

ULTIMATE TRENDS IN ELECTRONICS SMELLING SYSTEM DESIGN**ULTIMAS TENDENCIAS EN EL DISEÑO DE SISTEMAS DE OLFATO
ELECTRONICO****PhD. Jesús Brezmes Llecha¹, PhD. Christian M. Durán Acevedo²**

¹ **Universitat Rovira i Virgili**, Departament d'Enginyeria Electrònica,
Av. de Paisos Catalanes, 26. 43007, Tarragona (España), Tel.: (34) 977558764
E-mail: jesus.brezmes@urv.net

² **Universidad de Pamplona**, Departamento de Ingeniería Electrónica
Tel.: (+57) 7-5685303, Fax (+57) 7-5682750
E-mail: cmduran@unipamplona.edu.co

Abstract: During the last decade the development and improvement of the systems of electronic nose have been dedicated to enormous resources. Nevertheless, these systems have not reached, to date, the maturity sufficient as to be applied of routine form in industrial processes. Even so, the last advances promise more able systems based on new technologies that are gradually getting up to this type of instruments like for example the systems of concentration or different types of modulation. In summary, in this work these techniques treat all whose development will be the base of the systems of electronic nose of new generation.

Resumen: Durante la última década se han dedicado ingentes recursos al desarrollo y perfeccionamiento de los sistemas de olfato electrónico. Sin embargo, estos sistemas no han alcanzado, hasta la fecha, la madurez suficiente como para ser aplicados de forma rutinaria en procesos industriales. Aun así, los últimos avances prometen sistemas más capaces basados en nuevas tecnologías que se están incorporando paulatinamente a este tipo de instrumentos como por ejemplo la los sistemas de concentración o diferentes tipos de modulación. En resumen, en este trabajo se tratan todas estas técnicas cuyo desarrollo será la base de los sistemas de olfato electrónico de nueva generación.

Keywords: Electric Nose, ANN, GA; Pattern recognition, Electronic smelling system, Gas sensors

1. INTRODUCCION

El olor y el aroma de los alimentos son factores claves para la aceptación de los productos alimentarios por parte del consumidor. Actualmente, para poder identificar y analizar el aroma de los alimentos existen especialistas que realizan esta difícil labor. Se puede afirmar, sin

ningún género de dudas, que para evaluar el aroma generado por los alimentos la herramienta fundamental es la propia nariz humana, que es usada a través de paneles sensoriales altamente entrenados. Sin embargo, este método es caro, lento, subjetivo, propenso al error, y difícil de normalizar [1]. En definitiva, un buen número de sectores industriales necesitan de sistemas fiables para asegurar la calidad y seguridad de su materia

primera a partir de los volátiles que genera. Actualmente la mayoría de los métodos de medida empleados se basan en instrumental analítico tradicional, como por ejemplo cromatógrafos de gases y espectrómetros de masas. Estos instrumentos suelen ser muy costosos, y de difícil puesta a punto, mantenimiento y operación. Además, el proceso de análisis puede ser relativamente lento y complicado, lo que implica utilizar operarios especializados. Finalmente, otra desventaja que presenta este tipo de equipos es su gran tamaño, lo que limita su uso a laboratorios y excluye la posibilidad de realizar medidas de campo. El diseño de un instrumento fiable, barato y de fácil uso que fuese capaz de analizar de forma objetiva y en tiempo real muestras industriales sería de gran ayuda para diferentes actividades industriales, en especial para la rama agroalimentaria. De entre las ventajas que podría aportar un sistema de olfato electrónico, sobre todo en el sector de la alimentación, se pueden destacar las siguientes:

- Análisis no destructivo del producto.
- Obtención de resultados en tiempo real (cuestión de minutos).
- Portabilidad, robustez y bajo precio del sistema.
- Adaptación a diferentes cantidades y variedades de productos.
- Facilidad de uso por parte de personal no cualificado.

