

Sistemas de olfato electrónico: técnicas clásicas y avanzadas

eduard llobet, Dpto. Ingeniería electrónica, grupo de sensores y olfato electrónico, universidad Rovira i virgili, avda. paisos catalans 26,43007 tarragona, España.

RESUMEN

El olfato humano continúa siendo uno de los principales instrumentos utilizados para analizar los aromas desprendidos por diversos productos industriales. Sin embargo, en los últimos 20 años se ha venido realizando un notable esfuerzo para desarrollar instrumentación electrónica capaz de imitar sus habilidades. en esta ponencia se define el concepto de sistema de olfato electrónico, se revisan las tecnologías y técnicas implicadas en su diseño y se ilustran algunas de sus principales aplicaciones. finalmente, se destacan algunos de los problemas asociados a los sistemas de olfato electrónico que serán objeto de investigación en los próximos años.

1. INTRODUCCIÓN

El sentido del olfato en los mamíferos proviene de la estimulación del

sistema olfativo por moléculas olorosas. En general, los aromas naturales se componen de centenares (incluso miles) de moléculas diferentes. El sistema olfativo humano dispone de aproximadamente un centenar de receptores diferentes (sensores químicos) que muestran sensibilidades parcialmente solapadas (cada receptor es sensible a un amplio espectro de moléculas olorosas). El número de células olfativas que poseen los humanos es del orden de cien millones y sus señales llegan al bulbo olfativo donde son procesadas por cien mil células mitrales antes de llegar al cerebro [1]. Se estima que la sensibilidad de los receptores químicos se encuentra en el margen de las partes por millón y que éstos poseen una vida media de 22 días antes de ser reemplazados. Es importante destacar que el procesado neuronal posterior realizado en bulbo olfativo y el cerebro es capaz de incrementar la

sensibilidad en tres órdenes de magnitud, eliminar las derivas asociadas al envejecimiento o sustitución de los receptores y permite la identificación de miles de aromas (y todo eso en el caso de una persona no experta!).

El olfato humano es un instrumento ampliamente utilizado como control de calidad en la industria. Este proceso es caro, ya que requiere un panel de expertos entrenados que sólo puede trabajar durante períodos de tiempo relativamente cortos, pues su exposición a determinados aromas durante tiempos prolongados reduce su sensibilidad olfativa. otras técnicas de análisis convencionales como la cromatografía de gases o la espectrometría de masas también pueden ser utilizadas, aunque requieren operadores especializados, no permiten la obtención de resultados en tiempo real y, en determinadas ocasiones, los resultados obtenidos son inadecuados (algunas sustancias importantes en la percepción del olor están por debajo de los umbrales de detección y además dichos métodos no valoran los aromas en su conjunto). Por lo tanto, existe la necesidad de desarrollar instrumentación electrónica que pueda imitar el sistema olfativo humano, que sea de bajo coste, de fácil utilización y que permita obtener resultados en tiempo real.

2. TÉCNICAS Y TECNOLOGÍAS PARA OLFATO ELECTRÓNICO

los primeros sistemas de olfato artificial aparecieron en la segunda mitad de los años ochenta y en la actualidad,

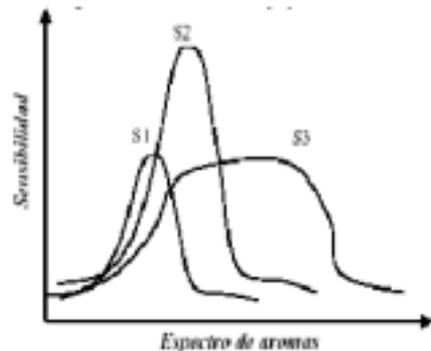


Figura 1: Ilustración del concepto de sensibilidad solapad

existen sistemas comerciales desarrollados por una veintena de compañías en todo el mundo [2]. Sus principales aplicaciones se hallan en las industrias alimentaria, cosmética y medio ambiente. Los sistemas de olfato electrónico son instrumentos constituidos por una agrupación de sensores químicos con selectividades parcialmente solapadas (ver figura 1) junto a equipos que implementan técnicas de reconocimiento de patrones (parc). Éstos son capaces de reconocer aromas simples o complejos de una manera análoga al olfato humano [3].

