

El aroma de la química

The essence of chemistry

L'aroma de la química

José Luis Cebollada / Profesor de Física y Química jubilado. Coordinador del Proyecto Faraday de divulgación científica



resumen

¿Sabrías decir cuáles son los sentidos físicos y cuáles los químicos? Vista, oído y tacto son claramente los físicos y no es casualidad que estén en tu móvil, en la cámara, el micrófono y la pantalla. Pero los sentidos químicos no son tan fáciles de replicar electrónicamente... por ahora. ¿Cómo transformar la presencia de una o más moléculas en electricidad? Por esta razón la industria alimentaria o la de los perfumes valora el olfato entrenado. Este artículo trata del olor, de cómo funciona y cuál es su relación con la estructura molecular y la isomería.

palabras clave

Estructura química, enlace, isomería, olor, visores moleculares.

abstract

Can you tell which are the physical senses and which are the chemical ones? Sight, hearing and touch are clearly physical and it is no coincidence that they are in your mobile, in the camera, the microphone and the screen. But chemical senses aren't so easy to replicate electronically...for now. How to transform the presence of one or more molecules into electricity? For this reason, the food industry or the perfume industry values a trained sense of smell. This article deals with odor, how it works, and what is its relationship to molecular structure and isomerism.

keywords

Chemical structure, chemical bond, isomerism, smell, molecular viewers.

resum

Sabries dir quins són els sentits físics i quins els químics? Vista, oïda i tacte són clarament els físics i no és casualitat que estiguin al teu mòbil, a la càmera, al micròfon i a la pantalla. Però els sentits químics no són tan fàcils de replicar electrònicament... de moment. Com es pot transformar la presència d'una o més molècules en electricitat? Per això la indústria alimentària o la dels perfums valora l'olfacte entrenat. Aquest article tracta de l'olor, de com funciona i quina és la relació amb l'estructura molecular i la isomeria.

paraules clau

Estructura química, enllaç, isomeria, olor, visors moleculars.

1. Introducción

En este artículo se describen las actividades del taller 'Química por narices' creado en colaboración con dos institutos de investigación de la Universidad de Zaragoza: el ISQCH (Instituto de Síntesis Química y Catálisis Homogénea, centro mixto Universidad de Zaragoza y CSIC) y el LAE (Laboratorio de Análisis de

Aromas y Enología, de la Universidad de Zaragoza).

La primera idea surgió de José Ignacio García Laureiro (1959-2019), profesor de investigación del CSIC, estupendo investigador, brillante divulgador y mejor persona. A él va dedicado este artículo.

La realización de talleres itinerantes fuera de las capitales

de provincia aragonesas, dentro del programa Ciencia Viva del Departamento de Educación del Gobierno de Aragón en colaboración con investigadores aragoneses, enriqueció los contenidos gracias a las aportaciones de Ricardo López, profesor de Química Analítica de la Facultad de Ciencias de la

Universidad de Zaragoza y miembro del LAEE.

El taller se plantea para alumnos de 4º de ESO o 1º de bachillerato que cursan la asignatura de Física y Química. Tiene una duración de dos horas y en él se combina el uso de visores moleculares con la construcción de moléculas con modelos moleculares y el uso del olfato como herramienta de análisis de una propiedad química derivada de la disposición de los átomos en el espacio. Partimos de un conocimiento básico del enlace químico y en el taller profundizamos sobre el concepto de isomería.

Partimos de una pregunta que parece obvia: ¿A qué sabe la fresa? La respuesta correcta no es la que estás pensando, sino que la fresa sabe dulce y ácida. El sabor es un aburrido lenguaje que solo tiene seis letras: dulce, salado, ácido, amargo, graso y umami. Cuando comemos percibimos una experiencia combinada de texturas, imágenes, sonidos, olores y sabores.

Oler es un acto complejo en el que confluyen la química y la biología, por eso aparecen variables subjetivas: la sensibilidad al olor, la memoria olfativa, el concepto de agradable...

Los materiales del taller son bastante asequibles, por lo que permite trabajar en pequeños grupos y por ello la actividad resulta muy dinámica. Además, por sus características, basta reorganizar las mesas del aula para empezar a trabajar.