Estas ventajas son suficientes como para justificar la inversión de una ingente cantidad de recursos en el desarrollo y perfeccionamiento de las popularmente denominadas "Narices Electrónicas". En esta contribución se pretende repasar la historia, los conceptos básicos y los últimos avances que en el seno de nuestro grupo se están desarrollando en relación a este tipo de instrumentos. Para cubrir estos objetivos, el artículo se ha dividido en 6 subapartados. En el segundo, se repasan escuetamente las bases de funcionamiento de este tipo de instrumentos. El capítulo 3 discute el estado actual de desarrollo de estos instrumentos, detallando las principales limitaciones que presentan estos equipos, limitaciones que deben ser subsanadas si se quiere que los sistemas multisensores sean aplicados de forma general en la actividad industrial. Los capítulos 4, 5 y 6 discuten diferentes estrategias propuestas recientemente por nuestro grupo de investigación, en colaboración con investigadores de la Universidad de Pamplona, que permiten minimizar estas limitaciones y hacer

más fiables este tipo de instrumentos. Finalmente, se resumen las conclusiones de esta exposición.

2. NOCIONES BÁSICAS

La definición más comúnmente aceptada de lo que es un sistema de olfato electrónico es la de que se trata de "un instrumento que comprende de una matriz de sensores químicos con sensibilidades solapadas y un avanzado sistema de reconocimiento de patrones, capaz de reconocer aromas simples o complejos" [2,3]. De una manera coloquial se podría afirmar que a este tipo de instrumentos se les denomina de olfato electrónico por dos motivos:

- Porque su configuración y funcionamiento emulan a la del sistema de olfato humano.
- Porque pretende realizar funciones tradicionalmente atribuidas al sistema olfativo humano.

Tabla 1. Sistemas de Olfato Electrónico Comerciales

COMPANÍA	SISTEMA
Agilent Technologies	4440
Alpha MOS, francia	Fox 2000, 3000, 4000, 5000 alphaKronos, alphaPrometheus, alphaCentauri, alphaGemini
Bloodhound Sensors, UK	UK Bloodhound BH114, OEM-modules under development
Chemsensing Inc	Chemsensing
Cyrano Sciences, US	Cyranose 320
Electronic Sensor Technology, US	zNose
Element, Iceland	FreshSense
Hewlett Packard, US	HP4440A
Lennartz Electronic, Alemania	MOSES II
Marconi Applied Technologies	e-nose 5000
Nordic Sensor Technologies	NST 3210, NST 3220, NST 3220A
Osmetech, UK and US	OMA, MultiSampler-SP, CP sensors
Smart Nose, Suiza	SMart Nose-300
SMart Nose-300	PEN, i-PEN, PEN-EDU

Una de las formas de definir a este tipo de sistemas es diferenciarlos de la instrumentación química tradicional. La filosofía de análisis es la que diferencia a ambos tipos de instrumentos ya que

mientras que en instrumentos tradicionales como un cromatógrafo de gases se valora una muestra identificando y cuantificando cada componente por separado, los sistemas de olfato electrónico valoran una muestra en su conjunto sin preocuparse por los componentes individuales. Bajo este concepto, la configuración genérica que responde funcionalmente a la definición comprende un sistema de muestreo, un sistema de medición provisto de sensores químicos y un sistema informático que controla el proceso de medición, y que permite aplicar técnicas de pre-procesado de datos y reconocimiento de patrones para la detección, identificación o cuantificación de cualquier compuesto volátil o aroma.

Tabla 2. Aplicaciones estudiadas con SDOE

ALIMENTO	DESCRIPCIÓN
Carnes	Procesado de Pollo
	Fermentación de embutidos
	Calidad de carne de llama y Alpaca
Frutas	Tiempo de recolección de manzanas
	Grado de maduración de la fruta
	Melocotones: Correlación con análisis sensoriales
	Aroma de peras
	Calidad de las fresas
	Madurez de Bananas
Vegetales	Calidad de Tomates
	Infección de bacterias en Patatas
Cereales	Infección de garrapatas
	Calidad Microbiana
	Clasificación de Aromas
Vinos	Identificación de Vinos
	Tostado de barriles
	Correlación con análisis Químico
	Clasificación de Vinagre
	Viñedos de Producción
Lácteos	Madurez del queso
	Aplicación y revisión
	Sabores en la leche
Café	Discriminación de aromas
	Análisis
	Discriminación de Mezclas
Cervecería	Determinación del tiempo de cosecha
	Detección de aromas
	Detección de sabores
Pescados	Estado de conservación
Panadería	Detección de micro-organismos
Huevos	Estado de conservación
Crisps	Rancidez de patatas fritas