La misión de estos instrumentos no

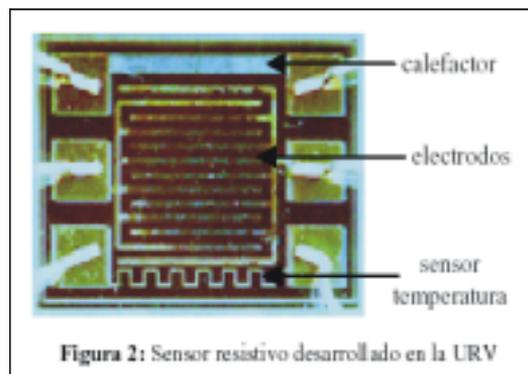


Figura 2: Sensor resistivo desarrollado en la URV

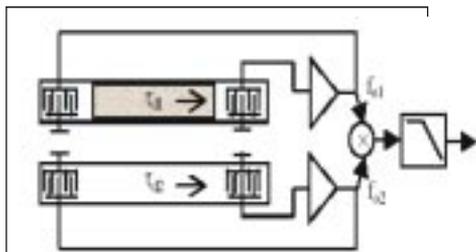


Figura 3: Detección de aromas mediante dispositivos SAW

es pues el analizar cuantitativamente aromas complejos (determinar qué compuestos químicos los integran y en qué concentraciones) si no obtener información cualitativa. En resumen, obtener, analizar y reconocer huellas olfativas de aromas complejos, valorando en su conjunto los componentes de la muestra a analizar.

Entre las principales aplicaciones actuales de los sistemas de olfato electrónico se encuentra el análisis de productos cosméticos (perfumería), alimentos (calidad de pescado, carnes, aceites) y bebidas (café, vinos).

2.1 SENSORES

Las prestaciones de un sistema de olfato electrónico quedan fundamentalmente condicionadas por las características de los sensores químicos que integran la aplicación. Por lo tanto, se han desarrollado diversos tipos de sensores, basados en diferentes materiales y en diferentes principios de funcionamiento.

Los sensores más utilizados son los de tipo resistivo basados en

materiales inorgánicos semiconductores (óxidos metálicos dopados con metales nobles). Dichos materiales trabajan a temperaturas elevadas (200 a 6000(2) ya que las variaciones de su conductividad eléctrica se deben a la alteración de los niveles de oxígeno adsorbido en presencia de los gases detectados. Por ejemplo, la reacción de un gas reductor con el oxígeno adsorbido en un sensor tipo n (p.e. de óxido de estaño), conduce a un incremento de la conductividad de dicho sensor. La figura 2 muestra un sensor resistivo basado en óxido de tungsteno.

También se han estudiado materiales orgánicos (polipirroles y polianilinas, principalmente) que presentan buenas sensibilidades a bajas temperaturas (por debajo de 600(2). su principio de funcionamiento se basa en los cambios de conductividad eléctrica del material polimérico que produce la adsorción reversible de los gases. La adsorción reversible de los gases sobre polímeros no conductores ha hallado aplicación en los dispositivos sensores de tipo gravimétrico (microbalanzas de cuarzo y dispositivos de onda superficial).

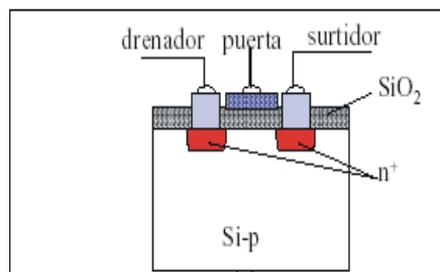


Figura 4: MOSFET con puerta porosa de paladio

Dichos dispositivos, aunque más selectivos que los basados en óxidos metálicos, requieren una electrónica de control más compleja y sufren derivas temporales más significativas que los de óxidos metálicos. La figura 3 muestra un sistema típico de medida mediante dispositivos de onda acústica superficial (saw). Mientras que en uno de los dispositivos saw se ha depositado un polimero que adsorberá los gases, el otro es un elemento de referencia (no se verá afectado por los gases). La presencia del gas adsorbido alterará el retardo de propagación en el dispositivo saw sensible y el cambio en la frecuencia de las ondas superficiales se detecta mediante el multiplicador y el filtro paso bajo.

Finalmente, también se ha estudiado la utilización de sensores tipo mosfet con puertas de metales catalíticamente activos (pe. paladio) cuya tensión umbral se ve alterada por la presencia de hidrógeno. La figura 4 muestra una sección de un dispositivo sensor de este tipo.

En [4] se puede encontrar una revisión de los diferentes tipos de sensores actualmente empleados en los sistemas de olfato electrónico.

2.2 RECONOCIMIENTO DE PATRONES

En un sistema de olfato electrónico, independientemente del tipo de sensores utilizados, el conjunto de señales que contiene la información (vector de respuesta) se usa como entrada del sistema de reconocimiento de patrones (parc). La figura 5 muestra los elementos de un sistema parc.

El hardware está integrado por la matriz de sensores químicos, el sistema de muestreo de los gases/aromas y la electrónica de control y medida. El vector de

señales obtenido de la matriz de sensores es pre-procesado antes de extraerle las características relevantes. La tabla 1 muestra algunas de las técnicas de preprocesado empleadas habitualmente con sensores de tipo resistivo y refleja las ventajas asociadas a las mismas. La etapa de pre-procesado es de importancia fundamental ya que los resultados del sistema de reconocimiento de patrones dependerán en gran medida de la elección realizada [5].

