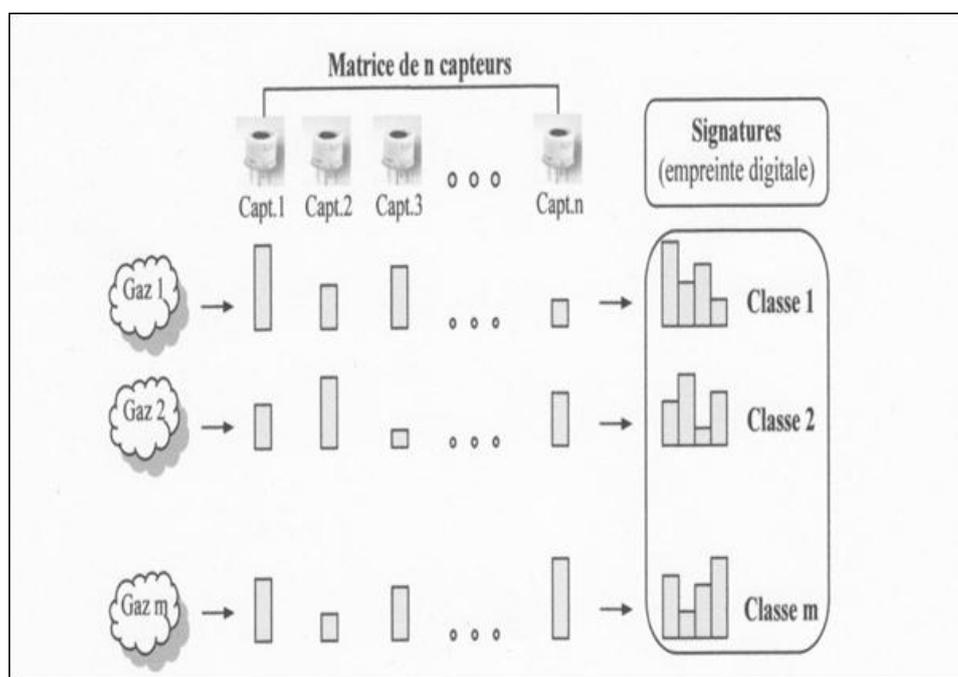


Figura 10. Otro esquema del principio de funcionamiento de la nariz electrónica.

[¹] Hernaiz, GC., *Primeras consideraciones sobre Jurisprudencia y legislación en relación con la Contaminación Odorífera*, Congreso Nacional de Medio Ambiente; Madrid 22-26 de noviembre de 2010.

[²] Iglesias, A.: *Contaminación atmosférica por olores: unas técnicas analíticas avanzadas y una legislación específica inexistente*. Enlace, Colegio y Asociación de Químicos de Madrid (2008).

-
- [³] Borrador de Anteproyecto de Ley del Departamento de Medio Ambiente de la Generalitat de Cataluña.
- [⁴] Norma UNE-EN 13725: 2004, *Calidad del aire. Determinación de la concentración de olor por olfatometría dinámica*, 3.1.40
- [⁵] Martin G.: *Odeurs et désodorisation dans l'environnement*. Tec & Doc Lavoisier, Paris, 1991.
- [⁶] Iglesias, A: *Los sulfuros en las aguas residuales. Sus efectos en la red de saneamiento. Estrategias para su eliminación*. UNED (2010)
- [⁷] Iglesias, A Ibidem
- [⁸] Norma UNE ES 13725: 2004, 3.1.40
- [^{ix}] Norma UNE ES 13725:2004.
- [^x] Cid Montañés, J: *Malos olores en aire interior y exterior: Olfatometría Dinámica de Campo*, CONAMA 11, (2012)
- [^{xi}] Sánchez, G: *Documento definitivo Grupo de Trabajo Contaminación Odorífera Conama 11*, 29, (2012).
- [^{xii}] Gallego, E., Roca, F.J; Sánchez, G: *Determinación de COV en el ambiente interior de una planta TMB y su contribución a las unidades de olor y la calidad del aire*, *Revista Residuos* (junio 2012)
- [^{xiii}] Ribes, A; Carrera, G; Gallego, E; Roca, X; Berenguer, MJ; Guardino, X: *Development and validation of a method for air-quality and nuisance odors monitoring of volatile organic compounds using multi-sorbent adsorption and gas chromatography/mass spectrometry thermal desorption system*, *Journal of Chromatography A*, **1140** 44–55 (2007).
- [^{xiv}] Iglesias, A.: *La contaminación ambiental por olores. Estrategias de análisis y eliminación de análisis y eliminación de moléculas odoríferas*. UNED (2012).
- [^{xv}] Iglesias, A Ibidem
- [^{xvi}] Castillo Alonso, E; Esteban García, A.L; Lobo García, A. *Tecnología del agua*, nr. **261**, pp 40-47 (2003)
- [^{xvii}] Iglesias, A.: Confr. 12
- [^{xviii}] Iglesias, A Confr. 2.