



Universidad Católica
San Pablo

FACULTAD DE INGENIERÍA Y COMPUTACIÓN
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y
ELECTRÓNICA

Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica y de
Telecomunicaciones

Trabajo de investigación

**ESTUDIO DE LA NARIZ ELECTRÓNICA EN LA
INDUSTRIA ALIMENTARIA**

Autor: Rosmel Cayllahue Quille

Asesor: Dr. Efrain Jose Zenteno Bolaños

Documento presentado a la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica y de Telecomunicaciones como parte de los requisitos para obtener el grado académico de Bachiller en Ingeniería Electrónica y de Telecomunicaciones

Arequipa, Octubre de 2020

"Las empresas son importantes, el trabajo lo es, pero lo verdaderamente valioso está en casa después de trabajar: La Familia"
Fernando Seler Parrado Dolgay, 2008

Índice general

Abstract	3
Resumen	5
1. Introducción	7
1.1. Motivación y contexto	8
1.2. Problema y justificación	8
1.3. Objetivos	9
1.3.1. Objetivo general	9
1.3.2. Objetivos específicos	9
1.4. Metodología	9
2. Marco teórico	11
2.1. Química del aroma	11
2.1.1. Compuestos orgánicos volátiles	11
2.1.2. Condiciones de propagación	12
2.2. Olfato en los mamíferos	12
2.2.1. Humano	12
2.2.2. Animales	13
2.3. Compuestos orgánicos volátiles en los alimentos	14
3. Estado del arte	16
3.1. Narices electrónicas	16
3.1.1. Emulación de sistema biológico olfativo	16
3.1.2. Tipos de sensores de COVs	19
3.1.3. Técnicas de procesamiento	21
3.2. Aplicaciones de la nariz electrónica en la industria alimentaria	22
3.2.1. Industria vitivinícola	22
3.2.2. Industria de lácteos	23
3.2.3. Industria de frutas	23
3.2.4. Aplicaciones en otras industrias	23
4. Conclusiones y trabajos futuros	25

Índice de figuras

2.1. Química de los alimentos	14
3.1. Gráfica comparativa entre el proceso de la nariz humana y la nariz electrónica para determinar un patrón de aroma	17
3.2. Sistema de medición de la nariz electrónica	17
3.3. Métodos de medición tradicional	18
3.4. Circuitería para acondicionamiento de la señal	19
3.5. Tipos de Sensores	20
3.6. Técnicas de análisis aplicadas a las narices electrónicas	21

Abstract

The food industry has been always characterized in providing its fresh, healthy and healthy products; it would be devastating if one of them did not meet the criteria. Faced with this criterion, numerous investigations have emerged, one of them is the electronic nose, which emulates the sense of smell.

This study aims to address the study and analysis of various electronic noses. Reviewing gas sensors (sensors that react to volatile organic components), their technologies, advantages and disadvantages in such a way that they demonstrate the engineering commitments that must be considered to develop electronic noses especially in the food industry.

A review of the literature available in recognized academic databases has been carried out to find the various gas sensing technologies that can be used in electronic noses. Subsequently, according to their included characteristics, they were compared. Solid state technologies for sensing can be seen to have clear advantages over future candidates for integrated electronic nose development.

Keywords: Volatile Organic Components, Electronic Nose, Propagation, Smell System, Microcontroller, VOC Sensor, Storage, Interface, Electronic Nose in Food Industry.

Resumen

La industria alimentaria, siempre se ha caracterizado en otorgar sus productos frescos, sanos y saludables; sería devastador que una de ellas no cumpla el criterio. Frente a este criterio han surgido numerosas investigaciones, una de ellas es la nariz electrónica, el cual, emula el sentido del olfato.

Este estudio pretende abordar el estudio y análisis de diversas narices electrónicas. Revisando sensores de gas (sensores que reaccionan a componentes orgánicos volátiles), sus tecnologías, ventajas y desventajas de tal forma que evidencien los compromisos de ingeniería que deben ser considerados para desarrollar narices electrónicas en especial consideración en la industria alimentaria.

Se ha procedido con una revisión de la literatura disponible en reconocidas bases de datos académicas para encontrar las diversas tecnologías de sensado de gases que pueden ser utilizadas en narices electrónicas. Posteriormente, de acuerdo a sus características éstas fueron comparadas. Se puede ver que tecnologías de estado sólido para el sensado tienen ventajas claras que las hacen candidatas para el desarrollo integrado de narices electrónicas en el futuro.

Palabras claves: Componentes orgánicos volátiles, nariz electrónica, propagación, sistema de olfato, microcontrolador, sensor de COV, almacenamiento, interfaz, nariz electrónica en la industria alimentaria.

Capítulo 1

Introducción

Los seres humanos poseen herramientas biológicas que la acompañan desde el comienzo de su existencia, las cuales permiten la interacción con el medio en donde se encuentran: los sentidos. Estas herramientas biológicas están en el cuerpo humano, que frente a un estímulo ofrecen una respuesta; respuestas que ayudan al ser humano a poder relacionarse con el medio que les rodea; pudiendo de esa forma apoyarnos a protegernos, alimentarnos, vivir, evitar peligros, etc. Es decir los sentidos son vitales para el desarrollo y evolución de la especie.

La capacidad emuladora de los sentidos humanos, data de hace muchos años atrás. A primera impresión parece no tener una aplicación, pero cuando el ser humano pierde o daña una de las funciones del sentido: olfato, visión, tacto, gusto, oído; la emulación se hace importante y necesaria.

Esa capacidad emuladora innata en el ser humano, ha hecho posible el desarrollo de muchas tecnologías nuevas y novedosas en diferentes áreas de la ciencia y la industria. Una de las industrias más reñidas es la alimentaria, pues no en vano existen organismos que velan por la higiene sanitaria de los alimentos como lo es la FAO con la finalidad de garantizar la calidad y su buen consumo humano.

La inspección de alimentos es también parte del ser humano, ya que esta garantiza su salud. Una de los sentidos más involucrados es el sentido del olfato. El sentido del olfato permite identificar la calidad de los alimentos, prevenir la exposición a gases peligrosos e incluso permite que muchos de los aromas inhalados tengan incidencia directa en el estado anímico de la persona. En algunas animales su sentido olfativo tiene implicancia en el apareamiento, detección de drogas, etc [JMR y Bermúdez, 2018]. En ese proceso involucran células (unidad básica del ser vivo), denominadas células quimiosensoriales que se encuentran en la cavidad nasal [Munger et al., 2009]. Estas células en el proceso de inhalación, son alteradas; debido a la presencia de sustancias odorantes las cuales se presentan como compuestos volátiles. Ad

Esta acción de inspección la puede llevar a cabo un ser humano como años anteriores (denominados panelistas), pero éstos sufren alteraciones en sus resultados porque son dependientes al estado de salud, ánimo del panelista. Para solucionar el problema de inestabilidad nace la emulación del sentido del olfato con la denominación de narices electrónicas.

Las narices electrónicas son sistemas de detección compuesto por sensores, cuya función es la brindar una respuesta hacia un compuesto orgánico volátil. Esta respuesta a dado pie a múltiples avances para diferentes campos de la ciencia; claro ejemplo son los estudios recientes aplicados al campo de la industria de la cerveza

[Viejo et al., 2020], carne [Wijaya et al., 2019], salud [Cáceres Tarazona, 2018], etc. En ella evidencian compromisos de ingeniería y dan pie en la importancia en la elección del tipo de sensor a usar y la aplicación que se le va a dar.

