



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

**UNA PROPUESTA DIDÁCTICA PARA MEJORAR EL PROCESO ENSEÑANZA
APRENDIZAJE DE LOS GRUPOS FUNCIONALES OXIGENADOS, EN GRADO
ONCE.**

Marcela Ramírez Ruiz

Universidad Nacional de Colombia
Facultad, de Ciencias
Bogotá, Colombia
2014

**UNA PROPUESTA DIDÁCTICA PARA MEJORAR EL PROCESO ENSEÑANZA
APRENDIZAJE DE LOS GRUPOS FUNCIONALES OXIGENADOS, EN GRADO
ONCE.**

Marcela Ramírez Ruiz

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales

DIRECTORA
BARBARA MORENO MURILLO
Química - Especialista en productos naturales

Línea de Investigación:
Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales

Universidad Nacional de Colombia
Facultad, de Ciencias
Bogotá, Colombia
2014

A Natalia, por hacerme siempre todo más fácil.

Agradecimientos

A mis padres, hermanos, sobrinos y a toda la familia por apoyarme y animarme a seguir adelante.

A Ricardo por entenderme y acompañarme durante todo el proceso.

A los profesores de la Maestría los cuales fueron el mejor ejemplo de humildad y amor al conocimiento.

Al Colegio Marymount de Bogotá por el apoyo y colaboración que siempre recibí.

Muy especialmente agradezco a la profesora Bárbara Moreno por sus valiosas enseñanzas, dedicación y decidido acompañamiento.

RESUMEN

En este trabajo se plantea un método didáctico para mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje de los grupos oxigenados orgánicos más comunes, con el fin de motivar al estudiante a que se interese por el conocimiento químico al verlo involucrado en su entorno, pues las moléculas orgánicas oxigenadas están presentes frecuentemente en el ambiente, ya sea en productos naturales o en diferentes artículos de forma sintética.

La propuesta está basada en el aprendizaje significativo y se sugiere para aplicarla en el grado once del Colegio Fundación Nuevo Marymount, articulando los conceptos previos y las habilidades de lectura y de manejo de tecnología que se tienen en este momento.

Para su desarrollo se plantean cuatro etapas: Se inicia con una sensibilización por parte del docente con el objetivo de concientizar sobre el impacto de estas moléculas en el entorno, seguido de un trabajo con un programa de tecnología donde se consoliden los conocimientos, pasando a un espacio de realización de lecturas que involucren las moléculas de interés y por último desarrollar guías de resolución de problemas de aplicación para evaluar la apropiación del conocimiento

Palabras Clave: Grupos funcionales oxigenados orgánicos, aprendizaje significativo, productos naturales, sintética

ABSTRACT

This paper presents a teaching method for improving the teaching-learning process of the most common organic oxygenated groups, in order to motivate the student to be interested to see the chemical knowledge involved in their environment because organic molecules oxygen are frequently present in the environment, either natural products or different items synthetically.

The proposal is based on meaningful learning and it is suggest to develop in grade eleven New Marymount College Foundation, articulating the previous concepts, reading skills and management of technology that they have at this time.

To develop this proposal, attentiveness about the impact of these molecules in the life and the environment, followed by a job with a technology program where knowledge consolidation will be make through doing readings that involving the molecules of interest, and finally it will be develop a troubleshooting guide application to evaluate the appropriation of knowledge.

Keywords: organic oxygenated functional groups, significant learning, natural products, synthetic methods.

INDICE

INTRODUCCION	1
OBJETIVO GENERAL	4
1. ASPECTOS TEÓRICOS	5
1.1. Componente Histórico-Epistemológico	5
1.2 Componente Pedagógico y Didáctico.	9
1.3 Componente Disciplinar.....	11
1.3.1 El átomo de Carbono.....	11
1.3.2 Hibridación.....	12
1.3.3. Orbitales Moleculares o Enlaces	16
1.3.3.1 Enlace sigma (σ).....	16
1.3.3.2 Enlace pi (π).	16
1.3.4 Los Hidrocarburos.....	19
1.3.5 Compuestos orgánicos oxigenados.	20
1.3.6 Electronegatividad y Polaridad	23
1.3.7 Propiedades químicas de compuestos oxigenados	23
2. METODOLOGÍA	24
2.1 ESPACIO DE AMBIENTACIÓN.....	24
2.1.1 Actividad 1	25
2.1.2 Actividad 2	25
2.1.3 Actividad 3	26
2.1.4 Actividad 4.....	28
2.2 CONSOLIDACIÓN DE CONOCIMIENTOS PREVIOS	30
2.2.1 Actividad 5.....	32
2.3 LECTURA DE ARTÍCULOS CIENTÍFICOS	34
2.3.1 Actividad 6.....	35
2.3.2 Actividad 7.....	37
2.3.3 Actividad 8.....	39
2.4. RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS PROPUESTOS	40
APROPIACION DEL CONOCIMIENTO.....	40
2.4.1. Actividad 9.....	41

2.4.2 Actividad 10.....	43
2.4.3 OTRAS LECTURAS QUE SE PUEDEN USAR.....	47
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	48
BIBLIOGRAFÍA.....	50
ANEXO 1.....	52
ANEXO 2.....	59
ANEXO 3.....	65
ANEXO 4.....	72

INTRODUCCION

Numerosos autores e investigadores sobre temas de educación, coinciden en afirmar que el aprendizaje de la química de acuerdo a registros experimentales, no es motivante para el estudiante, pocos de los que van a la universidad se deciden por el estudio de esta ciencia, dado que la experiencia como aprendices de química en su educación media no fue interesante.

“La enseñanza de la Química se halla en crisis a nivel mundial y esto no parece asociado a la disponibilidad de recursos de infraestructura, económicos o tecnológicos para la enseñanza, ya que en “países ricos” no se logra despertar mayor interés en los alumnos” Galagovsky, (2005). Además, “se ha detectado una cierta crisis en la enseñanza de la química, que se manifiesta en las opiniones desfavorables de quienes que, ya de mayores, recuerdan la química como algo incomprensible y aborrecible; en la falta de alumnos cuando la asignatura es optativa, en las connotaciones negativas que tiene la química, que no se compensa con la afirmación trivial “todo es química” que surge de los propios químicos, pero que no convence a los que no lo son, por que no la comprenden” Izquierdo, (2004)

En la escuela, los estudiantes poco se entusiasman por el conocimiento científico y esta pasividad es reflejo de la didáctica usada por los docentes, casi siempre guiada hacia un aprendizaje memorístico, y por prácticas de laboratorio en las que simplemente se sigue una receta: nada interesante, ni emocionante, ni atractivo; pero principalmente la dificultad en el aprendizaje radica en que los jóvenes no se identifican con el discurso, no encuentran conexión entre los conceptos y las explicaciones que dan sus maestros pues recurren a ejemplos abstractos, casi inverosímiles, lejanos y fuera de su cotidianidad, tampoco es frecuente conocer a una persona que trabaje en ciencia, ni es popular saber del trabajo científico y como afecta nuestra realidad. Al observar los bajos resultados en evaluaciones, la mínima información que tienen los estudiantes para dar explicaciones a problemas, los muy pobres argumentos para resolver situaciones de su vida, la apatía general para las actividades propuestas y las muy pocas participaciones dentro de las clases, nos damos cuenta que este conocimiento no se ha adquirido.

De esta manera existe la necesidad creciente de mejorar la forma de impartir el conocimiento de la Química Orgánica, ofreciendo alternativas diferentes, significativas, con actividades motivantes y que den explicación a procesos conocidos por el estudiante y que a la vez logren desarrollar habilidades y pensamiento científico.

Por otra parte, las moléculas con grupos orgánicos oxigenados son muy frecuentes en el entorno del hombre, muchas de estas son producidas por plantas y animales, las cuales son fundamentales en las interacciones entre estos. Estas interrelaciones, estudiadas por la Ecología Química, pasan en general desapercibidas para el hombre común pero son frecuentes en la atmósfera, son esenciales para mantener el equilibrio de la naturaleza y se generan a través de señales como resultado de la liberación de compuestos orgánicos volátiles por parte de los seres vivos

El hombre aprovecha muchas de estas moléculas ya sea por extracción directa o elaborándolas a partir de otras sustancias para fabricar diferentes artículos que habitualmente usamos. Estos compuestos también se encuentran en diferentes alimentos sin procesar y se pueden relacionar con los sabores y olores de los mismos.

Existen lecturas y artículos de investigación publicados sobre los compuestos orgánicos que sintetizan y liberan plantas y animales, en su proceso de comunicación. Se pueden encontrar también otros escritos de un adecuado nivel de comprensión para estudiantes de bachillerato donde se explican los procedimientos, métodos, alcances y limitaciones en la extracción de moléculas orgánicas, mostrando en ellos los objetivos y conclusiones de estas investigaciones. Todo este material es escasamente usado por los docentes de educación media, a pesar del avance en las comunicaciones poco se aprovechan para conocer, valorar y aprender del trabajo de los científicos, por esto en este trabajo se sugiere el uso de este material validando así lo que afirma Campanario (2004), “por medio artículos de investigación podemos acceder al trabajo diario de los investigadores y presentar una visión más cercana a la realidad de los procesos de construcción de la disciplina y aprender sobre la dinámica de la ciencia”.

Aunque en la Educación Media en el último grado, ya se tienen conocimientos de varios conceptos fundamentales de química, tales como estructura, enlace, fuerzas intermoleculares, propiedades químicas y físicas de la materia, en general, en la enseñanza de la química orgánica se sigue usando el mismo formato a saber: la explicación por parte del docente con base en lo propuesto por los textos y programas, los cuales casi en su totalidad se centran en algunas actividades simples y aisladas como las incluidas a continuación: dar a conocer las reglas de nomenclatura; mostrar la tabla de los grupos funcionales y realizar múltiples estructuras de compuestos, o dar los nombres a estructuras de otros compuestos; y en consecuencia no se aprovechan los temas y conceptos ya vistos y las habilidades de comprensión de lectura, de escritura y de manejo de la tecnología, que ya para este nivel se han desarrollado en alto grado.

Todo lo anterior, contribuye a la apatía y falta de interés, hacia las clases especialmente de la química, mostrada por numerosos grupos de estudiantes, quienes tampoco reciben estímulo suficiente ni se interesan en los procesos de lectura que se dan en el aula.

Esta propuesta se plantea para desarrollarla en el grado once de la Institución Educativa colegio Fundación Nuevo Marymount y pretende consolidar el aprendizaje de los grupos funcionales oxigenados orgánicos, a través de un aprendizaje significativo articulando los conceptos aprendidos previamente y las habilidades de lectura y uso de herramientas tecnológicas ya adquiridas y de esta manera desarrollar las competencias interpretativas, argumentativas, propositivas y sociales necesarias para el logro de los objetivos propuestos en los programas oficiales, a través un aprendizaje serio y permanente y así alcanzar los estándares curriculares para ciencias naturales y educación ambiental (MEN, 2007).

Con este trabajo se intenta evitar la enseñanza centrada en la acumulación de conceptos y contenidos, y en su lugar recurrir a una metodología activa y fomentar una mayor participación del estudiante, conduciéndolo hacia la construcción de un espíritu crítico y de un pensamiento científico. Se propone una estrategia didáctica que en su primera parte busca inquietar, generar

curiosidad e interesar al estudiante en el tema particular mencionado, por medio de un espacio de ambientación sobre la temática expuesta, (obtención, manipulación y precauciones con ciertos productos de uso común), seguido de un trabajo donde con la ayuda de una herramienta tecnológica se consoliden los conocimientos previos de estructura y propiedades de la materia, para posteriormente realiza un reforzamiento conceptual por medio de un trabajo de lectura de artículos científicos específicos con el cual, se pueda:

- Identificar los diferentes grupos funcionales orgánicos (alcoholes, aldehídos, ácidos carboxílicos, éteres, esteres etc.).
- Reconocer sus propiedades generales.
- relacionar las estructuras químicas con las propiedades físicas y químicas,
- y acercar al estudiante a la realidad del trabajo de un científico.
- Evidenciar la comprensión del tema mediante la resolución de guías y ejercicios,
- Comprobar la apropiación de este conocimiento cuando el estudiante resuelva ejercicios de aplicación basados en algunas lecturas o artículos de investigación.

OBJETIVO GENERAL

El principal objetivo de esta propuesta es promover un mejoramiento en la enseñanza de la química orgánica en general y específicamente en lo referente a los grupos funcionales oxigenados a través de una serie de actividades que permitan al estudiante una mayor participación a través de actividades que permitan identificar los grupos funcionales oxigenados y reconocer sus propiedades a través de la relación estructura química y propiedades; además se espera generar curiosidad con los aspectos químicos de su entorno cotidiano y acercar al estudiante a la realidad del trabajo científico.

1. ASPECTOS TEÓRICOS

1.1. Componente Histórico-Epistemológico

La observación y comparación de la materia y de sus cambios por medio de los sentidos ha estado ligado al desarrollo del hombre. Él en sus diferentes actividades ha transformado la materia con un propósito, seguramente incurriendo muchas veces en errores que los llevaban a obtener nuevas cosas y nuevos conocimientos.

Hay evidencias de procesos o transformaciones realizadas desde los tiempos pre-históricos. El proceso de fermentación quizás es tan antiguo como el ser humano; el alcohol y el vinagre derivados del vino son los compuestos orgánicos más conocidos desde tiempos remotos; el proceso se dio naturalmente en frutas y otros alimentos y el hombre uso las mismas condiciones de la naturaleza para prepararlos con fines utilitarios.

Los egipcios usaron colorantes como el índigo y el púrpura, obtenidos desde las plantas, fabricaron jabones usando la grasa animal, transformaron pieles y usaron plantas como productos medicinales. Todas estas actividades las podemos clasificar en lo que actualmente denominamos química orgánica. (Los árabes en la edad media desarrollaron proceso de producción, separación y purificación de productos orgánicos como el ácido cítrico de los limones, el ácido málico de las manzanas y el ácido fórmico de las hormigas.

Pero la historia da cuenta del origen de este término y de la división entre química orgánica e inorgánica. Desde inicios del siglo XIX, Lavoisier realizó los estudios sobre la combustión, y sus análisis lo llevaron a concluir que los compuestos derivados de seres vivos todos contenían carbono y los que eran de origen mineral no, salvo algunas excepciones (CO_2 , mármol, etc.).

En 1807, El químico sueco J.J. Berzelius, teniendo en cuenta investigaciones previas, desarrolló la llamada “teoría del vitalismo”, la cual afirma que los compuestos orgánicos sólo se podían obtener de organismos vivos, por poseer una “fuerza o halo vital”. La vida era entonces un fenómeno único, que no podía responder a las leyes físicas o químicas establecidas por el hombre, por esto mismo sería imposible, sintetizar en un laboratorio un compuesto orgánico. Sin embargo, algunos interesados en la materia, analizaban ya para esta época, algunos materiales, y sin lograr datos confiables ponían en duda la teoría del vitalismo. Por fortuna, el experimento decisivo fue el realizado en 1828 por Frederick Wöhler, alumno de Berzelius quien en su laboratorio sintetizó la “urea”, este compuesto era ya reconocido como residuo de los seres vivos; la reacción se obtuvo por el calentamiento del cianato de amonio, compuesto clasificado como una sal inorgánica.

Sin embargo, el mismo Wöhler todavía daba valor a la “fuerza vital”, pues el cianato de amonio se había obtenido a partir del cianuro originado desde los cuernos de animales.

En 1844, Kolbe discípulo de Wöhler, preparó ácido acético a partir de carbono y agua, y se realizaron en esa época, una serie de reacciones de síntesis de compuestos orgánicos, tales como la alanina por Streckrer, la glicerina por Fiedel, y otros compuestos como metano, y alcohol etílico por Berthelot. En la década de 1850, numerosos químicos estaban convencidos que los

compuestos llamados orgánicos, producidos por plantas y animales también podían sintetizarse en el laboratorio y así abandonar el principio de la fuerza vital.

En la actualidad, todavía se reconocen dos grandes ramas de la Química: La Orgánica y la Inorgánica, sin embargo, la línea divisoria se hace cada vez más tenue, con el hecho e importancia de los denominados compuestos órgano-metálicos y sus múltiples e interesantes aplicaciones.

A modo de ejemplo, se utilizaban los términos de síntesis orgánica e inorgánica, pero dado que la mayoría de los compuestos novedosos y de grandes aplicaciones tecnológicas son de carácter órgano-metálico, esta separación, ya no es clara. La razón de mayor peso, para persistir en esta división es de carácter práctico, por ejemplo en la edición de libros y diccionarios, basada en los millones de compuestos orgánicos registrados (> 18 millones en el Chemical Abstracts alrededor del año 2000), mientras los compuestos inorgánicos formados por el restos de elementos de la Tabla Periódica son menos numerosos y se pueden reunir en libros de Química Inorgánica.

La química orgánica estudia los compuestos de los seres vivos, que en su mayoría contienen compuestos del carbono; se encarga del estudio de las estructuras químicas y reacciones de compuestos que contienen principalmente carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y otros elementos en menor proporción como Na, K, Ca, Fe, Mg, P, S y Cl, entre otros. El término “orgánica” se acepta debido a la gran cantidad de compuestos que tienen carbono en su estructura, pero especialmente por sus propiedades químicas (Balley, 1995).

Las características estructurales específicas y la gran cantidad de compuestos orgánicos conocidos, hace necesario clasificarlos; aunque la actividad de clasificar, por ser de gran ayuda, no es una actividad novedosa, como afirma Galavosky (2007) “la asignación de nombres a los productos de origen natural, se ha desarrollado desde el momento en que empezaron a descubrirse los primeros elementos químicos, es decir desde tiempos antes de Cristo. A modo de ejemplo se obtuvo el ácido cítrico de los limones (*Citrus spp.*), el ácido salicílico del sauce (*Salix officinalis*), etc.

En el siglo XIX, se creó la Sociedad Internacional de Química que en 1931 se convirtió en la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC), organización académica con representantes de varios países. Pero fue solo hasta 1958, cuando en la Asamblea general se establecieron y promulgaron las normas generales de nomenclatura, las cuales han tenido algunas reformas y adiciones posteriores. La nomenclatura orgánica, genera en la química un lenguaje propio, sistematizado y sin ambigüedades que ha permitido mejorar la comunicación científica y catapultar las investigaciones en esta área.

La principal organización de los compuestos orgánicos, se ha realizado agrupándolos según la función química orgánica la cual deriva del grupo funcional principal en su estructura. El grupo funcional se ha definido como: “un átomo o grupo de átomos, ligados a una cadena hidrocarbonada; así, compuestos que tengan el mismo grupo funcional pero que la diferencia entre ellos radique en la longitud de su cadena hidrocarbonada, (donde cada compuesto se diferencia de su vecino en un CH₂), da origen a una serie homóloga o familia química orgánica, las cuales poseen propiedades químicas semejantes y gradación de las propiedades físicas.

Sin embargo se deben considerar otros factores importantes como por ejemplo, que el concepto de grupo funcional está fundamentado en los conceptos de enlace y de hibridación, que explican la estructura tetravalente del carbono, la cual genera una estructura y comportamiento químico singular a compuestos con cadenas carbonadas. Las principales razones por las cuales existe la química orgánica como química de los compuestos del carbono se resumen básicamente en la capacidad del átomo de C de formar enlaces consigo mismo es decir largas cadenas, lineales o ramificadas, ciclos aislados o condensados, enlaces múltiples y todas las posibles combinaciones de las anteriores propiedades.

El interés de las moléculas de la vida ha permanecido por siempre, y con el desarrollo de los diferentes métodos de análisis, y el conocimiento de sus propiedades biológicas se ha generado un gran avance de la química de los productos naturales por ejemplo, en la cual se aíslan y analizan las moléculas generadas por los seres vivos, animales, plantas y microorganismos, estructuras que han sido copiadas por reacciones de síntesis en los laboratorios y se han convertido en modelos para su preparación a nivel industrial en la formulación y producción de diferentes productos como alimentos, bebidas, medicinas, textiles, materiales de construcción etc. Un buen ejemplo es la extracción del caucho natural a partir del árbol ahora conocido como el “árbol del caucho” (*Hevea brasiliensis* Euphorbiaceae) del cual se obtiene una materia prima, poco útil en su estado natural, pero que a través de aditivos y reacciones químicas se logró la obtención de un producto elástico, moldeable y termoestable, que durante el siglo XX generó la “era del caucho” u “oro blanco” (Goodyear 1800-1860)

A partir del caucho natural se ha desarrollado la reconocida industria de los polímeros, la incluye, polietilenos, polipropileno poliésteres, poliamidas, poli acrílicos y poli carbonatos entre otros, base fundamental de la industria química actual, donde se siguen investigando estructuras novedosas y transformándolas químicamente con el fin de sintetizar nuevos productos con nuevas propiedades deseables.

Desde sus inicios los compuestos orgánicos y derivados de las plantas así como ellas mismas se estudiaban y consideraban de manera aislada, sin embargo Hacia 1960, Thomas Eisner, un apasionado estudioso de la naturaleza descubrió y definió las interacciones químicas que existen entre los componentes de una comunidad, estableciendo los fundamentos de la Ecología Química, la cual se encarga de estudiar las diferentes interacciones entre individuos de igual o diferente especie y los resultados de esta comunicación química. Esta interacción se da a través de señales específicas transmitidas por sustancias químicas volátiles, de gran importancia en el desarrollo y evolución de numerosas especies. (Eisner T, 1959). El descubrimiento de la reacción química que ocurre en las glándulas del escarabajo conocido como “bombardeo”, clasificado como un mecanismo de defensa es un hecho científico, que inició esta ciencia interdisciplinaria, Conocida como Ecología Química. Este y otros descubrimientos originaron diversos grupos de interés y el establecimiento de importantes centros de investigación multi-disciplinaria, como por ejemplo el laboratorio de ecología química en la Universidad de Cornell (Ithaca, New York), Iniciándose así los primeros estudios en los que se analizaba la relación entre los componentes químicos que los seres vivos liberan y que son los responsables de la interacción y de las respuestas derivadas asociadas.

Hoy se conocen múltiples estudios y artículos científicos donde se identifican las sustancias químicas orgánicas liberadas por seres vivos, y teniendo en cuenta la estructura y propiedades de estas se explica el comportamiento y las interacciones que en ellos se dan, podríamos decir que el lenguaje químico, los símbolos, las fórmulas, las estructuras traduce el lenguaje de la naturaleza y lo vuelve tan universal como esta misma.

1.2 Componente Pedagógico y Didáctico.

El profesor de química, además de tener los conocimientos disciplinares, necesita mejorar las prácticas pedagógicas usando estrategias didácticas innovadoras adecuadas para dar significado a lo enseñado, y promover un aprendizaje motivante y trascendente, que emocione al estudiante, y tenga sentido profundo, y que además permita la transformación de los conceptos mecánicos “latentes” en su cabeza, que pueda ser relevante al aplicarlo de manera eficaz para explicar o interpretar diferentes fenómenos, o dar soluciones eficientes a problemas que se presenten en su realidad próxima. Es así como lo plantea Izquierdo Aymerich *“En las aulas, la ciencia se ha de implicar en fenómenos relevantes y significativos y la clase ha de garantizar una dinámica que permita pensar, hacer y comunicar de manera coherente, según las “reglas de juego” de la química”* (Izquierdo Aymerich Mercè, (2004).

Esta propuesta se enmarca dentro del aprendizaje significativo, donde el individuo pueda anclar los conocimientos previos con los recién adquiridos y que sea capaz de identificar fácilmente, la relevancia de estos al usarlos en la explicación de diferentes eventos.

“Un aprendizaje es significativo cuando:

Los contenidos son relacionados de modo no arbitrario y sustancial (no al pie de la letra) con lo que el alumno ya sabe. Por relación sustancial y no arbitraria se debe entender que las ideas se relacionan con algún aspecto existente específicamente relevante de la estructura cognoscitiva del alumno, como una imagen, un símbolo ya significativo, un concepto o una proposición” (Ausubel, 1983).

En el mismo documento, Ausubel define la estructura cognitiva como “el conjunto de conceptos e ideas que un individuo posee en un determinado campo del conocimiento, así como su organización”

De acuerdo a los lineamientos pedagógicos propuestos por el MEN, el estudiante en grado once, debería haber tenido un contacto bastante amplio con el conocimiento de las ciencias, y se espera que este conocimiento sea la materia prima que lo lleve a tener un papel activo en la adquisición de sus nuevos conocimientos y por supuesto a ser protagonista en la clase.

Según (Novak 1983), el desarrollo del aprendizaje significativo depende además de la actitud positiva del estudiante, en la cual puede influir tanto la naturaleza del material que se aprende como la estructura cognoscitiva del alumno. Conectando con lo anterior, sabemos que los avances tecnológicos han ayudado notablemente en la transmisión del conocimiento, por lo tanto se pueden aprovechar de manera efectiva en jóvenes que en estas edades están inmersos en las nuevas tecnologías y atraen su atención. *“Los multimedios inyectan el poder de la interactividad al aprendizaje, transformando al estudiante de pasivo recipiente de información en un activo participante de su proceso de aprendizaje.”* (Galvis 1997).

Los modelos usados para explicar los procesos en ciencias se han beneficiado de los avances tecnológicos; es así como, el maestro puede aprovechar las dimensiones e imágenes que en el tablero son imposibles de mostrar, las explicaciones y la comprensión de conceptos y los procesos se hacen más comprensibles recurriendo a animaciones, simulaciones etc. Pero si nos quedamos solamente en este aspecto, podemos llegar a perder otras habilidades como son la de leer, interpretar, analizar y proponer en torno a un documento escrito, y otras de igual importancia como son las habilidades de interacción, sociales (personales) trabajo en equipo, y un poco más específicas para el trabajo en ciencias tales como las habilidades en el uso de técnicas de manipulación, observación y análisis de grupos, las cuales se deben ejercitar cotidianamente, pues de no hacerse, se corre el riesgo de disminuir en los individuos la capacidad social y cognitiva.

Considerando todo lo anterior, las actividades planteadas en esta propuesta buscan aprovechar el último año de enseñanza media, para desarrollar o potencializar las diferentes habilidades en el alumno y de esta manera afianzar su conocimiento, pues lo que la experiencia nos dicta es que cuando un aprendiz comprende lo explicado por “expertos”, y cuando él mismo logra hacer o cuando es capaz de explicar a otros, él le da valor al conocimiento, lo empodera, lo identifica y lo anima a seguir aprendiendo.

1.3 Componente Disciplinar.

De acuerdo a los objetivos propuestos, para lograr un mejoramiento en el proceso de la enseñanza aprendizaje de química orgánica, comenzaremos por definirla como el estudio de los componentes de los seres vivos los cuales todos contienen **átomos de carbono**; es decir es la química de los compuestos de carbono ya sean de origen natural o sintético.: los primeros se encuentran en la naturaleza y los segundos se preparan en el laboratorio, vía procesos de síntesis. .