3. LOS SISTEMAS DE OLFATO ELECTRONICO DE HOY

El concepto de Nariz Electrónica o Sistema de Olfato Electrónico nació a finales de los años 80 [4]. Desde entonces, se han dedicado ingentes esfuerzos a perfeccionar su funcionamiento con vistas a incorporarlo en aplicaciones de marcado carácter industrial. De hecho ya existen numerosos sistemas comerciales, tal y como se especifica en la tabla 1. Asimismo, existen diferentes estudios de laboratorio sobre aplicaciones de este tipo de sistemas, tal y como se detalla en la tabla 2. Sin embargo, después de casi dos décadas de desarrollo, las aplicaciones comerciales del instrumento son prácticamente inexistentes. Esto es debido a las diferentes carencias que aún presentan este tipo de dispositivos, que podemos resumir en los siguientes puntos:

3.1 Lentitud entre medidas

Un problema común en los SDOE (Sistemas De Olfato Electrónico) es determinar el tiempo adecuado de reposo entre medidas. Tras absorber los volátiles al ser expuestos a un flujo de gas, el sensor sigue un proceso de desorción que, de no completarse, pueden afectar a la medida siguiente. A este fenómeno se le conoce como efecto memoria.

3.2 Derivas de los sensores

El objetivo de un sensor químico es dar siempre la misma respuesta cuando es expuesto a muestras idénticas. Sin embargo, en la mayoría de sensores que se utilizan en un SDOE esto no es cierto tras un tiempo prolongado de uso. Estas derivas suelen ser debidas a variaciones de temperatura en el espacio de cabeza de la muestra, cambios en el sistema de muestreo, envejecimiento de los sensores (por aire contaminado), fluctuaciones en el flujo de gas, variaciones de humedad y temperatura en la superficie de los sensores, variaciones en la presión ambiental u otros efectos químicos y físicos que influyen en la respuesta del sensor. Es importante resaltar que la falta de repetitividad en el muestreo es uno de los problemas fundamentales que afectan a los sistemas de olfato electrónico.

3.3 Baja sensibilidad y selectividad

La falta de sensibilidad de los sensores es un problema en el momento de obtener resultados satisfactorios con un SDOE. Una de los posibles problemas es el mal acondicionamiento e

inapropiado tratamiento de la muestra, causa de que los volátiles no lleguen a los sensores de forma óptima. Por otro lado, el concepto de sensibilidades solapadas es una pieza fundamental del modo de funcionamiento de los sistemas de olfato electrónico. A pesar de ser básico, básico en el funcionamiento de un SDOE, la falta de selectividad del sensor también es un problema que afectan a estos sistemas debido a que no son capaces de distinguir entre un grupo de diferentes tipos de muestras. Por lo tanto, es fundamental añadir técnicas multivariantes que permitan incrementar el grado de selectividad del instrumento.

3.4 Proceso de calibración

El entrenamiento con un gran número de medidas a través de redes neuronales artificiales es un inconveniente debido a que necesitan encontrar no solo una configuración óptima, si no también un algoritmo que además de rapidez garantice estabilidad en el resultado final. No existe un procedimiento establecido para determinar que modelo de red debe emplearse en cada aplicación, y sólo con la práctica puede determinarse cual es la configuración de red que da mejores resultados. Es importante afirmar que el entreno es algo muy costoso y laborioso de realizar debido a que al sustituir sensores es necesario entrenar nuevamente el sistema. En el momento de la calibración se tienen que pasar muestras de forma periódica lo cual implica un gran esfuerzo que se traduce en unos costes operativos inaceptables. Este es uno de los motivos principales por los que los SDOE no han llegado a comercializarse para aplicaciones industriales. Para intentar neutralizar todos los problemas mencionados anteriormente, en nuestro grupo actualmente se está trabajando en diferentes estrategias que permitan minimizar estos problemas.