El siguiente paso tras el pre-procesado de las señales consiste en

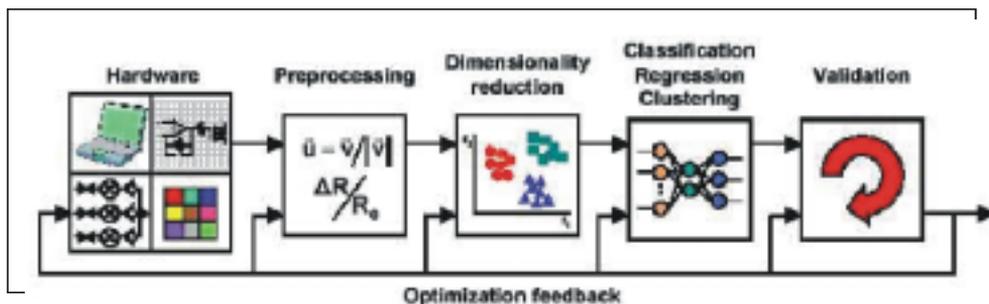


Figura 5: Diagrama de los bloques constitutivos de un sistema de reconocimiento de patrones para olfato electrónico.

Pre-procesado	Expresión	Comentario
Diferencia	$x = G_{\max} - G_{\min}$	Estos métodos compensan efectos de temperatura.
Fracción	$x = G_{\max} / G_{\min}$	
Diferencia fraccional	$x = (G_{\max} - G_{\min}) / G_{\min}$	
Logarítmico	$x = \log(G_{\max} - G_{\min})$	Linalización
Respuesta sensor normalizada	$X = x / x_{\max}$	La normalización minimiza efectos de la concentración
Respuesta array normalizada	$X = x / \sqrt{\sum x_i^2}$	

Tabla 1: Métodos de pre-procesado de la respuesta de los sensores utilizados habitualmente.

la extracción de características (obtención de la huella olfativa del aroma). Este es el paso más importante de todo el proceso ya que su misión consiste:

En la separación de los aspectos cuantitativos y cualitativos presentes en las señales de los sensores (esto puede no ser trivial dada la complejidad de algunos aromas y la no linealidad de la respuesta de los sensores).

La reducción de la dimensionalidad. Los sensores químicos presentan normalmente un elevado grado de colinearidad. Por lo tanto será útil pasar del espacio de respuesta de los sensores a un nuevo espacio de ejes ortogonales de dimensionalidad más reducida. Más adelante se revisan métodos para conseguir dicho objetivo.

Una vez realizada la extracción de las características relevantes se procede a la clasificación. Por este procedimiento se agrupan los datos en diferentes clases de huellas olfativas. Finalmente, la identificación consiste en relacionar el vector de señales procesado con un tipo de aroma en particular.

En todo proceso de reconocimiento de patrones, se suelen distinguir dos etapas diferentes: la fase de entrenamiento o calibración y la fase de utilización o reconocimiento. Durante el proceso de calibración, se debe ajustar el sistema empleando un conjunto de muestras que sean representativas de los diferentes aromas que aparecerán en la aplicación. En esta fase se entrena al equipo y se determinan las diferentes clases de aromas a distinguir. Para que este proceso se realice correctamente es necesario que la estadística de las muestras de entrenamiento cubra la

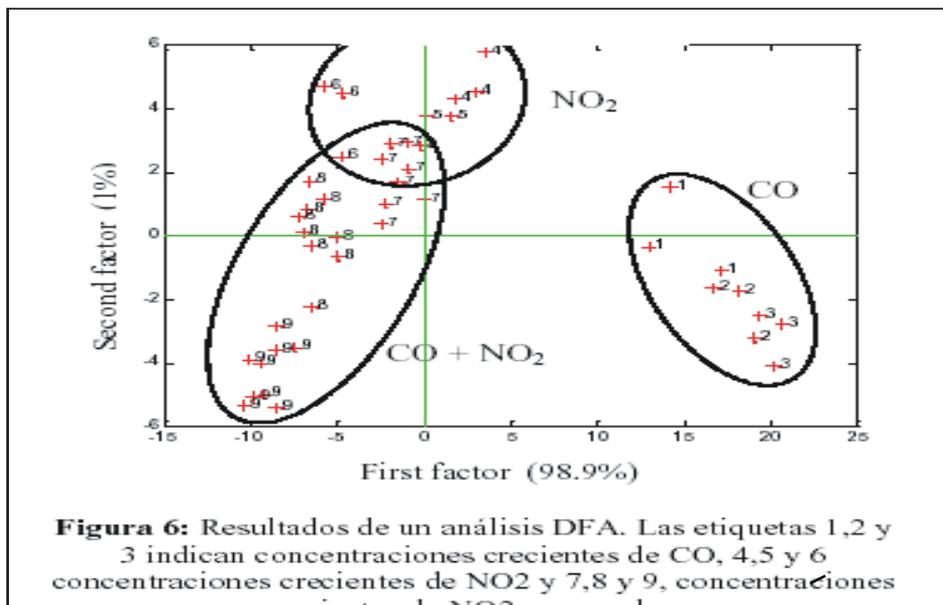
estadística del espacio de aromas que se pretende analizar. Durante el proceso de reconocimiento, la identificación asigna a cada nueva respuesta de la agrupación de sensores una de las clases previamente establecidas, basándose habitualmente en criterios bayesianos.