Los compuestos orgánicos en general están constituidos por elementos del primer periodo de la tabla periódica, con carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno (CHON), los cuales se denominan elementos mayores; además intervienen otros elementos en menores cantidades como son; Na, Ca, K, Mg, S, P, Cl, Br; I, Fe, Zn, Se y otros, los cuales se conocen como los componentes menores.

Estos elementos están caracterizados por su número atómico (Z) y masa atómica (A), los cuales originan lo que conocemos como la distribución electrónica, según los postulados de Bohr. Esta distribución electrónica conlleva la localización de los electrones de cada elemento en los orbitales atómicos, que se definen como los espacios definidos por la función de onda en los cuales podemos encontrar un electrón y que poseen formas definidas asociadas a sus nombres; los de mayor participación en los compuestos orgánicos oxigenados de nuestro interés son;

- Los orbitales s de forma esférica (*spherical*)
- Los orbitales p de forma perpendicular (*perpendicular*)
- Los orbitales d de difuso (*diffuse*)
- Los orbitales f de fundamental (*fundamental*).

A continuación se incluye una descripción de las características estructurales del átomo de carbono

1.3.1 El átomo de Carbono

El **carbono** (C), es un átomo pequeño, con número atómico de 6, y masa de 12; se encuentra encabezando el grupo 14 de la tabla periódica. En su estado fundamental, como los demás átomos el carbono se caracteriza por presentar sus electrones constitutivos distribuidos en orbitales atómicos, de los cuales solamente se ocupan los dos primeros niveles de energía, con la siguiente distribución, en la cual en el primer nivel solo se encuentran dos electrones apareados, denominados $1s^2$; en el segundo nivel se encuentran los cuatro electrones restantes distribuidos de la siguiente manera; dos de ellos se encuentran apareados en el orbital $2s^2$, y los otros dos, se distribuyen cada uno ocuparía un orbital p perpendicular. ($1s^2, 2s^2, 2p_x^1 2p_y^1 2p_z^0$). Sin embargo el comportamiento de los compuestos del carbono no soportan esta propuesta, y se han elaborado nuevas distribuciones electrónicas denominadas estados híbridos con mayor estabilidad cinética y termodinámica.

En los compuestos orgánicos el comportamiento químico indica que el átomo de carbono se comporta como tetravalente, lo que no coincide con la propuesta del estado fundamental, por lo tanto, los que participan en la formación de enlaces son los cuatro electrones del segundo nivel (electrones de valencia) los cuales por diferencias energéticas mínimas y en busca de estabilidad termodinámica, se reordenan combinando los orbitales atómicos, en nuevos orbitales denominados híbridos a través de un proceso denominado **hibridación**.

La presencia de la nueva distribución electrónica híbrida con nuevos estados energéticos del átomo de carbono genera propiedades estructurales que ofrecen características funcionales para cada tipo de hibridación y explican el comportamiento macroscópico de estos; entre estas propiedades características, la de formar enlaces simples y múltiples y la capacidad de unirse con otros átomos de carbono formando cadenas, lineales o ramificadas, y sistemas cíclicos, genera propiedades químicas y físicas característica de este elemento y de otros elementos pertenecientes al grupo 14 de la tabla periódica como son el silicio (Si) y el germanio (Ge).

1.3.2 Hibridación.

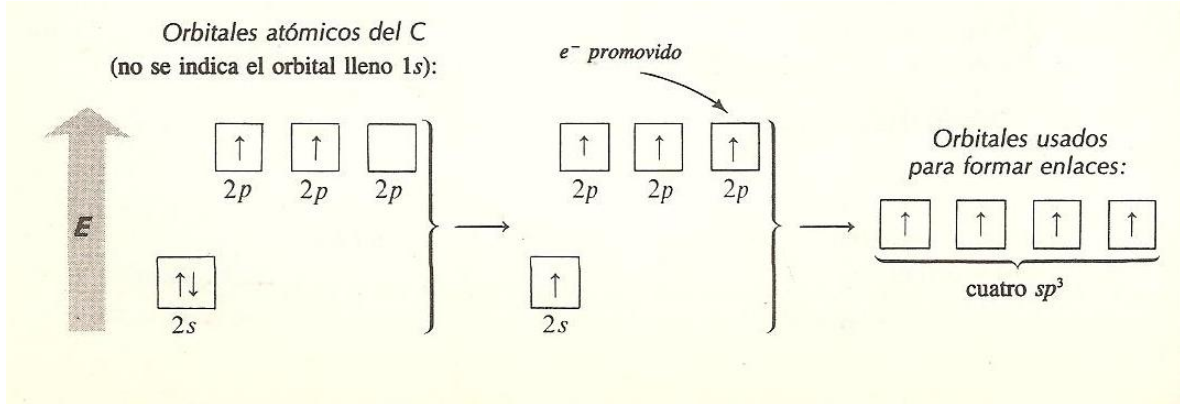
De acuerdo a la termodinámica la materia busca liberar energía y estabilizarse en niveles con menor contenido energético. Se ha observado que el átomo de carbono cambia su estado fundamental a nuevos estados conocidos como híbridos en los cuales el contenido neto energético es menor y de acuerdo a su posición en el grupo 14 de la tabla periódica siempre es un compuesto tetravalente y se ha demostrado que los nuevos orbitales son equivalentes química y magnéticamente.

1.3.2.1 Hibridación tetraédrica o tetragonal (sp^3)

En el metano CH_4 , el átomo de carbono forma con el hidrógeno cuatro enlaces equivalentes. Cada enlace C-H tiene una longitud de 1.09 Å y una energía de disociación de 104 kcal/mol. Con las anteriores evidencias se puede afirmar que el carbono no usa sus orbitales atómicos ($2s$ y $2p$) porque al tener estas orbitales energías diferentes los enlaces C-H formados no serían equivalentes.

Para explicar estas propiedades se han propuesto los procesos de hibridación entre los orbitales atómicos $2s$ y $2p$, los cuales se encuentran a una diferencia energética ΔE muy pequeña; lo anterior de acuerdo a la Figura 1, permite promoción de un electrón del nivel $2s$ hasta el nivel $2p_z$ libre; este proceso de manera inmediata distribuye la energía de los orbitales $2p_x$ y $2p_y$ en forma equivalente generando un cambio energético en los orbitales fundamentales $2p$ y produciendo cuatro orbitales equivalentes, denominados sp^3 , debido a que se forman de un orbital $2s$ y 3 orbitales $2p$; cada uno de los nuevos orbitales posee un electrón sin aparear, con un valor de energía intermedio, y cuya carga negativa obliga a su distribución simétrica en el espacio orientando los nuevos orbitales híbridos hacia los vértices de un tetraedro regular y localizando su núcleo en el centro de simetría. (Fessenden and Fessenden, 1984)

Figura 1. Hibridación sp^3 . Proceso de formación de los orbitales sp^3 . (Fessenden and Fessenden 1984)



Forma del orbital sp^3

Cada uno de los orbitales sp^3 posee un 25% de carácter s y un 75 % de carácter p . y tienen forma bilobulada, un lóbulo más grande que el otro; como se muestra en la Figura: 2

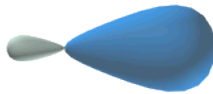


Figura 2. Orbital híbrido sp^3

Recuperado de: http://rabfis15.uco.es/weiqo/tutorial_weiqo/Hoja9a1P1.html

Los cuatro orbitales rodean al núcleo del carbono y por sus repulsiones se sitúan lo más lejos posible entre sí, originando una figura espacial en la que los lóbulos se orientan a los vértices de un tetraedro regular (ángulos de $109,5^\circ$). Por esta razón el carbono con hibridación sp^3 se denomina **carbón tetraédrico**. (Vollhard and Schore. 2003)



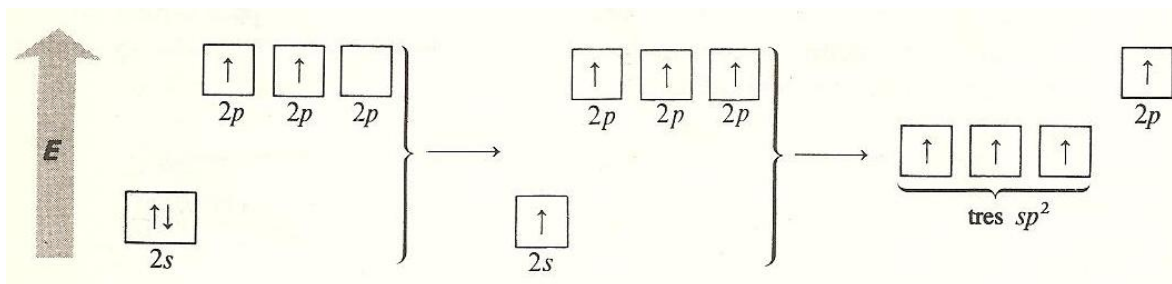
Figura 3. Disposición de los orbitales híbridos sp^3 alrededor del átomo de carbono.

Recuperado de: http://rabfis15.uco.es/weiqo/tutorial_weiqo/Hoja9a1P1.html

1.3.2.2 Hibridación trigonal o planar (sp^2)

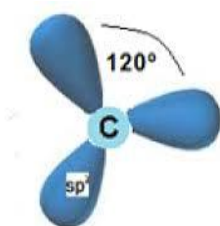
De manera análoga las propiedades de los carbonos tetraédricos no corresponden en todas las moléculas y se ha encontrado diferencia en reactividad las cuales se atribuyen a la presencia de enlaces múltiples; para explicar este comportamiento y en base a los estudios de la función de onda se propuso la existencia de átomos con hibridación denominada trigonal o planar. En este modelo, inicialmente se da el proceso de promoción, de uno de los electrones $2s$ el cual traslada al orbital $2p_z$ vacío, seguido del proceso de hibridación en el cual un orbital $2s$ y dos de los orbitales $2p$, se transforman generando 3 orbitales denominados sp^2 dejando un orbital p sin hibridar (orbital p puro). según la Figura 4. Cada uno de los orbitales sp^2 que tienen energía idéntica contiene un 33% de carácter s y un 66% de carácter p .

Figura 4. Hibridación sp^2 . Proceso de formación de los orbitales sp^2 . Tomado de Fessenden (1984)



En consecuencia, los tres nuevos orbitales sp^2 , cada uno posee un electrón sin aparear los cuales se distribuyen de manera simétrica en un plano alrededor del núcleo, con ángulo de 120° entre ellos. El carbono que forma esta hibridación se denomina **carbono trigonal o planar**. Cabe anotar que el orbital p puro que no participó en este proceso se ubica en posición perpendicular al plano mencionado. (Fessenden and Fessenden. 1984)

Figura 5. Disposición de los orbitales híbridos sp^2 alrededor del átomo de carbono



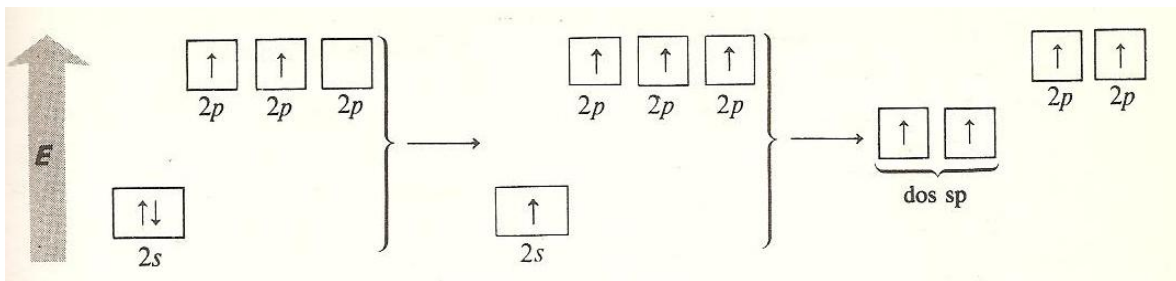
Recuperado de: http://rabfis15.uco.es/weiqo/tutorial_weiqo/Hoja9a1P1.html

1.3.2.3 Hibridación digonal o líneal (sp)

Como en los anteriores procesos de hibridación, este se inicia con la promoción de un electrón desde el orbital $2s$ al orbital $2p$ libre, sin la participación de los orbitales p preexistentes; la transformación de un orbital $2p$ y un orbital $2s$, genera dos nuevos orbitales híbridos idénticos denominados sp y cuya orientación es lineal con ángulo de 180° , debido a la repulsión de las cargas de los electrones, además permanecen dos orbitales p *no híbridos*, los cuales se orientan en forma perpendicular al eje de los dos nuevos orbitales híbridos sp lineales. Figura 6.

Figura 6.

Hibridación sp . Proceso de formación de los orbitales sp (Fessenden and Fessenden, 1984)



Los orbitales sp se caracterizan por una mayor participación del carácter s , alcanzando un valor de 50% de carácter s , lo cual le confiere mayor estabilidad. (Fessenden and Fessenden, 1984)

1.3.3. Orbitales Moleculares o Enlaces

Una vez comprendidos los conceptos de orbitales atómicos y sus diferentes estados de hibridación, es necesario comprender las interacciones en que ellos participan. Las uniones entre átomos se denominan enlaces u orbitales moleculares y nos acogemos a las siguientes definiciones:

- Un orbital atómico es un espacio definido estadísticamente en el cual se puede encontrar un electrón o un par de electrones apareados (s , p , d , f , sp , sp^2 , sp^3).
- Un orbital molecular se define como un espacio estadísticamente definido por la ecuación de onda por la superposición de orbitales atómicos.

De acuerdo a esto, cuando la superposición de orbitales atómicos, se da entre orbitales s o entre orbitales híbridos con cualquier cantidad de carácter s , se obtienen nuevos orbitales moleculares denominados orbitales sigma (σ) o en forma común **enlace sigma**.

Cuando la superposición de orbitales atómicos se da exclusivamente entre orbitales atómicos p , se obtienen por analogía los denominados orbitales moleculares (OM) pi (π), o **enlace pi** (π). Estos nuevos OM se caracterizan por su altísima reactividad química y constituyen el punto clave para las reacciones químicas. En contraposición, cabe anotar que los OM sigma se caracterizan por su poca reactividad y gran estabilidad, es decir requerirán condiciones más drásticas para sus transformaciones.

1.3.3.1 Enlace sigma (σ)

Se denomina enlace sigma (σ) a la unión covalente en la cual la densidad electrónica se concentra a lo largo del eje internuclear, por superposición de los orbitales atómicos. En los compuestos que tienen carbono el enlace sigma se obtiene al superponerse orbitales atómicos s o híbridos con cualquier porcentaje de carácter s . En la tabla siguiente se muestran algunas las posibilidades de superposición de orbitales atómicos en diferentes moléculas para generar el enlaces sigma.

Orbitales atómicos	Enlace	Ejemplo
$s + s$	H-H	Hidrógeno
$s + sp^3$	C-H O-H N-H	Metano, agua, amoníaco
$s + sp^2$	C-H	Eteno
$s + sp$	C-H	Etino
$sp + sp$	C-C	Etino
$sp^2 + sp^2$	C-C	Eteno
$sp^3 + sp^3$	C-C	Etano
$sp + sp^2$	C-C	3-buten-1-ino

En cualquier molécula, todo átomo de carbono unido a otros cuatro átomos está en el estado de hibridación sp^3 y los cuatro enlaces que forma son de tipo sigma, al superponerse cada uno de sus cuatro orbitales sp^3 , (cada uno con un electrón), con orbitales de otros cuatro átomos, ocupados a su vez por un electrón cada uno. (**Figura 7**)

1.3.3.2 Enlace pi (π).

Se forma por el solapamiento lateral de orbitales p para dar lugar a la creación de alta densidad de carga electrónica por encima y por debajo de la línea de unión de cualquier combinación de dos átomos **con** hibridación $sp-sp$, sp^2-sp^2

Es importante aclarar que para formarse un enlace pi (π), previamente debe haberse formado un enlace sigma (σ).

A manera de ejemplo se incluyen algunas moléculas completas para ilustrar la formación de OM o enlaces. Para el metano, CH_4 , sobre cada orbital híbrido del carbono se sobrepone un orbital atómico s de cada átomo de hidrógeno, generando **cuatro enlaces sigma**.

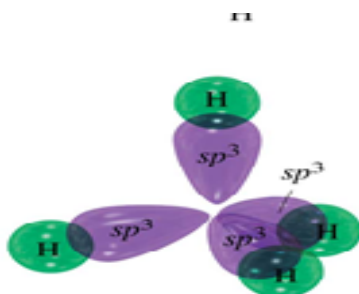


Figura 7. Estructura del metano.

Recuperado de: www.monografias.com/trabajos94/quimica-organica-ppt/quimica-organica-ppt.shtml

La siguiente Figura 8, muestra la molécula de eteno, C_2H_4 , en ella podemos observar la superposición directa (enlace σ) de los orbitales sp^2 con los orbitales s de cada átomo de hidrógeno, generando el enlace simple C-H., también se observa que la superposición de los OM sp^2 de cada carbono genera el enlace sigma C-C

Pero es fundamental comprender aquí la formación del **enlace doble** entre los átomos de carbono. Este enlace se da por la superposición directa (enlace σ) de los orbitales sp^2 de cada átomo y por la **superposición lateral de los orbitales p puros** (enlace π); que debido a su distribución espacial sus lóbulos quedan paralelos entre ellos, unos por encima y otros por debajo del plano nodal y no se pueden superponer tal como sucede en el enlace sigma.

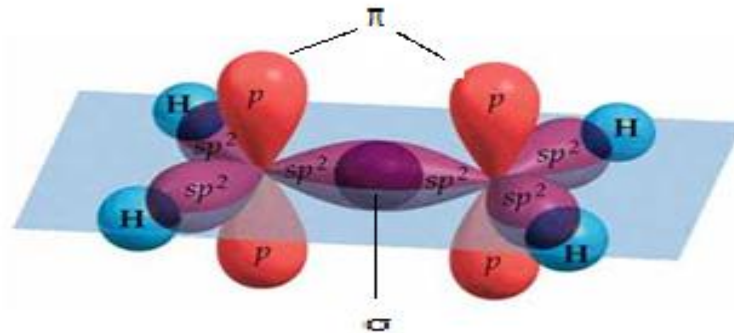
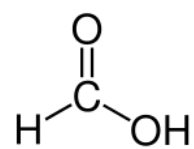
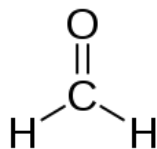
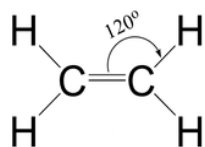


Figura 8. Formación del enlace σ y π , en el eteno.

Recuperado de: www.quimitube.com/videos/hibridacion-sp2-con-enlaces-dobles-carbono-carbono-eteno

Cualquier átomo de carbono unido a otros tres átomos, está en estado de hibridación sp^2 . En compuestos estables, el orbital p no híbrido del átomo de carbono, se debe superponer lateralmente con un orbital p del átomo con el que se une, ya sea éste un carbono u otro átomo cualquiera. El enlace doble entre estos átomos de carbono es el resultado de un enlace sigma y un enlace pi (π). (Vollhardt and Schore . 2003)

En las siguientes moléculas cada átomo de carbono tiene hibridación sp^2



Además de ser capaz de formar enlaces simples y dobles, el carbono también puede formar enlaces triples. El etileno ó acetileno C_2H_2 se puede usar para explicar la formación del enlace triple en el átomo de carbono. Para formar un enlace triple el carbono debe estar en hibridación sp , lo que conlleva a la formación de un enlace sigma $sp-sp$ y la formación de dos enlaces pi por superposición de sus orbitales p libres. En la molécula de acetileno podemos observar la formación del enlace triple entre dos átomos de carbono. (L.G. Wade. 2012)

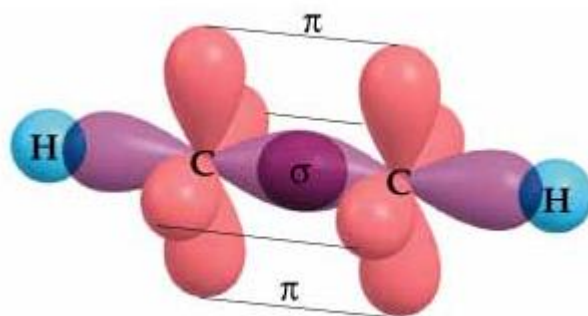


Figura 9. Formación del enlace σ y π , en el etino.

Recuperada de: www.quimitube.com/videos/hibridacion-sp-con-enlaces-triples-carbono-carbono-etino-o-acetileno

1.3.4 Los Hidrocarburos

Los hidrocarburos son compuestos que solamente contienen carbono e hidrógeno; se clasifican según la clase de hibridación de los carbonos que los conforman; si solo poseen átomos de carbono tetraédricos (sp^3) y sólo forman enlaces tipo sigma (σ) entre carbono y carbono se denominan hidrocarburos **saturados ó alcanos**. Por otra parte se denominan hidrocarburos **insaturados** a aquellos en los cuales mínimo dos átomos de carbono tienen hibridación sp^2 ó sp generando enlaces dobles o triples. Los compuestos con por lo menos un enlace doble ($-C=C-$) se denominan **alquenos** y los compuestos con por lo menos poseen un enlace triple entre los átomos de carbono, se denominan **alquinos** todos los anteriores se denominan **hidrocarburos alifáticos**. Los hidrocarburos también pueden formar anillos por pérdida de dos átomos de hidrógeno y se denominan hidrocarburos **alíciclicos** Debemos mencionar en este punto la existencia de los **denominados hidrocarburos aromáticos**, los cuales poseen en su estructura al menos un núcleo de benceno o similar con todos sus carbonos en estado de hibridación (sp^2) y los arenos que son compuestos mixtos con una parte alifática y otra de carácter aromático

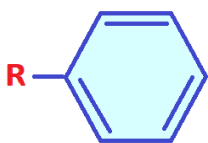


Figura 10. Estructura del hidrocarburo aromático

1.3.5 Compuestos orgánicos oxigenados.

Los compuestos orgánicos se clasifican según las características estructurales y por propiedades fisicoquímicas semejantes, y se estudian en clases o funciones químicas de acuerdo a los grupos funcionales presentes y al orden de prioridad establecido por las reglas de nomenclatura de la IUPAC (Union Internacional de química pura y aplicada)

El grupo funcional, definido como un átomo o grupo de átomos, que ligados a una cadena o ciclo hidrocarbonado le confiere propiedades específicas. Así, compuestos que tengan el mismo grupo funcional pero que la diferencia entre ellos radique en la longitud de su cadena hidrocarbonada, (donde cada compuesto se diferencia de su vecino en un CH_2), da origen a una serie homóloga o familia química orgánica, en la cual sus miembros poseen propiedades químicas semejantes y cambios graduales en las propiedades físicas.

La presencia de un grupo funcional como el grupo hidroxilo ($-\ddot{\text{O}}-\text{H}$) el cual deriva de la molécula de agua $\text{H}-\ddot{\text{O}}-\text{H}$ por pérdida de un átomo de hidrogeno o protón origina varias funciones químicas como los alcoholes y los fenoles. Se denominan alcoholes los compuestos cuyas propiedades derivan de la presencia de un grupo funcional hidroxilo sobre un átomo de C con hibridación (sp^3), mientras que los fenoles se caracterizan por poseer el grupo $-\ddot{\text{O}}-\text{H}$ unido directamente a un anillo aromático derivado del benceno.

Los hidrocarburos, denominados alcanos no poseen grupo funcional, son compuestos formados únicamente por átomos de carbono e hidrógeno, son las estructuras más sencillas y sobre ellas la introducción de los grupos funcionales dan origen a las demás clases de compuestos orgánicos. Así este trabajo se centrará en el estudio de compuestos formados por una cadena hidrocarbonada derivada y la inserción de uno o varios átomos de oxígeno, los cual hemos denominado grupos funcionales oxigenados los cuales incluyen alcoholes, éteres, aldehídos, cetonas, ácidos carboxílicos y algunos de sus derivados como los esteres y sus sales, y por su gran importancia se tendrá en cuenta la función fenol, en la cual el grupo oxigenado hidroxilo está unido a una anillo bencénico.

1.3.5.1 Clasificación de los grupos funcionales oxigenados

Los compuestos oxigenados se clasifican teniendo en cuenta la estructura derivada de la inserción de los grupos funcionales: a manera de ejemplo se mostraran algunos grupos funcionales y las funciones químicas que ellos producen

Alcoholes: compuestos que tengan el grupo $\text{-}\ddot{\text{O}}\text{H}$ unido a un carbono tetraédrico en una cadena carbonada alifática ($\text{R-}\ddot{\text{O}}\text{H}$)

Fenoles compuestos con el grupo hidroxilo unido a un anillo aromático $\text{Ar-}\ddot{\text{O}}\text{H}$

Éteres compuestos derivados del agua por sustitución de los dos H por dos residuos orgánicos ($\text{R-}\ddot{\text{O}}\text{-R}$)

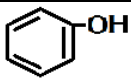
Aldehídos: compuestos formados por una cadena hidrocarbonada con un grupo carbonilo en posición terminal es decir posee un átomo de hidrógeno sobre el mismo carbono (carbono primario). ($\text{R-CH}\ddot{\text{O}}$)

Cetonas: compuestos que contienen el grupo carbonilo en un átomo de carbono secundario que a su vez debe estar unido a otros dos átomos de carbono. $\text{R}_2\text{-C=}\ddot{\text{O}}$; $(\text{CH}_3)_2\text{-C=}\ddot{\text{O}}$

Ácidos carboxílicos. Su estructura se caracteriza por el grupo carboxilo formado por un un grupo carbonilo y un grupo hidroxilo sobre un carbono primario $\text{R-C}\ddot{\text{O}}\text{-H}$

Esteres: compuestos cuyo grupo funcional es un oxocarbonilo, son derivados de los ácidos carboxílicos por sustitución del -OH del grupo carbonilo por el grupo -OR del alcohol, residuo orgánico alifático o aromático. $\text{R-C}\ddot{\text{O}}\text{-R'}$

(Reboiras M. D. 2006)

COMPUESTOS ORGÁNICOS OXÍGENADOS		
ALCOHOLES	$\text{R}-\text{CH}_2\text{OH}$ (primario) $\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{R}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{R}' \end{array}$ (secundario) $\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{R}-\text{C}-\text{R}'' \\ \\ \text{R}' \end{array}$ (terciario)	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{OH}$ ETANOL $\begin{array}{c} \text{OH} \\ \\ \text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}_3 \end{array}$ 2-PROPANOL $\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$ t-BUTANOL
FENOLES	$\text{Ar}-\text{OH}$	 FENOL
ETERES	$\text{R}-\text{O}-\text{R}'$	$\text{CH}_3-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$ METOXIETANO
ALDEHIDOS	$\text{R}-\text{C} \begin{array}{l} \text{=} \text{O} \\ \text{H} \end{array}$	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{C} \begin{array}{l} \text{=} \text{O} \\ \text{H} \end{array}$ PROPANAL
CETONAS	$\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{R}'$	$\text{CH}_3-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{CH}_3$ PROPANONA
ACIDOS	$\text{R}-\text{C} \begin{array}{l} \text{=} \text{O} \\ \text{OH} \end{array}$	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{C} \begin{array}{l} \text{=} \text{O} \\ \text{OH} \end{array}$ ACIDO PROPANOICO
ESTERES Y SALES	$\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-\text{R}$ $\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}^- \text{M}^+$	$\text{CH}_3-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-\text{CH}_3$ ETANOATO DE METILO $\text{CH}_3-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}^- \text{Na}^+$ Etanoato de sodio

1.3.6 Electronegatividad y Polaridad

Se define electronegatividad como la tendencia que tienen los átomos a atraer los electrones de enlace en un enlace covalente. Átomos pequeños cercanos a completar su última capa o nivel son muy electronegativos. La electronegatividad muestra tendencia a aumentar de izquierda a derecha en la tabla periódica. El nitrógeno, oxígeno y los halógenos son más electronegativos que el carbono. El sodio, el litio y el magnesio son menos electronegativos. Flúor Es el átomo más electronegativo con un valor asignado de 4,0, el oxígeno, tiene una electronegatividad bastante alta, 3,4. La electronegatividad del hidrógeno (2.2) es parecida a la del carbono (2.5), por lo que consideramos el enlace C-H como no polar.