Con el taller se ha pretendido ofrecer una herramienta para introducir el concepto de *isomería* en secundaria obligatoria de manera vivencial.

2. ¿Cómo olemos?

Quizás tengas en tu memoria un olor asociado a una casa, una persona, un lugar. Nuestra memoria olfativa produce

recuerdos muy intensos que nos pueden hacer viajar a nuestra infancia o a lugares que visitamos tiempo atrás.

Dicen que el escritor francés Marcel Proust mojó una galleta en el té caliente y el olor le trajo recuerdos de la infancia. Ese olor originó la escritura de su obra monumental de casi 3000 páginas: *En busca del tiempo perdido*. Sea cierta o no la anécdota, lo que subyace es que los olores quedan almacenados de manera persistente en nuestra memoria y que esos olores están asociados a otros recuerdos.

El sentido del olfato es crucial en la supervivencia de las especies animales; es una de las mejores armas que tenemos para protegernos de alimentos en mal estado o para reconocer a nuestra madre cuando acabamos de nacer, y la vista no es nuestro fuerte. Forma parte de nuestro cerebro más primitivo: la comunicación química tiene una larga historia evolutiva.

Pero si fuéramos condenados a perder uno de nuestros cinco sentidos, el olfato es uno de los primeros de los que prescindiríamos. Así lo decidían muchos de los alumnos de secundaria que participaron en el taller que aquí se presenta.

3. Objetivos y descripción del taller

El objetivo de este taller es doble, por una parte experimentar qué es el olfato —y distinguirlo del sentido del gusto— y por otra, comprobar que una propiedad química como el olor depende de la estructura y disposición espacial de los átomos en una molécula.

A lo largo de las actividades se pone a prueba el sentido del olfato para identificar el olor, una propiedad química de las sustancias. La comprensión de su relación con la disposición de los átomos dentro de la molécula. Se

trata de experimentar la idea de que ‘no huelen los átomos, lo que huele es la estructura’.

Utilizaremos caramelos o patatas de diferentes sabores, mejor dicho, olores. Una vez establecida la importancia del olor en la construcción de nuestras preferencias alimentarias trataremos de encontrar las bases moleculares del olor partiendo ahora de moléculas de las que conocemos su fórmula y estructura.

Es necesario profundizar sobre el concepto de *isomería*, y en esta ocasión en la isomería de cadena, la de función e isomería óptica. Estudiaremos parejas de isómeros de productos cotidianos que, debido a su disposición molecular, presentan olores diferentes. Igualmente el taller da pie a comprender la diferencia entre un aroma natural y uno sintético.

Actividad 1. Sabores vs olores

Objetivo: Aunque al comer recibimos un conjunto de sensaciones sobre la textura, temperatura, color, olor, sabor de los alimentos, pretendemos con esta actividad diferenciar las informaciones químicas que obtenemos por vía oral y por vía nasal al ingerir dos tipos de alimentos cotidianos que contienen sabores y olores artificiales: patatas fritas y caramelos.

Materiales: Caramelos de la misma forma y diferentes sabores (en nuestro caso, caramelos de la marca Smint). Para la versión salada se pueden usar patatas fritas de diferentes sabores.

Procedimiento: Por parejas, uno de los participantes cierra los ojos y con una mano se tapa la nariz. En la otra mano recibe de su pareja un caramelo al azar que debe saborear en la boca e identificar su sabor sin destaparse la nariz.

Después de unos segundos, y para comprobar si su respuesta

ha sido la correcta, se libera la nariz y asciende un torrente de sensaciones olorosas; se identifica sin duda el sabor, es decir, el olor.

Comentarios: En la boca tenemos receptores del sabor y también del frío y del calor. Unos activados también por los sabores mentolados y otros por el picante. Si se usan caramelos de menta o patatas picantes, la percepción se realiza en la boca, con lo que puede identificarse el sabor sin necesidad del olor (Choi & Han, 2015. p. 201).

