

# XLIV JORNADAS DE VITICULTURA Y ENOLOGÍA TIERRA DE BARROS

IV Congreso Agroalimentario de Extremadura

CENTRO UNIVERSITARIO SANTA ANA ALMENDRALEJO



Del 3 al 6 de Mayo 2022

XLIV JORNADAS DE VITICULTURA Y ENOLOGÍA  
DE LA TIERRA DE BARROS  
IV CONGRESO AGROALIMENTARIO DE EXTREMADURA

**Edita:**

Centro Universitario Santa Ana  
C/ IX Marqués de la Encomienda, nº 2  
Almendralejo  
Tel. 924 661 689  
<http://www.univsantana.com>

**Colabora:** Cajalmendralejo

**Ilustración de portada:**

© ALBERTO CATILLO

**Diseño original:**

Tecnigraf S.A.

**Maquetación:** Virginia Pedrero

ISBN: 978-84-7930-112-0

D.L.:

Imprime: Impresal

# Revisión de la utilización de lenguas electrónicas en viticultura

RODRÍGUEZ CÁCERES, M.I.

MORA DÍEZ, N.M.

VAS-BOTE, S.

Departamento de Química Analítica e IACYS. Facultad de Ciencias. Universidad de Extremadura, Avda. Elvas S/N, 06006 Badajoz.

## RESUMEN

Este trabajo recoge una revisión bibliográfica sobre la utilización de lenguas electrónicas en muestras vitivinícolas. El vino contiene una gran variedad de compuestos responsables del sabor que pueden analizarse y cuantificarse mediante técnicas analíticas (no analizan el sabor como un conjunto) o mediante el tradicional análisis sensorial, el cual se basa en los análisis de un panel de cata formado por expertos catadores. La lengua electrónica es una técnica en estudio y desarrollo que puede monitorear de forma continua el proceso de elaboración del vino y cuyo uso presenta una serie de ventajas como puede ser su bajo coste y la realización de las medidas de forma rápida y sencilla. Presenta una gran variedad de aplicaciones entre las que destaca la facilidad de proporcionar información para identificar variedades de uva/vino, así como también son capaces de determinar la edad y calidad del mismo.

**Palabras clave:** vino, lengua electrónica, sabor.

## ABSTRACT

This paper shows a bibliographic review on the use of electronic tongue in wine samples. Wine contains a wide variety of compounds responsible for its flavor. Wines can be analyzed by expensive and complex analytical techniques, which do not analyze the flavor as a whole, or by traditional sensory analysis, which is based on the analyzes of a tasting panel made up of expert tasters. The electronic tongue is a technique under study and development that continuously monitors the winemaking process and whose use has a number of advantages, such as its low cost and the performance of measurements quickly and easily, as well as it presents a wide variety of applications, among which the ease of providing information to identify varieties of beverages and/or foods stands out, as well as being able to determine its age and quality.

**Key words:** wine, electronic tongue, flavor.

## 1. INTRODUCCIÓN

En este trabajo de revisión se ha recopilado información sobre las lenguas electrónicas, las cuales se utilizan en diferentes sectores como el control ambiental, el diagnóstico clínico, el análisis agroalimentario o farmacéutico. También presentan la capacidad de clasificar los vinos tintos y blancos de acuerdo a la variedad de uva utilizada en su elaboración, el origen geográfico de la misma, así como el año de su cosecha. Este tipo de técnicas han sido desarrolladas para el análisis de parámetros específicos para la industria vitivinícola, como puede ser el análisis del glicerol, los grados Brix o el  $\text{SO}_2$  presente en un determinado vino.