A continuación se revisan algunos de los métodos más empleados en el contexto de olfato artificial. En todos los métodos se considerará que x es la matriz de respuestas utilizada para la construcción del algoritmo parc. Cada columna de x se corresponde generalmente a la respuesta de un sensor. Por lo tanto, x suele tener tantas columnas como sensores hay en la matriz del sistema de olfato electrónico. Cada fila de x se corresponde con la medida de un aroma conocido (aroma de calibración). Por lo tanto x tendrá

tantas filas como medidas de calibración se hayan realizado.

2.2.1 Análisis De Factores Discriminantes (DFA)

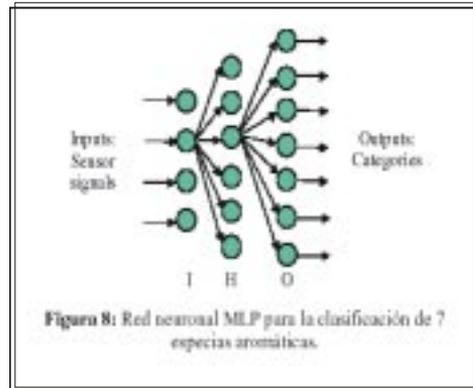
DFA es un método de clasificación lineal supervisado, geoméricamente, las filas de la matriz de respuesta x pueden considerarse como puntos en el espacio multidimensional de los sensores. En este espacio se determinan unos nuevos ejes de coordenadas, de forma que se obtenga una separación óptima entre clases definidas a priori. Dfa encuentra nuevos ejes de coordenadas (factores) como combinaciones lineales de las variables de entrada. Los factores son calculados para minimizar la varianza de las muestras que pertenecen a una misma clase y maximizar la varianza entre las muestras que pertenecen a clases diferentes. El



primer factor será el eje de mayor diferenciación entre las clases aunque los subsiguientes factores también pueden representar ejes de diferenciación significativos. La figura 6 muestra un ejemplo de utilización del método dfa para distinguir entre muestras de CO , NO_2 y sus mezclas a diversas concentraciones, utilizando sensores basados en óxido de estaño sobre soporte de silicio micromecanizado[6]. en este caso el número de categorías conocidas a priori era 3.

2.2.2 Análisis De Componentes Principales (PCA)

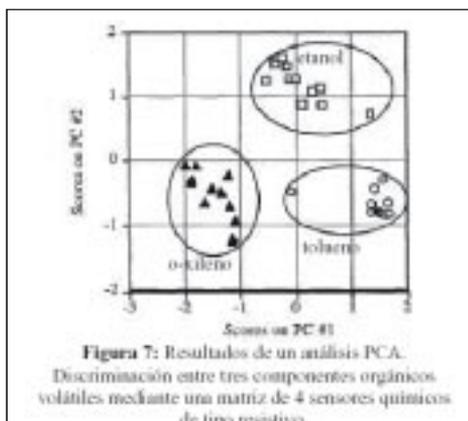
PCA es un método lineal y no supervisado basado en la expansión de karhunen-love. El objetivo de PCA es expresar la información de las variables de x empleando un número menor de variables denominadas componentes principales (pcs). Los pcs se calculan para que contengan la máxima varianza de los datos y sean ortogonales. La matriz de respuesta es descompuesta en el producto de dos matrices (*loadings* y



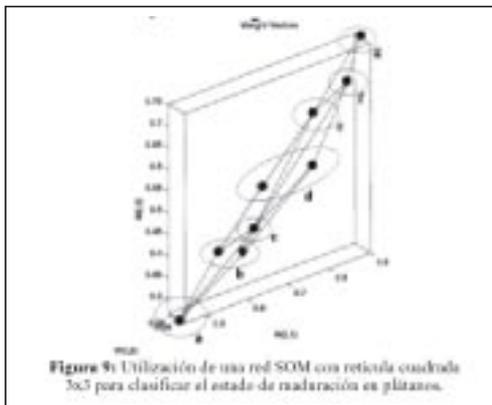
scores). Mientras la matriz de *loadings* contiene las contribuciones de las variables originales a las nuevas variables o pcs, la matriz de *scores* contiene las proyecciones de las respuestas sobre el nuevo espacio de representación constituido por los pcs. Dado que la matriz x contiene variables con cierto grado de colinearidad, el espacio de representación de los pcs (ortogonales) es más eficiente, con lo que unos pocos pcs suelen ser suficientes para capturar la mayor parte de la varianza de los datos. La figura 7 muestra un ejemplo de la aplicación del análisis de componentes principales aplicado a discriminar entre tres compuestos orgánicos volátiles. Se utilizó una matriz de 4 sensores resistivos basados en óxido de estaño [7].