Para reforzar la idea de que los sabores son solo cinco, proponemos un experimento en casa: tomar zumo de naranja inmediatamente después de lavarnos los dientes. El lauril sulfato sódico, un surfactante presente en muchas cremas dentífricas, bloquea nuestros receptores del dulce y elimina fosfolípidos de la lengua, que bloquean los receptores del ácido (Brunning, 2014), por lo que el sabor del zumo se convierte en desagradable; percibiremos en la boca mayoritariamente el sabor ácido.

Actividad 2. ¿A nadie amarga un dulce?

Objetivo: Comprobar que el gusto es una construcción personal y experimentar cómo un sabor es percibido de manera diferente por diferentes personas hasta el punto de resultar agradable para unos y repulsivo para otros.

Materiales: Glutamato de sodio o glutamato monosódico (umami), vasos, agua. El glutamato de sodio está presente en muchos alimentos procesados, en quesos curados, en patatas fritas de sabores... Es muy asequible y se puede conseguir en forma de sal sólida en tiendas de alimentación o comercios en línea.

Procedimiento: Preparamos una disolución de una cucharadita de glutamato de sodio en un

litro de agua y damos a probar. Hay que avisar que habrá quien lo encuentre repulsivo, quien agradable y quizás deje indiferente a otros. Por eso, solo deben ingerir un pequeño sorbo y decidir si lo tragan o no.

Comentarios: El umami, junto con el dulce, el graso y el salado, producen recompensas en nuestro cerebro para que sigamos ingiriendo sustancias imprescindibles para nuestra supervivencia: dulce, que aporta energía; salado, que mantiene nuestros electrolitos corporales; umami, asociado a las proteínas; y el graso, que nos proporciona energía.

¿Quién puede comer solo una patata frita de una bolsa, solo una pasta de té, o solo un pequeño trozo de queso? Estamos genéticamente programados para repetir.

Actividad 3. Un poco de geometría con el Tetris, ¿parecidos o iguales?

El Tetris es un juego para encajar piezas formadas por cuatro cuadrados. Transcurre en dos dimensiones, en el plano de la pantalla, y solo podemos girar las piezas en el plano. En la imagen (fig. 1) se presentan cinco maneras de organizar cuatro cuadrados unidos por aristas y, en colores más tenués, sus reflejos en el espejo.

Procedimiento: Se entregan copias de la imagen a los alumnos y se les plantea la pregunta: ¿cuáles de las siguientes piezas son realmente diferentes de su imagen en el espejo?

La simétrica de la L y del 4 no se puede superponer por rotación en el plano, como tus manos. Son figuras quirales, es decir, que tienen izquierda y derecha en el plano y son diferentes.

Actividad 4. Ahora en 3D ¿iguales que su imagen en el espejo?

En tres dimensiones, con objetos que tienen volumen, las

traslaciones que podemos hacer de cada cuerpo son más complejas. Podemos voltear, rotar, desplazar... es decir podemos mover a lo largo de las tres dimensiones y también podemos girar alrededor de los tres ejes cartesianos. De esta manera, si nos fijamos en la L del Tetris, en un mundo de dos dimensiones existen dos tipos de piezas, la que mira hacia la izquierda y la que mira a la derecha. En tres dimensiones, las dos figuras resultan ser la misma, basta con levantarla del plano y girarla 180. Ahora pasamos a las tres dimensiones, al mundo real, en el que podemos rotar, voltear, desplazar... ¿Cuáles de las siguientes imágenes son indistinguibles de su reflejo en el espejo? (fig. 2)

Procedimiento: Se muestran las imágenes siguientes y se plantea la misma pregunta que en el apartado anterior. ¿Cuáles de los siguientes objetos son idénticos a sus imágenes especulares?

Solo las manoplas de niño son intercambiables; el resto, aunque los giremos en el espacio, estos objetos y sus imágenes especulares son diferentes. Por eso sabemos de qué mano es cada guante. Existen tornillos derechos e izquierdos y el simétrico de la hélice movería el barco en sentido contrario si la intercambiamos con la original. Por lo tanto, esos tres objetos son quirales.

Actividad 5. Moléculas quirales

Objetivo: Comprobar si parejas de moléculas isómeras con los mismos enlaces entre los mismos átomos en las mismas posiciones y que solo se diferencian en la disposición espacial pueden albergar propiedades químicas (en este caso el olor) diferentes.