El vino es un alimento cuyos componentes principales son agua y etanol, sin embargo, contiene una gran cantidad de compuestos determinantes del aroma y sabor del mismo, que le hacen ser un producto mucho más complejo. Sustancias como alcoholes, ésteres, ácidos, cetonas, aldehídos, terpenos, etc., juegan un papel fundamental en la caracterización específica de un determinado vino. Debido a esto, el análisis sensorial de los mismos es indispensable para proteger los vinos y garantizar la calidad de estos, así como para proteger la salud humana<sup>1</sup>. Dicho análisis sensorial puede llevarse a cabo de diferentes formas, mediante un grupo de catadores ex-

ertos, los cuales están entrenados para caracterizar de forma detallada los vinos, o mediante técnicas analíticas, como puede ser la cromatografía de gases, técnica estandarizada y con gran reproducibilidad<sup>2</sup>.

Las lenguas electrónicas, así como las narices u ojos electrónicos, son técnicas que se han desarrollado debido a la necesidad de obtención de información química de forma rápida y fiable. Estos instrumentos combinan varios tipos de microsensores con diferente selectividad mediante análisis multivariante y sistemas de reconocimiento de patrones, que se utilizan como “lenguas” para la clasificación y el análisis de muestras líquidas.

La información recogida se ha obtenido de diferentes bases de datos, en las cuales las palabras clave utilizadas, así como el número de publicaciones obtenidas se recogen en la Tabla 1. Ya que la información era mucha y variada, se han elegido solamente aquellos artículos en los que las palabras clave aparecían en el título o en el resumen.

## 2. LA LENGUA ELECTRÓNICA

Las lenguas electrónicas tienen cierto paralelismo con el sistema gustativo humano. La lengua es el órgano gustativo principal del cuerpo humano. En ella se encuentran las papilas gustativas, en las cuales se encuentran las células sensoriales. La membrana celular es la encargada de la recepción del estímulo ante el alimento y la señal eléctrica se produce debido a la diferencia de iones entre el interior y el exterior de la membrana. La intensidad de dicha señal dependerá del tipo de componente y de la concentración de este en la muestra de alimento. Dicha señal se envía al cerebro donde las neuronas procesan e identifican el sabor (Figura 1)<sup>3</sup>.

La lengua electrónica está formada por un conjunto de sensores químicos. Un sensor es un dispositivo cuya finalidad es la transformación de la información química en una señal analíticamente útil, y que tiene como características principales su reducida dimensión, robustez, facilidad de uso y capacidad de suministrar información de forma rápida, fiable y reproducible<sup>4</sup>. Cualquier tipo de sensor consta de receptor y transductor, que son dos componentes básicos conectados en serie. El receptor reconoce al analito a través de una propiedad física propia o a través de una reacción química, produciéndose una señal de tipo eléctrica, óptica, térmica o másica<sup>5</sup>.

Los sensores que conforman la lengua electrónica registran una serie de parámetros físicos y químicos esenciales para analizar el mosto y determinar el grado óptimo de maduración de las bayas. El sistema detecta en el momento sabores, texturas y el grado de maduración de la uva. Este proceso es más rápido que el realizado de forma tradicional en el laboratorio, por lo que con el uso de estas técnicas novedosas el viticultor puede reconocer de forma rápida y precisa el estado de maduración del fruto para poder conseguir el mejor vino gracias a la determinación del momento óptimo para la cosecha<sup>6</sup>.

Las células receptoras en el sentido humano, son remplazadas por sensores no específicos que reaccionan a distintos compuestos. Debido a que no hay mucus en el que las moléculas sápidas puedan disolverse, éstas se adsorben en los sensores. La traducción de la señal desde los receptores, en la lengua electrónica se remplaza por circuitos que convierten la señal del receptor en una señal eléctrica. Esta señal se codifica para reconocer un sabor y la intensidad del mismo. De forma similar a como ocurre en el sentido del gusto, no es necesario identificar todos los constituyentes de un sabor, sino reconocer el mismo. El conjunto de las señales para los compuestos de una muestra y para cada sensor, da lugar a una huella, que determina la respuesta de los sensores<sup>7</sup>.