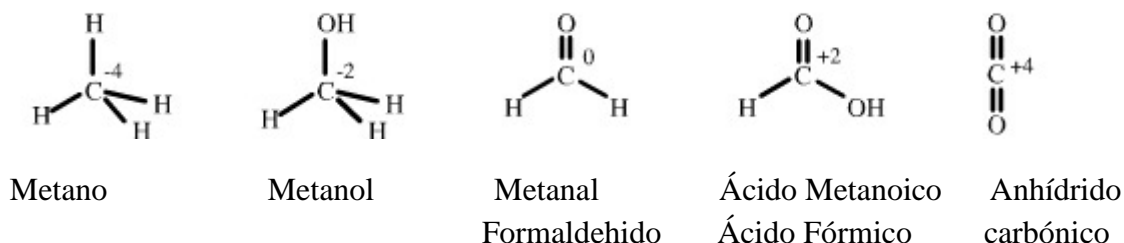
La electronegatividad del oxígeno (3.4) es mucho más alta que la del carbono (2.5) por esto el oxígeno presenta mayor atracción por los electrones de enlace en C-O, generándose así un enlace de tipo polar. La polaridad de los enlaces y la geometría de las moléculas determinan la polaridad molecular, la cual es fundamental al momento de explicar las atracciones existentes en ellas.

Las atracciones entre moléculas, derivadas del movimiento de los electrones y de la polaridad, ordenadas según orden creciente de fortaleza son: Fuerzas de Van der Waals, Interacciones dipolo-dipolo y puente de hidrógeno y son las responsables de muchas de sus propiedades físicas, tales como: solubilidad, puntos de ebullición y fusión, estado físico a temperatura ambiente, etc., explican en gran medida los comportamientos e interacciones de estas moléculas.

(L. G. Wade,2012).

1.3.7 Propiedades químicas de compuestos oxigenados

El proceso de oxidación de un compuesto orgánico se relaciona con la pérdida de electrones, aumento de enlaces C-O, pérdida de enlaces C-H o aumento en la carga del átomo de carbono. Por el contrario, el proceso de reducción entonces corresponde a la ganancia de electrones, disminución de enlaces C-O, aumento de enlaces C-H disminución en la carga del átomo de carbono. Los alcanos contienen átomos de C en su máximo estado de reducción, así por ejemplo el metano (CH₄) posee un átomo de carbono con cuatro enlaces C-H, y a medida que los enlaces C-H se van cambiando por enlaces C-C o enlaces C-O-, se observa que va aumentando el estado de oxidación del carbono, como se observa en la siguiente secuencia. (Reboiras, M.D: 2006)



Al aumentar el estado de oxidación del carbono observamos cómo se van disminuyendo los enlaces carbono-hidrógenos, y se van aumentando los enlaces carbono-oxígeno en las funciones orgánicas oxigenadas

2. METODOLOGÍA

La metodología propuesta se fundamenta en el aprendizaje significativo. Un estudiante no aprende cuando los conceptos carecen de significado. El nuevo conocimiento no lo relaciona con sus preconceptos y tampoco es capaz de identificar en su entorno situaciones a las que pueda dar explicación o las relacione con los conceptos dados en la disciplina.

La propuesta permite que el estudiante al aprender, acoja valore lo ya ha aprendido en secciones anteriores o en diferentes experiencias y comprueba las creencias del tema, evitando así seguir aprendiendo por la repetición mecánica.

Esta metodología se divide en cuatro espacios principales, cada uno con varias y diferentes actividades las cuales buscan promocionar que el alumno sea el actor principal en la adquisición del nuevo conocimiento y principalmente esta actividad se evidencie durante el desarrollo de la clase

Los cuatro espacios principales de la metodología son:

1. Establecer un espacio de ambientación sobre el contacto frecuente que tiene el hombre con moléculas orgánicas oxigenadas ya sea en ciertos productos sintéticos o derivadas de productos naturales. Con el fin de inquietar, generar curiosidad e interesar al estudiante en el tema particular mencionado.
2. Trabajar con ayuda de la tecnología diferentes propuestas de talleres del tema para consolidar los conocimientos previos de estructura, propiedades de la materia y nomenclatura orgánica, ligándolo con la nueva información e ir así promoviendo y desarrollando nuevos conceptos.
3. Asignar y realizar la lectura de artículos científicos específicos donde se puedan identificar los diferentes grupos funcionales orgánicos oxigenados (alcoholes, aldehídos, azúcares, grasas y aceites etc.), y relacionar las estructuras químicas de los compuestos con sus propiedades físicas y químicas
4. Resolver los cuestionarios de las guías de aplicación y los problemas propuestos para evaluar la comprensión y la apropiación del conocimiento.

2.1 ESPACIO DE AMBIENTACIÓN

2.1.1 Actividad 1

En este primer momento el profesor realiza una introducción al tema respectivo, por medio de una reflexión (lectura) sobre productos que a diario se consumen como alimentos o nutrientes (jugos, gaseosas, licores, bebidas energizantes, azúcares, vinagres, frutas, salsas y otros aditivos, algunos medicamentos, etc) y los que se aplican directamente sobre el cuerpo (cremas hidratantes, shampoo, cremas dentales, enjuagues, removedores de esmalte, antisépticos, etc.), sometiendo a consideración algunas preguntas sobre algún componente específico como por ejemplo: el colorante tartrazina que aparece en un gran número de alimentos y medicamentos (acetil cisteína, con sabor a naranja), o la sucralosa (edulcorante derivado de la cloración de la sacarosa).

Es importante hacer referencia a que muchos de los productos sintéticos o elaborados en el laboratorio contienen moléculas químicas, obtenidas de las plantas, animales y microorganismos; los cuales producen estos compuestos para interactuar, como medio de comunicación, o como medio de defensa. El hombre las extrae o “copia” por medio de la síntesis orgánica y modifica la estructura en busca de mejores y más notables propiedades y por ende mayores aplicaciones.

La idea de este espacio es llamar la atención sobre las moléculas que están involucradas en la composición de artículos que con frecuencia usamos o consumimos, moléculas que se obtienen de diferentes seres vivos o que los sintetiza el hombre en el laboratorio.

El aporte de los estudiantes, por ejemplo, al exponer de manera breve sus propias experiencias; es fundamental en esta actividad, para así identificar los preconceptos creencias que tienen sobre el tema y como los vincula con lo visto previamente en la introducción a la orgánica y los hidrocarburos, para definir la mejor manera de intervenir para la apropiación de los nuevos conceptos.

Para este momento se propone que el docente tenga en cuenta apartes de artículos como: *“Aceites esenciales: el espíritu de las plantas” Stashenko(2010);*

“Productos sin químicos y algunas hazañas e historias de los químicos” Stashenko (2011);

“Fotoquímica y Agroindustria” Sahenko(2011) o

“El olfato de las plantas” Chamovitz (2012).

(Apartes de estos artículos se han usado en clases de química orgánica en el colegio Marymount y se ha logrado captar el interés de las estudiantes.)

Esta primera actividad permite al estudiante reconocer que muchos de los compuestos que se tienen en el laboratorio escolar, los contienen los productos comerciales y además aplicar las normas de nomenclatura orgánica vistas en el capítulo de hidrocarburos y aplicarlas para nombrar compuestos orgánicos oxigenados.

2.1.2 Actividad 2

Para consolidar el objetivo del proceso anterior, se plantea un ejercicio de reconocimiento de sustancias.

**Antes de proceder es necesario explicar a los estudiantes la manera más adecuada de oler las sustancias para no incurrir en accidentes*

Tabla 1. Sustancias de uso común en el hogar para evaluar olfatométricamente.

Sustancia	Características	Relación con productos usados
1. Etanol		
2. Ácido acético diluido		
3. Butanoato de metilo		
4. Metanoato de metilo		
5. Sacarosa		
6. Propanona		
7. Fenol		
8. Ácido esteárico		

2.1.3 Actividad 3

Se aplicará el siguiente cuestionario con el objetivo de crear conciencia en los alumnos sobre la cercanía que tiene el hombre con diferentes moléculas.

Es recomendable que el trabajo sea personal y se puede realizar en casa, ya que casi siempre el tiempo para dar el tema se hace muy corto.

Tabla 2. De la siguiente lista de productos – marque con una X, los que usted usa o consume con frecuencia:

PRODUCTO	
Alcohol Antiséptico	
Enjuague bucal	
Licores	
Removedor de esmalte	
Perfumes	
Refrescos con saborizantes	
Vinagretas	
Encurtidos	
Fragancias de ambiente	

Lee muy bien las siguientes preguntas y da una explicación a cada una

a. ¿Lee las etiquetas de los productos que usa? ¿Por qué?

b. ¿Tiene alguna precaución al usar estos productos?

c. ¿Conoce sobre las concentraciones de diferentes productos y es consciente que la concentración puede variar de uno a otro producto que se usan para lo mismo?

d. ¿Ha tenido algún accidente o incidente al usar o consumir alguno de estos productos?

e. ¿El conocimiento sobre los compuestos químicos, adquirido durante estos años le ha servido para mejorar su vida, la de su familia o la de su comunidad?

- f. ¿Sabes que cada uno de estos productos tiene algunos de los compuestos químicos que manejamos en el laboratorio?

- g. ¿Sabías que el ácido fórmico es la sustancia que nos aplican las hormigas cuando nos pican?

- h. ¿Muchas plantas atraen a los animales porque liberan moléculas que llevan información que ellos están en capacidad de recibir o de comprender.

- i. ¿Ha oído Usted que el olor de las frutas se debe a algunos componentes propios de cada fruta que liberan?

2.1.4 Actividad 4.

Para el desarrollo de esta tarea es recomendable que el docente, revise algunos de los conceptos ya vistos, (estructura de Lewis, fuerzas intermoleculares), explique la relación del grupo funcional y de la terminación en el nombre de los compuestos orgánicos. Lo anterior se puede lograr, dibujando y nombrando compuestos con el mismo número de carbonos, como: butanol, butanal, 2-butanona, Ácido butanoico, Butanoato de metilo, dietiléter.

En esta actividad, se espera que el estudiante pueda conectar los conocimientos previos de enlace, estructura y nomenclatura de hidrocarburos para realizar la estructura de Lewis de algunas sustancias orgánicas oxigenadas, y se acoja a los conceptos de polaridad y geometría molecular para determinar las fuerzas intermoleculares. Y por último poder relacionar el nombre con la estructura.

Este es un ejercicio en el cual se promueve que el estudiante aprecie sus conocimientos al aplicarlos y hacerlos efectivos en su nuevo proceso.

Por todo lo anterior se debe asignar suficiente tiempo para su desarrollo

Completa el siguiente cuadro

NOMBRE	FORMULA MOLECULAR	ESTRUCTURA DE LEWIS	FUERZAS INTERMOLECULARES
Etanol	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$		
2- butanol	$\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{CH}_3$		
Propanal	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COH}$		
1,6-Hexanodial	$\text{CHO}(\text{CH}_2)_4\text{CHO}$		
Propanona	CH_3COCH_3		
3-Pentanona	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COCH}_2\text{CH}_3$		
Ácido etanoico	CH_3COOH		
Ácido-3-metilpentanoico	$\text{HOOCCH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)\text{CH}_2\text{CH}_3$		
Etanoato de etilo	$\text{CH}_3\text{COOCH}_2\text{CH}_3$		
Butanoato de Metilo	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOCH}_3$		
Metiletiler	$\text{CH}_3\text{OCH}_2\text{CH}_3$		

Compara los nombres y las estructuras. Determina semejanzas y diferencias en nombres y estructuras.

Con tus observaciones y conclusiones, completa el siguiente cuadro

FAMILIA	GRUPO FUNCIONAL	TERMINACION USADA EN EL NOMBRE

ALCOHOLES		
ALDEHIDOS		
CETONAS		
ÁCIDOS CARBOXILICOS		
ESTERES		
ETERES		

2.2 CONSOLIDACIÓN DE CONOCIMIENTOS PREVIOS

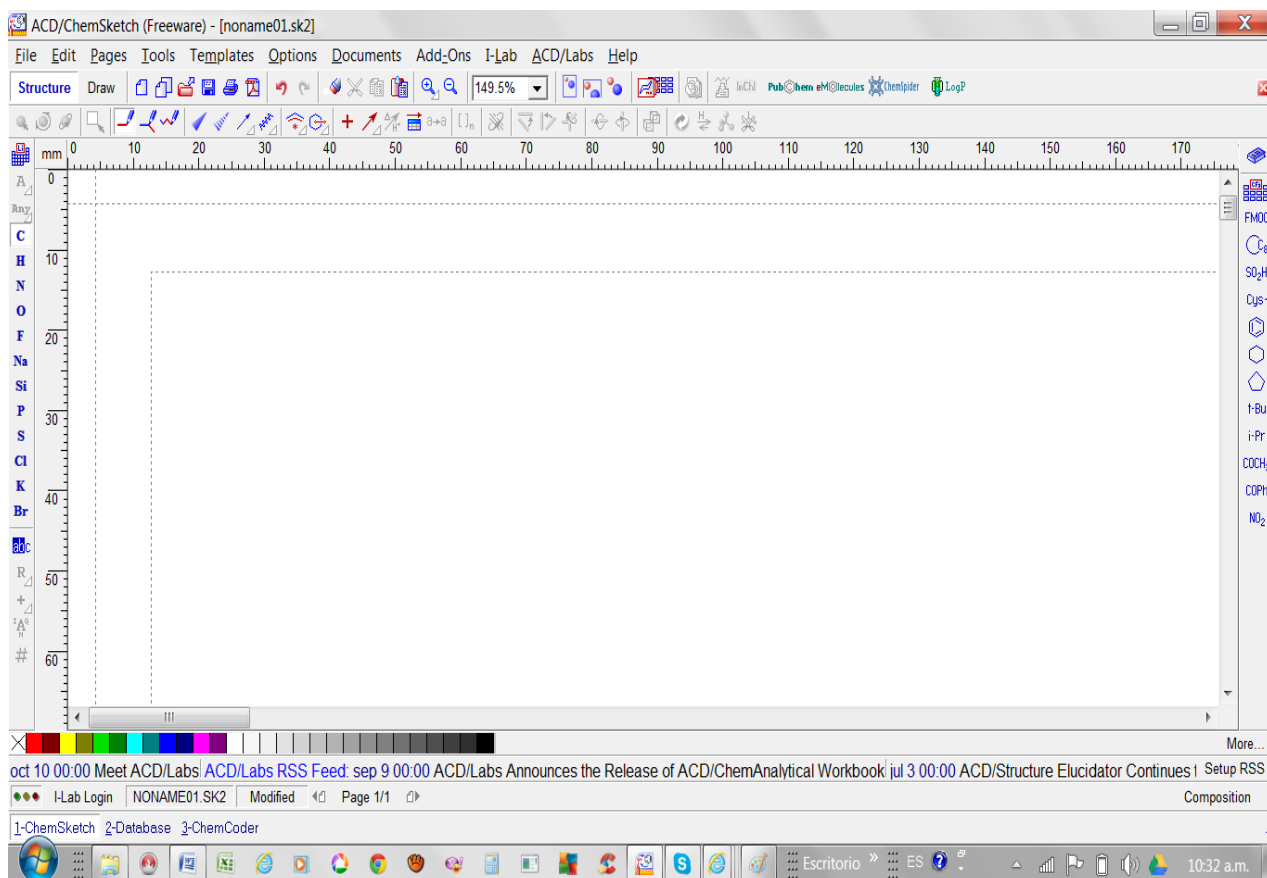
El programa Chemskech (ACDLABS) es una buena herramienta tecnológica en la clase de química, se puede descargar de forma muy fácil y gratuita.

El trabajo realizado en este momento tiene como objetivo mostrar otro ambiente para la enseñanza y el aprendizaje de la ciencia; mucho más actual y atractivo para los jóvenes y diferente al tradicional laboratorio o tablero. Se aprovecha las actividades propuestas en este momento para desarrollar y reforzar las habilidades de manejo de herramientas tecnológicas como las habilidades sociales al compartir e instruir a los compañeros que no tengan estas habilidades.

Algunos de los beneficios encontrados al usar el programa son:

- Los estudiantes pueden interactuar fácilmente con este programa y despierta un gran interés en ellos al manejar las tecnologías en su aprendizaje.
- Permite realizar estructuras orgánicas de forma segura, pues en él se respeta siempre la tetravalencia del carbono como las valencias del hidrógeno y del oxígeno
- Permite observar las estructuras de cada compuesto
- La molécula pasa de ser plana a ocupar un espacio en 3D como es realmente
- Es fácil crear moléculas con diferentes ángulos de observación (se pueden girar).
- Ayuda a dibujar grandes estructuras conservando todas sus propiedades
- Tiene una gran herramienta que es la tabla periódica, que muestra todas las propiedades de los átomos y permite escoger cualquier elemento para completar los compuestos.
- Se puede nombrar cada molécula en el sistema de nomenclatura común o en el oficial de IUPAC
- Ya trae la estructuras más comunes (cíclicas, aromáticas) son los más comunes.
- Se puede agregar o quitar protones y electrones.
- Tiene la opción de dibujar las moléculas con diferentes colores para resaltar los grupos funcionales o la función química

Figura 2. Tablero de trabajo del programa ACD/ChemSketch



2.2.1 Actividad 5.

Para adquirir habilidad en el manejo del programa y a la vez reforzar los conceptos de enlace, el estudiante debe realizar estructuras de cadenas carbonadas pequeñas, en las cuales en uno de sus carbonos contenga los siguientes grupos de átomos:

$R-CH_2OH$	$R-C \begin{matrix} \text{=}\ddot{O} \\ \text{H} \end{matrix}$	$R-C \begin{matrix} \text{=}\ddot{O} \\ \text{OH} \end{matrix}$
$R-O-R'$	$R-\overset{\text{O}}{\parallel}{C}-R'$	$R-\overset{\text{O}}{\parallel}{C}-O-R$

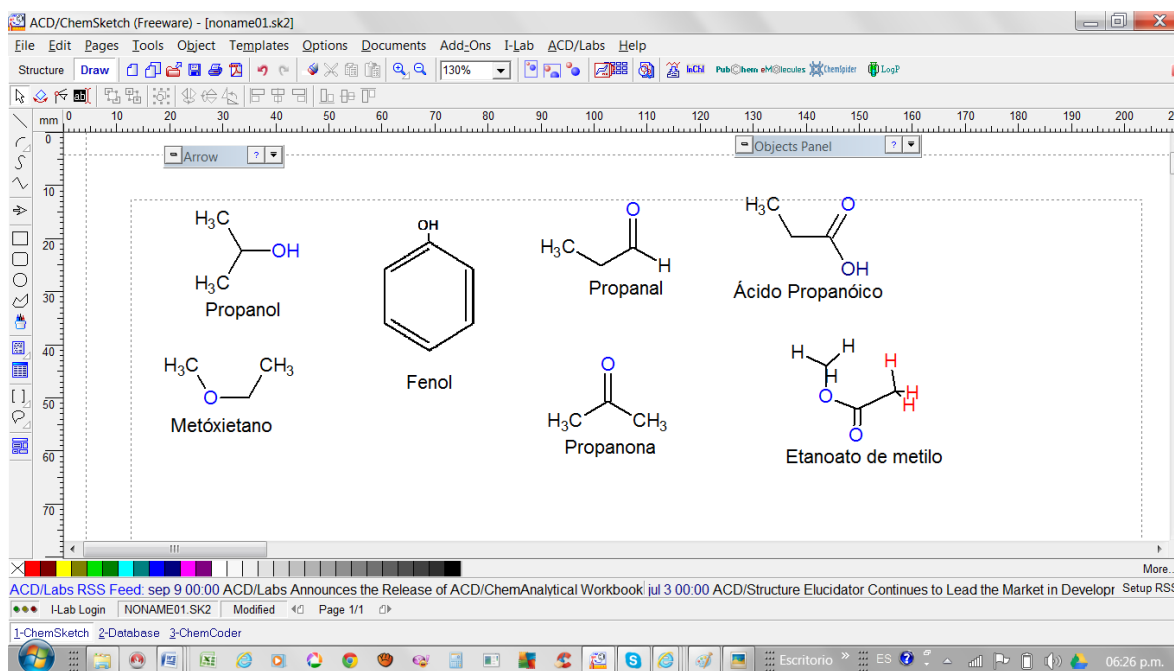


Figura 3. Muestra el Tablero con algunas moléculas orgánicas oxigenadas y su nombre

2.3 LECTURA DE ARTÍCULOS CIENTÍFICOS

El objetivo de este momento es exponer al estudiante una lectura de orden científico en el cuál se dé cuenta cómo trabaja un científico, identifique fácilmente los conceptos, temas e ideas de los que tiene conocimiento o los que está aprendiendo.

El propósito del profesor no es lograr que todos sus estudiantes sean científicos, pero sí que se animen, que se asombren por los cambios dados en su medio y que principalmente usen el conocimiento adquirido para dar explicaciones a estos cambios y así ser capaces de explicar a otros pares o a personas que no tienen acceso a este conocimiento. Esto se puede conseguir a través de la lectura de textos científicos, sin incurrir en los gastos de recursos y tiempo que conlleva el trabajo en el laboratorio y que en común el profesor de ciencias opta como el medio ideal para el aprendizaje.

El trabajo con artículos científicos debe comenzar con una buena exposición previa por parte del profesor sobre el tema a tratar, captando así el interés del estudiante en la actividad.

El título debe ser sugestivo, con un lenguaje comprensible para el estudiante y de una extensión adecuada. Si lo anterior no se cumple, el profesor puede editar la lectura (respetando y referenciando a los autores) siempre pensando en evitar el rechazo en primera instancia del estudiante hacia la lectura. También es importante que al *darle una mirada general al artículo* identifique en esta información sobre su realidad y de la cual tenga algún nivel de conocimiento.

El artículo o lectura se puede trabajar de forma impresa o en medio magnética.

Además de leer puramente artículos científicos se puede hacer el mismo proceso con diferentes lecturas de procesos generados por seres vivos en el ambiente.

2.3.1 Actividad 6.

Esta actividad pretende que el estudiante obtenga información del tema tratado en una lectura la cual explica un proceso en el ambiente.

Para este ejemplo se seleccionó la siguiente lectura, por ser no tener conceptos de nivel muy superior y una extensión adecuada para realizarla en el tiempo de clase.

LECTURA: Texto editado de ["Pequeñas Moléculas con olor"](http://www.scienceinchool.org/2007/issue6/scents/spanish)
<http://www.scienceinchool.org/2007/issue6/scents/spanish>

ANEXO 1.

Es importante recordar que al realizar la lectura no es necesario conocer el significado de todos los términos de nomenclatura usados en el artículo.

Seguido de la lectura el profesor debe someter a los alumnos a una serie de preguntas en las cuales se pueda rendir información de lo leído y seguido realizar la identificación de grupos funcionales oxigenados sobre las moléculas que aparecen en el artículo

CUESTIONARIO

1. En un párrafo diga y explique de manera muy resumida cual es el tema central de la lectura.

2. Escriba un aspecto que haya llamado su atención y explique el porqué

3. Basados en la información del cuadro que contiene las estructuras moleculares, subraye e identifique en cada una el grupo funcional oxigenado que contiene.

4. Escriba el nombre de 5 de las moléculas las cuales aparecen su estructura y al frente escriba una sustancia conocida por usted que la contenga.

Molécula	Sustancia que la contiene

2.3.2 Actividad 7.

LECTURA: “De los compuestos responsables del aroma” Por: Díaz Maroto Ma. Consuelo y Pérez Coello Ma. Soledad.

ANEXO 2

Después de realizar la lectura el profesor puede realizar una discusión con los estudiantes para identificar los diferentes puntos de vistas sobre el artículo.

CUESTIONARIO.

1. En un párrafo diga y explique de manera muy resumida cual es el tema central de la lectura.

--

2. Escriba un aspecto que haya llamado su atención y explique el porqué

--

3. Basados en la información del cuadro que contiene las estructuras moleculares, subraye, identifique y nombre el grupo funcional oxigenado que contiene.

--

4. Teniendo en cuenta la fórmula estructural del principal componente del hinojo y del perejil Determine su fórmula molecular y su masa molar.

--	--

5. La volatilidad es una propiedad física de las moléculas, explique el término y diga que características afectan la volatilidad en las moléculas.

--

6. Explique el siguiente hecho: Algunos compuestos tienen mayor volatilidad que otros que contienen el mismo grupo funcional.-

--

7. Para cada uno de los siguientes compuestos, dibuje la fórmula estructural, la fórmula molecular señalando en el grupo funcional y escriba con que olor característico se puede relacionar

NOMBRE	FORMULA ESTRUCTURAL Y MOLECULAR	OLOR
3-hexenal		
1-octen-3-ol		
2-nonenal		
2-metilbutanoato de metilo		
2-hexenal		

2.3.3 Actividad 8.

LECTURA “Nuevos medicamentos inspirados en la Naturaleza”. Por: David Sucunza
http://www.scienceinschool.org/2014/issue28/natural_products/spanish

ANEXO 3.

Con la lectura de este artículo se quiere que el estudiante encuentre la relación entre la composición de los medicamentos y las moléculas extraídas de plantas. En él se explica en forma clara como el hombre se ha beneficiado de los extractos de las plantas y de sus componentes para obtener medicinas, originalmente desde plantas directamente y después por la síntesis de estas por el trabajo en el laboratorio. El estudiante evidencia así la importancia que tienen las plantas en mejorar la vida del hombre.