Materiales: Modelos moleculares y un visualizador.

Para que una molécula sea quiral basta con que tenga un

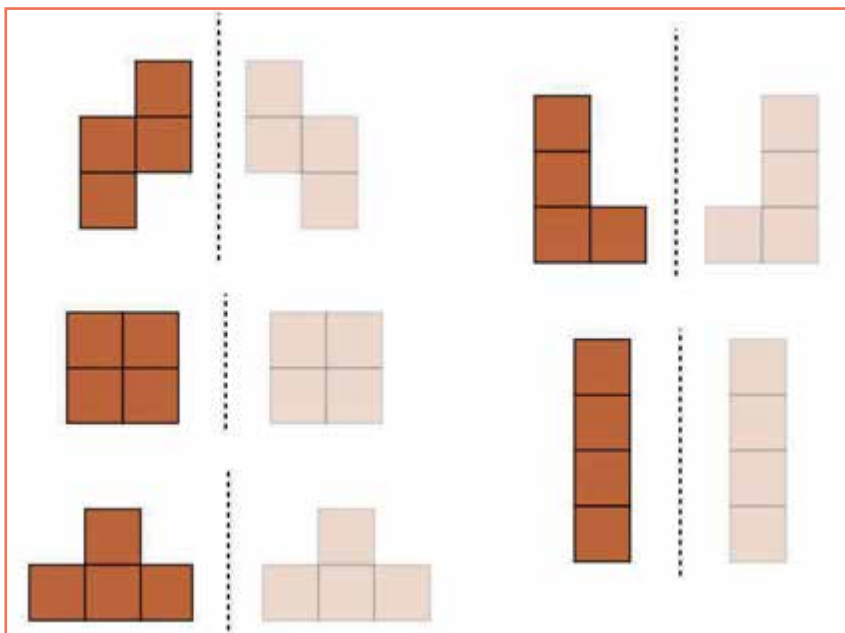


Figura 1. Posibles agrupaciones de cuatro cuadrados unidos por aristas y sus imágenes especulares.



Figura 2. Algunos objetos cotidianos son quirales.

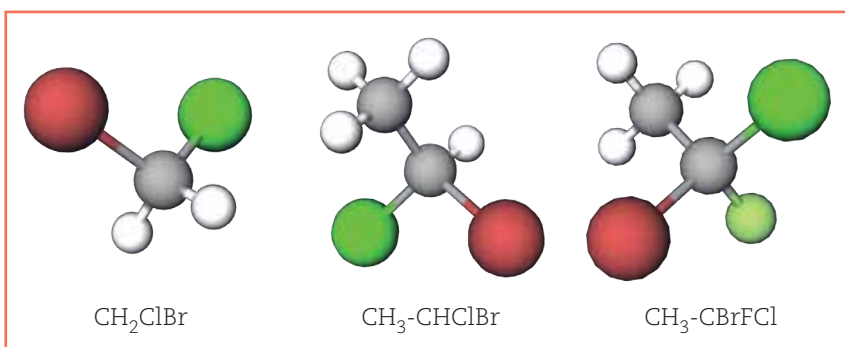


Figura 3. Estructuras moleculares tridimensionales de CH_2ClBr , $\text{CH}_3\text{-CHClBr}$ y $\text{CH}_3\text{-CBrFCl}$, respectivamente.

carbono asimétrico, un carbono con cuatro enlaces a grupos diferentes.

Procedimiento: Usando modelos moleculares se proponen algunas moléculas para comprobar si son o no quirales. Se pueden construir o simular por ordenador en páginas como (<http://molview.org>). Escribiendo el nombre de la sustancia en inglés es posible encontrarla en la base de datos.

¿Cuáles de estas moléculas son quirales? (fig. 3)

Actividad 6. Moléculas quirales y olor

Percibimos el olor de una sustancia porque la molécula responsable llega hasta nuestros receptores olfativos, que están en la parte superior interna de la nariz e interactúa con ellos. Al igual que hay guantes derechos e izquierdos, hay algunas moléculas que tienen derecha e izquierda diferentes y, por tanto, encajarán de manera diferente en nuestros receptores.