Un sensor está compuesto por varios elementos, entre los cuales se encuentran: una membrana que actúa de sensor, un transductor que convierte la señal química en una señal física, eléctrica u óptica, y el circuito que adquiere la señal y la acondiciona para la lectura (Figura 2). Normalmente el analito interacciona con el receptor de la membrana adecuado y provoca una señal química. Dicha señal es convertida por el transductor en una señal física, la cual es acondicionada para su lectura en un instrumento de medida.

Las lenguas electrónicas son un conjunto de sensores, cada uno de los cuales mide una propiedad determinada de la muestra. La respuesta de los sensores ofrece una huella característica para cada especie en la muestra. El conjunto de huellas determina un patrón de reconocimiento para cada sabor. Para la obtención de respuestas coherentes, se usan métodos de análisis multiparamétricos, los cuales recogen toda la información de los sensores, seleccionan la que puede ser más significativa e interpretan las señales. Hay muchos métodos matemático-estadísticos que se pueden utilizar para tratar la información de los sensores, entre los cuales se en-

cuentran: redes neuronales, análisis de componentes principales, análisis discriminante, etc. Todos los métodos presentan características diferentes en cuanto al tratamiento de los datos.

Existen distintos tipos de lenguas electrónicas según su fundamento, entre ellas destacan las siguientes:

- **Lenguas electrónicas potenciométricas:** Se basan en la medida de la diferencia de potencial que se establece entre dos electrodos cuando son sumergidos en una disolución. En este tipo de dispositivos no hay circulación de corriente eléctrica, sino que consiste en la diferencia de potencial entre ambos electrodos<sup>8</sup>.
- **Lenguas electrónicas impedimétricas:** Se basan en los cambios de impedancia de la señal de partida. El análisis de las frecuencias de conductividad o capacitancia junto con el uso de herramientas estadísticas como el análisis de componentes principales, permite la identificación de las muestras<sup>9</sup>.
- **Lenguas electrónicas voltamperométricas:** Se aplica un potencial determinado al electrodo de trabajo y se mide la corriente obtenida cuando las especies redox activas se oxidan o reducen en la superficie del electrodo. Este tipo de lenguas presentan mayor sensibilidad, versatilidad, simplicidad y robustez que las lenguas potenciométricas, debido a que se encuentran menos influenciadas por las perturbaciones eléctricas.

### 3. FUNCIONAMIENTO DE UNA LENGUA ELECTRÓNICA

En el ser humano el sentido del gusto es el producto del reconocimiento de los compuestos presentes en el alimento por parte de quimiorreceptores, los cuales envían una señal que posteriormente es procesada por el cerebro, en cambio, las lenguas electrónicas procesan las señales recibidas a través de electrodos mediante herramientas de análisis de datos (quimiometría) con la finalidad de identificar o cuantificar compuestos o propiedades presentes en una muestra<sup>10</sup>. Un sistema de lengua electrónica se compone principalmente de tres elementos:

1. **Sistema de medición** compuesto por una técnica de extracción del sabor que transporta los compuestos sápidos de las muestras hasta sensores químicos, los cuales transforman la información recibida en señales eléctricas.
2. **Sistema de extracción de los rasgos característicos** de la muestra analizada, mediante la cuantificación y transformación de las señales de los sensores en datos.
3. **Sistema de reconocimiento de patrones** para identificar y clasificar el sabor de las muestras medidas<sup>11</sup>.

La combinación de información proporcionada por los sensores está afectada por todas las especies presentes en una muestra<sup>12</sup>.

### 3.1. Sensores

Los sensores químicos están formados por dos partes bien diferenciadas: un elemento de reconocimiento (receptor) que interacciona con un determinado componente de la muestra (analito) y un elemento instrumental (transductor) que traduce la interacción en una señal procesable. Se caracterizan por su bajo coste, pequeñas dimensiones, fácil utilización y generación de la información en tiempo real.

La elección del sensor es, a menudo, dependiente del uso que se le vaya a dar y se basan en el tipo de respuesta que se quiera obtener, el tiempo de respuesta, la sensibilidad del sensor, el rango de detección, las limitaciones operativas tales como, tamaño físico, robustez, resistencia al envenenamiento, consumo de energía, etc.