Se sugiere realizar las actividades y desarrollar las preguntas tal como se propone en la REVISION del mismo artículo. Para fortalecer el tema de grupos oxigenados, el docente puede guiar algunas de las preguntas sobre la identificación de los grupos funcionales orgánicos en las moléculas que aparecen allí dibujadas.

El artículo puede ser usado tal como aparece o usar parte de la información según el profesor crea necesaria para su clase.

2.4. RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS PROPUESTOS

APROPIACION DEL CONOCIMIENTO.

El último espacio dentro de esta propuesta didáctica es el desarrollo de un cuestionario evaluativo donde se evidencie la apropiación de conceptos y procesos relacionados con el tema de grupos funcionales orgánicos por parte del estudiante.

Este documento sirve también para constatar si el estudiante, a partir del proceso ha identificado cómo las moléculas, y específicamente las moléculas orgánicas oxigenadas están integradas en nuestra vida, se generan en la naturaleza, hacen parte de la comunicación y de la interacción de los seres vivos, y cómo el hombre las extrae ya sea por determinación directa o por síntesis en el laboratorio para usarlas en diferentes productos cuyo principal fin es mejorar la calidad de vida del hombre.

Las preguntas y partes de la evaluación deben estar de acuerdo con las actividades planteadas durante el proceso de enseñanza.

En este documento se plantea la evaluación al finalizar el proceso, pero es muy conveniente y se puede realizar durante el proceso.

2.4.1. Actividad 9

Lee con atención el siguiente artículo y responde las siguientes preguntas:

NOTA QUÍMICA

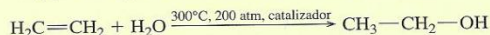
ALGUNOS ALCOHOLES Y FENOLES IMPORTANTES

El *metanol* (*alcohol metílico*), el alcohol más simple, se encuentra en muchos solventes y removedores de pintura. Si se ingiere, el metanol se oxida a formaldehído, que puede causar dolores de cabeza, ceguera y muerte. El metanol se usa para elaborar plásticos, medicinas y combustibles. En las carreras de autos, se utiliza como combustible porque es menos inflamable y tiene un mayor octanaje que la gasolina.

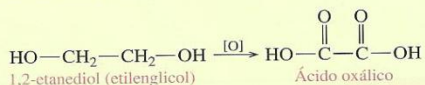
El *etanol* (*alcohol etílico*) se conoce desde épocas prehistóricas como un producto tóxico formado por la fermentación de granos y levaduras.



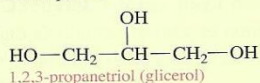
En la actualidad, el etanol para usos comerciales se produce a partir de eteno y agua, que le permiten reaccionar a altas temperaturas y presiones. Se usa como solvente para perfumes, barnices y algunas medicinas, como tintura de yodo. El "gasohol" es una mezcla de etanol y gasolina que se usa como combustible.



El *1,2-etanediol* (*etilenglicol*) se usa como anticongelante en sistemas de calefacción y enfriamiento. También es un solvente para pinturas, tintas y plásticos, y se utiliza en la producción de fibras sintéticas como Dacrón. Si se ingiere es extremadamente tóxico. En el cuerpo se oxida a ácido oxálico, que forma sales insolubles en los riñones, las cuales causan daño renal, convulsiones y muerte. Puesto que su sabor dulce es atractivo para las mascotas y los niños, las soluciones de etilenglicol se deben almacenar con cuidado.



El *1,2,3-propanetriol* (*glicerol o glicerina*), un alcohol trihidroxilado, es un líquido viscoso que se obtiene de aceites y grasas durante la producción de jabones. La presencia de muchos grupos —OH polares lo hacen enormemente atractivo al agua, una característica que hace a la glicerina útil como suavizante de la piel en productos como lociones corporales, cosméticos, cremas para afeitar y jabones líquidos.



Muchos de los aceites esenciales de las plantas, que producen sus olores o sabores, son derivados del fenol. El eugenol se encuentra en el clavo, la vainillina en la vainilla, el isoeugenol en la nuez moscada y el timol en el tomillo y la menta. El timol tiene un agradable sabor mentolado y se usa en enjuagues bucales y los dentistas lo utilizan para desinfectar una cavidad antes de agregar un compuesto sellador (figura 17.12).

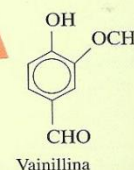
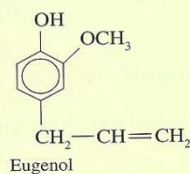
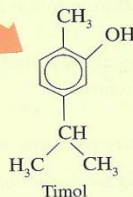
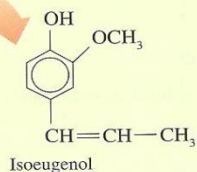
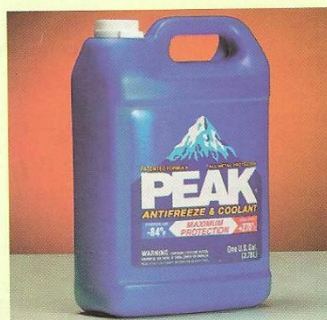


Figura 17.12 Los derivados del fenol son ingredientes activos que se encuentran en los aceites esenciales del clavo, la vainilla, la nuez moscada y la menta.

P Si el fenol es una característica estructural común a estas especies, ¿qué explica sus diferentes olores y sabores?

El metanol y el etanol son los alcoholes alifáticos más pequeños, los dos contienen el grupo funcional hidroxilo, pero el etanol tiene un grupo CH_2 más que el metanol.

1. Dibuje la estructura de Lewis para cada uno de los alcoholes mencionados y representelo según la TRPECV

2. Explique cuál de los dos alcoholes es más soluble en agua.

Ambos alcoholes generan mucho daño al consumirlo. Pero ambos alcoholes son muy buenos combustibles. Escriba la ecuación balanceada para la combustión completa del etanol

3. Teniendo en cuenta la estructura, determine la fórmula molecular y la masa molar del Timol

4. Señale los grupos funcionales y escriba la función química oxigenada que contiene cada una de las moléculas siguientes:

- Timol
- Eugenol
- Vainillina
- Isoeugenol

5. Si las moléculas tienen estructuras tan similares, explique la diferencia en olores y sabores.

6. Dentro de todos estos compuestos, la sustancia más soluble en agua es la Vainillina, explique

2.4.2 Actividad 10

Lectura: “El aroma de las manzanas”

ANEXO 4.

El artículo se puede usar tal como está publicado, o señalando hasta donde el estudiante debe leer, u obtener la información necesaria para la evaluación (Referenciando de manera adecuada y dando el crédito a los autores)

El sugiere el siguiente cuestionario el cuál se diseñó después de haber leído las partes señaladas en el artículo, como aparece en el anexo.

CUESTIONARIO.

Realiza la lectura del siguiente artículo de investigación hasta la parte demarcada con la línea oscura.

Revisa los autores, el año y el país donde se realizó el trabajo.

1. ¿Cuál es el principal objetivo de la investigación?

2. ¿Qué define el aroma de un fruto?

3. ¿Qué característica física especialmente deben tener las moléculas que componen el aroma?

4. ¿Qué compuestos son los predominantes en el aroma de la manzana que no ha madurado?

5. ¿Qué compuesto son los predominantes en el aroma de la manzana madura?

6. Escribe qué grupos funcionales oxigenados están presentes en las moléculas de la manzana.

7. Para las sustancias subrayadas en la tabla I. Escribe el nombre, la fórmula molecular y la fórmula estructural.

GRUPO FUNCIONAL	NOMBRE	FÓRMULA ESTRUCTURAL	FÓRMULA MOLECULAR
ALCOHOL			
ALDEHÍDO			
ÉTER			
ÁCIDO			
ESTER			
CETONA			

8. El metanol, 2-metilbutanol y propanol se pueden clasificar **alcoholes primarios**, teniendo en cuenta su estructura, mientras que se clasifican como **alcoholes secundarios** por ejemplo, el 3- pentanol, 2-pentanol. Teniendo en cuenta lo anterior ¿cómo se puede definir alcohol primario? ¿alcohol secundario?

9. Dibuje la estructura y dé el nombre de un alcohol terciario

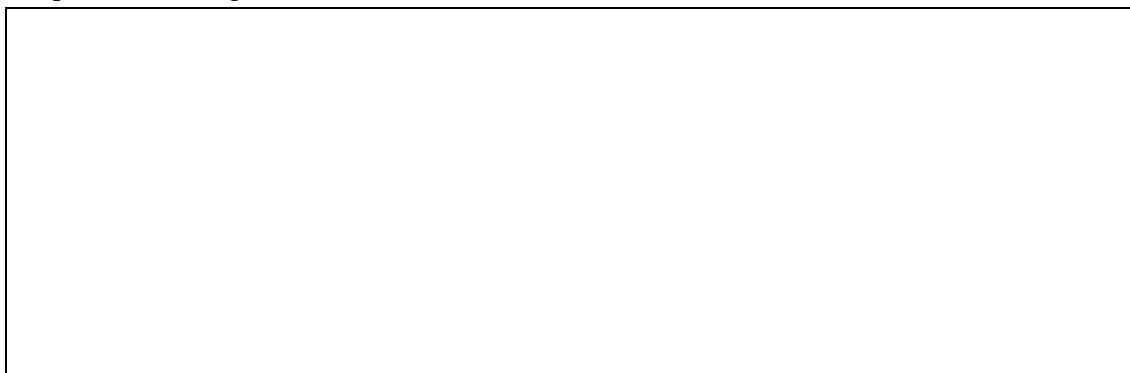
10. Existen los vinos de manzana y los vinagres de la manzana. Las características físicas y químicas de estos compuestos son diferentes. El componente principal del vino de manzana es el etanol. El principal componente del vinagre de manzana es el ácido acético o etanoico.

Explique teóricamente que reacción sucede para que el etanol se convierta en ácido etanoico.

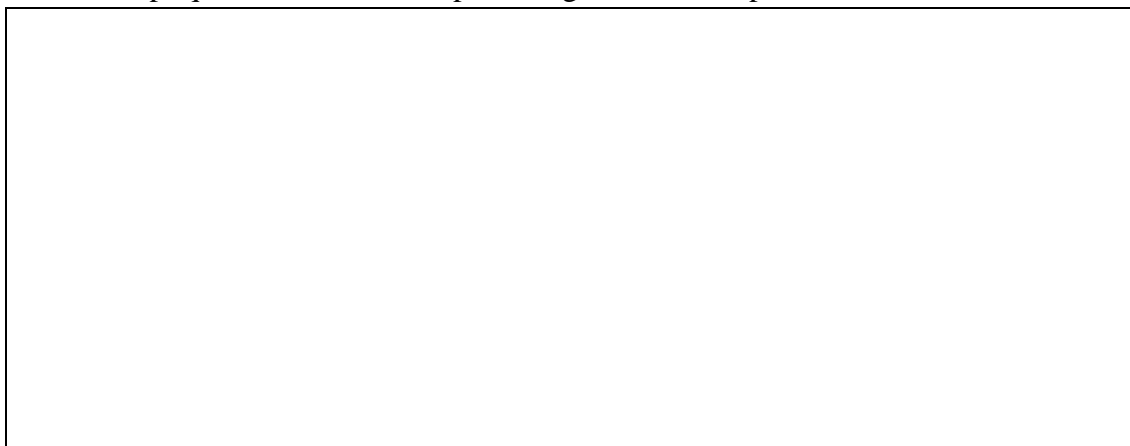
11. Explique la razón por la cual otras sustancias contenidas en la manzana, como la 2-pentanona, sufra reacciones bajo las mismas condiciones, como las que sufren los alcoholes primarios.

12. Teniendo en cuenta la información de la Tabla III, podemos ver que los ésteres son los principales compuestos volátiles en las diferentes variedades de manzana. Explique este hecho teniendo en cuenta las características físicas de los ésteres.

13. Pocas personas relacionan nombres de sustancias como: propanoato de etilo, acetato de propilo, 2-metil butanol- Propanona, etc, con compuestos que existen en la naturaleza (algunas personas por ejemplo consumen frutas, porque las frutas no contienen sustancias químicas), así, con frecuencia escuchamos muy malos comentarios de los compuestos químicos. Argumente el anterior hecho.



14. Diferentes productos que usamos en el hogar, contienen aromas de manzana, limón, pino etc. Explique como el hombre puede lograr estos compuestos.



2.4.3 OTRAS LECTURAS QUE SE PUEDEN USAR

- “Con aroma a Julio César: Recreando perfumes antiguos en el laboratorio. Disponible en: www.scienceinschool.org.
- Buriaga J.P, Zuñiga S. (2004). “Volátiles libres en pulpa de fruto maduro de Kiwi”. Química en Uniandes. 1 (002).
- CataniaC, Avagnina S. (2007) “Los aromas responsables de la tipicidad y de la vinosidad. Curso Superior de Degustación de vinos. EEA Mendoza.INTA
- Muñoz, M. Yamile, et al. (2008) “ Desarrollo de un aroma de mamey similar al natural” Ciencia y Tecnología de Alimentos. 18(1).
- Ulloa, José A, et al. (2012) “El noni: propiedades, usos y aplicaciones potenciales” Revista Fuente. 4.(10).
- Timberlake K, Timberlake W. (2008) Química. “Oxidación de alcohol en el cuerpo” Pearson Educación. Segunda Edición. Capítulo 17, pag 613
- Timberlake K, Timberlake W.(2008) Química. “Algunos aldehídos y cetonas importantes” Pearson Educación. Segunda Edición. Capítulo 17. pag 618

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La enseñanza de los grupos funcionales orgánicos ha girado en torno a la nomenclatura de estos compuestos según la IUPAC. Para el docente se convierte en una práctica didáctica sencilla de enseñanza, y para el estudiante es una manera fácil de obtener resultados positivos en las evaluaciones, pues plasmar estructuras y aprender nombres se ve favorecido por el método memorístico. Pero este aprendizaje no es permanente, estará por poco tiempo en el estudiante, no será entonces enriquecedor para su vida, poco podrá comprender y dar explicación de los procesos de su entorno, por lo tanto no cumple pues con el objetivo de aprender en ciencias. Con esta propuesta se recurre a que el estudiante integre sus conocimientos y habilidades ya adquiridas con su nuevo conocimiento y que lo vincule con su entorno.

La propuesta amplía el espectro de actividades a las que puede recurrir el docente para alcanzar los objetivos en su clase, considerando que una de las razones que dan los estudiantes al no animarse a aprender química es el hecho de sentirla muy lejana a su realidad, meramente teórica, así por medio de las lecturas trae a la clase situaciones de aspectos reales y conocidos mostrándole las implicaciones que tienen las moléculas orgánicas oxigenadas en nuestras vidas.

En los textos que desarrollan el tema tratado se encontró que dentro del capítulo se recogen pequeñas lecturas donde se refieren a aplicaciones o procesos en los cuales se involucran compuestos de grupos orgánicos oxigenados, pero no se acude a estas en el momento de la explicación del tema, se pasan por alto la información contenida en dichas lecturas. El profesor puede aprovechar estas lecturas, siguiendo la metodología propuesta para por ejemplo, interpretar de las propiedades físicas o químicas de los compuestos, comparar la estructura con las propiedades o escribir las estructuras de los compuestos extraídos o viceversa.

En este trabajo permite el desarrollo de las habilidades y todo el bagaje de conocimiento adquiridos por el estudiante hasta este momento; para que él como actor principal que es de todo el proceso, adquiera y se apropie tanto de su aprendizaje como del nuevo conocimiento. Pero es necesario captar el interés del estudiante mostrando temas muy actuales, apropiados para su edad, con lenguajes sencillo y una extensión adecuada. El maestro pues es un facilitador de todo el proceso.

La estrategia de un aprendizaje fundamentado en las lectura científica brinda la posibilidad al estudiante de conocer y entender el trabajo de un científico, adquirir cultura científica y sentirse como parte del mundo químico, haciendo esto que tengan una mayor comprensión de lo que aprende.

Los artículos usados deben involucrar sustancias conocidas y cercanas al entorno del estudiante. Si en la región se cultivan flores como rosas o tulipanes, buscar información sobre las moléculas orgánicas que componen su aroma, o lectura relacionadas con la fruta que se cultive en la región y si existe y es posible, visitar una planta donde se procesen y se produzcan aromas o artículos que las contengan.

Se recomienda que el maestro lea previamente los artículos y determine la información que es valiosa para el aprendizaje del tema citado, teniendo en cuenta el nivel de conocimientos de sus estudiantes. La extensión y uso de lenguaje muy específico y técnico, como el que se usa en

algunos artículos, llevaría al desespero, confusión del alumno, perdiéndose el objetivo de la actividad.

El trabajo con las lecturas debe ser muy bien planeado por el profesor, este debe documentarse previamente del tema a tratar, conocer el lenguaje usado, los procesos etc, para así poder aportar a la información de la lectura, y estar preparado para dar explicación a preguntas, participar y entablar cualquier discusión.

Es de suma importancia que el docente maneje adecuadamente el lenguaje y explique la diferencia entre el lenguaje común y el científico usado en las lecturas.

Al terminar las actividades del tema el estudiante debe tener una perspectiva muy bien estructurada del trabajo que hacen los investigadores en química y de la amplia gama de moléculas químicas que contienen los seres vivos. Tener la información debe ayudar a mejorar la impresión negativa que se tiene de los químicos y de la química, como ciencia hecha por el hombre y de poder altamente destructor.

BIBLIOGRAFÍA

- Ausubel D. Teoría del aprendizaje significativo (1983). Disponible en: <http://www.educainformática.com.ar/docentes/tu artículo/educación/ausubl/index.html>. Consultado el 12 de Marzo 2014
- Balley P, Balley C. (1995) Química Orgánica. Quinta Edición Ed. Pearson. Cap. 1 pags 3-5
- Bloomfield M, Stephens L. (1996) Chemistry and the Living Organism. Sixth Edition. pags. 315-352
- Campanario, J. M.(2004). Algunas posibilidades del artículo de investigación como recurso didáctico orientado a cuestionar ideas inadecuadas sobre las ciencias. Enseñanza de las ciencias., 22(3). 365-378.
- Díaz-Maroto, M. C, Pérez-Cohello M. S. Análisis de los compuestos responsables del aroma de las especies. Disponible en <<http://dialnet/unirioja.es/...ga/artículo/2082872.pdf>> . Consultado 13Junio 13 2014.
- GarciaBelmar, A; Bertomeu Sánchez, JR. (1988). Lenguaje, ciencia e historia. Una introducción histórica a la terminología química. Alambique 17, 20-37.
- Fesseden, R and Fesseden J. (1984). Química Orgánica. Grupo Editorial Iberoamericano. Capítulo 2. pags 45-85
- Furio, C. Furio, C. (2000). Dificultades conceptuales y epistemológicas en el aprendizaje de los procesos químicos. Educación Química 11(3). 300-308
- Furio, C. (2006) La motivación de los estudiantes y la enseñanza de la Química. Una cuestión controvertida. Educación Química 17(10). 222-227

- Galagovsky, L. (2007). Enseñar Química Vs. Aprender Química. Una ecuación que no está balanceada. Revista Química Viva (en línea). Vol. 6, número especial. Consultado 7 de mayo de 2013. Disponible en <http://www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar/Suplemento%20educativo/galagovsky.pdf>
- Galagovsky, L. (2005). La enseñanza de la química preuniversitaria: ¿Qué enseñar, cómo, cuánto, para quienes? En: Revista Química viva (en línea). Número 1. Año 4. Consultado: 7 de Mayo de 2013]. Disponible en <http://www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar/v4n1/galagovsky.pdf>
- Izquierdo, M. (2004). Un Nuevo enfoque de la enseñanza de la química, contextualizar y modelizar. The Journal of Argentine Chemical Society. 92 (4/6). 115-136.
- Reboiras, M. D. (2006). Química La Ciencia Básica. Thomson. Madrid. Cap 5 y 23.
- Salas S, Nora; Olivas O, Guadalupe.(2011) El aroma de la manzana. Interciencia. 36(4).
- Stashenko, Elena E. (2010). Aceites Esenciales: El espíritu de las plantas. Innovación y Ciencia. 17(2).
- Stashenko, Elena E.(2010). Fitoquímica y Agroindustria. Innovación y Ciencia. 17(3).
- Stashenko, Elena E. (2011). Productos “sin químicos” y algunas hazañas e historias de los químicos. Innovación y Ciencia. 17(3).
- Timberlake K, Timberlake W. (2008). Química. Pearson Educación. México. Cap.17. pags. 595-630
- Vollhardt N, Schore N. Organic Chemistry.(2003). W.H Freeman and Company. Cap. 1- pags 22-40
- Wade, L.G. (2006). Organic Chemistry. Pearson Prentice Hall. Cap. 2

ANEXO 1.

Texto editado desde el texto original

Pequeñas moléculas con olor

Submitted by rau on 04 November 2011

Traducido por I. Carrero, Univ. de Valladolid



Angelika Börsch-Haubold nos muestra las delicias para el olfato de la química orgánica.

“En Química, lo que no explota, apesta”. No a todos los estudiantes de Química les atraen los malos olores y las explosiones en el laboratorio. Afortunadamente, hay muchas moléculas orgánicas que huelen realmente bien. Nos encontramos con estas sustancias diariamente –usando un gel de ducha perfumado, sazonando nuestras comidas con especias o metiendo nuestra nariz hasta el fondo de una rosa–. Conocer la química orgánica de los aromas naturales debiera motivar incluso a aquellos que detestan el lado tóxico y peligroso de la Química a acercarse a las fórmulas estructurales y a las funciones de las moléculas.

Para ser perceptibles a nuestro olfato, los compuestos químicos deben ser lipófilos, pequeños (masa molecular < 300 Da) y volátiles. Las moléculas odoríferas escapan de su estado fluido o incluso sólido y pasan al aire.

Actividad de clase:
Experimento 1

Imagen cortesía de Angelika

Börsch-Haubold

El tejido sensorial, denominado epitelio olfativo, es una membrana mucosa que tapiza la parte superior de la cavidad nasal. Los olores llegan a esta zona (aproximadamente a 7 cm de los orificios nasales) con el aire que respiramos; si algo huele muy poco, aspiramos dos o tres veces más, llevando más aire y fragancia hacia la membrana sensorial. Allí, las moléculas se disuelven en la mucosa y se unen a receptores olfativos situados en la membrana plasmática de las células sensoriales. Las células envían impulsos nerviosos a nuestro cerebro el cual aprende a asociar los olores con su origen (como una rosa), permitiéndonos reconocerlos incluso cuando el origen está escondido (como cuando entramos en una casa y adivinamos que hay un pastel en el horno) o clasificarlos como desconocidos (como cuando vamos a un restaurante exótico por primera vez).

Propiedades químicas similares – olores similares

Clasificar los olores en un número limitado de tipos no es tan fácil como definir los sabores básicos (dulce, ácido, salado y amargo). Los atributos típicos de los olores son: floral (jazmín), picante (jengibre, pimienta), afrutado (acetato de etilo), resinoso (humo de resina), fétido (huevo podrido) y quemado, o humo, (alquitrán). Almizclado (muscona), alcanforado, rancio (ácidos isovalérico y butírico) y pungente o acre (ácidos fórmico y acético) se añaden a menudo a esta lista. Concentrándonos más en los detalles químicos, los grupos funcionales de las moléculas fragantes se pueden asociar a olores característicos (Tabla 1). El aroma de los alcoholes n-alifáticos, por ejemplo, tiene una gama que va desde el olor a hierba, rosa o madera hasta el olor a naranja. Por el contrario, los ácidos n-alifáticos huelen a grasa, ácido, rancio o sudor. Los aromas de las frutas son ésteres formados entre ácidos orgánicos alifáticos de cadena corta y alcoholes. Diferencias sutiles en la composición química producen olores distintos, tales como el olor a piña del butirato de etilo frente al olor a albaricoque del butirato de pentilo. Los olores vegetales a menudo dependen de la presencia de compuestos organosulfurados. Una estructura cíclica con nitrógeno puede oler a comida asada o fermentada, mientras que los alcoholes aromáticos (fenoles) forman parte de los alimentos ahumados.

La mayoría de los ejemplos de la Tabla 1 procede de diferentes tipos de alimentos para que así se pueda comprobar más fácilmente su olor.

Teniendo en mente las características estructurales, la siguiente cuestión es cómo hace el olfato para distinguir entre grupos funcionales, tamaño y forma general de las moléculas. En muchos procesos fisiológicos que tienen lugar en la membrana celular, los receptores se activan cuando un ligando se une a su dominio extracelular. Este proceso se describe a menudo como una llave que encaja en su cerradura –solo una llave concreta abre la correspondiente cerradura– puesto que el acoplamiento del ligando se debe a su alta especificidad con el sitio aceptor del receptor.

Tabla 1: Clasificación de compuestos orgánicos volátiles atendiendo a sus grupos funcionales y a sus olores característicos

Grupo funcional	Fuente	Ejemplo	Aroma
Alcohol -OH	Plants	Geraniol, linalo Mentol Alcoholes con aroma > c3	Fresco, floral Menta Dulce o pungente
Aldehído; cetona -CHO; >C=O	Grasa Productos lácteos	Diacetilo	Parecido a la mantequilla
Ácido (C1-C12) -COOH	Queso	Ácido fórmico Ácido cáprico	Pungente Parecido a la leche de cabra
Éster, lactona -COOR	Disolvente (estos productos son usados como disolventes) Fruta	Acetato de etilo Butirato de metilo/etilo Acetato de amilo/butilo Butirato de pentilo	Pegamento Piña Plátano Albaricoque
Fenoles (mono-, poli-)	Alimentos ahumados	Guayacol Cresol	Humo de madera Alquitrán
Pirazina aromática =N-	Alimentos asados, cocinados, fermentados	2-isobutil-3- metoxipirazina 2-acetil- tetrahidropiridina	Tierra, especias, pimienta verde Palomitas de maíz
Compuestos azufrados: alifáticos, aromáticos	Hortalizas	Dialildisulfuro Ácido 1,2-ditiolano- 4-carboxílico	Ajo Espárragos

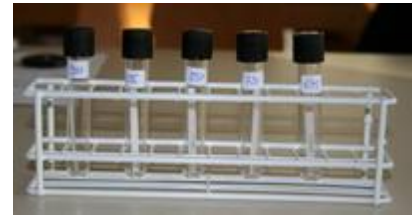
Receptores olfativos

Algunas de las características más fascinantes de la fisiología del olfato fueron descubiertas por los ganadores del Premio Nobel de 2004 Linda Buck y Richard Axel. A diferencia del modelo simple, pero específico, llave-cerradura que funciona para el gusto, el olfato dispone de toda una batería de células sensoriales. Un solo tipo de molécula fragante puede interaccionar con más de un tipo de receptor, así que la sensación global se debe a la acción de varios receptores activados. Cuando Buck y colaboradores probaron una serie de n-alcoholes alifáticos sobre neuronas individuales de ratón, encontraron que se activaban grupos de neuronas olfativas. Por ejemplo, el pentanol estimulaba débilmente receptores de tipo S3; el hexanol activaba claramente los tipos S3 y S25; el heptanol, los S3, S19 y S25; el octanol, los S18, S19, S41 y S51 y el nonanol, los S18, S19, S41, S51 y S83. De esta manera, un único compuesto odorante es reconocido de forma específica por múltiples receptores olfativos que trabajan de forma conjunta.