Concretamente, en los siguientes apartados se hablará de:

- Dispositivos de concentración de volátiles, que aumentan la selectividad y sensibilidad de los SDOE
- Sistemas de modulación de flujo, que permiten incrementar la selectividad de los sensores .
- Algoritmos de selección de variables que permiten reducir la dimensionalidad del sistema y aumentar la robustez del método de reconocimiento de patrones, facilitando el proceso de calibración del equipo.

4. SISTEMAS DE PRE-CONCENTRACION PARA SDOE

Como ya se ha comentado con anterioridad, la baja sensibilidad de este tipo de sistemas es uno de sus mayores problemas. La mayoría de los sensores utilizados de óxido de estaño no suelen ser capaces de sensar por debajo de los ppm's (partes por millón). Sin embargo, en sistemas electrónicos para aplicaciones específicas se puede diseñar un sistema automatizado de concentración de muestra que puede incrementar la sensibilidad hasta las unidades de ppb.

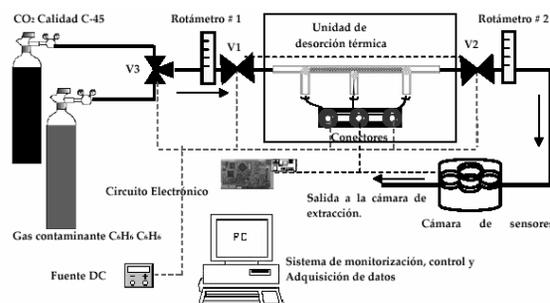


Fig. 1. Esquema del equipo

Por ejemplo, los autores de esta contribución han diseñado un sistema que permite detectar trazas de benceno (hasta de 10ppb's) en un flujo de CO₂ con impurezas de otros compuestos en concentraciones de decenas de ppm's.

La figura 1 muestra un esquema del equipo. En ella se pueden distinguir las botellas que diluyen el benceno a detectar en un flujo de CO₂ de calidad C-45, en cuyo interior hay otros contaminantes en concentraciones de partes por millón.

Mediante un rotámetro se controla el flujo tanto en el proceso de absorción como en el de desorción, con el fin de conseguir resultados repetitivos.

La parte más importante del sistema la compone la unidad de desorción térmica, en cuyo interior se tiene polvo absorbente y un filamento para calentarlo en el momento de la desorción hasta 300°C.

Posteriormente se tiene la cámara de sensores cuyas respuestas son monitorizadas mediante un PC. Los resultados que se pueden obtener con esta aproximación son espectaculares.

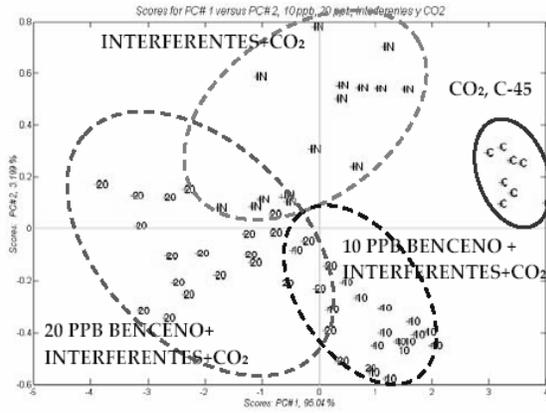


Fig. 2. Separación de muestras contaminadas con benceno

La figura 2 muestra una gráfica PCA en la que se distinguen claramente muestras de aire puro (CO₂), CO₂ contaminado con otras impurezas y CO₂ contaminado con 10 y 20 ppb's de benceno.