Los sensores tienden a mostrar sensibilidad cruzada a una variedad de compuestos, las respuestas de los mismos producen distintos patrones que combinados en la matriz dan como resultado un sabor concreto.

Para caracterizar el sabor es necesario aplicar un método de reconocimiento de patrones. Una vez que los sensores de una lengua electrónica han respondido frente a un sabor, es necesario realizar el análisis y pre-procesado de los datos, para ello se utiliza la quimiometría y los métodos quimiométricos<sup>13</sup>. Los datos obtenidos se denominan multivariantes y para que puedan ser comparados, es fundamental unificar las medidas<sup>14</sup>.



Uno de los métodos lineales de análisis de datos más usado y descrito en la bibliografía es el Análisis de Componentes Principales (PCA, del inglés “Principal Component Analysis”). PCA consiste en la creación de una base de vectores en un espacio dado compuesto por sensores que se introducen en el análisis. Además de los métodos lineales, se han desarrollado otros métodos no lineales como las redes neuronales artificiales (ANN, del inglés “Artificial Neural Networks”). Todas las técnicas de ANN están construidas bajo el modelo simple de una neurona que acepta una entrada de datos y genera una señal de salida<sup>15</sup>.

#### 4. VENTAJAS DEL USO DE LENGUAS ELECTRÓNICAS

La caracterización del sabor como método para valorar la calidad es de gran interés para la industria vitivinícola. La evaluación objetiva y en tiempo real de la intensidad del sabor y de los compuestos responsables del mismo en las muestras de vino es un factor de gran importancia en dicha industria. Esto se debe a varios factores, como:

- **Bajo coste:** El uso de sistemas electrónicos y sensores inespecíficos reduce sensiblemente el coste de los análisis, especialmente en comparación con el uso de equipos costosos como los cromatógrafos.
- **Rapidez, sencillez y robustez:** las medidas se realizan en cuestión de minutos, y el instrumento puede ser utilizado por personal poco cualificado. Los sensores se caracterizan por su resistencia química, lo cual desemboca en un menor mantenimiento. También tienen fácil limpiado.
- **Medidas en tiempo real:** el sistema realiza medidas en continuo, con lo que la alerta y la corrección es inmediata. La medida en continuo junto con el almacenamiento de datos facilita un historial de la evolución del sistema y su trazabilidad.
- **Automatizable:** el sistema ofrece la posibilidad de incorporarlo a las líneas de producción dado que es ligero y resistente, con funcionamiento autónomo y envío de datos<sup>16</sup>.

Las ventajas e inconvenientes del uso de lenguas electrónicas con respecto a la lengua humana se recogen de forma resumida en la Tabla 2.

## 5. APLICACIONES DE LAS LENGUAS ELECTRÓNICAS EN LA INDUSTRIA VITIVINÍCOLA

En la mayoría de las lenguas electrónicas la información analítica está limitada a ciertos parámetros, por lo que no es fácil de conseguir un sistema de reconocimiento tan complejo como es el sentido del gusto, sino que la elección de la matriz de sensores será consecuencia de las características físicas o químicas a medir. Los principales tipos de lenguas electrónicas utilizan matrices de sensores potenciométricos o voltamperométricos. La segunda parte la formarían los modelos de clasificación y cuantificación. Por lo tanto, tiene como objetivo clasificar una amplia serie de muestras o estimar algunos parámetros de una muestra.

El uso más extendido de las lenguas electrónicas ha sido el de proporcionar información cualitativa para identificar variedades de bebidas y/o alimentos. Dicho uso puede servir de gran ayuda al realizar mediciones objetivas debido a que evita la saturación de los sentidos e incluso permite aumentar el número de muestras analizadas<sup>17</sup>. El análisis cualitativo con lenguas electrónicas se usa mucho en el mundo de la industria para el control y monitorización. Muchas de las lenguas electrónicas usadas en viticultura tienen como objetivo la clasificación de vinos por variedad y el análisis de fenoles y la clasificación de estos en el cava.