Este estudio pretende abordar el diseño y desarrollo de diversas narices electrónicas. Revisando sensores de gas (sensores que reaccionan a componentes COV), sus tecnologías, ventajas y desventajas de tal forma que evidencien los compromisos de ingeniería que deben ser considerados para desarrollar narices electrónicas en aplicaciones puntuales (escenarios específicos).

1.1. Motivación y contexto

Nuestra capacidad olfativa nos permite reconocer, identificar el estado de los alimentos, por ejemplo, cuando estos están en proceso de descomposición. Además, nos permite reconocer gases presentes en el aire que pueden ser nocivos. En otros mamíferos, la capacidad olfativa es aún más desarrollada permitiéndoles percibir las feromonas, que tienen relación con los ciclos reproductivos, detectar otras sustancias con una sensibilidad y alcance mucho mayor.

La motivación del desarrollo de las narices electrónicas es poder aprender las capacidades olfativas de detección e identificación de los seres humanos y animales mamíferos. Esto podría permitir que se utilice en diversas aplicaciones y mejore la sensibilidad y precisión.

En esta tesis, nos motiva aprender sobre el desarrollo de las narices electrónicas, las tecnologías que permiten su funcionamiento y cómo éstas pueden aplicarse a la industria de alimentos. Preveemos que con la industrialización de nuestro país, su aplicación puede servir para elevar la competitividad y elevar la calidad en la producción de la industria alimentaria.

1.2. Problema y justificación

La inspección de alimentos en la industria alimentaria aún presenta procesos muchas veces invasivos (cortes), para la determinación de la calidad. La realización de corte para el análisis requiere interactuar con la muestra, en algunos casos dañarla (en el caso de las frutas por ejemplo). Además, esta medición se realiza basados en el muestreo. Es decir, se prueba algunas muestras de un lote y se espera que el resto tenga un comportamiento similar. Lo ideal sería poder capturar de alguna forma la calidad de los alimentos sin dañarlos y que además permita que todas o la mayoría pasen este tipo de análisis. Esta investigación pretende emplear métodos no invasivos, que muestren mejor o igual respuesta a la determinación de la calidad de alimentos. Las señales presentes como Compuestos Orgánicos Volátiles (COV), es aprovechable. Para aprovechar esas señales, es necesaria el diseño e implementación de una nariz electrónica, cuya característica debe ser el ahorro del consumo energético y portabilidad.

La seguridad alimentaria es uno de los temas más importantes para el desarrollo de las naciones [Figueroa Pedraza, 2003]. Esta tesis busca aportar en el conocimiento de las narices electrónicas que contribuyan a mejorar la seguridad alimentaria u otras aplicaciones que se pueden ver en la actualidad.

Recientemente y gracias a la mejora en las técnicas de construcción de dispositivos electrónicos se han desarrollado diversos tipos de dispositivos sensores de COV.

Sin embargo, la información sobre comparaciones de diversos tipos de tecnologías de sensores COV aún no es muy extendida.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Estudiar y comparar diversas tecnologías de las narices electrónicas y de su implementación que pueda ser utilizada en la inspección de alimentos; que cumplan criterios de portabilidad y bajo consumo energético.

1.3.2. Objetivos específicos

- Realizar estudio bibliográfico de diseño he implementación de la interfaz (circuito) de la nariz electrónica que empleen componentes presentes en el mercado.
- Comprender los principios físico-químicos que afectan los COVs para analizar las ventajas y desventajas en su sensado.
- Comparar las diversas tecnologías del sensado de COV y de su calibración.
- Analizar técnicas de análisis de datos y costos.

1.4. Metodología

La metodología es de corte académico y se realizará una revisión del estado del arte. Para ello se analizará diversas publicaciones encontradas en bases de datos científicas reconocidas. La organización estará constituida como primera etapa de una revisión bibliográfica de anteriores desarrollados de las narices electrónicas, su tecnología y sus aplicaciones.

En una segunda etapa, se estudiará los componentes orgánicos volátiles (COVs) siendo estos los que permiten la propagación del aroma, en particular se revisará las leyes de los gases y su propagación.

Posteriormente, se revisará los tipos de sensor de COV (tipo de tecnología, principio, costo, usos y restricciones)

Finalmente, se analizará las técnicas de análisis de datos.

Este documento esperamos que sirva a ingenieros y entusiastas en el desarrollo de narices electrónicas y provea algunas luces sobre su implementación.

Capítulo 2

Marco teórico

Este capítulo desarrolla conceptos necesarios para el desarrollo de la tesis, que permitirá ayudar en el desarrollo de los objetivos planteados.

2.1. Química del aroma

No se sabe con exactitud el comienzo de la química de los alimentos. Muchas de las técnicas de procesamiento datan de épocas egipcias, aztecas, romanas u otras más antiguas. Pero, en la actualidad los conocimientos científicos y tecnológicos son amplios.

El aroma desempeña un papel importante en la elección de los alimentos. Para la percepción, la molécula estimulante debe ser volátil (de bajo peso molecular) [Badui Dergal, 2016]. En la percepción participan varios componentes, como es la corriente del aire en el transporte hacia las paredes olfativas.

El aroma se encuentra definido como la composición de sustancias químicas a las que se le denomina compuestos orgánicos volátiles (COV) [Badui Dergal, 2016]. Las sustancias químicas en su gran mayoría como veremos más adelante están constituidas de compuestos de alcoholes, cetonas, aldehídos, etc. El cual con la ayuda del aire se propagan en el medio.

Las sustancias químicas a la presencia del aire se trasladan hacia las células quimio-sensoriales produciendo en el individuo estados de agrado o rechazo, dejando en claro que este último efecto permite muchas aplicaciones, desde su determinación hasta posibles monitoreos.

2.1.1. Compuestos orgánicos volátiles

Los compuestos orgánicos volátiles (COV) son moléculas orgánicas de masa molecular no muy elevada, inferior a 400 [Guadayol, 1995]. Esa característica molecular hace posible que a una presión atmosférica y temperatura ambiental se encuentre en un vapor en la atmósfera, provocando un estímulo en la mucosa olfativa.

Dentro de su correspondencia química, los COV se encuentran en diversos grupos de la química orgánica: alcoholes, éteres, hidrocarburos, cetonas, ésteres, etc [Guadayol, 1995].

El aroma y sabor de los alimentos poseen una relación entre sí, pero sus propiedades son distintas; el sabor, debe tener mayor peso molecular y es no volátil, a

diferencia del aroma que necesariamente deber ser volátil y de bajo peso molecular para que pueda llegar a las paredes olfativas [Badui Dergal, 2016].

El número de registros de COV aumenta considerablemente cada año. Según [Badui Dergal, 2016] hasta el año 2016 se conocían 10,000 diferentes compuestos responsables del aroma. Las principales reacciones en la generación de los COV son la hidrólisis y la oxidación de lípidos, reacciones enzimáticas, reacciones de oscurecimiento no enzimático y reacciones fotoquímicas.