Tal modelo de activación del receptor determina que se pueda percibir un amplio repertorio de olores. De hecho, se estima que podemos recordar cerca de mil olores y distinguir hasta diez veces

más dependiendo de nuestra edad, experiencia y sensibilidad natural. Sin embargo, nuestra capacidad lingüística para nombrar los aromas se queda muy por debajo de la capacidad de nuestro olfato para diferenciarlos. La industria alimentaria entrena expertos para que reconozcan sutiles matices de los aromas. Como ejemplo de cómo se hace, aplica aceites esenciales diluidos o compuestos aislados que representen un determinado aroma sobre tiras de papel de filtro inodoro y coloca estas en tubos de ensayo con tapón de rosca (ver más abajo).

En este test se puede realizar con estudiantes y usando olores como: orégano (carvacrol al 1% en propilenglicol), rosa (aceite esencial al 1% en etanol), limón (aceite esencial al 10% en etanol), canela (cinamaldehído al 5% en propilenglicol), frutas (aroma al 5% en propilenglicol) o almendras amargas (benzaldehído al 1% en propilenglicol). Cada estudiante deberá escoger de una lista de cerca de 20 olores y se le pedirá que describa y nombre los aromas sin que se le den los atributos (ver Experimento 1 en la actividad de clase^{w1}).



Presentación de las muestras para el test de olores. Los tubos de vidrio contienen tiras de papel de filtro que se empapan con aceites esenciales diluidos

Imagen cortesía de Angelika

Börsch-Haubold



Una persona no entrenada puede relacionar correctamente un olor con su fuente o con algo que lo produzca, pero aun así puede que no identifique la sustancia original. En un curso que he dado recientemente sobre la evaluación sensorial de alimentos, solo la mitad de los estudiantes reconoció el olor a orégano; la cuarta parte lo confundió con el de tomillo o mejorana, que son aromas parecidos; otros lo identificaron con los olores de romero, albahaca o perejil, que son plantas con aromas bastante diferentes. Sin embargo, algunos estudiantes asociaron correctamente el olor con el de la sopa de tomate, que suele estar aderezada con orégano. Dos tercios de la clase reconocieron el olor de las rosas, y algunos estudiantes lo asociaron correctamente con el de flores cercanas como lilas o melisa o con perfume, pero otros sugirieron erróneamente que correspondía a menta, medicinas o pimienta.

Estudiante identificando

olores

Imagen cortesía de Angelika

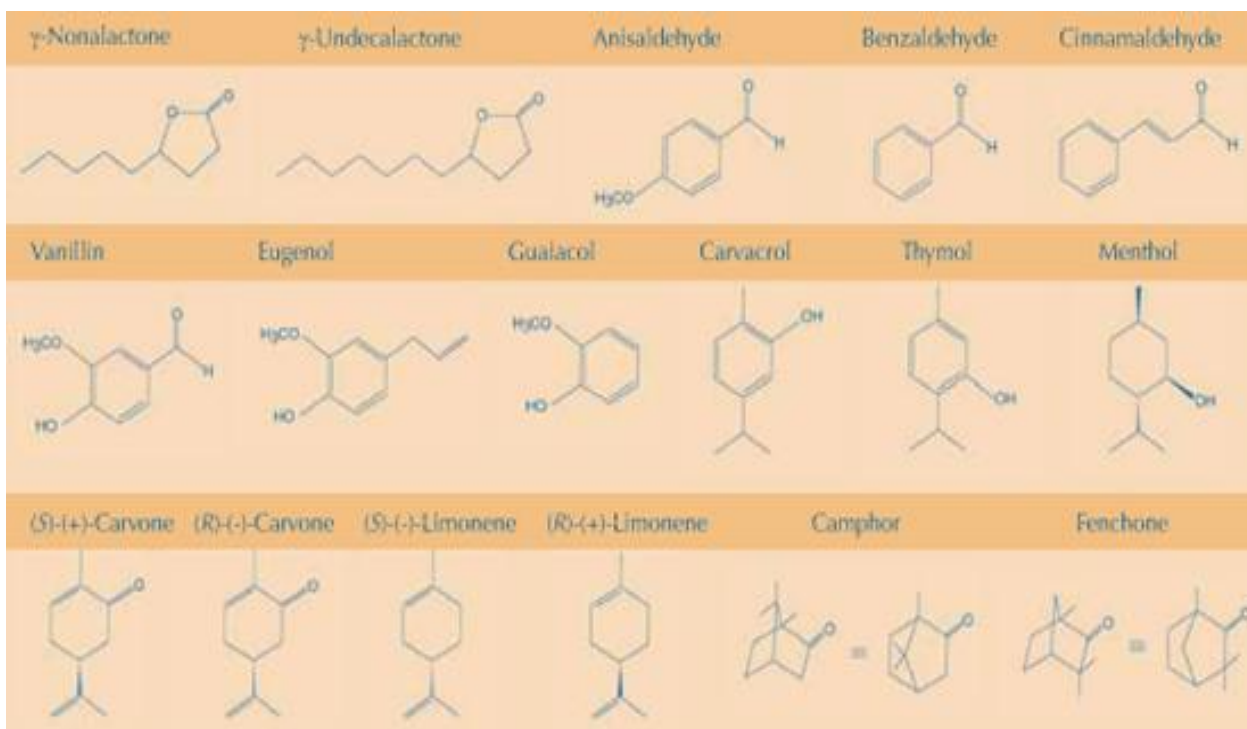
Börsch-Haubold

Casi todos los estudiantes reconocieron los olores a almendras amargas, menta y canela, pero fallaron en la identificación de salvia y cilantro. Cuando se dieron las soluciones, todo el mundo reconoció enseguida los olores que previamente había fallado, lo que demuestra que la memoria olfatoria es mucho mejor que nuestra capacidad para nombrar olores concretos.

Pequeños cambios en la estructura química – olores diferentes

El fino ajuste de la maquinaria de nuestros receptores nos permite diferenciar entre moléculas químicamente muy similares. Muchas fragancias proceden de plantas, y los productos vegetales se pueden utilizar para demostrar cómo pequeños cambios en la estructura química de una molécula odorante dan lugar a olores completamente diferentes o, al menos, a aromas distinguibles (ver la figura con las estructuras). Los ejemplos están elegidos en función de los siguientes principios químicos:

1. Alargamiento de una cadena de carbonos: añadir dos grupos metileno ($-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$) a la molécula que produce el olor del coco, γ -nonalactona, produce olor a melocotón; insertar un grupo vinilo ($-\text{CH}=\text{CH}-$) en el benzaldehído (almendras amargas) produce cinamaldehído (canela).
2. Intercambio de un grupo funcional: reemplazar el grupo aldehído de la molécula de vainillina por un grupo alilo ($-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}_2$) produce eugenol, el aroma del clavo. El olor del 1-butanol es pungente mientras que el correspondiente ácido carboxílico (ácido butírico) huele como mantequilla rancia o como vómito.
3. Adición de un grupo funcional: añadir un grupo metoxilo al benzaldehído cambia su olor de almendras amargas a anís.
4. Posición del grupo funcional: el carvacrol, que tiene un grupo $-\text{OH}$ cercano a un $-\text{CH}_3$ huele como el orégano, mientras que el timol, que tiene un grupo $-\text{OH}$ cercano a un $-\text{CH}(\text{CH}_3)_2$ huele como el tomillo; el 1-propanol huele como el etanol, mientras que el 2-propanol huele dulce (el número refleja la posición del grupo $-\text{OH}$).
5. Intercambio entre anillos alifáticos y aromáticos: reemplazar en el timol el anillo bencénico por ciclohexano produce mentol que huele totalmente diferente.
6. Diferencias estereoquímicas: en general, en las moléculas odorantes quirales, uno de los enantiómeros produce un olor fuerte mientras que el otro casi no huele. Excepciones destacadas son la (S)-(+)-carvona (componente aromático de las semillas de alcaravea) y la (R)-(-)-carvona (hierbabuena). Por su parte, el (S)-(-)-limoneno huele como la turpentina, o trementina, (pino) y el (R)-(+)-limoneno tiene olor a naranja.



Compuestos químicamente similares que huelen de forma diferente

Imágenes cortesía de Angelike Börsch-Haubold

Sin embargo, hay compuestos estructuralmente no relacionados que huelen parecido. El ciclooctano, el alcanfor y el 1,8-cineol tienen todos olor alcanforado pese a que el ciclooctano tiene una estructura formada por un único anillo con solo carbono e hidrógeno (C_8H_{16}) y el alcanfor y el 1,8-cineol son moléculas bicíclicas con un grupo funcional que tiene oxígeno. La denominada ‘nota verde’ de frutas y verduras sin madurar que se añade a los cosméticos para darles un tono de ‘frescura’, procede de un grupo de aldehídos de 6 carbonos estrechamente relacionados (cis-3-hexenal: tomates recién cogidos; cis-2-hexenal: manzanas verdes; trans-2-hexenal: té verde y negro, tomates recién cogidos).

De igual manera, el alcohol cis-3-hexenol (hierba recién cortada), el aldehído de 9 carbonos 2-trans-6-cis-nonadienal (piel de pepino), el ligustral (que tiene un grupo aldehído unido a una estructura cíclica y olor a hierba) e incluso algunas pirazinas (2-propil-3-metoxipirazina: pimientos) tienen esta ‘nota verde’.

Las plantas son las fábricas de perfume en la naturaleza

Utilizando la amplia gama de compuestos odorantes que contienen las plantas, puedes combinar la química orgánica con la fisiología del olfato para demostrar lo bien que comprendemos nuestro entorno sin ser totalmente conscientes de ello. Si quieres centrarte en entrenar el sentido del olfato, puedes pedir a un estudiante que ordene diferentes diluciones de un aroma según aumenta su intensidad (ver Experimento 2 en las actividades de clase^{w2}). Las dos actividades^{w1, w2} deberían estimular a los estudiantes a asociar situaciones cotidianas con la química y hacerles sentir curiosidad por la descripción de nuestro mundo en términos químicos.



Espliego

Imagen cortesía de Angelika

Börsch-Haubold

Agradecimientos

Querría agradecer a los estudiantes del curso de entrenamiento sensorial (Escuela Técnica Superior Weihenstephan, semestre de invierno 2006/07) la preparación de las muestras de compuestos odorantes y sus estimulantes aportaciones.

Recursos en la red

w1 – Experimento 1: Prueba tu sentido del olfato. El protocolo experimental, incluyendo las hojas de trabajo necesarias, se puede descargar [aquí](#)

w2 – Experimento 2: Ordena una serie de diluciones de un aceite esencial. El protocolo experimental, incluyendo las hojas de trabajo necesarias, se puede descargar [aquí](#)

Recursos

Buck LB (2004) [Unraveling the Sense of Smell](#). Nobel Lecture, 8 Dec, Stockholm, Sweden.

Busch-Stockfisch M (ed; 2005) *Praxishandbuch Sensorik in der Produktentwicklung und Qualitätssicherung*. Hamburg, Germany: Behr's Verlag

Malnic B, Godfrey PA, Buck LB (2004) The human olfactory receptor gene family. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* **101**: 2584-2589

Malnic B, Hirono J, Sato T, Buck LB (1999) Combinatorial receptor codes for odors. *Cell* **96**: 713-723

Steiniger E, Hänsel R (1988) *Lehrbuch der Pharmakognosie und Phytopharmazie*. 4th Ed. Berlin, Germany: Springer-Verlag

ANEXO 2

Análisis de los compuestos responsables del aroma de las especias

Resumen: Uno de los atributos más apreciados de las especias es su aroma, y para conocerlo es necesario estudiar la naturaleza de sus componentes volátiles. El análisis del aroma requiere el empleo de técnicas de separación como la cromatografía de gases, sin embargo, esta técnica no permite obtener información sobre los compuestos clave del aroma, y es bien conocido que dichos compuestos no tienen porque coincidir con aquellos de mayor concentración. La cromatografía de gases acoplada a la olfatometría permite evaluar la contribución de cada volátil en el aroma global de las especias, lo que ha hecho que dicha técnica se esté utilizando ampliamente en estudios relacionados con el aroma de los alimentos.

Introducción

Las especias o hierbas aromáticas son ampliamente usadas en los productos alimenticios influyendo en el aroma y sabores característicos de las diferentes comidas. Crecen principalmente en los países tropicales aunque en la actualidad se pueden encontrar en cualquier país de clima templado, como son los países del Mediterráneo. En España existe una amplia variedad de especias, cultivadas o silvestres, entre las que destacan el laurel, el hinojo, el tomillo, el romero, la hierbabuena, el azafrán o el pimentón, que juegan un papel muy importante en la dieta mediterránea.

Las especias fueron seleccionadas por el hombre porque producen, en cantidades pequeñas, sabores y olores característicos cuando se añaden a los alimentos o a otros productos. Sin embargo, las especias no solo se usan por su aroma, ya que éstas poseen también características pungentes y colorantes, además de propiedades antioxidantes y antimicrobianas^[1]. La mayoría de los compuestos químicos responsables de los efectos que las especias producen en los alimentos se encuentran en los aceites esenciales. Estos aceites esenciales se conocen también como "aceites volátiles", y normalmente están compuestos por terpenoides y arilpropanoides, los cuales son sintetizados en las glándulas secretoras de los tricomas, que permanecerán intactos a menos que la especia sea sometida a algún tratamiento, como el secado, el troceado o la molienda. En la Figura 1 se muestra en detalle la superficie celular de dos hojas de laurel, una fresca y otra secada por liofilización, obtenidas por microscopía electrónica de barrido. Se observa claramente el daño celular producido por la liofilización, lo que se traduce en una pérdida considerable de volátiles.

Generalmente, los compuestos responsables del aroma se encuentran en los aceites volátiles. Sin embargo, determinadas especias como la pimienta negra, el pimentón o el jengibre deben su olor a las sustancias contenidas en sus oleoresinas, en las cuales, además de los componentes volátiles se encuentran sustancias no volátiles, responsables de las distintas sensaciones olfato-gustativas producidas por estas especias. Así, la pungencia de la pimienta está contenida en la oleoresina^[2,3]. Lo mismo ocurre con los gingeroles del jengibre^[4]. El pimentón no posee aceites volátiles y los compuestos responsables de su pungencia, denominados capsaicinas,

se encuentran también en sus oleoresinas. El resto de las especias pueden sustituirse, en lo que a aroma se refiere, por sus aceites esenciales, aunque la calidad del aroma no será exactamente la misma, ya que en la especia hay otros compuestos que también contribuyen al mismo.

Composición volátil de las especias

Para conocer el aroma que las especias pueden impartir a los alimentos, es necesario estudiar la naturaleza de sus componentes volátiles. En la actualidad, las investigaciones están dirigidas a determinar los compuestos volátiles que dan lugar al característico aroma de cada especia, ya que dependiendo de la región en la que crezcan y del tratamiento al que hayan sido sometidas, la composición de una determinada especia puede variar ampliamente^[5-9].

Los compuestos volátiles de las especias pueden pertenecer a distintos grupos dependiendo de la ruta metabólica de la que deriven. Así los grupos más característicos encontrados en los aceites volátiles son terpenoides (derivan de la vía metabólica del ácido mevalónico), arilpropanoides (derivan de la vía metabólica del ácido shikímico), y en ocasiones podemos encontrarlos compuestos azafrados o glucosinolatos (derivados de la vía metabólica de los aminoácidos) y compuestos alifáticos lineales no ramificados que proceden de la biosíntesis de los ácidos grasos. Dependiendo de la familia botánica a la que pertenezca cada especia, predominará un grupo u otro, así por ejemplo, en familias como Apiaceae (Umbelliferae) y Lauraceae predominan los fenilpropanoides, mientras que en la Lamiaceae (Labiatae) los aceites esenciales están constituidos fundamentalmente por terpenoides.

Los terpenoides, también denominados isoprenoides, son un grupo de sustancias químicas naturales cuya unidad fun-



Mª Consuelo Díaz-Maroto

Mª Soledad Pérez-Coello

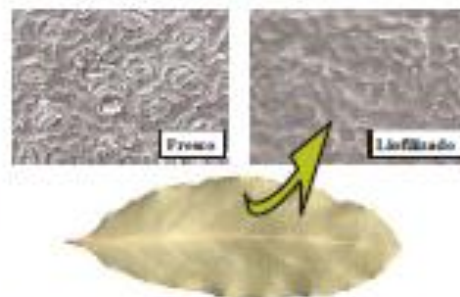


Figura 1. Detalle de la estructura celular del laurel. Imagen obtenida por microscopía electrónica de barrido.

Área de Tecnología de los Alimentos,
Facultad de CC. Químicas (UCLM),
Campus Universitario, 10, 13071 Ciudad Real.
E-mail: maricconsuelo.diaz@uclm.es

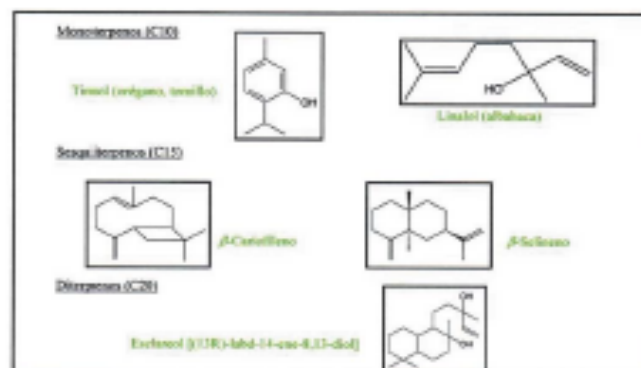


Figura 2. Principales tipos de terpenoides encontrados en las especies o hierbas aromáticas.

Tabla 1. Componentes volátiles mayoritarios de las principales especies o hierbas aromáticas del área Mediterránea.

Nombre común	Nombre científico	Componentes volátiles mayoritarios
Albahaca	<i>Ocimum basilicum</i> L.	Linalol, eugenol, estragol (metilcavicol)[9, 12]
Hierbabuena	<i>Mentha spicata</i> L.	(R)-(-)-Carvona, 1,8-cineol (acalptol), limoneno[9, 12, 13]
Hinojo	<i>Foeniculum vulgare</i> Mill.	trans-Anetol, estragol, fenchona[14, 15]
Luzul	<i>Leucas nobilis</i> L.	1,8-Cineol, terpenil acetato, linalol[6, 16, 17]
Menta	<i>Mentha piperita</i> L.	L-(-)-Mentol, trans-p-mentona, trans-mentil acetato[12]
Orégano	<i>Origanum vulgare</i> L.	Timol, carvacrol, linalol[12, 17-19]
Percejo	<i>Peperomia crispum</i>	p-Menta-1,3,8-trieno, beta-felandreno, apio, miristicina[7]
Poleo	<i>Mentha pulegiata</i> L.	Pulegona, piperitenona, piperitona, isopulegona[20]
Romero	<i>Rosmarinus officinalis</i> L.	Alcanfor, verbenona, linalol, alpha-pineno, 1,8-cineol[21]
Salvia	<i>Salvia lavandulifolia</i> L.	1,8-Cineol, alcanfor, endo-borneol[21]
Tomillo	<i>Thymus vulgaris</i> L.	Timol, p-cineno, carvacrol, linalol[14]

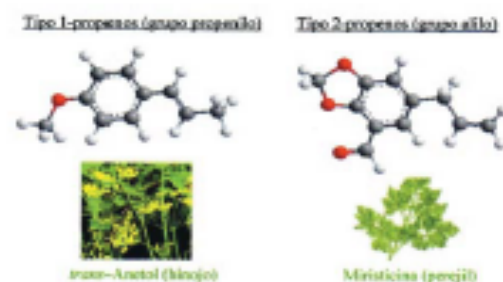


Figura 3. Principales tipos de arilpropanoides encontrados en las especies o hierbas aromáticas.

damental es el isopreno. Dependiendo del número de átomos de carbono o del número de isoprenos que los forman, los terpenoides pueden dividirse en varios grupos, de los cuales los que principalmente encontramos en las especies son monoterpenos, con diez átomos de carbono, como por ejemplo el linalol o el timol, típicos de la albahaca y el tomillo, respectivamente, sesquiterpenos con quince átomos de carbono, como el β -selineno o el β -cariofileno, y diterpenos con 20 átomos de carbono (Figura 2).

El esqueleto base de los arilpropanoides está constituido por un anillo bencénico y un radical de tres átomos de carbono (fenilpropanoide). Dependiendo de la situación del doble enlace en la posición 1 o 2 del radical propano, los arilpropanoides se pueden clasificar en: tipo 1-propenos o grupo propenilo, como por ejemplo el *trans*-anetol que es típico del hinojo, y tipo 2-propenos o grupo alilo, como la miristicina que es característica del perejil (Figura 3).

Para obtener la máxima información sobre los compuestos responsables del aroma de las diferentes especies, se deben aplicar las técnicas de extracción y concentración más adecuadas, así como la mejor técnica analítica que nos permita la separación e identificación del mayor número de compuestos que forman parte de la fracción volátil de las especies. Estamos hablando, por supuesto, de la cromatografía de gases, acoplada a diferentes detectores según el objetivo de nuestra investigación.

La cromatografía de gases acoplada a la espectrometría de masas (GC-MS) es la técnica analítica más utilizada, sin embargo, no permite obtener información sobre los compuestos clave responsables del aroma de las especies, y es bien conocido que dichos compuestos no tienen porque coincidir con aquellos de mayor concentración. La cromatografía de gases acoplada a la olfatometría (GC-O) permite determinar la importancia de cada

uno de los compuestos volátiles de las especies en el aroma global de las mismas, lo que ha hecho que dicha técnica se esté utilizando ampliamente en estudios relacionados con el aroma de los alimentos.

En la Tabla 1 se muestra un resumen de los componentes volátiles mayoritarios de las principales especies o hierbas aromáticas que pueden encontrarse, bien cultivadas o silvestres, en el área Mediterránea. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la composición en volátiles de las especies puede variar considerablemente, tanto cualitativa como cuantitativamente, dependiendo de su origen geográfico, del quimiotipo al que pertenezcan, y del tratamiento al que hayan sido sometidas [5-11].

El estudio de la composición volátil de las especies por GC-MS y GC-O, permite su diferenciación y caracterización, así como detectar cualquier tipo de adulteración o mezcla, principalmente en aquellas especies con mayor valor económico,

Análisis de los compuestos responsables del aroma de las especias

como el azafrán, la vainilla o el cardamomo, o en aquellas fácilmente reemplazables por especias semejantes de menor coste, como es el caso de la menta (*Mentha piperita L.*) y la hierbabuena (*Mentha spicata L.*)

Métodos de extracción previos al análisis cromatográfico

Como se ha dicho anteriormente, la GC-MS y la GC-O son las técnicas instrumentales más utilizadas para la caracterización de la fracción volátil de las especias, sin embargo requieren un paso previo de extracción y concentración. Entre los métodos más comúnmente utilizados para la extracción de los aceites volátiles de las especias podemos destacar la destilación por arrastre de vapor, la hidrodestilación, la extracción-destilación simultánea (SDE), la extracción con fluidos supercríticos (SFE), o la microextracción en fase sólida (SPME).

La destilación por arrastre de vapor y la hidrodestilación son dos de las técnicas más usadas, sin embargo requieren grandes cantidades de muestra y, en general, tiempos de extracción largos. Además, tienen el inconveniente de que la alta temperatura de trabajo puede producir la degradación de algunos compuestos volátiles. A pesar de ello, han sido ampliamente utilizados para aislar los aceites esenciales de diversas especias, como por ejemplo el laurel, la menta, el jengibre, el romero, el tomillo o la canela^[16, 22-24]. La SDE permite la extracción y concentración de la fracción volátil de las especias en un solo paso, obteniéndose además altas recuperaciones de compuestos con un intervalo de volatilidad muy amplio^[5-9, 25].

La SFE permite obtener extractos que representan fielmente el aroma de la especie natural^[12, 14, 26], esto hace que dicha técnica sea muy utilizada a nivel industrial para la obtención de aceites esenciales, en sustitución de técnicas convencionales como son la hidrodestilación y la destilación por arrastre de vapor. En general, los extractos obtenidos por SFE son ricos en terpenos oxigenados y sesquiterpenos, con una pequeña proporción de monoterpenos hidrocarbonados, los cuales se extraen mejor con otras técnicas como la SDE, ya que durante la despresurización del CO₂ pueden producirse pérdidas de los compuestos más volátiles^[12, 14, 27].

Otra técnica de extracción de volátiles muy utilizada actualmente, es la microextracción en fase sólida (SPME). Es un método rápido y sencillo, y que al no utilizar disolventes evita la contaminación de las muestras, sin embargo la recuperación es sólo parcial y depende del compuesto^[17, 28]. Consiste básicamente en una jeringa modificada con un resorte que permite introducir una fibra en un vial en el cual se encuentra la muestra a extraer. Una vez realizada la extracción, la fibra se retrae y se realiza la desorción térmica de los analitos en el inyector del cromatógrafo de gases.

Cromatografía de gases-olfatometría

La GC-O es una herramienta analítica muy importante en el análisis del aroma de los alimentos, ya que nos permite caracterizar el olor de un solo compuesto, o bien el olor de todos los compuestos presentes en una mezcla compleja de volátiles, que sería el caso de los alimentos. Con la cromatografía de gases logramos separar todos los compuestos

volátiles presentes en una mezcla, cada uno de los cuales eluye individualmente por el puerto del sniffing (Figura 4) y es percibido por un catador, el cual tendrá que evaluar la intensidad y cualidad de su olor. La nariz tiene un límite de detección mucho más bajo que cualquiera de los detectores usados en GC, pudiendo detectar sustancias en concentraciones tan bajas, que sería imposible o muy difícil detectarlas con cualquier otro detector. Debido a los bajos umbrales olfativos de detección que presentan algunos compuestos volátiles, esta técnica resulta muy útil para detectar o estudiar el olor de aquellos compuestos que no pueden ser detectados con un detector analítico, o que resulta muy difícil su detección. Además presenta la ventaja de que compuestos volátiles con índices de retención muy próximos, si presentan olores diferentes podrán ser detectados por olfatometría.