Esto sucede cuando en una molécula hay un átomo —generalmente de C— unido a cuatro sustituyentes diferentes: estos carbonos se denominan *asimétricos*. En este caso, existen dos maneras diferentes de ordenarse los sustituyentes alrededor de ese carbono: cada una de estas formas se denomina *enantiómero*.

Proponemos dos parejas de enantiómeros presentes en vegetales habituales: mentol y limoneno. Aunque sus nombres parece que nos dicen dónde están presentes, no es tan evidente.

Materiales: Modelos moleculares y un visualizador. Caramelos de menta o mentol cristalizado, y corteza de pino o ambientador de olor a pino. Pieles de naranja o mandarina y disolvente de pinturas.

Procedimiento: Se recomienda realizar la experiencia en habita-

ciones bien ventiladas para no cargar el ambiente con mezclas de olores. También conviene comenzar siempre por el isómero de olor más suave.

La actividad tiene tres fases:

- Comprobar los olores presentes en estas sustancias.
- Construir la molécula en 3D con modelos moleculares y/o con visualizadores.
- Localizar los carbonos asimétricos y comprobar que las dos moléculas no son superponibles.

Para localizar los carbonos asimétricos hay que fijarse en los cuatro enlaces de cada carbono. Si los cuatro son diferentes, entonces es asimétrico. Cualquier carbono unido a dos hidrógenos no lo será.

Cuando aumenta la complejidad de la molécula aparecen más carbonos asimétricos. En nuestro caso, en el mentol hay tres carbonos asimétricos.

Los nombres sistemáticos de este tipo de compuestos son muy complicados, por lo que los omitiremos en esta descripción.

1. Mentol $C_{10}H_{20}O$

Uno de los isómeros es el responsable de nuestro recuerdo agradable de la menta (fig. 4a). Está presente en los caramelos de menta y se vende cristalizado como aromatizador de velas.

El otro isómero es una mezcla de menta y resina (fig. 4b). Junto con otros compuestos, está presente en los ambientadores con olor a pino o en la resina del pino.

La complejidad de su estructura hace que existan en la molécula tres carbonos asimétricos.

2. Limoneno $C_{10}H_{16}$

El limoneno (fig. 5) solo tiene un carbono asimétrico.

En el caso del limoneno, se recomienda empezar por el isómero de la piel de naranja o mandarina, y terminar con una

tira de papel impregnada en disolvente de barniz.

El limoneno es un disolvente orgánico industrial que también se vende en presentaciones de 100 ml. Su compra está al alcance de cualquier centro de secundaria.

Si disponemos de limoneno puro, podemos comparar el olor de este con el de la piel de naranja y constatar la diferencia entre un producto químicamente puro y otro que se encuentra en la naturaleza mezclado con otras sustancias.

Actividad 7. Isomería de posición o cómo mantener las epidemias a raya

Objetivo: Comprobar la influencia de la colocación de los grupos funcionales en dos moléculas isómeras en el olor.

Materiales: Clavo, nuez moscada y modelos moleculares para construir las moléculas.

El clavo y la nuez moscada tienen un aroma muy peculiar y se usan en cocina. Los clavos se añaden enteros a los guisos de carne y les proporciona un aroma inconfundible. La nuez moscada se puede rallar y añadir a una salsa bechamel.

Cada una tiene su olor particular y las moléculas responsables de ese olor son isómeras, $C_{10}H_{14}O_2$, y la estructura es muy parecida. Un doble enlace en el primer o en el segundo carbono de la cadena hace que estas dos especias tengan olores muy diferentes: son las moléculas de isoeugenol y eugenol (fig. 6).

Aunque resulte extraño hoy en día, en el siglo XIV en Europa había quienes llevaban una bolsita con nuez moscada a modo de collar. En esa época en la que epidemias como la peste bubónica, transmitida por una pulga (*Xenopsylla cheopis*), assolaban el continente, el calor corporal unido a la nuez moscada que contiene eugenol, actuaba como repelente de las pulgas. Para saber algo más

de estas especias y su papel como repelentes de insectos portadores de enfermedades, es muy recomendable el primer capítulo de *The Napoleon's buttons* (Le Couteur & Burreson, 2004), que explica por qué se organizaron expediciones para traer especias desde el otro extremo del planeta.