2.1.2. Condiciones de propagación

Al mencionar aroma, el cual es materia de investigación, es necesario la previa definición de esta misma: por tanto, el gas es una o un conjunto de moléculas que se encuentran en interacción débil, sin formar enlaces moleculares que podrían alterar su estado. La atracción molecular entre una molécula y otra no es fuerte, por ello, éstas se mueven a gran velocidad, dando origen a las siguientes propiedades:

- Dado la velocidad y la libertad que sus moléculas tienen, el gas es capaz de tomar cualquier forma del recipiente.
- Como el espacio entre una molécula y otra es grande, estas pueden comprimirse.

Los gases se exponen a factores ambientales las cuales modifican la presión y su composición química interna, dicho de otra manera, las moléculas en un recipiente o ambiente cerrado se mueven con mayor rapidez si la temperatura es mayor por las colisiones que existen en ellas.

2.2. Olfato en los mamíferos

Las sustancias dispersas en el medio exterior en forma de moléculas volátiles, son capturados por el sentido del olfato. Estas proporcionan información con las que se adoptan medidas de supervivencia, relacionados con la búsqueda de alimentos y hábitat. Además en algunos casos ayudan en el proceso de la reproducción [Fuentes del Campo et al., 2011].

2.2.1. Humano

Un novelista francés, Marcel Proust, autor del estilo onírico, describía como el aroma hacia recordar cosas pasadas de su infancia, afirmando, la participación del aroma en la relación entre memoria y emoción. Dejando en claro que hay más cosas por descubrir, y nos abre a un mundo mucho mas amplio de la ciencia.

En el ser humano, la función del sistema olfatorio de manera completa, no se conoce [López-Mascaraque and Alonso, 2017]. Debido a que el olfato se asemeja a un sensor químico muy fino, cuya función es el análisis constante de productos cercanos a ello, obviamente sin la participación de procesos complejos como tubos de ensayo, que si ocurre, en procesos de identificación química.

El epitelio olfatorio localizado en la parte posterior de la cavidad nasal entra en contacto con los olores que se encuentran en el medio. Dentro del epitelio olfatorio se encuentran tres tipos de células: las neuronas sensitivas olfatorias, los soportes celulares y células basales. Estas células están constituidas por dendritas, las cuales

otorgan un código al olor que ha encontrado espacio en el epitelio olfatorio. Después de esta codificación, otras células como ATP, iones Ca, Na, etc, la convierten en un impulso eléctrico. Esta información viaja por el bulbo olfatorio hacia la amígdala, tálamo, hipotálamo, donde se relaciona con la cognición, memoria y la emoción-cerebro [Li et al., 2009].

El sentido del olfato tiene la capacidad de percibir una gran cantidad de aromas, según datos bibliográficos más de 10 mil tipos de aroma, de las cuales pueden discriminar al menos tres mil de estos. Todo este proceso nace a partir de que moléculas aromáticas y odoríferos estimulan el epitelio olfatorio (el cual cuenta al menos de 20 a 30 millones de células olfativas humanas (cilios)) ubicado en la cavidad nasal, dado este estímulo se activa las prolongaciones nerviosas las cuales atraviesan, para luego enviar un impulso eléctrico al cerebro y poder guardar la información para usarla en una próxima [Guzmán et al., 2010]. De ella se desprenden una gran cantidad de funciones, cruciales para la supervivencia del ser humano, entre ellas, darnos signos de algún peligro de algún gas nocivo, determinar calidad de productos y incluso poder asociar aromas a distintas historias nuestras. Como todo sistema complejo el sentido del olfato tiene subsistemas:

- Cavidad Nasal: Cubierta por una membrana mucosa (evita la sequedad de la nariz para proteger de hemorragias) y vellos nasales, el cual funciona como barrera contra agentes diferentes al aroma.
- Fosas Nasales: Es la parte de la cavidad nasal por donde ingresa el olor.
- Bulbo olfatorio: Conecta la parte final de la cavidad nasal con el sistema nervioso central. El aroma es transformada en impulsos eléctricos que viajan al cerebro.
- Hueso etmoides: Encargado de soporte de la cavidad nasal
- Nervio olfatorio: Encargado de impartir la información a otras áreas del sentido del olfato.
- Membrana olfatoria: Encargado de la detección de compuestos volátiles.

La estimulación de los receptores olfatorios ocurre siempre y cuando las sustancias que ingresan a la cavidad nasal sean volátiles. Además, esa volatilidad, debe tener, la propiedad de solubilidad en el agua, para que estas sean solubles en la mucosidad.

2.2.2. Animales

El sistema del olfato es crucial en los animales, debido a que ella les proporciona información para sobrevivir, discriminar la comida, elegir una pareja, marcar territorio y detectar depredadores cercanos. Esta capacidad es irremplazable por otro sistema de sensores [Li et al., 2009]. En los animales, el sentido del olfato es muy importante, dado que les sirve para la búsqueda de alimentos, escondite y pareja. Adicionalmente, la sensibilidad de algunos mamíferos es aún superior a la de un humano, claro ejemplo es, los perros, quienes tienen la posibilidad de poder distinguir drogas. Al igual que en los seres humanos, los mamíferos poseen una cavidad nasal, donde las señales químicas externas se transforman en señales eléctricas. Esta acción, en algunas especies es muy desarrollada, generalmente en carroñeros y herbívoros,

incluso. Claro ejemplo, son los perros, quienes se dice es un millón de veces mejor que la de un hombre [Hallgren, 2020], capturan olores dentro de 150 cm cuadrados, el cual le hace superior a la de un ser humano, que máximo puede cubrir un rango de 5 cm cuadrados.

2.3. Compuestos orgánicos volátiles en los alimentos

Hablar de compuestos orgánicos volátiles, es mencionar también, la química de los alimentos. Por lo tanto vamos a dar un resumen de la constitución general de los alimentos, desde la perspectiva de la química.