5. INCREMENTO DE LA SELECTIVIDAD MEDIANTE MODULACION DE FLUJO

Tal y como se había comentado, uno de los grandes problemas de los SDOE es la falta de selectividad en sus sensores. Una de las formas de incrementar el poder de discriminación es el incorporar parámetros dinámicos de la respuesta de los sensores a los algoritmos de reconocimiento de patrones.

Existen numerosos trabajos en los que se ha tratado el tema mediante modulaciones de concentración o de temperatura. Sin embargo, nadie antes ha probado la modulación de flujo como una posible fuente de generación de parámetros dinámicos que permitiesen incrementar la selectividad inherente a la respuesta de cada sensor.

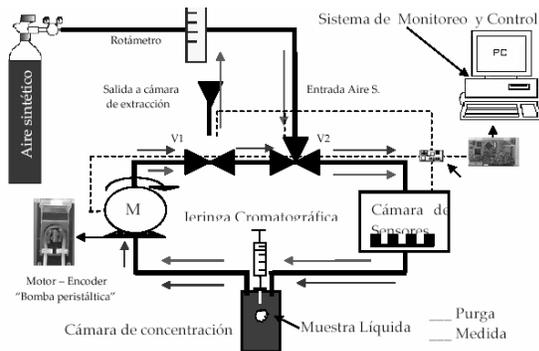


Fig. 3. Sistema de modulación de flujo

La figura 3 muestra el esquema del sistema propuesto en el seno de nuestro grupo, en el que se pueden distinguir una válvula peristáltica, una cámara de vaporización y una cámara de sensores.

El sistema incorpora también dos electroválvulas para poder configurar dos circuitos, el de limpieza y el de medida. Ambos están señalados con flechas de diferentes colores, tal y como se puede observar en la figura. Para comprobar si el sistema era capaz de aportar parámetros dinámicos que ayudasen a discriminar entre diferentes sustancias se diseñaron una serie de experimentos con volátiles orgánicos.

Concretamente, se realizaron medidas con metanol, o-xileno, tolueno, benceno y xileno. Para evitar los efectos de las concentraciones, se realizaron medidas a 20, 200 y 2000 ppms de concentración de cada una de las sustancias, repitiendo cada medida 3 veces. En total, el conjunto experimental estaba formado por 45 medidas.

La rutina de medida comenzaba con la inyección, mediante una jeringa cromatográfica, de la cantidad de líquido necesaria para que al vaporizar la sustancia se crease la concentración de contaminante deseada. A continuación, la válvula peristáltica genera un flujo constante para conseguir homogeneizar la muestra en todo el sistema. Finalmente, una vez la respuesta estática de los sensores se ha estabilizado, comienza la modulación propiamente dicha, que puede ser pulsada, senoidal o triangular.

La figura 4 muestra la respuesta de un sensor a estas fases para tres contaminantes diferentes:

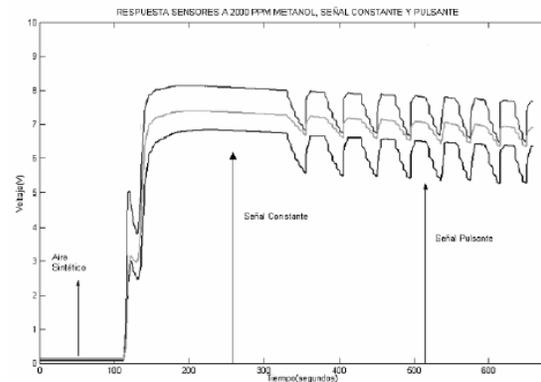


Fig.4. Medida típica de una modulación de flujo

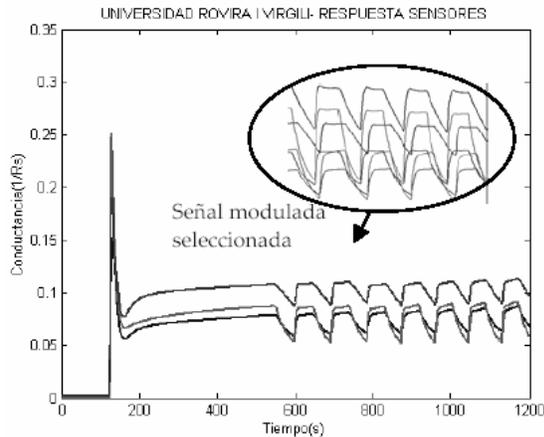


Fig. 5. Extracción de una sección de la señal modulada

Una vez realizadas las medidas, se extrajo una porción del tramo modulado en flujo (ver figura 5). De este, se realiza una transformada rápida de Fourier (ver figura 6). Finalmente, se escogen los armónicos de la frecuencia base de la modulación para alimentar una red Fuzzy Artmap que identifica el contaminante presente.