4. Valoración de las actividades y del taller

El taller, centrado en isomería y olores, se realizó dentro de las actividades del programa Ciencia Viva en varios institutos aragoneses del ámbito rural y siempre como actividad complementaria, a demanda de los centros.

Después de una pequeña etapa de pruebas, se elaboró una guía con la descripción del taller y la documentación y muestras de los isómeros para poder realizar la actividad en sus aulas. Se pretendía ofrecer una actividad práctica que se pudiera desarrollar en una clase-aula ordinaria y que implicara algo de experimentación para favorecer que las moléculas salten de la pizarra o del libro de texto a las manos —y narices, en este caso— de los alumnos.

La guía está disponible para la descarga en la dirección <https://app.box.com/s/6wityaibgf2fdgoz413xrptxs8o36n6l> y también se puede solicitar por correo electrónico al autor. En ella se exploran los tres tipos de isomería: óptica, de cadena y de función. Esta última no es muy aconsejable, pues los isómeros usados son el acetato de isobutilo, un aroma presente en la fruta, en la pera, y el ácido hexanoico o caproico, cuyo nombre lo dice todo. Un aroma intenso y desagradable interfiere mucho en el desarrollo de un taller.

Del desarrollo del taller se destaca el uso de modelos moleculares. Construir una molécula en tres dimensiones y comprobar que, aunque parecen iguales no lo son, es muy difícil a partir de imágenes

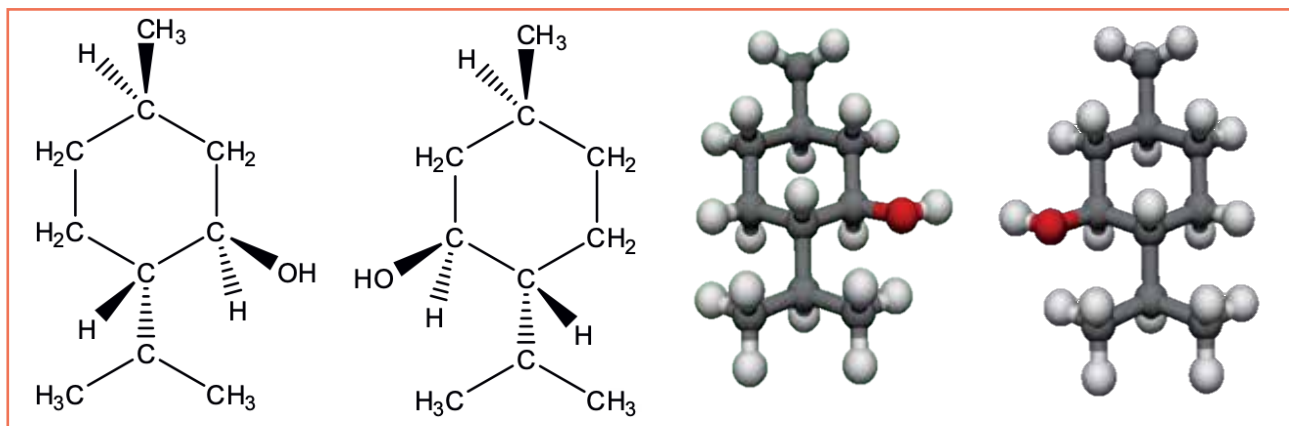


Figura 4. Estructura plana y tridimensional de los enantiómeros del mentol.