2.2.3 Redes Neuronales Artificiales (ANA)

La naturaleza de las señales obtenidas mediante un sistema de olfato electrónico hace, que en muchas ocasiones, sea deseable

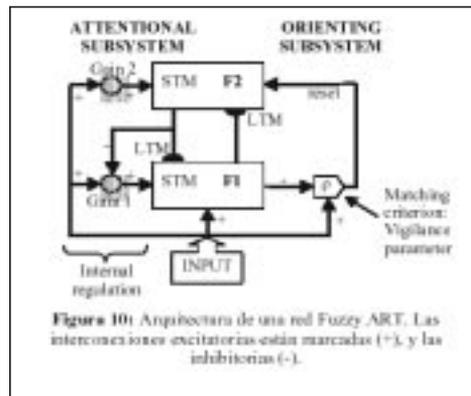


utilizar sistemas de reconocimiento de patrones más potentes. Esto ha conllevado la aplicación de métodos basados en redes neuronales. Éstas presentan una serie de ventajas respecto a los métodos revisados anteriormente, tales como aprendizaje, auto-organización, capacidad de generalización y tolerancia al ruido. Además, su estructura consistente en nodos procesadores interconectados y adaptables recuerda al sistema olfativo de los mamíferos. Los

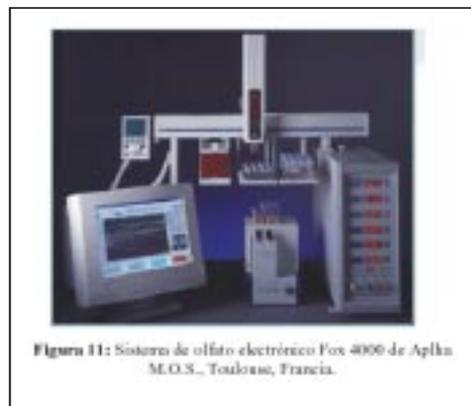


elementos procesadores y sus interconexiones representan las neuronas y las conexiones sinápticas del sistema olfativo biológico.

La red neuronal más utilizada en el ámbito de los sistemas olfativos electrónicos es la red perceptrón multicapa (mlp) entrenada mediante el algoritmo de retropropagación del gradiente del error. Durante el proceso de entrenamiento los pesos en las entradas de cada neurona son actualizados para minimizar la



diferencia entre la salida real de la red y la salida deseada (entrenamiento supervisado). Normalmente se utilizan redes con tres capas de neuronas. Un proceso importante del diseño de la red consiste en encontrar el número óptimo de neuronas en la capa intermedia (el proceso es heurístico). En la figura 8 se muestra la topología de una red neuronal mlp empleada para la identificación de 7 especies aromáticas a partir de la respuesta de una agrupación de 4 sensores químicos resistivos [8]. La activación de una de las neuronas de salida (o) indica la especie identificada.



Otra arquitectura de red neuronal que ha sido ampliamente utilizada en sistemas de olfato electrónico es el mapa auto-organizativo de kohonen (som). La arquitectura de la red consta de una capa de entrada con conectividad total hacia una capa de neuronas interconectadas en una retícula de dos dimensiones. El algoritmo de aprendizaje procesa las entradas (respuestas de los sensores que integran la matriz) y construye una representación interna del medio (espacio de respuesta de los sensores) de forma no supervisada [9]. La figura 9 muestra el uso de una red som para el seguimiento de la maduración de plátanos mediante olfato electrónico. Después del entrenamiento se observa una buena correlación entre los pesos de la red y las clases asignadas (en este caso diversos estados de maduración) [10].

Finalmente, recientemente se ha introducido la utilización de redes neuronales basadas en la teoría de resonancia adaptativa (art), para desarrollar aplicaciones de sistemas olfativos electrónicos. Las redes neuronales art son sistemas inteligentes capaces de adaptarse autónomamente frente a cambios en el medio. También son capaces de aprender de forma continuada, sin olvidar los conocimientos adquiridos previamente. Estas redes se distinguen por requerir períodos de entrenamiento muy cortos ya que son capaces de aprender al 100% el conjunto de entrenamiento en una única iteración de aprendizaje. Las redes fuzzy art y fuzzy artmap han sido empleadas con éxito a diversas aplicaciones de olfato

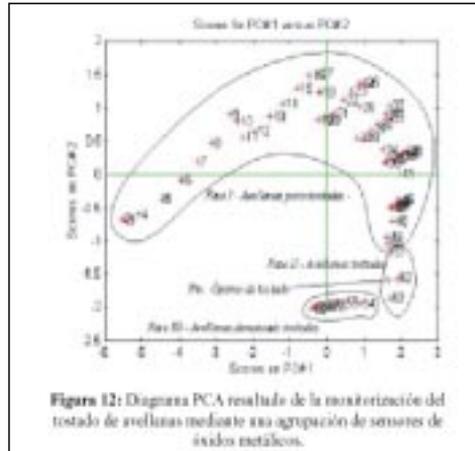


Figura 12: Diagrama PCA resultante de la monitorización del estado de avellanas mediante una agrupación de sensores de óxidos metálicos.

electrónico [11]. La figura 10 muestra la arquitectura de la red fuzzy art. F1 y F2 son dos capas de neuronas conectadas entre sí.