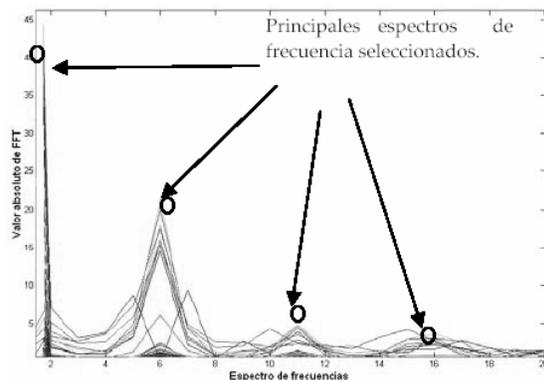


Fig. 6. Transformada rápida de Fourier (FFT)

En el estudio se utilizaron diferentes técnicas de preprocesado para anular el valor medio y la varianza, con vistas a determinar si la forma de onda resultante aporta información adicional que pueda ayudar en la discriminación de los compuestos mencionados. La tabla 3 muestra los resultados obtenidos. Para interpretarla es importante destacar que, al tener que clasificar en cinco categorías diferentes, al alzar solo se obtendría un 20% de acierto, mientras que en nuestro caso, incluso cuando eliminamos la componente continua y normalizamos por varianza, este porcentaje supera el 50%, indicando que los parámetros dinámicos provenientes del flujo incrementan el poder de discriminación de cada sensor.

Tabla.3. Resultados para los sensores TGS822 y TGS823

Ninguno	Learning rate: 1 No. de armónicos : 17 Clasificación: 93.33%	Learning rate: 1 No. de armónicos: 4 Clasificación: 91.11%
Centrado de datos	Learning rate: 0.8 No. de armónicos: 17 Clasificación: 82.22%	Learning rate: 0 No. de armónicos: 7 Clasificación: 80.00%
Auto-escalado	Learning rate: 0.7 No. de armónicos: 5 Clasificación: 62.22%	Learning rate: 0 No. de armónicos: 15 Clasificación: 55.55%

Con estos resultados queda demostrado que el utilizar algún tipo de modulación (en este caso de flujo) incrementa la sensibilidad de los sensores de forma sensible. Probablemente se puede interpretar la modulación de flujo como la combinación de una modulación de concentración junto a una de temperatura.

6. SELECCION DE VARIABLES

La búsqueda incesante de nuevos parámetros que permitan mejorar el rendimiento de los sensores de óxidos metálicos comporta la inclusión de una mayor cantidad de parámetros descriptivos en cada medida. Esto, que a priori puede parecer una ventaja, implica que los algoritmos de reconocimiento de patrones se vuelvan más inestables ya que algunas de las variables no sólo no aportan información sino que probablemente aporten ruido. Además, una correcta selección de variables permitirá determinar que sensores deben utilizarse y cuales son innecesarios, redundando en una optimización en el número de captadores de la matriz y, por lo tanto, bajando sensiblemente el precio del equipo. En nuestro grupo se ha trabajado en el desarrollo de diferentes algoritmos de selección de variables para aplicaciones concretas, fundamentalmente del ramo de la alimentación.

Por ejemplo, se realizó un estudio sobre la capacidad de los SDOE para la identificación del crecimiento temprano de diferentes familias de hongos. La figura muestra la configuración del equipo utilizado. En él se puede distinguir un muestreador de espacio de cabeza, donde introducíamos los viales contaminados con hongos, la cámara de sensores y un PC para monitorizar y grabar el proceso de medida.