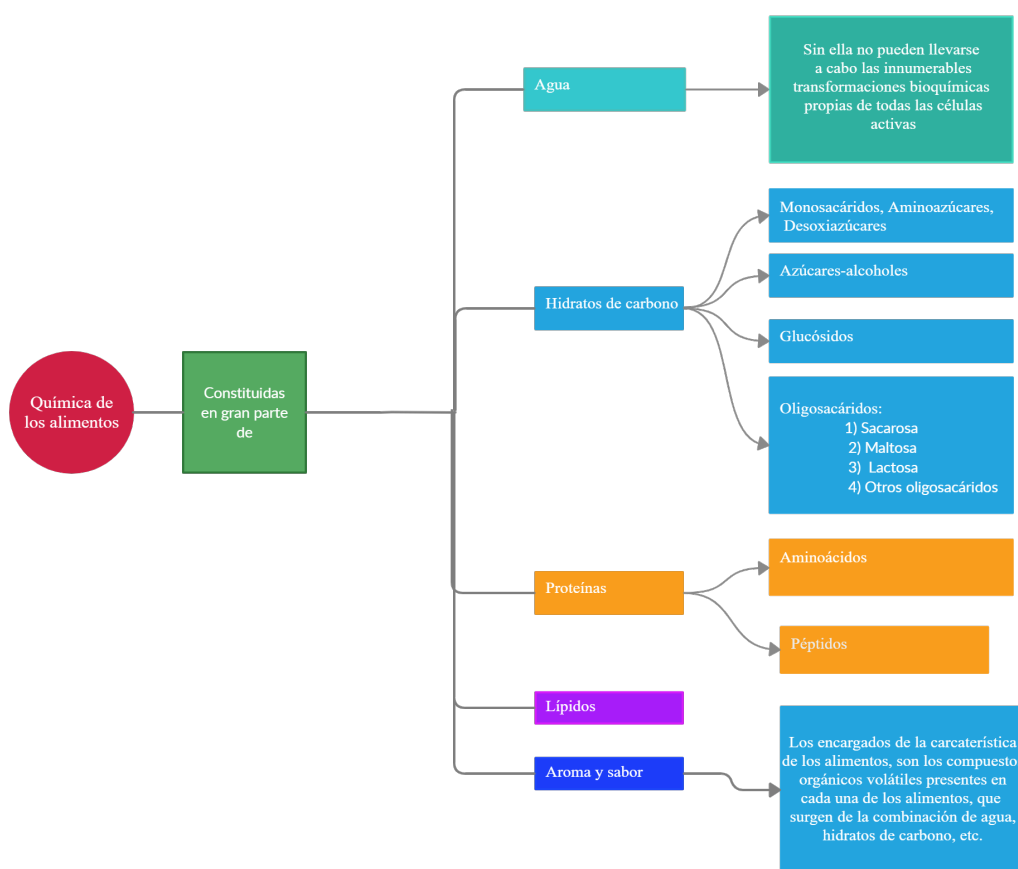


Figura 2.1: Química de los alimentos

De la figura 2.1, podemos decir que los compuestos orgánicos volátiles resultan ser muy variadas, porque, surgen de la combinación de agua, hidratos de carbono, lípidos, proteínas, ésteres, éteres, etc. El presente estudio no se enfocará en estudiar cada constitución química, que bien una rama de química orgánica la podría desarrollar, mas se dará el enfoque en el estudio de cómo esas señales podría usarse para caracterizar cada alimento. Bien describe el siguiente libro la química de los alimentos [Badui Dergal, 2016], que los compuestos orgánicos volátiles (en cuanto a descubrimiento) sigue en aumento, debido a la mejora que se ha desarrollado en cuanto a análisis y extracción.

Capítulo 3

Estado del arte

Si bien el estudio del aroma se estableció aproximadamente desde los años de 1846 en Francia, no fue hasta el año de 1961 que se presenta un trabajo relacionado a la nariz electrónica como un instrumento mecánico de medición de aromas asignado a Moncrieff [Gardner and Bartlett, 1994]. Después de este avance; Wilkens y Hatmans reportaron las primeras investigaciones aplicando reacciones redox de los olores en un electrodo en el año de 1964.

La primera conferencia que se desarrolló acerca del tema en investigación fue en el año de 1990 con una propuesta de análisis quimiosensorial desde una perspectiva neurofuncional; donde se puso en discusión el concepto de nariz electrónica, debido a muchos sobrenombres que se le fueron acuñando, tales como: olfato artificial, sistema de detección, nariz mecánica; toda la información surgida de la discusión se terminó en la siguiente definición: Una nariz electrónica es un instrumento que agrupa un conjunto de sensores capaz de poder reconocer aromas simples y complejos [Gardner and Bartlett, 1994].

El término de nariz electrónica aplicando matriz de sensores químicos y sistemas complejos e inteligentes para clasificar olores fue acuñado en el año de 1982 con la publicación de una monografía hecha por Persaud y Dobb en la Universidad de Warwick en el reino Unido. En esta investigación ya se hizo dos estudios a la par, una de ellas fue la aplicación de sensores semiconductores de óxidos metálicos, para luego aplicar polímeros conductores.

3.1. Narices electrónicas

3.1.1. Emulación de sistema biológico olfativo

En cuanto a la nariz electrónica numerosas investigaciones consideraron que es un conjunto de sensores químicos, sensores bioquímicos, matriz de sensores de gas, olfato artificial pero no es hasta cuando una publicación importante hecha por Gardner y Bartlett [Gardner and Bartlett, 1992] la que define a esta cómo: un instrumento electrónico, que involucra he integra sensores químicos electrónicos generalmente aquellas denominadas sensores de gas con características de medición parcial o un completo sistema de medición apropiados en reconocimiento de patrones característicos, que tienen la peculiaridad del reconocimiento de aromas simples o complejos [Stetter and Penrose, 2002]. Dados estos datos entre la nariz electrónica y el sentido del olfato se puede llegar a concluir que existe una posibilidad de poder asemejar (emular) nuestro sentido de manera artificial. A manera de resumen y forma

representativa se muestra la siguiente figura 3.1:

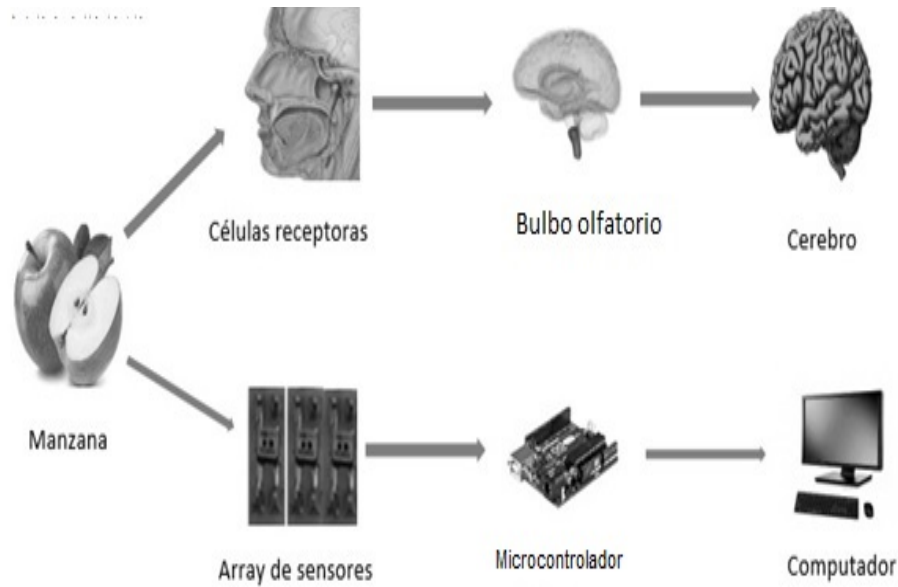


Figura 3.1: Gráfica comparativa entre el proceso de la nariz humana y la nariz electrónica para determinar un patrón de aroma

De la figura 3.1 podemos afirmar que la similitud recae en cada proceso. El ente material a probar en esa imagen es una manzana quien emite compuestos volátiles (COV) y estas al dispersarse en el aire hacia el medio pasan a excitar un proceso; en caso del plano humano, el proceso que la recibe son las células olfatorias y en el caso de la nariz electrónica son la matriz de sensores, luego pasan por el bulbo olfatorio e el plano humano y en el plano electrónico por un microcontrolador, por último el cerebro y el computador quienes se encargan del proceso de identificación.

Las narices electrónicas, estuvieron en desarrollo desde los principios de la década de 1980 [Nagle et al., 1998]. Los diferentes avances se realizaron con una sola idea: emular el sistema del olfato.

1. Bloque de sistema de medición en una nariz electrónica.

Los sistemas que involucran la medición en una nariz electrónica según el artículo [Moreno et al., 2009], se resumen en tres bloques con sus respectivos subsistemas.