Los pesos de dichas neuronas representan la memoria a largo plazo del sistema (lrm). Los Sistemas de olfato electrónico: técnicas clásicas y avanzadas aplicación de un vector de entrada produce patrones de actividad neuronal en f1 y f2 (estos patrones se corresponden con la memoria a corto plazo stm). La actividad en f2 refuerza la actividad en f1 debido a las interconexiones entre ambas capas. La neurona en f2 que muestra la mayor actividad representa la categoría a la que pertenece el vector de entrada. Una explicación exhaustiva de cómo funciona la red junto a ejemplos de aplicación en el contexto de los sistemas de olfato electrónico puede encontrarse en [11].

Una vez revisados los elementos que constituyen un sistema de olfato electrónico, a continuación se ilustran algunas de sus aplicaciones actuales y problemática asociada.

3. APLICACIONES ACTUALES Y PROBLEMÁTICA ASOCIADA

Desde hace algunos años existen en el mercado diversos equipos electrónicos para el análisis de aromas. Dichos equipos constan de un sistema captador y acondicionador de muestras (compuestos volátiles), una agrupación de sensores químicos (como los revisados en la sección 2.1) y de un sistema de reconocimiento de patrones funcionando en un ordenador PC de sobremesa. Debe tenerse en cuenta que no existe un equipo analizador universal de aromas y, por lo tanto, el tipo y número de sensores, así como las técnicas para emplear deben ser estudiadas por el cliente y el fabricante en función de cada aplicación~ es por esta razón que se suele hablar de sistemas de olfato electrónico de aplicación específica (asen). La figura 11 muestra un sistema de olfato electrónico

comercial basado en sensores de óxidos metálicos.

Los principales campos en los que se está aplicando o se investigan la aplicación de sistemas olfativos artificiales son los siguientes:

- industrias de la alimentación: frescura de alimentos, rancidez oxidativa de los aceites, aromas de bebidas, control de procesos de fermentación o de tostado en frutos secos y estudio del proceso de maduración de la fruta [10, 12-14].
- industria cosmética: perfumes, eficacia de desodorantes, jabones.
- industria del embalaje: permeabilidad de aromas a través del embalaje, medidas de disolventes en materiales plásticos o pintados.
- medio ambiente: obtención de la huella olfativa de industrias químicas y polígonos industriales cercanos a áreas habitadas.
- aplicaciones médicas:

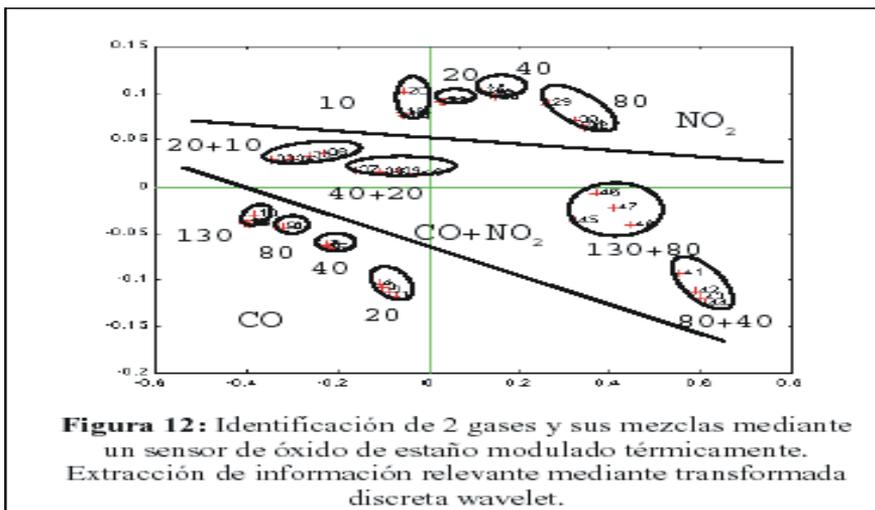


Figura 12: Identificación de 2 gases y sus mezclas mediante un sensor de óxido de estaño modulado térmicamente. Extracción de información relevante mediante transformada discreta wavelet.

identificación de bacterias patógenas [15]. diagnóstico por el aliento y análisis de la eficacia de fármacos.