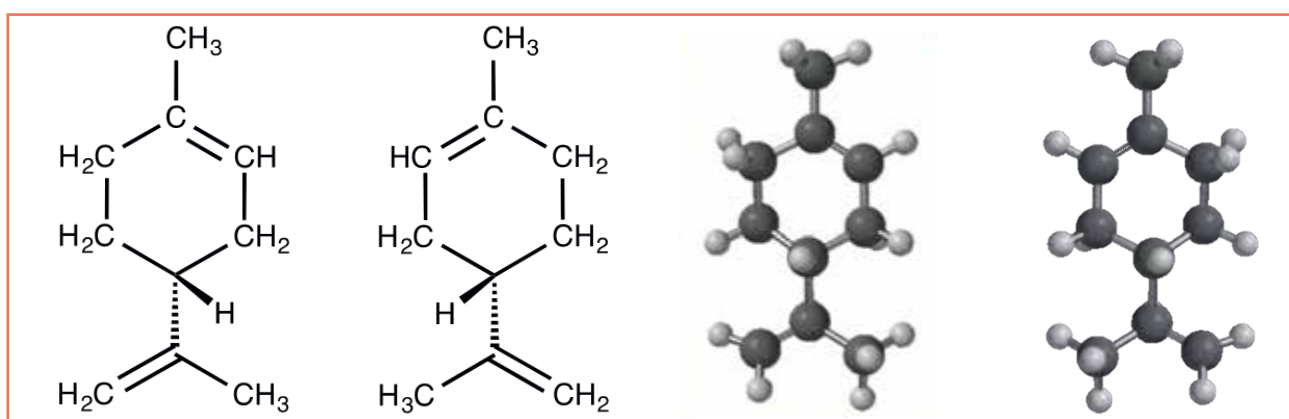


Figura 5. Estructura plana y tridimensional de los enantiómeros del limoneno.

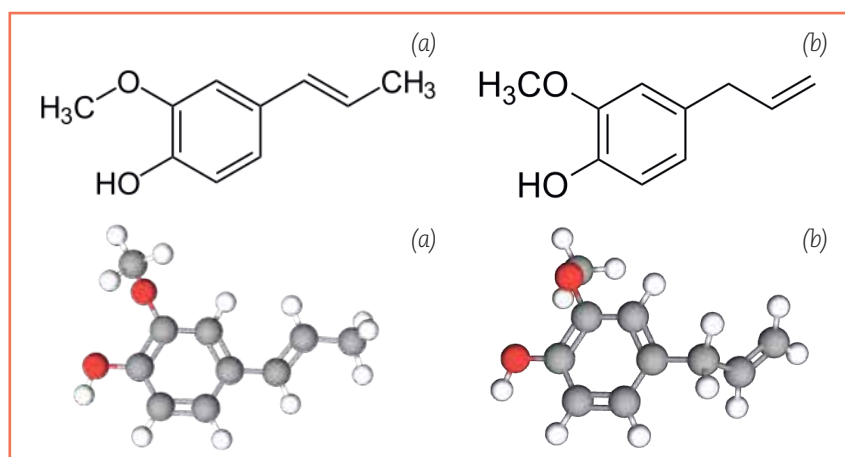


Figura 6. Moléculas de isoeugenol (nuez moscada) (a) y eugenol (clavo) (b).

planas de un visor molecular o de unas copias impresas, por eso recomendamos el uso de los modelos y que todos los participantes en el taller tengan la oportunidad de manipularlos.

Referencias

BRUNNING, A. (2014). *What Makes Shampoo Foam? Everyday Compounds: Sodium Lauryl*

Sulfate. Explorations of everyday chemical compounds. <https://www.compoundchem.com/2014/04/28/what-makes-shampoo-foam-everyday-compounds-sodium-lauryl-sulfate/> (Consulta 14 de marzo de 2023)

CHOI, N. E.; HAN, J. H. (2015). *How Flavor Works: The Science of Taste and Aroma*. West Sussex: Wiley Blackwell.

LE COUTEUR, P.; BURRESON, J. (2004). *Napoleon's buttons. 17 molecules that changed history*. New York: Penguin.



José Luis Cebollada Gracia

Profesor de física y química en diferentes centros aragoneses de secundaria hasta 2022. Coordinador del proyecto Ciencia Viva del Departamento de Educación de Aragón (2009-20) y desde 2021 del Proyecto Faraday, de divulgación científica, (<http://proyectofaraday.es>) que lleva la ciencia, en forma de talleres prácticos manipulativos para todos los públicos, a pequeñas localidades con escasas o nulas ofertas de cultura científica. Email: jlcebollada@gmail.com