Mediante la combinación de sistemas de sensores y herramientas matemáticas avanzadas, se pueden identificar tipos de cava, así como también la detección de defectos, debido a que cada tipo de sensor produce una señal diferenciada<sup>18</sup>.

Otra aplicación significativa de las lenguas electrónicas es la cuantificación simultánea de parámetros de diferentes especies para un conjunto de muestras<sup>19</sup>. En el caso del vino, se ha desarrollado una lengua electrónica capaz de determinar la edad y calidad del mismo, así como el tipo de bodega usada. El dispositivo mide señales electroquímicas de compuestos presentes en el vino y las convierten en una huella digital específica, sirviendo como herramienta de ayuda a los enólogos<sup>20</sup>. Se ha demostrado la utilidad de las lenguas electrónicas en la medición de la maduración de la uva para determinar así el momento más adecuado para la cosecha de esta, debido a que los parámetros analizados en las pruebas tradicionales (la acidez total del fruto y la cantidad de azúcar) han presentado buena correlación con los obtenidos por la lengua electrónica<sup>21</sup>.

Al margen de lo anteriormente expuesto, el campo de las lenguas electrónicas está en continuo estudio y desarrollo, por ello en la actualidad se sigue trabajando en busca de nuevas aplicaciones en el sector, como, por ejemplo, el control de la fermentación de la uva en cubas, lo cual se reflejaría en un mayor control sobre el producto además de un mejor rendimiento de la cosecha<sup>22</sup>.

## CONCLUSIONES

Aunque las lenguas electrónicas llevan años en estudio, esta tecnología tiene que seguir avanzando para poder aplicarse de manera más amplia en la industria vitivinícola. La falta de exactitud se compensa con una elevada rapidez, facilidad en la toma de muestras y menor coste. Es de esperar que esta tecnología avance en un futuro.

De la revisión bibliográfica realizada se puede concluir que las lenguas electrónicas son un instrumento de análisis y caracterización de sabores compuestas por un conjunto de sensores asociado a un sistema de reconocimiento de patrones capaz de identificar sabores.

Entre las aplicaciones de las lenguas electrónicas destaca que son capaces proporcionar información cualitativa para identificar variedades de bebidas y/o alimentos, así como distinguir entre tipos de cava o la detectar defectos en el proceso de elaboración. Por otro lado, permiten la cuantificación simultánea de parámetros, así como la evaluación de la capacidad antioxidante del vino. Aunque, sin duda, la aplicación más útil durante el proceso de elaboración de un vino es el monitoreo de la evolución de este por la posibilidad de trabajar en continuo, ya que, detectar de forma inmediata la aparición de algún compuesto de sabor desagradable puede ahorrar mucho dinero en procesos y productos enológicos muy costosos, por tanto, esta aplicación es una necesidad debido al rápido ritmo de cambio en el vino, que requiere métodos de seguimiento que proporcionen información a tiempo real para asegurar la calidad del producto final.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la financiación de este trabajo al Proyecto PID2020-112996GBI00 de la Agencia Estatal de Investigación y al Proyecto IB20016