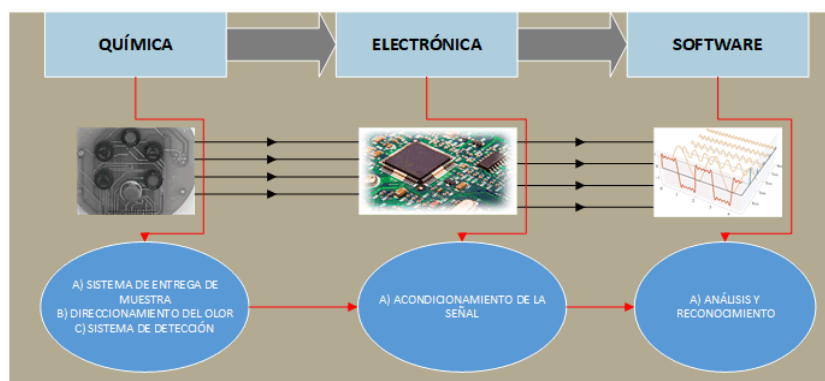


Figura 3.2: Sistema de medición de la nariz electrónica

- Química:** Corresponde a la adaptación de los compuestos orgánicos volátiles. Este bloque además, posee subsistemas que permiten que el bloque tenga un óptimo desarrollo: entrega de muestras, direccionamiento del olor y sistema de detección. La entrega de muestras es un proceso importante, ya que, de esta depende el resultado final. Por tanto, la muestra debe ser un analito con alta pureza; lo cual, nos lleva a tener que eliminar las interferencias que podría afectar el analito. Existen métodos como la purga o trampa que se detallan en el artículo [Moreno et al., 2009]. Estos analitos deben tenerse en forma de gas para así poder pasar por el sistema de sensores. Los subsistema de detección tradicional usados años atrás fueron las siguientes Figura 3.2.

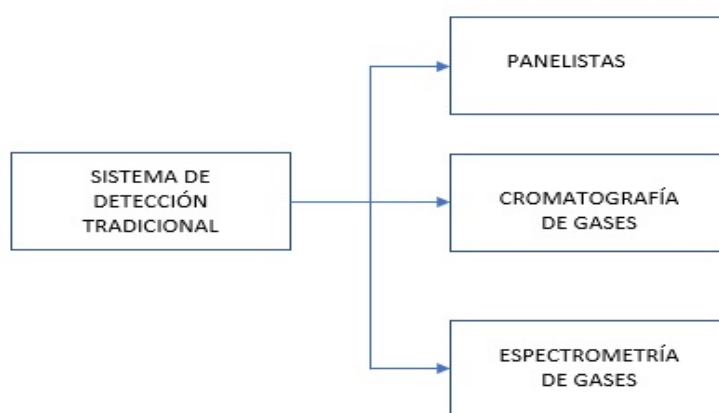


Figura 3.3: Métodos de medición tradicional

De la figura 3.3, los panelistas fueron personas que tenían la capacidad de poder distinguir olores en un determinado campo de la industria, estas fueron reemplazándose por otras técnicas, ya que tenían errores considerables, por depender de la salud del panelista, tanto física como mental. El método de cromatografía de gases y espectrometría de masas aún hoy en la actualidad se usan en muchos campos de la ciencia para cuantificar analitos, pero estas son demasiado costosas y requieren de mucho tiempo, y muy pocas veces se realiza en el campo [Nagle et al., 1998].

Hay otra técnica más moderna, que supera los problemas anteriores, y este es el uso de matriz de sensores de COVs. Esta matriz de sensores debe estar ubicada en una cámara que garantice las condiciones de trabajo para identificar de manera efectiva el analito a medir. Según [Moreno et al., 2009] afirma que el uso de sensores en una nariz electrónica es más fácil y más rápida, pero la desventaja es que los compuestos orgánicos volátiles no pueden ser cuantificados analíticamente.

El uso de matriz de sensores de COVs, tiene una explicación lógica: un solo sensor responde a muchas muestras y varios sensores me dan una respuesta a esa misma muestra. De tal modo que, es recomendable tener una mariz de sensores [Moreno et al., 2009].

- Electrónica:** Esta parte se refiere al acondicionamiento de la señal eléctrica producto de los sensores del bloque químico, ya que las señales no

pueden entrar de manera directa al procesador; pues antes, deben de ser procesada por circuitería adicional.

Esta circuitería involucra el tema de filtrado de la señal y algunas compensaciones térmicas [Peris and Escuder-Gilabert, 2009].

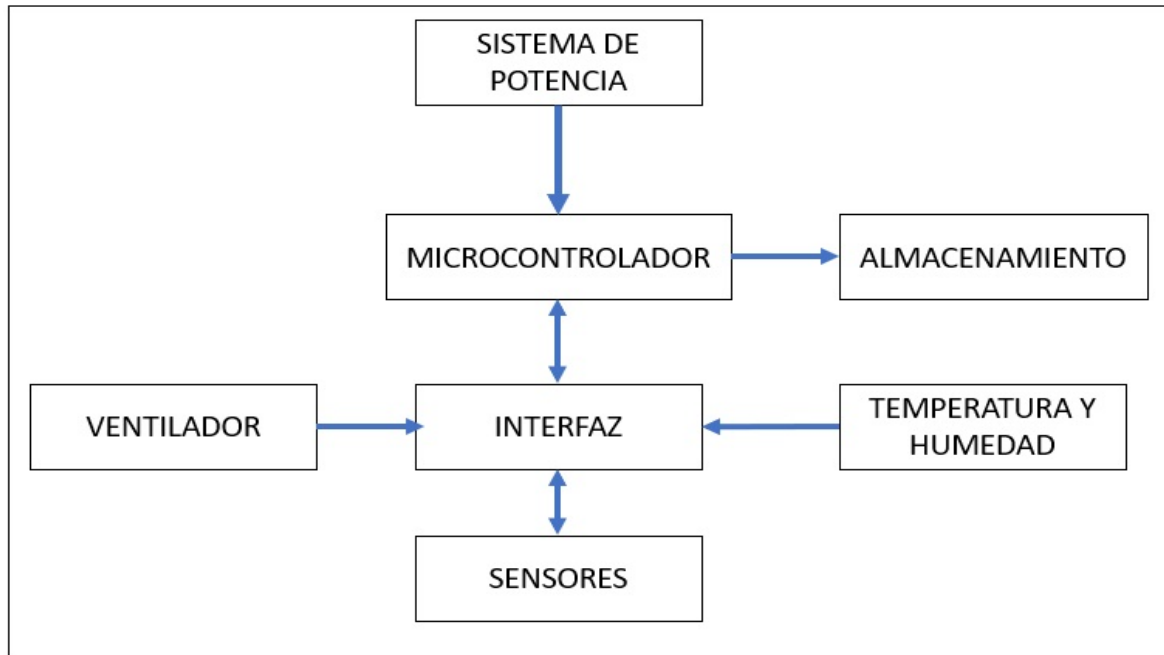


Figura 3.4: Circuitería para acondicionamiento de la señal

- **Software:** El resultado de la adaptación de la señal, descrita en el párrafo anterior debe seguir un análisis y caracterización de patrones, por tanto interviene la parte del software donde involucran varios métodos de análisis [Peris and Escuder-Gilabert, 2009].

2. Empresas de narices electrónicas 2020

Existen varias empresas que se dedican a la elaboración de narices electrónicas como las que menciona la siguiente investigación [Loutfi et al., 2015], [Wilson and Baietto, 2009]. Donde podemos ver la mayoría se elabora en Alemania con sensores de tecnología MOS. Las empresas conocidas son: Aairsense Analytics, Gersel GmbH, Sysca AG. Algunas como Osmetech Olc son elaboradas en Estados Unidos.