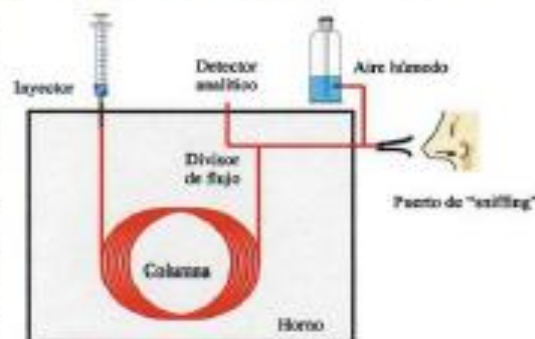


Figura 4. Esquema del acoplamiento entre la cromatografía de gases y la olfatometría.

Generalmente esta técnica se ha utilizado para detectar cantidades traza de compuestos clave responsables del aroma de determinados alimentos, o bien para la determinación de compuestos que no son propios de un alimento pero que aparecen en el mismo debido, entre otras causas, a su procesamiento.

La composición volátil de las especias o de sus aceites esenciales ha sido ampliamente estudiada, sin embargo en la actualidad los estudios se están centrando principalmente en aquellos compuestos que realmente juegan un papel importante en el aroma de las mismas. En la Figura 5 se muestran los compuestos volátiles responsables de las principales notas olfativas de la menta (*Mentha piperita L.*)^[23].



Figura 5. Compuestos volátiles responsables de las principales notas olfativas presentes en la *Mentha piperita L.*

El aroma herbáceo o "verde" puede ser debido a distintos compuestos dependiendo de la especie. Así, en el caso de la menta aparece el hexanal, al igual que en la hierbabuena o en el poleo^[13, 20], mientras que en el laurel el compuesto responsable es el (Z)-3-hexenal^[20]. Las notas florales vienen dadas por terpenos como el α -terpineno y su acetato, y el linalol y sus derivados^[13, 14, 20, 29].

Otra nota olfativa muy típica de las especias es el aroma afrutado. Este puede deberse a ésteres como el 2-metilbutanoato de metilo o el 2-metilbutanoato de etilo, a aldehídos como el (E)-2-hexenal, a sesquiterpenos, como el β -bourboneno y el *epi*-bicyclosesquifelandreno, o a C₁₁-norisoprenoides como la β -damascenona^[13, 20, 25, 29].

Además de las notas herbáceas, florales y afrutadas que aparecen en la mayoría de las especias, cada una presenta un aroma característico, el cual viene dado por diferentes compuestos. Por ejemplo, el *L*-(-)-mentol, el neomentol, la *trans*-p-mentona y el 1,8-cineol representan el típico aroma mentolado y balsámico de la menta^[31]; otros autores han detectado el mentofarano como el compuesto impacto de esta especie^[20]. La carvona existe en la naturaleza en dos formas enantioméricas, la (R)-(-)-carvona responsable del típico aroma mentolado y dulzón de la hierbabuena, y la (S)-(+)-carvona con un característico olor a alcanavea (Figura 6)^[31].

En el caso del perejil, su aroma es debido a una mezcla de siete compuestos, el *p*-menta-1,3,8-trieno, el mircenol, la 2-sec-butil-3-metoxipirazina, la mirisicina, el linalol, el (Z)-6-decenal y el (Z)-3-hexenal^[32], mientras que el *trans*-anetol, el

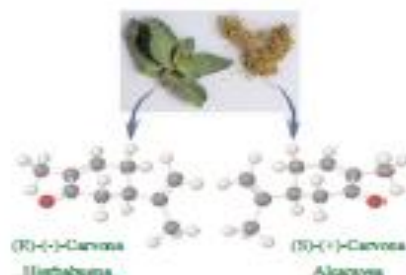


Figura 6. Formas enantioméricas de la carvona presentes en la naturaleza y descripción de su olor.

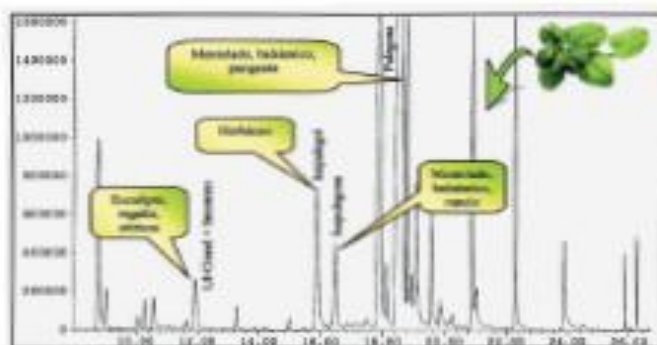


Figura 7. Cromatograma de un extracto de poleo obtenido por SDE. Componentes volátiles más representativos de su aroma.

estragol y el *p*-anisaldehído presentan el aroma anisado típico del hinojo, y las notas especiadas características del tomillo están relacionadas con su contenido en timol y su isómero carvacrol^[34]. En la Figura 7 se muestra un cromatograma típico de un extracto de poleo obtenido por SDE, junto con la descripción del olor de los componentes volátiles más representativos de su aroma.

En general, independientemente de la especie estudiada, los compuestos menos volátiles (terpenos oxigenados y sesquiterpenos) presentan aromas típicos de este tipo de muestras, como afrutado, floral, especiado y notas a madera. Sin embargo, los compuestos más volátiles dan lugar a notas aromáticas que no son representativas del aroma global de las especias, entre ellas olor a patata cocida (metional), a champiñón (1-octen-3-ol) ó a pepino (*trans*-2-nonenal). Esto debería tenerse en cuenta en la obtención de los aceites esenciales, para elegir aquellas técnicas de extracción que nos permitan obtener aceites esenciales ricos en terpenos oxigenados y sesquiterpenos, como por ejemplo la extracción con fluidos supercríticos.

Conclusiones

Debido a su complejidad, el análisis del aroma de las especias requiere técnicas tan potentes como la GC-MS, la cual permite la caracterización química o estructural de sus componentes volátiles. Sin embargo, esta técnica no nos da información sobre los compuestos olfativamente activos. Para establecer una relación estructura-olor de cada compuesto individual es necesario recurrir a la GC-O, que combina la separación cromatográfica con la identificación de los olores mediante un olfatómetro o puerto de "sniffing".

Independientemente de la técnica analítica que elijamos, la elección del método de extracción y concentración previo a cualquier análisis cromatográfico ha de realizarse adecuadamente y, generalmente, en función de los objetivos de nuestra investigación.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Ministerio de Ciencia y Tecnología el apoyo económico a cargo del proyecto AGL 2003-00188, y a la Dra. M^a Dolores Cabezaño Ibáñez por su contribución científica.

Referencias

- [1] H. Lindberg Madsen, G. Bertelsen, L. H. Skibsted en *Spices, flavor chemistry and antioxidant properties*, (Eds.: S. J. Risch, Chi-Tang Ho), American Chemical Society, Washington, **1997**, pp. 176-187.
- [2] M. Rathnavellic, K. A. Buckle, *J. Chromatogr.* **1983**, 264, 316-320.
- [3] D. E. Games, N. J. Alcock, J. Van der Groef, L. M. Nyssen, H. Maarse, M. C. Ten Noever de Brauw, *J. Chromatogr.* **1984**, 294, 269-279.
- [4] J. P. Bartley, *J. Sci. Food Agric.* **1995**, 68, 215-222.
- [5] B. Voirin, N. Beau, C. Bayet, *Phytochemistry* **1990**, 29, 749-755.

- [6] M. C. Díaz-Maroto, M. S. Pérez-Coello, M. D. Cabezas, *J. Agric. Food Chem.* **2002**, *50*, 4520–4524.
- [7] M. C. Díaz-Maroto, M. S. Pérez-Coello, M. D. Cabezas, *Eur. Food Res. Technol.* **2002**, *215*, 227–230.
- [8] M. C. Díaz-Maroto, M. S. Pérez-Coello, M. A. González-Viñas, M. D. Cabezas, *J. Agric. Food Chem.* **2003**, *51*, 1265–1269.
- [9] M. C. Díaz-Maroto, E. Sánchez-Palomo, L. Castro, M. A. González-Viñas, M. S. Pérez-Coello, *J. Sci. Food Agric.* **2004**, *84*, 2070–2076.
- [10] O. Baritoux, H. Richard, J. Touche, M. Derbesy, *Flavour Fragr. J.* **1992**, *7*, 267–271.
- [11] N. A. Shauh, N. R. Azzo en *Spices, herbs and edible fungi*, (Eds.: G. Charalambous), Elsevier, Amsterdam, **1994**, pp. 427–438.
- [12] M. C. Díaz-Maroto, M. S. Pérez-Coello, M. D. Cabezas, *J. Chromatogr. A* **2002**, *947*, 23–29.
- [13] M. C. Díaz-Maroto, N. Castillo, M. A. González-Viñas, M. S. Pérez-Coello, *Eur. Food Res. Technol.* **2006**, enviado para publicación.
- [14] M. C. Díaz-Maroto, I. J. Díaz-Maroto Hidalgo, E. Sánchez-Palomo, M. S. Pérez-Coello, *J. Agric. Food Chem.* **2005**, *53*, 5385–5389.
- [15] M. C. Díaz-Maroto, M. S. Pérez-Coello, J. Esteban, J. Sanz, *J. Agric. Food Chem.* **2006**, *54*, 6814–6818.
- [16] J. Pino, P. Borges, E. Roncal, *Die Nahrung*, **1993**, *37*, 592–595.
- [17] M. C. Díaz-Maroto, M. S. Pérez-Coello, M. D. Cabezas, *Chromatographia* **2002**, *55*, 723–728.
- [18] A. O. Tucker, M. J. Maciarello en *Spices, herbs and edible fungi*, (Eds.: G. Charalambous), Elsevier, Amsterdam, **1994**, pp. 439–456.
- [19] M. Russo, G. C. Gallati, P. Bocchini, A. Carracini, *J. Agric. Food Chem.* **1995**, *43*, 3741–3746.
- [20] M. C. Díaz-Maroto, N. Castillo, M. A. González-Viñas, M. S. Pérez-Coello, *Flavour Fragr. J.* **2006**, aceptado.
- [21] M. D. Guillén, N. Cabo, J. Burillo, *J. Sci. Food Agric.* **1998**, *70*, 359–363.
- [22] J. C. Chalchat, A. Michet, B. Pasquier, *Perf. Flav.* **1997**, *22*, 15–21.
- [23] M. N. Dang, M. Takácsová, D. V. Nguyen, K. Krimánová, *Nahrung / Food* **2001**, *45*, 64–66.
- [24] S. Echeverrigaray, G. Agostini, L. Ani Serfín, N. Paroul, G. F. Pauletti, A. C. Atti dos Santos, *J. Agric. Food Chem.* **2001**, *49*, 4220–4223.
- [25] H. Z. Cheng, H. K. Kyoung, H. K. Tae, J. L. Hyong, *J. Sci. Food Agric.* **2005**, *85*, 161–166.
- [26] D. A. Molyer en *Spices, herbs and edible fungi*, (Eds.: G. Charalambous), Elsevier, Amsterdam, **1994**, pp. 1–70.
- [27] E. E. Stashenko, N. Q. Prada, J. R. Martinez, *J. High Res. Chrom.* **1996**, *19*, 353–358.
- [28] J. Rohloff, *J. Agric. Food Chem.* **1999**, *47*, 3782–3786.
- [29] A. Külcü, H. Hafizoglu, H. Kollmannsberger, S. Nitz, *J. Agric. Food Chem.* **2004**, *52*, 1601–1606.
- [30] S. Benn, *Perf. Flav.* **1998**, *23*, 5–16.
- [31] M. H. Boelens, H. Boelens, L. J. van Gemert, *Perf. Flav.* **1993**, *18*, 1–16.
- [32] C. Masarek, W. Grosch, *Flavour Fragr. J.* **1996**, *13*, 115–124.



Barcelona, SPAIN. 19 – 21 OCTOBER, 2006

A BBVA Foundation and IRB conference that will focus on the rapidly growing field of NMR structure-based drug discovery

The NMR in Drug Discovery conference will address the current status of the rapidly growing field of structure-based drug discovery and development using NMR and its implications in fundamental molecular biology issues. NMR is a multifaceted technique that is sensitive to both structure and dynamics and can monitor the binding of low molecular weight ligands to biological macromolecules in the early stages of drug discovery. The same concepts can be extended to the study of other instances of molecular recognition such as the use of small molecule tools in fundamental molecular biology studies or to the study of weak protein-protein interactions.

The Barcelona BioMed Conferences will bring together leading researchers to present and discuss breakthroughs in several fields of

biomedicine. Each of these meetings will involve around 20 speakers, selected from among leading international researchers, and about 40 additional participants. IRB strives to create a highly focused think-tank atmosphere for a small and select group of attendees. Registration is free and the participants will be selected on the basis of their scientific experience (deadline: Friday, September 15, 2006). Registration is now closed.

Organizer:

IRB with the collaboration of the Banco Bilbao Vizcaya Argentaria Foundation (BBVA Foundation).

ANEXO 3.

Nuevos medicamentos inspirados en la naturaleza

Submitted by p.amponsah on 16 May 2014

Traducido por Jose Luis Cebollada

Por David Sucunza



Sir Howard Walter Florey (24 de septiembre de 1898 – 21 de febrero de 1968) patólogo y farmacéutico australiano que compartió el premio Nobel de Medicina y Fisiología de 1945 con Sir Ernst Boris Chain y Sir Alexander Fleming por su contribución a la producción de la penicilina.

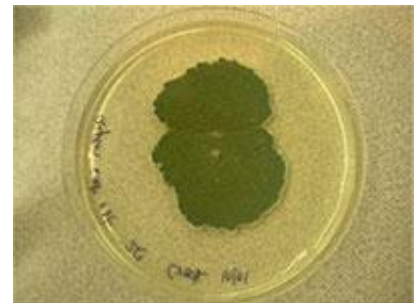
Imagen cortesía de Nobel Foundation / Wikimedia Commons

Muchos productos naturales son útiles en medicina, pero extraer los principios activos a veces resulta muy caro. Para solucionar este problema se están desarrollando nuevos métodos de síntesis y de producción.

El primer paciente tratado con penicilina murió sólo un mes después. Los pocos gramos de antibiótico disponibles en 1941 no fueron suficientes para salvar la vida de Albert Alexander, un oficial de policía inglés que tuvo la mala suerte de que se le infectara una herida de la cara. Aunque se recuperaba parte de la penicilina al procesar su orina, no fue suficiente. Después de unos días prometedores, el doctor Howard Florey y su equipo tuvieron que admitir un hecho irrefutable: los medicamentos no son útiles salvo que haya suficiente suministro.

La gran cantidad de investigación científica que se desarrolló durante la II Guerra Mundial solucionó, afortunadamente, esta situación y antes de 1943 ya había un método eficiente para cultivar el hongo *Penicillium* en grandes cantidades y poder extraer la valiosa penicilina.

Sin embargo, el desarrollo de medicamentos no es siempre así. Hay muchos productos naturales de los que se pueden obtener sustancias de valor terapéutico con una mínima transformación. Las plantas, los hongos y los organismos marinos sésiles son las más fuentes más prometedoras; como no pueden escapar de sus depredadores, muchos se especializan desarrollando defensas químicas que pueden nos pueden ser de utilidad. La briostatina es un ejemplo. La produce la *Bugula neritina*, un briozoo, pequeño invertebrado marino. La briostatina sería un tratamiento efectivo contra el cáncer de esófago si no fuera porque hacen falta varias toneladas del animalito para obtener unos pocos gramos de

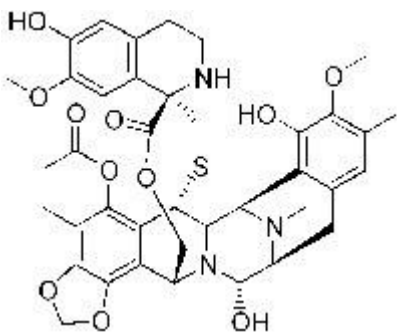


Crecimiento de *Penicillium* en una placa sobre gel de dextrosa de patata.

Imagen cortesía de Ninjatacoshell / Wikimedia Commons

sustancia pura.

Compuestos naturales y medicinas modernas



Clic en la imagen para ampliarla.
Estructura química de la trabectedina.
Imagen cortesía de Edgar181 / Wikimedia Commons

Los productos naturales han tenido usos terapéuticos desde la antigüedad y aún siguen usándolos cuatro de cada cinco habitantes. Estos productos eran usados tradicionalmente en forma de plantas u hongos medicinales, pero ahora se utilizan versiones mejoradas al haber conseguido aislar el principio activo de la planta o del hongo. Desde que en 1804 se aisló el primer producto natural (morfina procedente de la amapola de opio, *Papaver somniferum*) se extendió por todo el mundo occidental el uso de los compuestos puros en lugar de preparaciones a base de plantas o de hongos.

De hecho, al aplicar el conocimiento científico ha hecho aumentar significativamente la cantidad de medicamentos de origen natural que tenemos hoy. Antes de 1990 aproximadamente el 80% de los medicamentos aprobados en los EE.UU. eran o estaban relacionados con productos naturales (ver [Li & Vederas, 2009](#)). Hay cientos de ejemplos: antibióticos como la penicilina o la eritromicina, antitumorales como la trabectedina y la vinblastina, inmunosupresores como la ciclosporina y la rapamicina usados en trasplantes de órganos, analgésicos como la morfina y la codeína y productos contra la malaria como la quinina y la artemisina.



Papaver somniferum
Imagen cortesía de Nuuuuuuuuuuul / Flickr

Los medicamentos los obtenemos principalmente de dos maneras: mediante ensayos clínicos que han demostrado la efectividad de algunos remedios tradicionales (ver, por ejemplo, [Watt & Hayes, 2013](#)); o por el descubrimiento de nuevas sustancias con propiedades terapéuticas. Entre todas han contribuido al éxito de la medicina moderna, aumentando nuestra esperanza de vida desde los 50 años de principios del siglo XX hasta los casi 80 años actuales.



Galanthus caucasicus – La galantamina se obtiene a partir del bulbo y la flor o por síntesis química.
Imagen cortesía de Karduelis / Wikimedia Commons

La química es la ciencia que más ha contribuido a lograrlo. La síntesis química ha puesto a nuestra disposición muchos medicamentos de origen natural en cantidad necesaria para usos terapéuticos, aunque la su presencia sea escasa en la naturaleza. Este es el caso de la galantamina, un compuesto que produce una flor muy rara de las montañas del Cáucaso, que es una de las pocas sustancias que pueden retrasar la aparición de síntomas de Alzheimer. A pesar de tener una estructura química compleja, ahora se obtiene por síntesis a partir de sustancias simples –un método mucho más accesible que la extracción de la flor *Galanthus caucasicus*.

Además, en el desarrollo de nuevos medicamentos los procesos semisintéticos, que combinan extractos de fuentes naturales y síntesis química- son muy frecuentes. Un ejemplo es el Taxol, usado para tratar a pacientes con cáncer de ovarios, pecho o pulmón o estadios avanzados del sarcoma de Kaposi. Se aisló por primera vez de la corteza del tejo del Pacífico, (*Taxus brevifolia*), pero si todo el taxol procediese de esta fuente natural el árbol ya se habría extinguido. En el desarrollo de un medicamento semisintético, los productos naturales se clasifican en familias en función de su estructura química, de manera que los productos de la misma familia suelen tener propiedades parecidas.



Rama del tejo del Pacífico
Imagen cortesía de Walter Siegmund / Wikimedia Commons

En este proceso se halló que el compuesto de la corteza de tejo tenía una estructura similar a la de una sustancia de partida más accesible, la 10-deaacetilbaccatina III presente en las hojas del tejo europeo (*Taxus baccata*). Hay un camino de reacción para convertir la 10-deaacetilbaccatina III en Taxol en sólo tres etapas, que constituye una fuente para este medicamento accesible y sostenible ambientalmente (ver cuadro inferior)^{w1}.



Taxus baccata
Imagen cortesía de Frank Vincentz / Wikimedia Commons

Pero hemos avanzado más y ahora usamos productos naturales no sólo como fuente de materias primas sino como modelos moleculares para desarrollar nuevos medicamentos. De esta manera se producen gran cantidad de productos sintéticos, o análogos, con estructuras químicas similares a la del producto original pero más fáciles de sintetizar. Después se investiga la eficacia de cada uno para identificar qué productos son lo suficientemente sencillos como para fabricarlos a escala industrial y que conserven las propiedades terapéuticas que tenía el producto natural (ver recuadro inferior). Ahora se está investigando la briostanina y es muy probable que en un futuro cercano, uno de sus análogos constituya la parte biológicamente activa de un nuevo medicamento.

El proceso de semisíntesis del Taxol

El Taxol (paclitaxel, figura 1) que se puede obtener de la corteza del tejo del Pacífico es muy escaso, se necesitan talar entre 2000 y 2500 árboles para extraer 1 kg de Taxol. La producción semisintética del Taxol a partir de la 10-deaacetilbaccatina III (figura 2), un compuesto parecido que se encuentra en las hojas del tejo europeo se realiza con tres reacciones químicas sencillas (figura 3). Aunque se necesitan tres toneladas de hojas para obtener un kilo de deaacetilbaccatina III, no hace falta talar los árboles^{w1}.

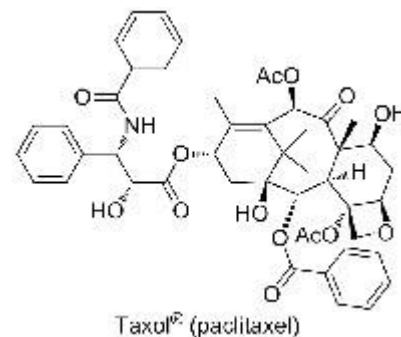
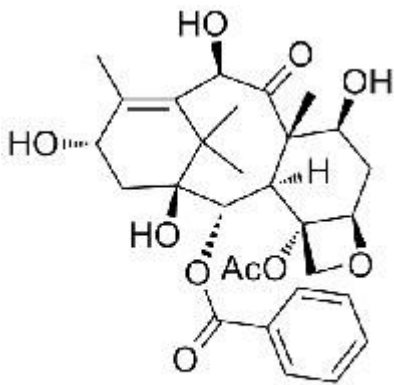


Figura 1: Clic en la imagen para ampliar. La estructura química del Taxol
Imágenes cortesía de David Sucunza



10-deacetylbaocatin III

Figura 2: Clic en la imagen para ampliar. Estructura química de la 10-deacetilbaocatina III. Nótese el parecido con la estructura del Taxol.
Imágenes cortesía de David Sucunza

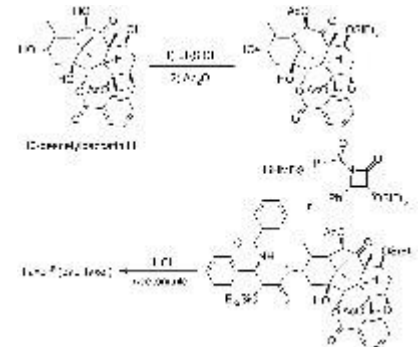
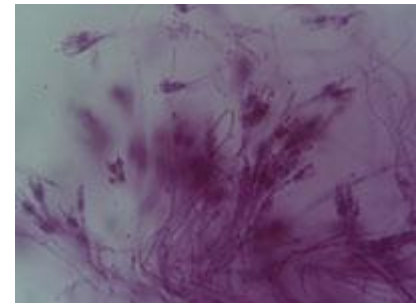


Figura 3: Clic en la imagen para ampliar. La síntesis del Taxol a partir de la 10-deacetilbaocatina III en tres pasos. Imágenes cortesía de David Sucunza

Biorreactores y más

Aunque los métodos de síntesis química son muchas veces competitivos comercialmente, hay otra técnica que está ganando terreno: el cultivo artificial de células para obtener el producto natural que nos interesa. El crecimiento de células en biorreactores para producir sustancias es una práctica muy extendida y recientemente está tomando fuerza el diseño de organismos genéticamente modificados para este fin (ver cuadro).



Penicillium sp. tinto y visto al microscopio
Imagen cortesía de Peter Halasz / Wikimedia Commons

El estudio de las medicinas naturales sigue evolucionado. Queda aún por estudiar miles de plantas, microorganismos y animales marinos para encontrar nuevos medicamentos. Junto con esta búsqueda se estudian nuevos métodos de producción de medicamentos a mayor escala. Después de dos siglos de un desarrollo científico intenso, la naturaleza ya no es el límite sino nuestra principal fuente de inspiración.

Síntesis en biorreactor para combatir la malaria

La malaria sigue siendo un problema grave de salud que mata a más de medio millón de personas cada año. El tratamiento más efectivo es la artemisina, un producto natural que se combina con otro medicamento (tratamientos combinados de artemisia o ACT, por sus siglas en inglés). La artemisina es producida por un el ajeno dulce (*Artemisia annua*) pero la planta contiene cantidades muy pequeñas de artemisina, entre el 0.001% y el 0.8%). El suministro de ajeno dulce de los campos de cultivo es muy limitado y el ACT tiene un coste de 1-2 dólares por tratamiento: demasiado dinero para muchos de los pacientes de países con el problema de la malaria.

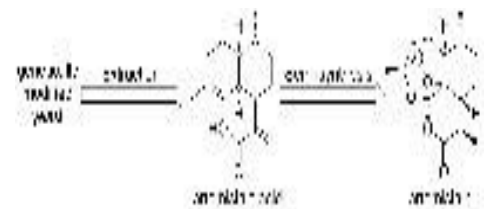


Figura 4: Clic en la imagen para ampliar. La extracción y la producción semisintética de la artemisina a partir de levadura genéticamente modificada.
Imágenes cortesía de David Sucunza

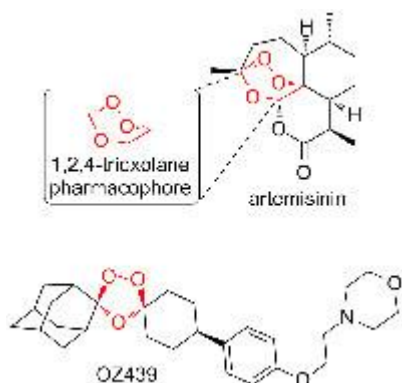


Figura 5: Clic en la imagen para ampliar.
Estructura de la artemisina y su análogo sintético el OZ439
Imágenes cortesía de David Sucunza

La farmacéutica Sanofi patentó en 2008 una levadura modificada genéticamente (*Saccharomyces cerevisiae*) para producir el ácido artelínico un precursor de la artemisina mediante biorreactores^{w3,w4}. Hasta 2012 la compañía había producido ya 39 toneladas de ácido artelínico, lo que constituyó la primera implementación de la síntesis biológica la producción de medicamentos a escala industrial. Con esta cantidad se pueden preparar unos 40 millones de dosis. Aunque estos tratamientos no son más baratos que el ACT, los científicos confían en hacer el proceso de fermentación más eficiente y barato en un futuro próximo.