de la Consejería de Economía, Ciencia y Agenda Digital de la Junta de Extremadura, ambos proyectos cofinanciados por los Fondos Europeos FEDER; y a la ayuda al Grupo de Investigación ANAYCO GR21048 otorgada por la Junta de Extremadura.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Versini G, Dellacassa E, Carlin S, Fedrizzi B, Magno F., "Analysis of aroma compounds in wine". En: *Hyphenated Techniques in Grape and Wine Chemistry*. John Wiley & Sons Ed., 2008, 173-225. Doi: 10.1002/9780470754320.ch5.
2. Aceña Muñoz L. "Aplicación de la cromatografía de gases-olfatometría en la caracterización del aroma del vinagre de vino, de los pistachos y del aceite de oliva". Tesis Doctoral. Universidad Rovira i Virgili. 2011. ISBN: 9788469432341.
3. Buehler M.G. et al.: "Advanced electronic tongue concept", *IEEE Aerospace Conference*, 2002.
4. Thévenot D.R., Thth K., Durst R.A., Wilson G.S., "Electrochemical biosensors: Recommended definitions and classification". *Biosensors and Bioelectronics*, 2001, 16(1-2), 121-31.
5. Buck R.P., Lindner E., "Tracing the history of selective ion sensors". *Analytical Chemistry*, 2001, 73, 88A-97A.
6. Stezo, C. "Mechanisms of electronic tongue and nose "perceptions" and applications to wine sensory evaluation". Cornell University Ed., 2017.
7. Rowe, D.J. "Chemistry and technology of flavors and fragrances", Ed. Blackwell, 2004.
8. Hassan S.S.M., Ghalia M.H.A., Amr A.G.E., Mohamed A.H.K., "New lead (II) selective membrane potentiometric sensors based on chiral 2,6-bispyridinecarboximide derivatives". *Talanta*, 2003, 60, 81-91.
9. Grieshaber D., MacKenzie R., Vörös J., Reimhult E. "Electrochemical Biosensors - Sensor Principles and Architectures". *Sensors*, 2008, 8(3), 1400-1458.
10. Gutés, A., Céspedes, F., del Valle, M. "Electronic tongues in flow analysis". *Analytica Chimica Acta*, 2007, 600(1-2 Spec. Issue), 90-96.

11. Alcañiz M., Vivancos, J.-L., Masot, R., Ibañez, J., Raga, M., Soto, J., Martínez-Máñez R., "Design of an electronic system and its application to electronic tongues using variable amplitude pulse voltammetry and impedance spectroscopy". *Journal of Food Engineering*, 2012, 111(1), 122-128.
12. Crespo E., Devasena S., Sikkens C., Centeno R., Cristescu S.M., Haren F.J.M., "Proton-transfer reaction mass spectrometry (PTRMS) in combination with thermal desorption (TD) for sensitive off-line analysis of volatiles". *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 2012, 26, 990-996.
13. Marco S., Gutiérrez-Gálvez A., "Signal and data processing for machine olfaction and chemical sensing: A Review". *IEEE Sensors Journal*, 2012, 12(11), 3189-3214.
14. Frank M., "Multi-Sensor Systems for VOC: Recalibration and Coating Procedures". Tesis Doctoral. Universidad de Tubinga (Alemania). 2001.
15. Shiruru K., "An introduction to artificial neural network". *International Journal of Advance Research and Innovative Ideas in Education*, 2016, 1, 27-30.
16. Zinia Zaukuu J.L., Bazar G., Gillay Z., Kovacs Z., "Emerging trends of advanced sensor based instruments for meat, poultry and fish quality. A review". *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2020, 60(20), 3443-3460.
17. Várvolgyi E, Werum T, Dénes L, Soós J. "Vision system and electronic tongue application to detect coffee adulteration with barley", 2014, *Acta Alimentaria*, 43(1), 197-205.
18. Páramo Martín A.E., "Diseño, caracterización y utilización con fines analíticos de electrodos modificados con nanopartículas de bismuto sobre soporte de nanoestructuras de carbono". Tesis Doctoral. Universidad de Burgos, 2017.
19. Cetó X., Gutiérrez J., Moreno-Barón L., Alegret S., del Valle M., "Voltammetric electronic tongue in the analysis of cava wines". 2010, *Electroanálisis*, 23(1), 72-78.

20. Gutiérrez-Capitán M., Capdevila F., Vila-Planas J., Domingo C, Büttgenbach S., Llobera A., Puig-Pujol A., Jiménez-Jorquera C., "Hybrid electronic tongues applied to the quality control of wines". *Journal of Sensors*, 2014, 20(3), 1-10.
21. Re R., Pellegrini N., Proteggente A., Pannala A., Yang M., Rice-Evans C., "Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay, Free Radical". *Biology and Medicine*, 1999, 26(9-10), 1231-1237.
22. Kuskoski E., Asuero A.G., García Parrilla M.C, Troncoso A.M., Fett R., "Actividad antioxidante de pigmentos antocianicos", *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 2004, 24(4), 211-219. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612004000400036>

FIGURAS Y TABLAS

Figura 1. Esquema reconocimiento biológico vs la lengua electrónica.