La figura 12 ilustra los resultados obtenidos mediante un sistema de olfato electrónico basado en sensores de óxidos metálicos aplicado a la monitorización del proceso de tostado de avellanas. El sistema detecta el momento óptimo del tostado

El conjunto de aplicaciones actuales y potenciales de los sistemas de olfato electrónico, hacen de éstos unos equipos muy interesantes para su implantación industrial. Sin embargo, existen una serie de problemas asociados que han realizado su aplicación generalizada. Entre los diferentes problemas de que adolecen los sistemas olfativos electrónicos cabría destacar algunos por su importancia:

- sensores poco selectivos: son sensibles a un amplio espectro de gases/aromas y por lo tanto, muchas veces responden a interferentes, lo que complica la obtención de buenos resultados.
- derivas temporales: la respuesta de los sensores varía con el tiempo debido al envejecimiento del material activo. Esto implica que la capacidad del sistema de reconocimiento de patrones puede verse comprometida en un plazo relativamente corto de tiempo.
- respuesta ante parámetros medioambientales: la respuesta del sensor se ve altamente influenciada por la humedad y la temperatura ambiente.

- los algoritmos de reconocimiento de patrones no son suficientemente tolerantes frente a las derivas temporales de los sensores y el ruido inherente a todo sistema de medida. Además dichos algoritmos se suelen ejecutar sobre plataforma PC, lo que no favorece el diseño de equipos autónomos y portátiles.
- el acondicionamiento y la toma de muestras no es un aspecto siempre bien resuelto o bien estudiado. Sin embargo es fundamental para la obtención de buenos resultados y para que éstos sean reproducibles.

Por todo lo anterior, en los próximos años, será necesario seguir investigando nuevas estrategias que permitan superar o disminuir la incidencia de los problemas citados anteriormente. A continuación se revisan algunas de las direcciones en las que está evolucionando la investigación en sistemas de olfato electrónico.

4. TÉCNICAS AVANZADAS

La necesidad de desarrollar sistemas de olfato electrónico más robustos y portátiles ha conllevado la necesidad de reducir el número de sensores que integran la agrupación. Para reducir el consumo (aspecto fundamental en equipos portátiles) se han desarrollado sensores resistivos con capas activas depositadas sobre membranas de silicio micromecanizado. Esto permite, por un lado consumir menos energía a

igual temperatura de trabajo (en comparación con sensores no micromecanizados) y por otro modular la temperatura de trabajo de los sensores (dada la baja inercia térmica de la membrana).

La modulación de su temperatura de trabajo permite reducir la influencia de las fluctuaciones de la temperatura ambiente en la respuesta del sensor. Además, mediante la modulación de temperatura se altera la cinética de las reacciones de oxidación-reducción que se producen en la superficie del sensor. Por lo tanto, del régimen dinámico de la respuesta se puede obtener información sobre los gases/ aromas presentes. Para analizar el régimen transitorio del sensor se suelen emplear métodos como la transformada rápida de Fourier (FFT) o la transformada discreta wavelet (DWT)[16-18]. Una vez se han obtenido los coeficientes que caracterizan la respuesta del sensor, éstos se utilizan como datos de entrada en un sistema de reconocimiento de patrones (p.e. PCA). La figura 12 muestra los resultados obtenidos al analizar dos gases y sus mezclas utilizando un único sensor modulado térmicamente [16]. Se ha podido comprobar como el empleo de dichos métodos es ventajoso para disminuir la influencia de las derivas temporales y del ruido [18].

Para conseguir la plena portabilidad de los sistemas de olfato electrónico, será necesario reemplazar los ordenadores tipo PC por otros dispositivos que sean capaces de soportar las fases de entrenamiento y de identificación de los métodos de

reconocimiento de patrones. Últimamente se está trabajando en la utilización de microcontroladores o dispositivos de lógica programable (FPGA). Dado que la utilización de la respuesta dinámica de los sensores requiere el empleo de algoritmos sofisticados (p.e. DWT) y éstos implican la realización de cálculos en coma flotante, será necesario implementar el conjunto de algoritmos de procesamiento utilizando procesadores digitales de señal (DSP).

Para conseguir mejoras sustanciales en los equipos actuales, junto a la mejora de los sensores químicos, será fundamental desarrollar nuevas y mejores técnicas de procesamiento que puedan compensar de forma automática las derivas de los sensores o que puedan afrontar, sin necesidad de re-entrenar todo el sistema, la sustitución de uno o varios sensores averiados. En este sentido, se han venido utilizando técnicas para modelar la respuesta dinámica de los sensores. Dichas técnicas pertenecen al ámbito de la identificación de sistemas. La identificación de sistemas aplicada a los sensores químicos permite desarrollar una representación matemática del sensor (entendido como un sistema dinámico) empleando información entrada/salida obtenida experimentalmente. Los efectos de las derivas pueden ser incluidos en el modelo y, por lo tanto, obtener sistemas olfativos que requieran menos recalibraciones. Una revisión de estos métodos aplicados a los sistemas de olfato