Dado el contexto actual que se vive en todo el mundo con la pandemia COVID19, la pagina de 100tek muestra un análisis del actual mercado de nariz electrónica, donde existen las siguientes empresas Aairsense, Alpha MOS, Odotech, Brechbuehler, Scensive, Technology, E-Nose Pty Ltd, Electronic Sensor Technology y Sensigent. Estas actuales empresas no están netamente ligados a la industria alimentaria pero tienen impacto en estas.

3.1.2. Tipos de sensores de COVs

Según [Moreno et al., 2009] clasifica a los sensores de COVs de acuerdo a la complejidad, como directos y complejos.

Los denominados directos o simples son aquellas que ofrecen una respuesta directa a un fenómeno químico; las respuestas suelen ser corriente, resistencia, tensión y capacitancia.

Los denominados indirectos o complejos son aquellas que necesariamente incluyen transductores para tener una señal eléctrica. En la siguiente imagen mostraremos esta clasificación y algunos sensores de ejemplo.

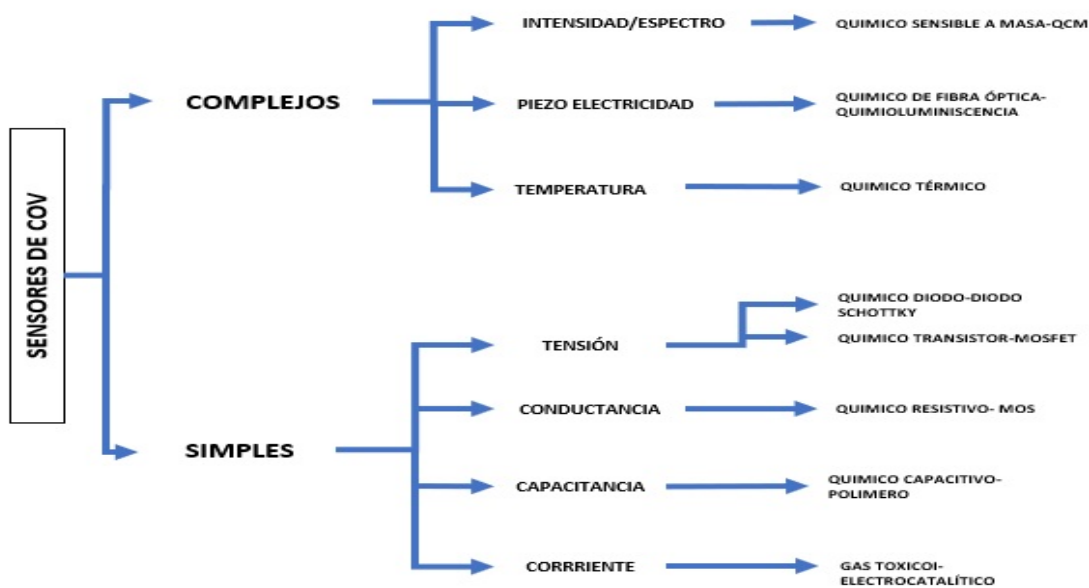


Figura 3.5: Tipos de Sensores

Dentro de los tipos de sensores mencionados en la Figura 3.5, hay estudios que obtuvieron ventajas y desventajas de estos sensores, las cuales se pueden revisar en el artículo [Nagle et al., 1998], [Wilson and Baietto, 2009] en la siguiente tabla 3.1.

Tipo de sensor	Ventaja	Desventajas
QCM	Tecnología bien entendida.	Interferencia electrónica
MOSFET	Integrado con circuito de interfaz electrónica	El olor debe interactuar con el sensor.
MOS	Sensitividad alta, respuesta rápida.	Operación a alta temperatura, pobre precisión
Sensores polimeros conductores	Sensible a muchos COV y funcionamiento a temperatura ambiente	Vida de uso limitado
Oxido de metal	Económico	Operación a alta temperatura, pobre precisión
Óptico	Alta inmunidad al ruido eléctrico	Disponibilidad restringida
Quimioluminiscencia	Muestra no consumida	Requiere de dispositivos cuánticos

Cuadro 3.1: Ventajas y desventaja de sensores de COV

Costo de narices electrónicas

En cuanto a costo de las narices electrónicas va disminuyendo al pasar los años y las investigaciones que se hacen frente a este, tal como muestra el artículo [Nagle et al., 1998] donde el precio para el año de 1998 era alrededor de 20 000 a 100 000 dólares. Para el año 2013 ese valor había disminuido alrededor de 200 dólares [Macías et al., 2013]. Esto se debe a la creciente disminución de costo de los sensores de COV.

3.1.3. Técnicas de procesamiento

En realidad la capacidad de una nariz electrónica se encuentra muy asociada a la técnica de procesamiento, dado que no existe una relación analítica entre el COV y lo que se desea medir. Por ello en la literatura se puede ver que se ha utilizado principalmente técnicas de procesamiento que permiten clasificar, estimar valores que se aprenden a partir de la experimentación. Es común encontrar técnicas como PCA, PNN, entre otras las cuales enumeraremos a continuación. Entiéndase como técnica al análisis que recae en la última parte de reconocimiento de patrones de características. Las técnicas de procesamiento se dividen en dos grandes grupos: Supervisadas y no supervisadas, Figura 3.6.

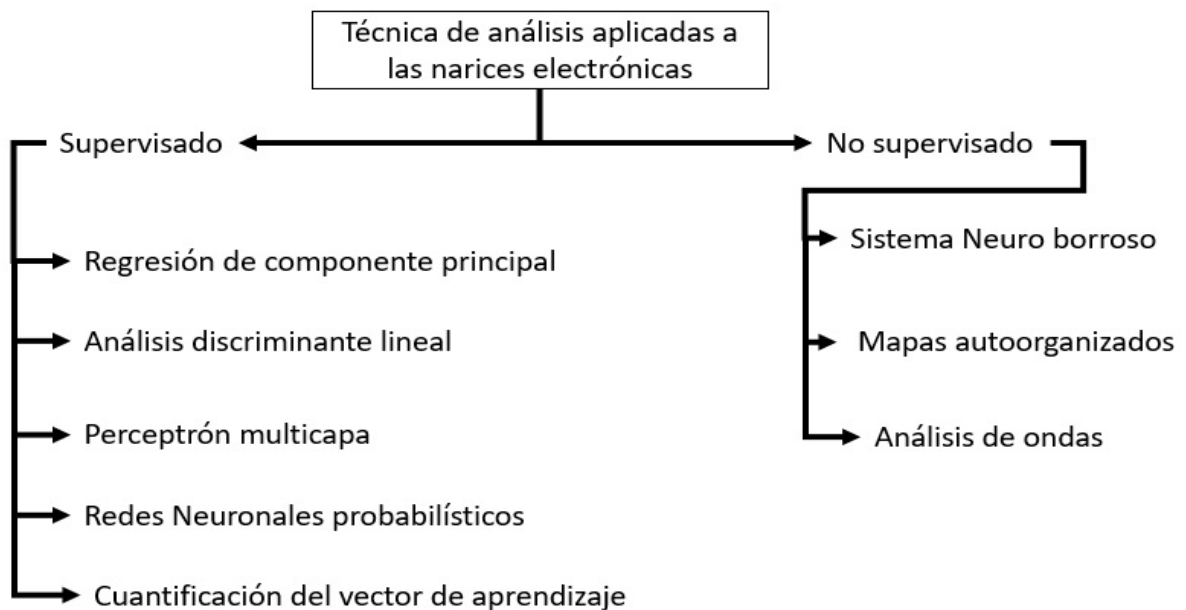


Figura 3.6: Técnicas de análisis aplicadas a las narices electrónicas

Las técnicas supervisadas consideran en su análisis el conocimiento previo de un COV conocido, que son producto de calibración inicial. Las técnicas no supervisadas no usan datos a priori, su misión es incrementar datos estructurales. Se ha encontrado en la referencia bibliográfica que se ha usado diferentes tipos de análisis, por ejemplo para reconocimiento de vino se ha usado: análisis de componentes principales (PCA) y red neuronal probabilística (PNN) [García et al., 2006].