Sin embargo se ha detectado Resistencia a ACT en el sudeste de Asia^{w5}. Como la actividad contra la malaria procede del puente endoperóxido (figura 5), se están barajando como posibles moléculas con efecto terapéutico otras sustancias parecidas basadas en el farmacóforo 1,2,4-trioxolano, como el OZ439.

David Sucunza es doctor en Química Orgánica por la Universidad de La Rioja, España, desde 2003. Durante sus estancias postdoctorales en las universidades de Colonia (Alemania) y Manchester (Reino Unido) se centró en el estudio de la síntesis de productos naturales. También ha colaborado con varios medios en proyectos de divulgación científica. Desde 2012 trabaja como Profesor Asociado en la Universidad de Alcalá de Henares, Madrid.

Referencias

Li JWH, Vederas JC (2009) [Drug discovery and natural products: end of an era or an endless frontier?](#) *Science* **325**(5937): 161-165. doi: [10.1126/science.1168243](https://doi.org/10.1126/science.1168243)

Watt S, Hayes E (2013) [Monastic medicine: medieval herbalism meets modern science.](#) *Science in School* **27**: 38-44 -www.scienceinschool.org/2013/issue27/monastic

Referencias web

w1 – [Research in Review](#), publicado por la Florida State University, narra la historia del Taxol.

w2 – El [Drug Information Portal](#) de la USA's National Library of Medicine ofrece detalles sobre el Taxol (buscar 'paclitaxel').

w3 – [Science Now](#) describe la síntesis de la artemisina ([Malaria drugmakers see the light](#)).

w4 – La web de [Path](#), una organización internacional sin ánimo de lucro dedicada a temas de salud describe el grado de compromiso de la organización en el desarrollo de artemisina semisintética.

w5 – La web de [Nature Education's Scitable](#) website detalla los problemas de Resistencia al ACT ([Artemisia annua: a vital partner in the global fight against malaria](#)).

Recursos

La web [Plant Cultures](#) ofrece información asequible sobre los papeles de las plantas en la vida de la gente en diferentes partes del mundo.

La web [Xplore Health](#) ofrece recursos educativos sobre el desarrollo de los medicamentos.

Un artículo de Science in School analiza la genética de la obesidad; está basado en una de las actividades de XploreHealth: McLusky S, Malagrida R, Valverde L (2013) [Genética de la obesidad y una práctica de laboratorio](#). Science in School 26: 25-30. www.scienceinschool.org/2013/issue26/obesity/spanish

Nicolaou KC, Montagnon T (2008) Molecules that Changed the World. Wiley-VCH: Weinheim, Germany

Raviña Rubira E (2011) The Evolution of Drug Discovery: From Traditional Medicines to Modern Drugs. Wiley-VCH: Weinheim, Germany

Este libro está accessible vía [Google Books](#).

Le Couteur P, Burreson J (2003) Napoleon's Buttons: How 17 Molecules Changed History. Jeremy P. Tarcher/ Putnam: New York, NY, USA

Puedes descargar gratis el libro en [Scribd](#).

Hay una version reducida en la web de [Napoleon's Buttons](#).

Stuart DC (2004) Dangerous Garden: The Quest for Plants to Change Our Lives. Harvard University Press:Cambridge, MA, USA

Si te interesó este artículo puedes consular otros [temas científicos](#) publicados en *Science in School*.

Revisión

El artículo puede usarse en clase de química o biología, en particular en química orgánica, ecología o conservación del medio ambiente. Puede ser, por ejemplo, la base para una discusión sobre la importancia que los productos naturales han tenido para la salud humana y si los medicamentos de síntesis son mejores que los remedios que tomaron nuestros antepasados. También puede constituir un punto de partida para la discusión sobre la química, que con mucha frecuencia se considera una amenaza para el medio ambiente, puede ayudarnos a protegerlo.

Preguntas para evaluar la comprensión del artículo:

- *¿Cómo han ayudado en el pasado los productos naturales a conservar la salud humana?*
- *¿Y cómo ayudan a conservar la salud humana en la actualidad?*
- *¿Cómo puede ayudar la química a proteger especies amenazadas?*
- *¿Por qué no podemos obtener todos los productos de sus fuentes naturales ?*

Mireia Güell Serra, España

Los estudiantes se pueden ver gratamente sorprendidos al descubrir que los compuestos químicos no solo son responsables de efectos potencialmente peligrosos y/o no deseados sino que también dan lugar a deliciosos olores y sabores. Las actividades que Angelika Börsch-Haubold propone aquí se pueden utilizar para demostrar que la base de los olores está en la química y que nuestra nariz es un sensor químico extremadamente sensible, capaz de detectar sutiles variaciones en las estructuras moleculares.

El artículo es aplicable a la química orgánica en general, con especial relevancia para la tecnología de alimentos. Se podría relacionar con la discusión acerca del uso de aditivos alimentarios (artificiales) o de la modificación genética de cultivos. También podría ser útil como lectura de base para las lecciones sobre los sentidos.

ANEXO 4.

EL AROMA DE LA MANZANA

NORA SALAS SALAZAR
y GUADALUPE OLIVAS OROZCO

RESUMEN

Las manzanas producen compuestos químicos volátiles que son responsables del aroma característico del fruto. Estos compuestos son de interés porque tienen gran influencia en la calidad de la manzana, ya que determinan su aroma. La tecnología actual ha permitido conocer cerca de 400 compuestos volátiles presentes en la manzana. Su biosíntesis involucra enzimas tales como lipoxigenasa (LOX), alcohol deshidrogenasa (ADH), alcohol aciltransferasa (AAT) y sustratos tales como carbohidratos, proteínas y lípidos, siendo estos últimos los prin-

cipales precursores de compuestos volátiles en la manzana. La composición y concentración de los compuestos volátiles en la manzana puede variar dependiendo de la variedad, condiciones de cultivo, de cosecha y de almacenamiento. En esta revisión se recopila información referente a la biosíntesis de compuestos volátiles que definen el aroma de la manzana, así como las rutas metabólicas, enzimas y sustratos involucrados. Además, se detallan los principales factores precosecha, cosecha y poscosecha que afectan la biosíntesis de compuestos volátiles.

La manzana es un fruto consumido por el hombre desde la antigüedad, que gracias a la enorme adaptabilidad de sus variedades a los diversos ecosistemas, se ha dispersado a diversas regiones, de tal forma que está entre los frutos más comercializados (SAGARPA, 2003). Las manzanas probablemente se originaron en Asia Central, desde donde llegaron a España con los ejércitos romanos y con los invasores árabes; posteriormente, a principios del siglo XVII, fueron introducidas a América con la colonización (Faldut, 2003).

La calidad de la manzana involucra atributos visuales tales como apariencia, tamaño, uniformidad y color; y atributos no visuales como el sabor y aroma (ambos atributos incluidos en el gusto, en inglés *flavor*) y la textura (Cunningham *et al.*, 1996). El sabor y el aroma juegan un papel central en la calidad de la manzana, ya que determinan la aceptación del consumidor; cuando las

expectativas son excedidas, la experiencia se comunica y la compra se repite (Wyllie, 2008). Los compuestos volátiles que contiene la manzana son muy importantes ya que definen el aroma característico al fruto y éste, a su vez, tiene un gran peso dentro del atributo denominado sabor, en el sentido de *flavor*.

En la manzana se han identificado alrededor de 400 compuestos volátiles (Forsy *et al.*, 2009), los cuales están presentes en cantidades de partes por millón (Kays y Paul, 2004). La biosíntesis de estos compuestos volátiles involucra vías bioquímicas con diferentes enzimas y sustratos, siendo los ácidos grasos los principales precursores, los cuales son catabolizados a través de dos principales rutas oxidativas: β -oxidación y lipoxigenasa (Pérez y Sanz, 2008). A partir de aminoácidos también se sintetizan importantes compuestos volátiles como ésteres de cadena ramificada (Wyllie y Fellman, 2000). La biosíntesis de los compuestos volátiles puede ser alterada por

diferentes factores en precosecha y poscosecha (Kays y Paul, 2004).

El objetivo de esta revisión es compilar y analizar la información actual referente a la biosíntesis de compuestos volátiles que definen el aroma de la manzana, así como las rutas metabólicas, enzimas y sustratos involucrados. Así mismo se analizan los principales factores precosecha, cosecha y poscosecha que afectan la biosíntesis de compuestos volátiles.

El sabor de la manzana

El sabor, entendido como la suma de gusto y aroma (*o flavor* en inglés) de la manzana está definido por una mezcla de numerosas sensaciones actuando simultáneamente; el cerebro procesa toda la información y da lugar a una experiencia integrada. Los componentes del sabor se dividen en dos principales: el gusto y el aroma. La percepción del sabor por medio del gusto es a través de los receptores gustati-

PALABRAS CLAVE / Aroma / Compuestos Volátiles / Enzimas / Flavor / Manzana / Sabor /

Recibido: 19/08/2010. Modificado: 04/03/2011. Aceptado: 10/03/2011.

Nora Aidee Salas Salazar. Candidata a Doctora en Ciencias, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), México.

Guadalupe Irela Olivas Orozco. Doctora en Ciencias, Washington State University, EEUU. Investigadora, CIAD, México. Dirección: CIAD, Apartado Postal 781, C.P. 31570. Ciudad Cuernavaca, Chihuahua, México. e-mail: golivas@ciad.mx

vos presentes en la lengua; las cinco percepciones básicas del gusto son dulce, ácido, salado, amargo, y umami (Bemilieu y Baldwin, 2002). El segundo componente es el aroma, el cual tiene una primordial contribución en el sabor característico del fruto (Pérez y Sana, 2008). El aroma de la manzana está definido por compuestos químicos volátiles (Baldwin, 2002). Estos están presentes en fase gaseosa (Kays y Paul, 2004), de manera que las moléculas son capaces de alcanzar el epitelio olfatorio nasal a través de dos diferentes caminos. El primero, en el cual las moléculas volátiles son directamente aspiradas por la nariz, interactuando con los receptores produciendo la sensación conocida como olor. El segundo, en el que las sustancias volátiles que son liberadas por los alimentos en la boca y alcanzan el epitelio olfatorio por la ruta retro nasal, produciendo la sensación conocida como aroma (Crouzet et al., 1984).

Compuestos Volátiles que Definen el Aroma de la Manzana

Las propiedades del aroma de la manzana dependen de la combinación de los compuestos volátiles, así como de la concentración y umbrales de olor de cada compuesto (Sana et al., 1997). A la fecha han sido identificados en la manzana más de 400 compuestos volátiles (Forsy et al., 2009), entre los cuales se encuentran éteres, alcoholes, aldehídos, ácidos, acetales, ésteres, hidrocarburos y cetonas (Rowan et al., 1999; Tabla I). Los aldehídos son los compuestos volátiles predominantes en manzanas inmaduras (De Pooter et al., 1987), mientras que en frutas maduras se encuentran en mayor con-

centración alcoholes y éteres (Dixon y Hewitt, 2000). Estos últimos son los compuestos cualitativamente y cuantitativamente predominantes en la mayoría de los cultivos de manzana. Los ésteres llegan a ocupar grandes porcentajes del total de los compuestos volátiles presentes en las manzanas. Por ejemplo, en manzanas *Golden Delicious* ocupan un 80% (López et al.,

1998a), en las *Granny Smith* un 88% (Laviola et al., 1999), en las *Fuji* un 90% (Echeverría et al., 2004) y en manzanas *Starking Delicious* llegan hasta un 98% (López et al., 1998b).

De todos estos compuestos volátiles, solo unos cuantos (entre 20 y 40) tienen un impacto decisivo en la calidad sensorial de las manzanas. A estos

TABLA I
COMPUESTOS VOLÁTILES PRESENTES EN LA MANZANA*

Alcoholes:	Éter metil propílico	Acetato de 1-butilo	Heptanoato de butilo
Metanol	Éter dibutílico	Acetato de pentilo	Octanoato de etilo
Etanol	Éter 2,3 metil butílico	Acetato de 2-metil-butilo	Octanoato de propilo
Isopropanol	Éter dibencilico	Acetato de 3-metil-butilo	Octanoato de butilo
Butanol	Éter Metilfenilo	Acetato de hexilo	Octanoato de isobutilo
2-Butanol	4 Metoxibenceno	Acetato de heptilo	Octanoato de pentilo
Isobutanol	Oxido de <i>cis</i> -limonol	Acetato de octilo	Octanoato de isopentilo
Pentanol	Oxido de <i>trans</i> -limonol	Acetato de nencilo	Octanoato de hexilo
2-Metil butanol	Ácidos:	Acetato de <i>cis</i> -3-hexenilo	Nonanoato de etilo
2-Metil-2-butanol	Formico	Acetato de <i>trans</i> -2-hexenilo	Decanoato de etilo
3-Metil butanol	Acético	Acetato de 2-feniletilo	Decanoato de butilo
2 Pentanol	Propánico	Nonil acetato	Decanoato de isobutilo
3 Pentanol	Butanico	Decil acetato	Decanoato de pentilo
4 Pentanol	Isobutanico	Propionato de <i>n</i> -metilo	Decanoato de isopentilo
2-Metil-2-pentanol	2-Metilbutanico	Propionato de etilo	Decanoato de hexilo
3-Metil pentanol	3-Metilbutanico	Propionato de etil 2-metilo	Dodecanoato de etilo
Hexanol	Pentanico	Propionato de hidroxietilo	Dodecanoato de hexilo
<i>cis</i> -2-Hexanol	4-Metilpentanico	Propionato de propilo	Dodecanoato de butilo
<i>cis</i> -3-Hexanol	Hexanico	Propionato de butilo	Cetonas:
<i>trans</i> -2-Hexanol	Hexanico	Propionato de isobutilo	Propanona
<i>trans</i> -3-Hexanol	<i>trans</i> -2-Hexenico	Propionato de 2,3-metil butilo	2-Butanona
1-Hexen 3-ol	<i>cis</i> -3-Heptenico	Propionato de hexilo	3-Hidrobutan-2-ona
5-Hexanol	Octanico	Butanoato de metilo	2,3-Butanediona
Heptanol	<i>cis</i> -3-Octenico	Butanoato de etilo	2-Pentanona
2-Heptanol	Nonanico	Butanoato de propilo	3-Pentanona
2-Octanol	<i>cis</i> -3-Nonenico	Butanoato de isopropilo	4-Metilpentan-2-ona
3-Octanol	Decanico	Butanoato de butilo	2-Hexanona
An etil hexanol	Decenico	Butanoato de isobutilo	2-Heptanona
Nonanol	Undecanico	Butanoato de pentilo	3-Heptanona
2 Nonanol	Undecanico	Butanoato de isopentilo	4-Heptanona
6-Metil-5-heptanol	Undecanico	Butanoato de hexilo	2-Octanona
Decanol	Dodecanico	Butanoato de cinamilo	7-Metiloctan-4-ona
3-Octenol	Dodecenico	Crotonato de etilo	Acetofenona
Bencil alcohol	Tridecanico	Isobutanato de metilo	Bases:
2-fenil etanol	Tridecenico	Isobutanato de etilo	Etilamina
4-Terpinenol	Tetradecanico	Isobutanato de butilo	Butilamina
<i>n</i> -terpinol	Tetradecanico	Isobutanato de isobutilo	Isoamilamina
Isobutanol	Pentadecanico	Isobutanato de pentilo	Hexilamina
Citronelol	Pentadecanico	Isobutanato de hexilo	Acetales:
Geraniol	Hexadecanico	Metil-2-metil butanoato	Dietoximetano
Aldehídos:	Hexadecanico	Etil-2-metil butanoato	Dibutoximetano
Formaldehído	Heptadecanico	Propil-2-metil butanoato	Dihexoximetano
Acetaldehído	Heptadecanico	Butil-2-metil butanoato	1-Etovi-1-propoxietano
Propanal	Octadecanico	Isobutil 2-metil butanoato	1-Butovi-1-etoxietano
2 Propenal	9-Octadecanico	Pentil-2-metil butanoato	1-Etovi-1-hexoxietano
2-Oxopropional butanal	9, 12-Octadecadienico	Hexil-2-metil butanoato	Hidrocarburos:
Isobutanol	9,12-15-Octadecatrienico	Pentanoato de metilo	Etano
2-Metil butanal	Nonadecanico	Pentanoato de etilo	Etileno
<i>trans</i> -2-Butenal	Nonadecanico	Pentanoato de propilo	α -Farneseno
Pentanal	Eicosanico	Pentanoato de butilo	β -Farneseno
Isopentanal	Benoico	Pentanoato de amilo	Benceno
Hexanal	Ésteres:	Pentanoato de isoamilo	Etil benceno
<i>trans</i> -2-Hexenal	Formato de metilo	Isopentanoato de metilo	1-Metilnftaleno
<i>trans</i> -3-Hexenal	Formato de etilo	Isopentanoato de etilo	2-Metilnftaleno
<i>cis</i> -3-Hexenal	Formato de propilo	Isopentanoato de isopentilo	Damascenona
Heptanal	Formato de butilo	Hexanoato de metilo	α -Pinen
<i>trans</i> -2-Heptenal	Formato de 2,3 metil butilo	Hexanoato de etilo	Otros:
Octanal	Formato de pentilo	Hexanoato de propilo	Dietil succinato
Nonanal	Formato de <i>i</i> -pentilo	Hexanoato de butilo	2-Fenilacetato de dietilo
Decanal	Formato de hexilo	Hexanoato de isobutilo	Dimetilftalato
Undecanal	Acetato de metilo	Hexanoato de pentilo	Dietilftalato
Dodecanal benzaldehído	Acetato de etilo	Hexanoato de 2,3 metil-butilo	Dipropilftalato
Fenilacetaldehído	Acetato de propilo	Butil <i>trans</i> -2-hexenoato	
Éteres:	Acetato de butilo	Heptanoato de etilo	
Dietiléter	Acetato de isobutilo	Heptanoato de propilo	

* Adaptado de Dimick y Hoskin (1983).

compuestos se les conoce como 'compuestos de impacto' (Cunningham *et al.*, 1986). Ejemplo de ellos son: acetato de butilo, acetato de 2-metil-butilo y acetato de hexilo. Estos compuestos contribuyen en mayor proporción al aroma característico de la mayoría de las variedades de manzana (Fellman *et al.*, 2000). Sin embargo, todos los compuestos volátiles son importantes para producir el perfil completo característico de la manzana (Paillard, 1990).

La contribución relativa de cada uno de estos compuestos volátiles es conocida como unidad de olor, y se determina mediante el cociente de la concentración de un compuesto y su umbral de percepción olfativa (Takeata *et al.*, 1992). En la Tabla II se muestran los compuestos volátiles de más impacto en el aroma a manzana, sus umbrales de percepción olfativa y su descripción olfativa.

Síntesis de Compuestos Volátiles del Aroma de la Manzana

La producción de compuestos volátiles involucra la participación de enzimas, sustratos y diversas rutas metabólicas (Sanz *et al.*, 1997). En la manzana, los compuestos volátiles son sintetizados principalmente a partir de lípidos, de los cuales se obtienen ésteres de cadena lineal. Por su parte, los aminoácidos son precursores de importantes ésteres de cadena ramificada, que también contribuyen al aroma de la manzana (Pérez y Sanz, 2006).

Los ácidos grasos como principales precursores de compuestos volátiles en la mayoría de los frutos, y también en manzana, son liberados a partir de los lípidos de la membrana celular por las lipasas (Fellman *et al.*, 2000). Después hay dos posibles rutas involucradas en la síntesis de compuestos volátiles:

Ruta de la β -oxidación. Los ácidos grasos experimentan una activación, mediante la cual, pueden atravesar la membrana mitocondrial interna y llegar a la matriz mitocondrial, donde se realiza el β -oxidación que consta de cuatro pasos: oxidación por el flavín adénin dimucleótido (FAD), hidratación, deshidrogenación por nicotinamida adenina dimucleótido (NAD) y tólisis (Mathews *et al.*, 2002). En la Figura 1 se presenta un esque-

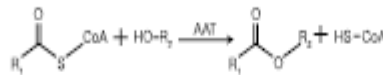
TABLA II
COMPUESTOS VOLÁTILES MÁS IMPORTANTES EN LA MANZANA, SUS UMBRALES DE PERCEPCIÓN OLFATIVA EN PPB (EN SOLUCIÓN ACUOSA) Y SU DESCRIPCIÓN OLFATIVA

Compuesto	UPO	Olor descriptivo	Referencia
Etil 2-metil butanoato	0.1	Afrutado	Mehinagic <i>et al.</i> (2006)
Butanoato de etilo	1	Manzana	Wang <i>et al.</i> (2005)
Hexanoato de etilo	1	Afrutado	Buermar y Szieberle (2001)
Acetato de Hexilo	2	Afrutado	Dimick y Hoskin (1983)
Acetato de 2-metil butilo	5	Banana	Dimick y Hoskin (1983)
Hexil 2 metil butanoato	22	Fruta fresca verde	Dimick y Hoskin (1983)
Propanoato de butilo	25	Debil olor dulce	Burdock (2002)
Acetato de butilo	66	Manzana roja	Young <i>et al.</i> (1996)
Butanoato de butilo	100	Manzana podrida	Piomo (1995)

UPO: Umbrales de percepción olfativa según Leffingwell y Leffingwell (1991).

ma de la β -oxidación del ácido linoleico (Conn y Stumpf, 1963), el cual es el ácido graso más abundante en la manzana (Galliard, 1968).

Los acil CoA formados a partir de la β -oxidación se usan posteriormente a un alcohol para formar los ésteres. Esta reacción es catalizada por la enzima alcohol acil transferasa (AAT), como se muestra a continuación (Sanz *et al.*, 1997):



Ruta de la lipoxigenasa (LOX). De manera general se acepta que la ruta de la LOX para la producción de compuestos volátiles de 6 y 9 carbonos se activa con la ruptura de las células vegetales. Pero no está abso-

lutamente restringida a esto. Durante la maduración, las enzimas de la ruta de la LOX y sus sustratos tienen diferentes localizaciones subcelulares, por lo que la emisión de compuestos volátiles a través de esta ruta no es posible; sin embargo, conforme avanza la maduración las paredes celulares y las membranas co-

mienzan a ser más permeables a los diferentes sustratos y entonces puede activarse esta ruta (Sanz *et al.*, 1997).

La mayoría de los alcoholes, aldehídos, ácidos y ésteres que contribuyen al aroma de las frutas y vegetales son generados por la degradación oxidativa del ácido linoleico y linolénico, los cuales son los principales sustratos de la LOX en el reino vegetal (Pérez y Sanz, 2006). Una vista general de la formación de aromas a través de la ruta LOX se muestra en la Figura 2; esta degradación enzimática oxidativa es precedida por la acción de acil hidrolasas que liberan, entre otras cosas, ácidos grasos poliinsaturados de los triacilglicérols, fosfolípidos o glicolípidos. La acción de la LOX es clave en esta ruta (Sanz *et al.*, 1997).

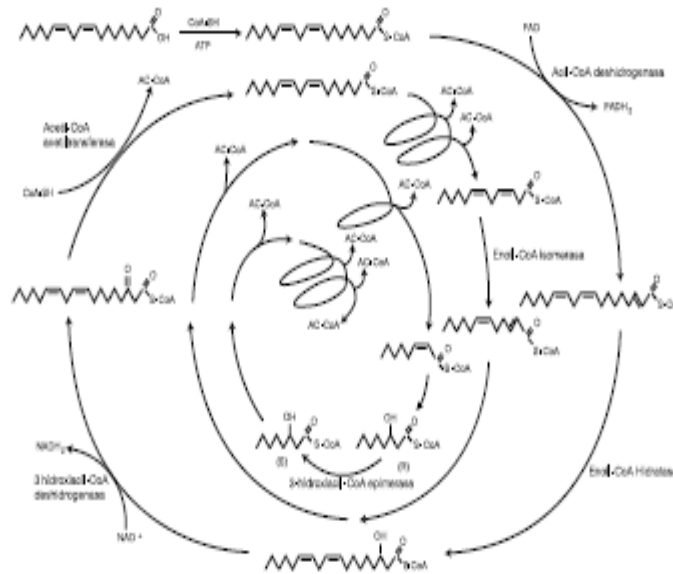


Figura 1. Esquema de β -oxidación del ácido linoleico. Tomado de Conn y Stumpf (1963).

bargo, tiene un efecto negativo sobre la biosíntesis de compuestos volátiles (Halder-Doll y Bangerth, 1987). Estudios realizados por Fan *et al.* (1998) mostraron que el uso de AVG disminuye la producción de ésteres en las etapas pre y pos climatérica en manzanas *Red Delicious*, lo cual es debido a que se requiere una continua producción de etileno para la adecuada síntesis de ésteres (Defilippi *et al.*, 2005), por lo que el uso de compuestos que inhiben la síntesis de etileno tiene un efecto negativo en la producción de ésteres.

Por otro lado, 1-metilciclopropano (1-MCP) es un inhibidor de la acción del etileno, que se une de manera irreversible a los receptores del etileno en la célula (Sisler *et al.*, 1996; Sisler y Serak, 1997). El 1-MCP reduce efectivamente la maduración de la manzana, mediante la reducción de la síntesis de etileno y de la tasa respiratoria, de la pérdida de la firmeza y de la acidez titulable (Fan *et al.*, 1999), pero también afecta la producción de volátiles (Rupasingha *et al.*, 2000) y la aceptación sensorial de la manzana (Lurie *et al.*, 2002). Fan-Martheis (1999) y Defilippi *et al.* (2004) encontraron que la concentración de alcoholes y ésteres se reduce al aplicar 1-MCP. El efecto del 1-MCP sobre los aldehídos varía dependiendo de la variedad de manzana. En manzana *Gala* la concentración de aldehídos fue reducida (Martheis *et al.*, 2005) mientras que en manzana *Greensleeves* no se observó ningún efecto (Defilippi *et al.*, 2004).