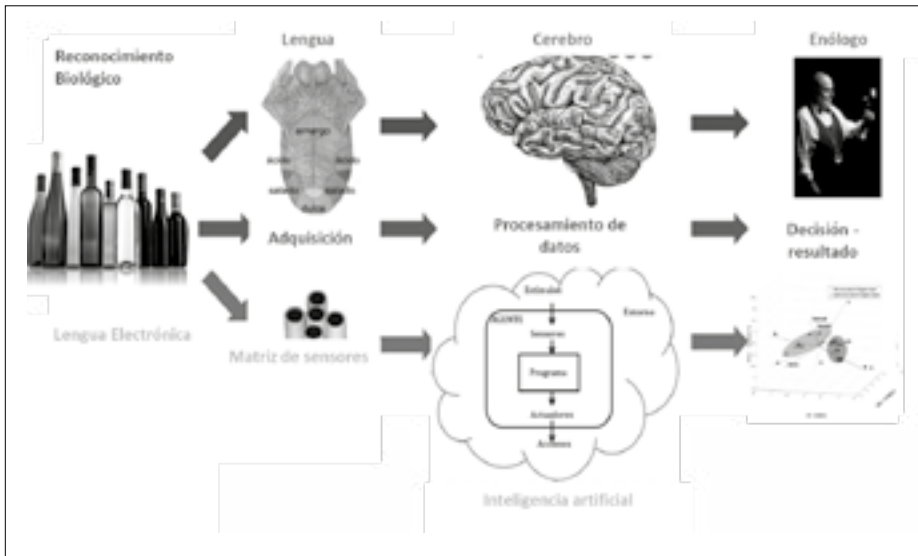
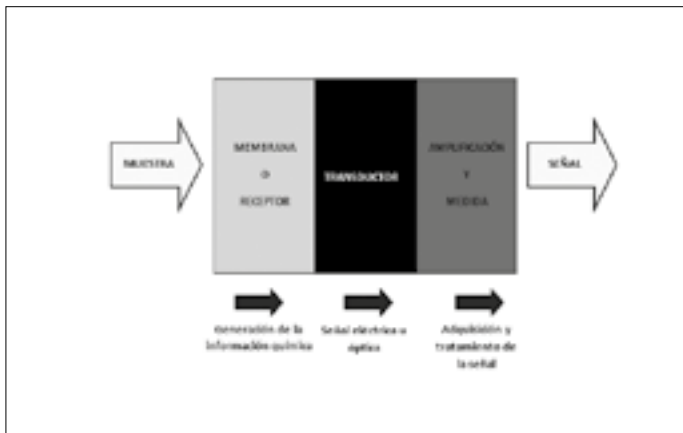


Figura 2: Esquema general sensores químicos.



**Tabla 1.** Número de referencias encontradas en función de las palabras clave utilizadas.

| CRITERIO DE BÚSQUEDA | Nº DE PUBLICACIONES |
|----------------------|---------------------|
| Wine                 | 159.140             |
| Electronic tongue    | 16.369              |
| Flavor               | 216.339             |
| <b>TOTAL</b>         | <b>391.848</b>      |

**Tabla 2.** Ventajas e inconvenientes del uso de lenguas electrónicas, en relación con la lengua humana.

| VENTAJAS                                | INCONVENIENTES                                       |
|---|--|
| Bajo coste                              | Necesidad de personal                                |
| Rapidez y sencillez                     | Menor número de células receptoras                   |
| Robustez                                | Mayor consumo de energía                             |
| Adaptación al proceso                   | Menor sensibilidad                                   |
| Medidas en tiempo real y automatizables | Elevada influencia de temperatura y humedad relativa |