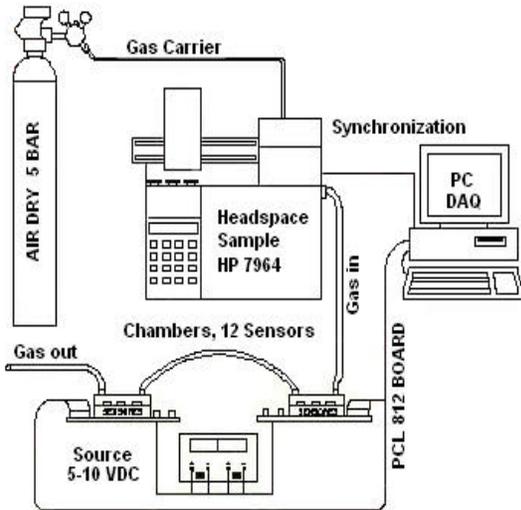


Fig. 7. Esquema del sistema de muestreo de hongos

La tabla 4 muestra los diferentes tipos de hongos monitorizados y el número de viales de cada uno, mientras que la figura inferior muestra una respuesta típica a la medida de un "Eurotium" por parte del conjunto de sensores:

Tabla.4. Tipos de hongos analizados

GÉNERO / ESPECIE	REPETICIONES
Eurotium Repens	2
Eurotium Herbariorum	2
Eurotium Amstelodami	2
Eurotium Rubrum	2
Aspergillus flavus	2
Aspergillus Niger	2
Penicillium Corylophilum	2

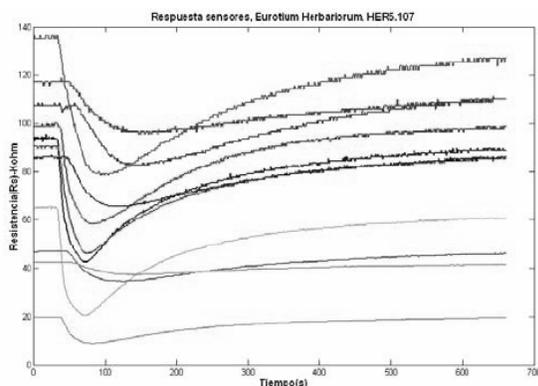


Fig. 7. Respuesta típica sensorial de la ante la presencia de eurotium.

En total la matriz de sensores contenía 12 dispositivos, y el parámetro escogido de cada uno

es el incremento de conductancia normalizada, $Gf-Gi/Gi$. El algoritmo de reconocimiento de patrones utilizado fue el de Fuzzy Artmap. Los diferentes métodos de selección de variables que fueron implementados fueron los siguientes:

- *Discriminant Function Analysis*: DFA es un método que puede ser utilizado en modo supervisado y en modo no supervisado. En modo no supervisado da una información interesante acerca de las clases dentro del conjunto de datos. De todas maneras, la forma más honesta de utilizarlo es mediante un modo supervisado, donde las medidas de entrenamiento deben ser diferentes del conjunto de datos de evaluación. Por lo tanto, la prueba se ha realizado junto a la técnica de validación cruzada. En cada iteración, se construyó un modelo de DFA con las medidas de entrenamiento. Las coordenadas de las muestras del entrenamiento en la proyección de la DFA fueron usadas para entrenar a la red fuzzy ARTMAP. La medida de evaluación fue entonces proyectada sobre el modelo de DFA y sus coordenadas fueron suministradas a la red neuronal.

- *Principal Component Analysis*: En cada iteración se construyó un modelo de PCA con las medidas de entrenamiento, y los coeficientes (scores) fueron suministrados a la red fuzzy ARTMAP como conjunto de entrenamiento; entonces, con los PC's calculados y los pesos de la red neuronal, la medida de validación fue proyectada y evaluada. Se estudiaron los resultados obtenidos con un número de componentes principales variable.