Para [Moreno et al., 2009] los modelos de análisis más usados son los que corresponden al análisis discriminante Lineal (LDA) , pero para que esta técnica pueda

ser usada los datos obtenidos deben de ser linealmente separables. El otro modelos es el ya mencionado PCA, donde antes se debe tener o construir coeficientes de correlación.

Para evaluar la madurez de la fruta, en especial la manzana se ha usado métodos de procesamiento como PCA [Brezmes et al., 2005],

Para el análisis de la adulteración de la leche se aplicó la técnica de análisis de componentes principales PCA [Labreche et al., 2005], [Yu et al., 2007].

Existen modelos no lineales, las cuales según la complejidad de los datos podemos aplicar a las narices electrónicas, tales como MLP (Perceptrón multicapa), ANN (redes neuronales artificiales), FIS (Sistema de inferencia difusa), GA (Algoritmos genéticos), etc [Li et al., 2009].

3.2. Aplicaciones de la nariz electrónica en la industria alimentaria

Dentro de este contexto la aplicación de la nariz electrónica es muy variada desde las aplicaciones de la medicina tal como muestra [Keller et al., 1995], en temas de diagnóstico en problemas gastrointestinales, diabetes, heridas infectadas, etc, también en el ámbito de la agroindustria [Baldwin et al., 2011] como la determinación de la vida útil de gajos de papa frita [Chatterjee et al., 2014] y también al lado de bebidas en para el reconocimiento de la viña de un vino tinto [Di Natale et al., 1996] y numerosos otras investigaciones relacionadas.

El tipo de sistemas de aroma presente en un determinado lugar puede estar sujeta a las especies ecológicas, ya que esta en cualquier sistema de medición de calidad ambiental han de jugar un papel importante, debido a que modifican el estado químico que pueda tener un ente. Donde se demuestra otra vez más que el factor temperatura jugará un papel importante en la clasificación de una fruta a otra. Uno de los campos menos explorados y hoy en día temas de mucho interés es lo referente a la salud emocional del ser humano. Estudios refieren que el clima laboral, el estrés continuo, la fuerte presión social a permitido el apogeo de problemas de salud mental. Dentro de este escenario existe la medicina alternativa, la aromaterapia, como refiere el artículo [Ali et al., 2015] que la terapia aromaterapia se ha establecido desde el siglo XX y XXI para tratar diferentes afecciones con resultados sorprendentes; dentro de este artículo menciona que por ejemplo las afecciones como la ansiedad, el estrés fueron tratadas con el aroma de Citrus sinensis (sweet orange) o comúnmente denominada naranja, entre otras frutas.

3.2.1. Industria vitivinícola

Las narices electrónicas han encontrado uso en la industria vitivinícola para caracterizar y clasificar distintos tipos de vino [García et al., 2006], también se ha visto su aplicación en el monitoreo en la fermentación y envejecimiento del vino [Lozano et al., 2008]. Incluso hay un estudio que indica que se puede predecir el origen el vino según a producción geografía [Buratti et al., 2007].

3.2.2. Industria de lácteos

La industria de los lácteos, en específico la leche, no ha sido la excepción de las narices electrónicas, pues se ha visto aplicaciones en la determinación de la vida útil de la leche, donde además se analiza a la evolución de la leche [Labreche et al., 2005], además, hay estudios muestran que se puede realizar reconocimiento y clasificación de la leche [Brudzewski et al., 2004]. También, se ha visto aplicación de la nariz electrónica en la determinación de adulteración [Yu et al., 2007]. Según [Loutfi et al., 2015] la leche contiene un conjunto de COVs de acetona, hexanal, 2-pentanol, etc); la cual la hace fácil la discriminación con la nariz electrónica.

3.2.3. Industria de frutas

La industria de las frutas tampoco a sido ajeno a la presencia de la nariz electrónica, pues existe estudios relacionados al respecto, como el seguimiento no destructivo en el proceso de maduración de la fruta [Brezmes et al., 2000], [Brezmes et al., 2005], en el mencionado estudio se muestra la posibilidad de la clasificación de tres estados diferentes de maduración: verde, maduro, súper maduro; con una precisión del 92 %.

3.2.4. Aplicaciones en otras industrias

El té y el café también fueron analizados para saber el grado de cafeína que se tenía [Loutfi et al., 2015], la industria de la frescura de la carne fue desarrollada por [Wilson and Baietto, 2009], [Loutfi et al., 2015] adicionalmente también la industria de la agricultura.

Capítulo 4

Conclusiones y trabajos futuros

- Los módulos del sistema de la nariz electrónica nos da a conocer que existen compromisos de ingeniería, ya que reúnen conceptos de química, electrónica y análisis de datos. Tal como se a revisado las referencias bibliográficas se ha tenido grandes avances tanto en el avance del conocimiento del sistema olfatorio como el desarrollo de la nariz electrónica.
- Los principios físico-químicos, nos dan a conocer que los COV, sufren alteraciones con efectos de temperatura, humedad relativa y la misma dirección del aire. Por tanto, es necesario conocer las leyes de los gases para para poder llegar a compensar a las mediciones que se va ha obtener.
- Las tecnologías de sensado de COV son dos: las invasivas y las no invasivas. Las invasivas recurren al corte de los productos a medir, mientras las no invasivas solo necesitan alguna propiedad que emane al exterior. En ella se ha visto compromisos de técnicas, las cuales directamente involucran conocimiento de la matemática.
- Un aspecto a considerar de los sensores de gas, es su precalentamiento. Es recomendable revisar hoja técnica de los sensores.
- El costo de la elaboración de las narices electrónicas con el pasar de los años a ido en disminución, por lo tanto, se hace cada vez más accesible su elaboración para la contribución de la sociedad.