electrónico puede hallarse en [5, 19]. Finalmente, otro aspecto fundamental para mejorar las prestaciones de los equipos actuales consiste en realizar una buena selección de variables. Con la obtención de la respuesta de los sensores tanto en régimen estático como dinámico, el número de variables potencialmente utilizables por los algoritmos de reconocimiento de patrones puede crecer de forma importante. La utilización de más parámetros de entrada no garantiza en absoluto un mejor funcionamiento del sistema par. Es necesario investigar qué variables son las más indicadas para cada aplicación concreta (p.e aquellas que conducen a buenas tasas de identificación de los aromas o que son resistentes a las derivas). Ante el problema de la selección de variables, no siempre es posible utilizar un método de búsqueda exhaustivo y determinista (irrealizable sí el número de variables es elevado). Entonces, métodos de selección basados en técnicas estocásticas (p.c. los algoritmos genéticos) deben mostrar su utilidad.

5. CONCLUSIONES

No existen sistemas olfativos electrónicos universales que puedan resolver cualquier problema de análisis de aromas. Al contrario, existe la necesidad de emplear sistemas inteligentes específicos para cada aplicación en concreto. Ello implica la construcción del sistema desde el desarrollo de agrupaciones de sensores y el empleo de técnicas de reconocimiento de patrones específicas.

Los nuevos sistemas de olfato electrónico deben emplear la información del régimen transitorio de las señales de los sensores para incrementar la tasa de éxito en la identificación. También deben incluir el modelado de los sensores, teniendo en cuenta las derivas, de forma que el sistema pueda autocalibrarse.

Finalmente, debe sistematizarse la metodología para conseguir una selección de variables efectiva, que conduzca a la obtención de resultados fiables y reproducibles.

Del éxito o fracaso en la solución de los importantes problemas que aún hoy afectan a los sistemas olfativos electrónicos, dependerá su aceptación o rechazo por parte de la industria.

AGRADECIMIENTOS

mi agradecimiento al resto de miembros del grupo de sensores y olfato electrónico de la urv: dr. Xavier correig, dr. Jesús brezmes, dr. xavier vilanova y a

los estudiantes de doctorado: christian duran, radu lonescu, peter Ivanov, mariana stankova, y alexander vergara.

La mayor parte de los trabajos aquí referenciados han sido parcialmente financiados por la comisión interministerial de ciencia y tecnología (cicyt), la comisión europea y las empresas catalonia qualitat, carburos metálicos, lueta y frit ravich.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 m. Meredith, neural circuit computation: complex patterns la the olihistory bulb, brain, res. bull, 29 (1992) 111-17.
- 2 e. llobet, j. brezmes, x. vilanova y x. correig, sistemas de olfato electrónico, estado actual y perspectivas de futuro, mundo electrónico, 291, (1998), 64-68
- 3 j.w. gardner, e.l. hines, pattern analysis techniques, handbook of biosensors and electronic noses, medicine, food, ami the environment aeg frankfurt, germany, (1997), 633-52.
- 4 w. gi~pei ed., *sensors: a comprehensive survey vol 2/3: ~zhemical and biochemical sensors*, vch, weinheim, 1991.
- 5 e. l. Hines, e. llobet, j.w. gardner, electromc noses: a review of signal processing techniques, lee proc.circuits devices syst., 146(1999) 297-3 10.
- 6 r. ionescu, e. llobet, quantitative analysis of no₂ in the presence of co using a single tungsten oxide semiconductor sensor and dynamic signal processing, tle analy4, (2002) enviado.
- 7 e. llobet, j. brezmes, x. vilanova, x. correig, qualitative and quantitative analysis of vocs using transient and steady-state responses of athick-filni un oxide gas sensor array, sensors actuators b 41(1997) 13-21.
- 8 j. brezmes, e. llobet, x. vilanova, x. correig, neuxalnctwork based electronic nose for the classification of aromatic species, anal. chim. acta, 348(1997) 503-09.
- 9 1. kohonen, self-organized formation of topologically correct feature nlaps, biol. cybern., 43 (1982) 59-69.
- 10 e. llobet, e. l. hines, j. w. gardner, s. franco, nondestructive banana ripeness deterrmation using a neural network based electronic nose, meas. sci. technol., 10 (1999) 538-48.
- 11 e. llobet, e. l. HMCS, j. w. Gardner, fuzzy artmap based electronic nose data nalysis, sensors actuators b 61 (1999) 183-190
- 12 e. l. Hines, e. llobet y j.w. gardner, neural network basad electronic nose for apple ripeness determination, electronics letters, 35 (1999) 821-23.
- 13 flrezmes, e. llobet, x. vilanova, g. saiz ami x. correig, fruit ripeness monitoring using an electronic nose, sensors actuators b 69(2000)223-29.
- 14 j. brezmes, e. llobet, x.vilanova, j.orts, g. saiz x. correig, correlation between electromnic nose signals and fruit quality indicators on shelf-life measurcmnts