- *Algoritmos genéticos*: A través de un algoritmo genético acoplado a la red fuzzy ARTMAP fueron seleccionadas 5 de las 12 variables disponibles. La red fuzzy ARTMAP se usó para determinar el fitness que se aplicó en la selección entre los cromosomas de cada generación. Selección de variables a través del criterio de intra/intervarianza. En este caso se utilizó un criterio de resolución para reducir el número de variables. Un valor más alto para V_r significa un mayor de resolución para una variable dada.

- *Forward selection*: Este algoritmo de selección, usado generalmente en regresión

lineal, fue aplicado al problema de la detección de hongos con el fin de conseguir una identificación más fiable con un subconjunto de las 12 variables originales. La aproximación comenzó escogiendo una sola variable y evaluando el resultado mediante una validación cruzada. La variable con mejor tasa de éxito fue la seleccionada en esta primera iteración. Para la segunda iteración se evaluaron los resultados utilizando la variable escogida en la primera ronda en una combinación binaria con cada una de las restantes. Entonces, nuevamente, se selecciona la variable que, combinada con la primera, ofrece mejores resultados. El proceso termina cuando el error de predicción (PER) se incrementa incorporando cualquiera de las restantes variables.

La tabla 5 resume los resultados obtenidos, realizando una comparación entre todas las técnicas de selección de variables que se han acoplado a la red neuronal Fuzzy ARTMAP. Podemos observar que aplicando cualquiera de los métodos de selección de variables se mejoraron los resultados obtenidos originalmente con la red, por lo que se puede afirmar con rotundidad que un proceso de selección de variables mejorar el rendimiento de este tipo de sistemas.

Tabla.5. Resultados de los diferentes métodos de selección de variables

MÉTODOS	RESULTADOS	SUBCONJUNTO SELECCIONADO
Fuzzy sola ARTMAP	43%	12
DFA+ Fuzzy ARTMAP	75%	7
PCA+ Fuzzy ARTMAP	63%	7
GA+ Fuzzy ARTMAP	63%	5
Criterio Vr	63%	7
Forward + Fuzzy ARTMAP	70%	2

De los datos presentados en la tabla queda claro que los mejores resultados se alcanzaron acoplado la selección de variables mediante un DFA a la red neuronal, alcanzando una tasa de éxito del 75% al clasificar muestras de 8 categorías (siete especies de hongos y un vial de control sin microorganismos).

Por otro lado, es importante resaltar el resultado del método *“forward selection”*. Por un lado, con un 70% de acierto, se sitúa muy cerca en cuanto resultados frente al DFA, pero con la ventaja que la selección de variables se corresponde directamente con la selección de sensores de la matriz, puesto que las variables seleccionadas son directamente algunas de las originales sin sufrir ninguna transformación ni combinación lineal.

7. CONCLUSIONES

En definitiva, a pesar de sus inconvenientes que hace que los sistemas de olfato electrónico actuales constituyan todavía una tecnología algo inmadura, la aplicación de técnicas como las descritas en este artículo pueden minimizar los problemas que frenan a este tipo de instrumentos de ser utilizados ampliamente en sectores comerciales y/o industriales.

8. REFERENCIAS

- [1]. Balaban, M. O., Korel, F., Odabasi, A. Z. & Folkes, G. “Transportability of data between electronic noses: mathematical methods”. *Sensors and Actuators B*, 71, 203-211, (2000).
- [2]. J. W. Gardner and P. Bartlett, “A brief history of electronic noses”, *Sensors and Actuators B*, 18-19, pag. 211-220, (1994).
- [3]. G. H. Dodd, P.N. Bartlett, and J.W. Gardner, “Odours--the stimulus for an electronic nose, in *Sensors and Sensory Systems for an Electronic Nose*”, (J.W. Gardner and P.N. Bartlett, Eds.) Proc. NATO Advanced Research Workshop, Reykjavik, Iceland, August 5-8, (1991).
- [4]. Bartlett, P. N., Elliott, J. M. & Gardner, J. W, “Electronic noses and their applications in the food industry”. *Food Technology*, 51(12), pag: 44-48, (1997).