Nomenclature

ANN Redes neuronales artificiales

COV Compuestos Orgánicos Volátiles

FAO Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación

FIS Sistema de inferencia difusa

GA Algoritmos genéticos

LDA análisis discriminante Lineal

MLP Perceptrón multicapa

MOS Sensores óxido metálicos

MOSFET Sensor transistor de efecto de campo basado en estructura MOS

PCA Análisis de componentes principales

PNN Redes neuronales probabilísticas

QCM Sensor de microbalanza de cuarzo

Bibliografía

- [Ali et al., 2015] Ali, B., Al-Wabel, N. A., Shams, S., Ahamad, A., Khan, S. A., and Anwar, F. (2015). Essential oils used in aromatherapy: A systemic review. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 5(8):601–611.
- [Badui Dergal, 2016] Badui Dergal, S. (2016). *Química de los alimentos*. México, Pearson Educación.
- [Baldwin et al., 2011] Baldwin, E. A., Bai, J., Plotto, A., and Dea, S. (2011). Electronic noses and tongues: Applications for the food and pharmaceutical industries. *Sensors*, 11(5):4744–4766.
- [Brezmes et al., 2005] Brezmes, J., Fructuoso, M. L., Llobet, E., Vilanova, X., Recasens, I., Orts, J., Saiz, G., and Correig, X. (2005). Evaluation of an electronic nose to assess fruit ripeness. *IEEE Sensors Journal*, 5(1):97–108.
- [Brezmes et al., 2000] Brezmes, J., Llobet, E., Vilanova, X., Saiz, G., and Correig, X. (2000). Fruit ripeness monitoring using an electronic nose. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 69(3):223–229.
- [Brudzewski et al., 2004] Brudzewski, K., Osowski, S., and Markiewicz, T. (2004). Classification of milk by means of an electronic nose and svm neural network. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 98(2-3):291–298.
- [Buratti et al., 2007] Buratti, S., Ballabio, D., Benedetti, S., and Cosio, M. (2007). Prediction of italian red wine sensorial descriptors from electronic nose, electronic tongue and spectrophotometric measurements by means of genetic algorithm regression models. *Food Chemistry*, 100(1):211–218.
- [Cáceres Tarazona, 2018] Cáceres Tarazona, J. M. (2018). Desarrollo de un sistema de olfato electrónico para la detección de cáncer gástrico a través del aliento exhalado.
- [Chatterjee et al., 2014] Chatterjee, D., Bhattacharjee, P., and Bhattacharyya, N. (2014). Development of methodology for assessment of shelf-life of fried potato wedges using electronic noses: Sensor screening by fuzzy logic analysis. *Journal of Food Engineering*, 133:23–29.
- [Di Natale et al., 1996] Di Natale, C., Davide, F. A., D’Amico, A., Nelli, P., Gropelli, S., and Sberveglieri, G. (1996). An electronic nose for the recognition of the vineyard of a red wine. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 33(1-3):83–88.
- [Figueroa Pedraza, 2003] Figueroa Pedraza, D. (2003). Gobiernos y seguridad alimentaria. *Revista Costarricense de Salud Pública*, 12(22):42–52.

- [Fuentes del Campo et al., 2011] Fuentes del Campo, A., Fresno Rivas, M. J., Santander, H., Valenzuela, S., Gutiérrez, M. F., and Miralles Lozano, R. (2011). Sensopercepción olfatoria: una revisión.
- [García et al., 2006] García, M., Aleixandre, M., Gutiérrez, J., and Horrillo, M. (2006). Electronic nose for wine discrimination. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 113(2):911–916.
- [Gardner and Bartlett, 1992] Gardner, J. W. and Bartlett, P. N. (1992). *Sensors and sensory systems for an electronic nose*. Springer.
- [Gardner and Bartlett, 1994] Gardner, J. W. and Bartlett, P. N. (1994). A brief history of electronic noses. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 18(1-3):210–211.
- [Guadayol, 1995] Guadayol, J. M. (1995). *Estudio de los parámetros para la determinación de los compuestos orgánicos volátiles de la oleoresina de pimentón*. PhD thesis, Universitat Politècnica de Catalunya (UPC).
- [Guzmán et al., 2010] Guzmán, Y., López, R. M., Barradas, O. G., Sánchez, S. C., and Muñiz, O. M. (2010). El fascinante mundo de los olores. *Revista de divulgación científica y tecnológica de la Universidad Veracruzana (electrónica)*, 1:23.
- [Hallgren, 2020] Hallgren, A. (2020). *Adiestramiento mental para perros*. Parkstone International.
- [JMR y Bermúdez, 2018] JMR y Bermúdez, A y Rojas, T. y. o. (2018). Contaminación por olor: causas, efectos y posibles soluciones para una contaminación imperceptible. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*.
- [Keller et al., 1995] Keller, P. E., Kangas, L. J., Liden, L. H., Hashem, S., and Kouzes, R. T. (1995). Electronic noses and their applications. In *World Congress on Neural Networks (WCNN)*, pages 928–931.
- [Labreche et al., 2005] Labreche, S., Bazzo, S., Cade, S., and Chanie, E. (2005). Shelf life determination by electronic nose: application to milk. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 106(1):199–206.
- [Li et al., 2009] Li, G., Fu, J., Zhang, J., and Zheng, J. (2009). Progress in bionic information processing techniques for an electronic nose based on olfactory models. *Chinese Science Bulletin*, 54(4):521–534.
- [López-Mascaraque and Alonso, 2017] López-Mascaraque, L. and Alonso, J. R. (2017). *El olfato*. Los Libros de la Catarata.
- [Loutfi et al., 2015] Loutfi, A., Coradeschi, S., Mani, G. K., Shankar, P., and Rappan, J. B. B. (2015). Electronic noses for food quality: A review. *Journal of Food Engineering*, 144:103–111.
- [Lozano et al., 2008] Lozano, J., Arroyo, T., Santos, J., Cabellos, J., and Horrillo, M. (2008). Electronic nose for wine ageing detection. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 133(1):180–186.

- [Macías et al., 2013] Macías, M. M., Agudo, J. E., Manso, A. G., Orellana, C. J. G., Velasco, H. M. G., and Caballero, R. G. (2013). A compact and low cost electronic nose for aroma detection. *Sensors*, 13(5):5528–5541.
- [Moreno et al., 2009] Moreno, I., Caballero, R., Galán, R., Matía, F., and Jiménez, A. (2009). La nariz electrónica: Estado del arte. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI*, 6(3):76–91.
- [Munger et al., 2009] Munger, S. D., Leinders-Zufall, T., and Zufall, F. (2009). Subsystem organization of the mammalian sense of smell. *Annual review of physiology*, 71:115–140.
- [Nagle et al., 1998] Nagle, Jr, H., Gutierrez-Osuna, R., and Schiffman, S. (1998). The how and why of electronic noses. *Spectrum, IEEE*, 35:22 – 31.
- [Peris and Escuder-Gilabert, 2009] Peris, M. and Escuder-Gilabert, L. (2009). A 21st century technique for food control: Electronic noses. *Analytica chimica acta*, 638(1):1–15.
- [Stetter and Penrose, 2002] Stetter, J. R. and Penrose, W. R. (2002). Understanding chemical sensors and chemical sensor arrays (electronic noses): Past, present, and future. *Sensors update*, 10(1):189–229.
- [Viejo et al., 2020] Viejo, C. G., Fuentes, S., Godbole, A., Widdicombe, B., and Unnithan, R. R. (2020). Development of a low-cost e-nose to assess aroma profiles: An artificial intelligence application to assess beer quality. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 308:127688.
- [Wijaya et al., 2019] Wijaya, D. R., Sarno, R., and Zulaika, E. (2019). Noise filtering framework for electronic nose signals: An application for beef quality monitoring. *Computers and Electronics in Agriculture*, 157:305–321.
- [Wilson and Baietto, 2009] Wilson, A. D. and Baietto, M. (2009). Applications and advances in electronic-nose technologies. *Sensors*, 9(7):5099–5148.
- [Yu et al., 2007] Yu, H., Wang, J., and Xu, Y. (2007). Identification of adulterated milk using electronic nose. *Sensors and Materials*, 19(5):275–285.