Condiciones de almacenamiento

Hoy en día, la mayor parte de la manzana producida es almacenada para su posterior comercialización. Una parte se almacena en refrigeración convencional para mantener la fruta disponible en el mercado durante un periodo prolongado (Knee, 1993). Otra parte es almacenada en frío bajo atmósfera controlada, la cual mantiene en mejores condiciones los atributos de calidad como firmeza, color, acidez y

TABLA III
PRINCIPALES COMPUESTOS VOLÁTILES IDENTIFICADOS EN DIFERENTES VARIEDADES DE MANZANA

Variedad de manzana	Principales compuestos volátiles	Referencia
Esencia de <i>Delicious</i>	Etil 2-metil butanoato Hexanal 2-Hexenal	Flith <i>et al.</i> (1967)
<i>Fuji</i>	Etil 2-metil butanoato Acetato de 2-metil butilo Acetato de hexilo	Echeverría <i>et al.</i> (2003)
<i>Golden Delicious</i>	Acetato de butilo Acetato de hexilo Acetato de 2-metil butilo Etil 2-metil butanoato	Drauwert <i>et al.</i> (1973)
<i>Pink Lady</i>	Butanoato de etilo Etil 2-metil butanoato Acetato de 2-metil butilo Acetato de hexilo Propanoato de hexilo	López <i>et al.</i> (2007)
<i>Rome</i>	Acetato de etilo Acetato de butilo Acetato de 2-metil butilo Acetato de hexilo Butanoato de hexilo Butil 2-metil butanoato	Fellman <i>et al.</i> (1993)
<i>Bisbee Delicious</i>	Acetato de hexilo Acetato de butilo Acetato de 2-metil butilo Acetato de etilo Etil 2-metil butanoato Acetato de pentilo	Martheis <i>et al.</i> (1991)
<i>Royal Gala</i>	Acetato de 2-metil butilo Butanol	Young <i>et al.</i> (1996)
<i>Starking Delicious</i>	Acetato de hexilo Etil 2-metil butanoato Butanoato de etilo Hexanoato de etilo	López <i>et al.</i> (1998b)
<i>Mondial Gala</i>	Acetato de butilo Acetato de hexilo Acetato de 2-metil butilo Propanoato de hexilo Butanoato de etilo Hexanoato de etilo	Echeverría <i>et al.</i> (2006)
<i>Granny Smith</i>	Etil 2-metil butanoato Butanol Acetato de pentilo propanoato de <i>tert</i> -butilo	Lavilla <i>et al.</i> (1999)
<i>Red Delicious</i>	Acetato de hexilo Hexanoato de butilo Octanoato de Propilo Octanoato de hexilo α -furfural	Paliyath <i>et al.</i> (1997)

otros, en comparación con la refrigeración convencional (Kader, 1986; Dixon y Hewett, 2000).

En los últimos años se ha observado que las atmósferas controladas pueden afectar negativamente la producción de compuestos volátiles característicos del aroma en la manzana (Fellman *et al.*, 2003; Yahia, 1994). Bajas concentraciones de O₂ y altas concentraciones de CO₂ por largos periodos en almacenamiento dan como resultado la supresión del sabor en las manzanas (Fellman *et al.*, 2000).

Por su parte, López *et al.* (2000) mencionan que la manzana *Golden Delicious* almacenada en atmósferas con bajo nivel de oxígeno, tiene la mayor emisión de compuestos volátiles después de cinco meses de almacenamiento y además mantiene adecuados niveles de firmeza, acidez, sólidos solubles y color. A pesar de una disminución en el total de la producción de aroma, este tipo de almacenamiento da a la fruta con los niveles más altos de ésteres de cadenas ramificadas, lo cual contribuye a intensificar el sabor de la manzana, lo que ha sido confirmado por análisis sensorial. En 2007, López *et al.* confirmaron que la manzana almacenada en atmósfera controlada muestra concentraciones de la mayoría de los compuestos volátiles considerablemente bajas, pero que a pesar de estas pérdidas, y según los resultados, este tipo de almacenamiento parece ser sumamente aconsejable para conseguir aceptación del consumidor de manzanas *Pink Lady* después de largos periodos de almacenamiento. Por su parte Echeverría *et al.* (2003) encontraron la mayor concentración de compuestos volátiles en manzanas *Fuji*, después de cinco meses en almacenamiento en tres diferentes condiciones: en refrigeración (21kPa O₂+0,03kPa CO₂), atmósfera controlada estándar (3kPa O₂ + 2kPa CO₂), y oxígeno ultra bajo (UBO; 1kPaO₂ + 2kPa CO₂). En ese estudio se mencionan además que los efectos de supresión de compuestos volátiles en atmósfera controlada, comparada con almacenamiento en refrigeración, solo fueron significativos después de cinco meses, y que el UBO

tiene un efecto depresivo sobre el contenido total de compuestos volátiles. Resultados similares se observan con la manzana *Granny Smith*, en la cual el almacenamiento en BO (2,8-3kPa O₂ y 2,8-3kPa CO₂) y UBO (0,8-1kPa O₂ y 0,8-1kPa CO₂) no tuvo un efecto depresivo significativo en la producción de esos compuestos. Los parámetros de calidad se mantuvieron en niveles aceptables y la manzana maduró apropiadamente en almacenamiento posterior en atmósfera controlada a 20°C (Lavilla *et al.*, 1999).

Conclusiones

El sabor (gusto + aroma) a manzana es dependiente de la percepción y de una compleja combinación de compuestos volátiles y no volátiles. De estos componentes, los compuestos volátiles son los responsables de las características típicas del aroma que distinguen a la manzana y ejercen una gran influencia en la aceptación del consumidor. Por ello es relevante el conocimiento de los aspectos relacionados con los compuestos volátiles presentes en la manzana, así como de los factores que pueden afectar la síntesis y concentración de éstos.

AGRADECIMIENTOS

Las autoras agradecen el financiamiento por parte del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), México y Gobierno del Estado de Chihuahua, a través del proyecto FOMIX CHIH-2008-C01-92083.

REFERENCIAS

- Abeles FB, Morgan PW, Salveit ME (1991) Ethylene. In *Plant Biology*. Academic Press, London, RI, 414 pp.
- Baldwin E (2002) Fruit flavour, volatile metabolism and consumer perceptions. En Klee M (Ed) *Fruit Quality and its Biological Basis*. CRC, Boca Raton, FL, EEUU. pp. 89-106.
- Beaulieu JC, Baldwin EA (2002) Flavor and aroma of fresh-cut fruits and vegetables. En Lamikara O (Ed) *Fresh-cut Fruits and Vegetables Science, Technology, and Market*. CRC, Boca Raton, FL, EEUU. pp. 391-438.
- Brown DS, Buchanan JR, Hicks JR (1966) Volatiles from apple fruits as related to variety, maturity, and ripeness. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.* 88: 98-104.
- Brown DS, Buchanan JR, Hicks JR, Uris K, Murika T (1968) Volatiles from apple fruits as affected by phosphorus fertilization. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.* 93: 705-715.
- Buettner A, Schieberle P (2001) Evaluation of aroma differences between hand-squeezed juices from Valencia Late and Navel oranges by quantification of key odorants and flavor reconstitution experiments. *J. Agric. Food Chem.* 49: 2387-2394.
- Burlock GA (2002) *Handbook of Flavor Ingredients*. 4th ed. CRC, Boca Raton, FL, EEUU. 1834 pp.
- Corn EE, Stumpf FK (1963) *Outlines of Biochemistry*. Wiley, Nueva York, EEUU. 336 pp.
- Crouzet J, Nicolas M, Molina I, Valentin G (1984) Enzymes occurring in the formation of six-carbon aldehydes and alcohols in grapes. En Adda J (ed) *Progress in Flavour Research*. Elsevier, Amsterdam, Holanda. pp. 401-408.
- Cunningham DG, Acree TE, Bernard J, Butts R, Braell P (1986) Chem analysis of apple volatiles. *Food Chem.* 19: 137-147.
- Defilippi BG, Dandekar AM, Kader AA (2004) Impact of suppression of ethylene action or biosynthesis on flavor metabolites in apple (*Malus domestica* Borkh) fruits. *J. Agric. Food Chem.* 52: 5694-5701.
- Defilippi BG, Dandekar AM, Kader AA (2005) Relationship of ethylene biosynthesis to volatile production, related enzymes, and precursor availability in apple peel and cortex tissues. *J. Agric. Food Chem.* 53: 3133-3141.
- De Pooter HL, Van Acker M, Schamp NM (1987) Aldehyde metabolism and the aroma quality of stored Golden Delicious apples. *Phytochemistry* 26: 89-92.
- Dimitik PS, Hoskin JC (1983) Review of apple flavor state of the art. *CRC Crit. Rev. Food Sci.* 18: 387-409.
- Dixon J, Hewett E (2000) Factors affecting apple aroma/flavour volatile concentration: a review. *J. Crop Hortic. Sci.* 28: 155-173.
- Drauwert F, Tressl R, Heilmann W, Emberger R, Speck M (1973) Über die Biosynthese von Aromastoffen bei Pflanzen und Früchten. XV. Enzymatisch-oxidative Bildung von C₆-Aldehyden und Alkoholen und deren Vorstufen bei Äpfeln und Trauben. *Chem. Mikrobiol. Technol. Lebensmittel.* 2: 10-22.
- Echeverría G, Fuentes MT, Graell J, López ML (2003) Relationships between volatile production, fruit quality and sensory evaluation of Fuji apples stored in different atmospheres by means of multivariate analysis. *J. Sci. Food Agric.* 84: 5-20.
- Echeverría G, Fuentes T, Graell J, Lara I, López ML (2004) Aroma volatile compounds of 'Fuji' apples in relation to harvest date and cold storage technology: A comparison of two seasons. *Postharv. Biol. Technol.* 32: 29-44.
- Echeverría G, Graell J, Lara I, López ML (2008) Physicochemical measurements in 'Mondial Gala®' apples stored at different atmospheres: Influence on consumer acceptability. *Postharv. Biol. Technol.* 50: 135-144.
- Fälder RA (2003) *Enciclopedia de los Alimentos*. Frutas "Distribución y consumo". 69: 75-111.
- Fan X, Mattheis JP (1999) Impact of 1-Methylcyclopropane and methyl jasmonate on apple volatile production. *J. Agric. Food Chem.* 47: 2847-2853.
- Fan X, Mattheis JP, Buchanan D (1998) Continuous requirement of ethylene for apple fruit volatile synthesis. *J. Agric. Food Chem.* 46: 1959-1963.
- Fellman JK, Mattison DS, Fan X, Mattheis JP (1997) 'Fuji' apple storage characteristics in relation to growing conditions and harvest maturity in Washington State. En Mitchem EJ (Ed) *Apples and Pears. Proceedings of 7th International CA Conference*. Vol. 2. p. 234.
- Fellman JK, Miller TW, Mattison DS, Mattheis JP (2000) Factors that influence biosynthesis of volatile flavor compounds in apple fruits. *HortScience* 35: 1026-1033.
- Fellman JK, Radell DR, Mattison DS, Mattheis JP (2003) Relationship of harvest maturity to flavor regeneration after CA storage of "Delicious" apples. *Postharv. Biol. Technol.* 27: 39-51.
- Fellman JK, Mattison DS, Bostick BC, Mattheis JP, Patterson ME (1993) Ester biosynthesis in "Rome" apples subjected to low-oxygen atmospheres. *Postharv. Biol. Technol.* 3: 201-214.
- Flath RA, Black DR, Guadagni DG, McFadden WH, Schultz TH (1967) Identification and organoleptic evaluation of compounds in Delicious apple essence. *J. Agric. Food Chem.* 15: 29-35.
- Forsyth CF, Mattheis JP, Baldwin AE (2009) Effects on flavor. En Yahia EM (Ed) *Modified and Controlled Atmospheres for the Storage, Transportation, and Packaging of Horticultural Commodities*. CRC, Boca Raton, FL, EEUU. pp.119-159.
- Forsyth FR, Webster DH (1971) Volatiles from McIntosh apple fruits as affected by phosphorus and potassium nutrition. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 96: 259-263.
- Galliard T (1968) Aspects of lipid metabolism in higher plants-II. The identification and quantitative analysis of lipids from the pulp of pre- and post-dimastic apples. *Phytochemistry* 7: 1915-1922.
- Halden-Doll H, Bangerth F (1987) Inhibition of autocatalytic C₂H₄-biosynthesis by AVG applications and consequences on the physiological behavior and quality of apple fruits in cool storage. *Sci. Hort.* 33: 87-96.
- Hansen K, Poll L (1993) Conversion of L-isoleucine into 2-methylbut-2-enyl esters in apples. *Lebensw. Wissen. Technol.* 26: 178-180.
- Hansen K, Poll L, Olsen CE, Lewis MJ (1992) The influence of oxygen concentration in storage atmospheres on the post-storage volatile ester production of 'Jonagold' apples. *Lebensw. Wissen. Technol.* 25: 457-461.
- Kader AA (1986) Biochemical and physiological basis for effects of controlled and modified atmospheres on fruits and vegetables. *Food Technol.* 40: 99.
- Kays SJ, Paul RE (2004) *Postharvest Biology*. Eson Athens, GA, EEUU. pp. 188-195.
- Klee M (1993) Pome fruit: Biochemistry. En Seymour GB, Taylor JE, Tucker GA, (Eds) *Biochemistry of Fruit Ripening*. Chapman and Hall, London, RI, pp. 329-336.
- Lavilla T, Pay J, López ML, Recasens I, Vendrell M (1999) Relationships between volatile production, fruit quality, and sensory evaluation in Granny Smith apples stored in different controlled-atmosphere treatments by means of multivariate analysis. *J. Agric. Food Chem.* 47: 3791-3803.
- Leffingwell JC, Leffingwell D (1991) GRAS flavor chemicals-Detection Thresholds. *Perfumer & Flavorist.* 16: 1-19.
- López ML, Lavilla MT, Ribá M, Vendrell M (1998a) Comparison of volatile compounds in two seasons in apples: 'Golden Delicious' and 'Granny Smith'. *J. Food Qual.* 21: 155-166.
- López ML, Lavilla MT, Recasens I, Ribá M, Vendrell M (1998b) Influence of different oxygen and carbon dioxide concentrations during storage on production of volatile compounds by Starking Delicious apples. *J. Agric. Food Chem.* 46: 634-643.
- López ML, Lavilla MT, Recasens I, Graell J, Vendrell M (2000) Changes in aroma quality of 'Golden Delicious' apples after storage at different oxygen and carbon dioxide concentrations. *J. Sci. Food Agric.* 80: 311-324.
- López ML, Vilatoro C, Fuentes T, Graell J, Lara I, Echeverría G (2007) Volatile compounds, quality parameters and consumer acceptance of 'Pink Lady' apples stored in different conditions. *Postharv. Biol. Technol.* 43: 55-66.
- Lurie S (1998) Postharvest heat treatments of horticultural crops. *Hort. Rev.* 22: 91-121.
- Lurie S, Pre-Aymard C, Ravid U, Larkov O, Falik E (2002) Effect of 1-methylcyclopropane on volatile emission and aroma in cv. Anna apples. *J. Agric. Food Chem.* 50: 4251-4256.
- Mattheis JP, Fellman JK, Chen PM, Patterson ME (1991) Changes in headspace volatiles during physiological development of Bibbee Delicious apple fruit. *J. Agric. Food Chem.* 39: 1902-1906.

Conclusiones

El sabor (gusto + aroma) a manzana es dependiente de la percepción y de una compleja combinación de compuestos volátiles y no volátiles. De estos componentes, los compuestos volátiles son los responsables de las características típicas del aroma que distinguen a la manzana y ejercen una gran influencia en la aceptación del consumidor. Por ello es relevante el conocimiento de los aspectos relacionados con los compuestos volátiles presentes en la manzana, así como de los factores que pueden afectar la síntesis y concentración de éstos.

AGRADECIMIENTOS

Las autoras agradecen el financiamiento por parte del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), México y Gobierno del Estado de Chihuahua, a través del proyecto FOMIX CHIH-2008-C01-92083.

REFERENCIAS

- Abeles FB, Morgan PW, Salveit ME (1991) Ethylene. En *Plant Biology*. Academic Press, London, RI, 414 pp.
- Baldwin E (2002) Fruit flavor, volatile metabolism and consumer perceptions. En Klee M (Ed) *Fruit Quality and its Biological Basis*. CRC, Boca Raton, FL, EEUU. pp. 89-106.
- Beaulieu JC, Baldwin EA (2002) Flavor and aroma of fresh-cut fruits and vegetables. En Lamiak O (Ed) *Fresh-cut Fruits and Vegetables Science, Technology, and Market*. CRC, Boca Raton, FL, EEUU. pp. 391-438.
- Brown DS, Buchanan JR, Hicks JR (1966) Volatiles from apple fruits as related to variety, maturity, and ripeness. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.* 88: 98-104.
- Brown DS, Buchanan JR, Hicks JR, Uriu K, Muraka T (1968) Volatiles from apple fruits as affected by phosphorus fertilization. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.* 93: 705-715.
- Buettner A, Schieberle P (2001) Evaluation of aroma differences between hand-squeezed juices from Valencia Late and Navel oranges by quantification of key odorants and flavor reconstitution experiments. *J. Agric. Food Chem.* 49: 2387-2394.
- Burlock GA (2002) *Handbook of Flavor Ingredients*. 4th ed. CRC, Boca Raton, FL, EEUU. 1834 pp.
- Com EF, Stumpf PK (1963) *Outlines of Biochemistry*. Wiley, Nueva York, EEUU. 336 pp.
- Crouzet J, Nicolas M, Molina I, Valentin G (1984) Enzymes occurring in the formation of six-carbon aldehydes and alcohols in grapes. En Adla J (ed) *Progress in Flavour Research*. Elsevier, Amsterdam, Holanda. pp. 401-408.
- Cunningham DG, Acree TE, Barnard J, Butts R, Braell P (1986) Chem analysis of apple volatiles. *Food Chem.* 19: 137-147.
- Defilippi BG, Dandekar AM, Kader AA (2004) Impact of suppression of ethylene action or biosynthesis in flavor metabolites in apple (*Malus domestica* Borkh) fruits. *J. Agric. Food Chem.* 52: 5694-5701.
- Defilippi BG, Dandekar AM, Kader AA (2005) Relationship of ethylene biosynthesis to volatile production, related enzymes, and precursor availability in apple peel and cortex tissues. *J. Agric. Food Chem.* 53: 3133-3141.
- De Pooter HL, Van Acker M, Schamp NM (1987) Aldehyde metabolism and the aroma quality of stored Golden Delicious apples. *Physicochemistry* 26: 89-92.
- Ditnick PS, Hoskin JC (1983) Review of apple flavor state of the art. *CRC Crit. Rev. Food Sci.* 18: 387-409.
- Dixon J, Hewett E (2000) Factors affecting apple aroma/flavour volatile concentration: a review. *J. Crop Hortic. Sci.* 28: 155-173.
- Drewert F, Treml R, Heilmann W, Emberger R, Speck M (1973) Über die Biosynthese von Aromastoffen bei Pflanzen und Früchten. XV. Enzymatisch-oxidative Bildung von Co-Aldehyden und Alkoholen und deren Vorstufen bei Äpfeln und Trauben. *Chem. Mikrobiol. Technol. Lebensmittel.* 2: 10-22.
- Echeverría G, Fuentes MT, Graell J, López ML (2003) Relationships between volatile production, fruit quality and sensory evaluation of Fuji apples stored in different atmospheres by means of multivariate analysis. *J. Sci. Food Agric.* 84: 5-20.
- Echeverría G, Fuentes T, Graell J, Lara I, López ML (2004) Aroma volatile compounds of 'Fuji' apples in relation to harvest date and cold storage technology. A comparison of two seasons. *Postharv. Biol. Technol.* 32: 29-44.
- Echeverría G, Graell J, Lara I, López ML (2008) Physicochemical measurements in 'Mondial Gala®' apples stored at different atmospheres: Influence on consumer acceptability. *Postharv. Biol. Technol.* 50: 135-144.
- Falder RA (2003) *Enciclopedia de los Alimentos*. Frutas "Distribución y consumo". 69: 75-111.
- Fan X, Mattheis JP (1999) Impact of 1-Methylcyclopropane and methyl jasmonate on apple volatile production. *J. Agric. Food Chem.* 47: 2847-2853.
- Fan X, Mattheis JP, Buchanan D (1998) Continuous requirement of ethylene for apple fruit volatile synthesis. *J. Agric. Food Chem.* 46: 1959-1963.
- Fellman JK, Mattison DS, Fan X, Mattheis JP (1997) 'Fuji' apple storage characteristics in relation to growing conditions and harvest maturity in Washington State. En Mitchem EJ (Ed) *Apples and Pears. Proceedings of 7th International CA Conference*. Vol. 2, p. 234.
- Fellman JK, Miller TW, Mattison DS, Mattheis JP (2000) Factors that influence biosynthesis of volatile flavor compounds in apple fruits. *HortScience* 35: 1026-1033.
- Fellman JK, Raddell DR, Mattison DS, Mattheis JP (2003) Relationship of harvest maturity to flavor ripening after CA storage of "Delicious" apples. *Postharv. Biol. Technol.* 27: 39-51.
- Fellman JK, Mattison DS, Bostick BC, Mattheis JP, Patterson ME (1993) Ester biosynthesis in "Rome" apples subjected to low-oxygen atmospheres. *Postharv. Biol. Technol.* 3: 201-214.
- Flath RA, Black DR, Guadagni DG, McFadden WH, Schultz TH (1967) Identification and organoleptic evaluation of compounds in Delicious apple essence. *J. Agric. Food Chem.* 15: 29-35.
- Forsey CF, Mattheis JP, Baldwin AE (2009) Effects on flavor. En Yabia EM (Ed) *Modified and Controlled Atmospheres for the Storage, Transportation, and Packaging of Horticultural Commodities*. CRC, Boca Raton, FL, EEUU. pp.119-159.
- Forsyth FR, Webster DH (1971) Volatiles from McIntosh apple fruits as affected by phosphorus and potassium nutrition. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 96: 259-263.
- Galliard T (1968) Aspects of lipid metabolism in higher plants-II. The identification and quantitative analysis of lipids from the pulp of pre- and post-dimorphic apples. *Physicochemistry* 7: 1915-1922.
- Haldes-Doll H, Bangerth F (1987) Inhibition of autocatalytic C₂H₄-biosynthesis by AVG applications and consequences on the physiological behavior and quality of apple fruits in cool storage. *Sci. Hort.* 33: 87-96.
- Hansen K, Poll L (1993) Conversion of L-isoleucine into 2-methylbut-2-enyl esters in apples. *Lebensm. Wiss. Technol.* 26: 178-180.
- Hansen K, Poll L, Olsen CE, Lewis MJ (1992) The influence of oxygen concentration in storage atmospheres on the post-storage volatile ester production of 'Jonagold' apples. *Lebensm. Wiss. Technol.* 25: 457-461.
- Kader AA (1986) Biochemical and physiological basis for effects of controlled and modified atmospheres on fruits and vegetables. *Food Technol.* 40: 99.
- Kays SJ, Paul RE (2004) *Postharvest Biology*. Evon, Athens, GA, EEUU. pp. 188-195.
- Klee M (1993) Pome fruit: Biochemistry. En Seymour GB, Taylor JE, Tucker GA, (Eds) *Biochemistry of Fruit Ripening*. Chapman and Hall, London, RI, pp. 329-336.
- Lavilla T, Pay J, López ML, Recasens I, Vendrell M (1999) Relationships between volatile production, fruit quality, and sensory evaluation in Granny Smith apples stored in different controlled-atmosphere treatments by means of multivariate analysis. *J. Agric. Food Chem.* 47: 3791-3803.
- Leffingwell JC, Leffingwell D (1991) GRAS flavor chemicals-Detection Thresholds. *Perfumer & Flavorist*. 16: 1-19.
- López ML, Lavilla MT, Riba M, Vendrell M (1998a) Comparison of volatile compounds in two seasons in apples: 'Golden Delicious' and 'Granny Smith'. *J. Food Qual.* 21: 155-166.
- López ML, Lavilla MT, Recasens I, Riba M, Vendrell M (1998b) Influence of different oxygen and carbon dioxide concentrations during storage on production of volatile compounds by Starking Delicious apples. *J. Agric. Food Chem.* 46: 634-643.
- López ML, Lavilla MT, Recasens I, Graell J, Vendrell M (2000) Changes in aroma quality of 'Golden Delicious' apples after storage at different oxygen and carbon dioxide concentrations. *J. Sci. Food Agric.* 80: 311-324.
- López ML, Vilatoro C, Fuentes T, Graell J, Lara I, Echeverría G (2007) Volatile compounds, quality parameters and consumer acceptance of 'Pink Lady' apples stored in different conditions. *Postharv. Biol. Technol.* 43: 55-66.
- Lurie S (1998) Postharvest heat treatments of horticultural crops. *Hort. Rev.* 22: 91-121.
- Lurie S, Pre-Aymard C, Ravid U, Larkov O, Fallik E (2002) Effect of 1-methylcyclopropane on volatile emission and aroma in cv. Anna apples. *J. Agric. Food Chem.* 50: 4251-4256.
- Mattheis JP, Fellman JK, Chen FM, Patterson ME (1991) Changes in headspace volatiles during physiological development of Bobee Delicious apple fruit. *J. Agric. Food Chem.* 39: 1902-1906.

- Mattheis JP, Fan X, Argenta LC (2005) Interactive responses of Gala apple fruit volatile production to controlled atmosphere storage and chemical inhibition of ethylene action. *J. Agric. Food Chem.* 53: 4510-4516.
- Mathews CK, Van Holde KE, Ahern KG (2002) Oxidación de los ácidos grasos. En *Bioquímica Pearson*. Madrid, España. pp. 628-629.
- Mehinagic E, Royer G, Symoneaux R, Jourjon F, Prost C (2006) Characterization of odor-active volatiles in apples: influence of cultivars and maturity stage. *J. Agric. Food Chem.* 54: 2678-2687.
- Paillet NMM (1981) Factors influencing flavor formation in fruits. En Schreier P (Ed.) *Flavour 81*. Grayter, Berlin, Alemania. pp. 419-507.
- Paillet NMM (1990) The flavour of apples, pears, and quinces. En Marton I, McLeod AJ (Eds.) *Food Flavours Part C: The Flavour of Fruits*. Elsevier, Amsterdam, Holanda. pp. 1-41.
- Paliyath G, Whiting MD, Stanisk MA, Marr DP, Clegg BS (1997) Volatile production and fruit quality during development of superficial scald in Red Delicious apples. *Food Res. Int.* 30: 95-103.
- Pérez AG, Sanz C (2008) Formation of fruit flavor. En Bruckner R, Grant WS (Eds.) *Fruit and Vegetable Flavour*. Cambridge, RU. pp 41-70.
- Plotto A (1988) Instrumental and sensory analysis of 'Gala' apple (*Malus domestica*, Borkh) aroma. Teis. Oregon State University, Corvallis, OR, EEUU. 193 pp.
- Rizzolo A, Visi C (1990) Studies on the quality of 'Golden Delicious' apples coming from different localities of Trentino. XXIII Int. Horticultural Congress, Florencia, Italia. Abstract 2411.
- Rowan DD, Allen JM, Fielder S, Hart MB (1999) Biosynthesis of straight-chain volatiles in 'Red Delicious' and 'Granny Smith' apples using deuterium-labeled precursors. *J. Agric. Food Chem.* 47: 2553-2562.
- Rupasinghe HP, Marr DP, Paliyath G, Skog I. (2000) Inhibitory effect of 1-MCP on ripening and superficial scald development in 'McIntosh' and 'Delicious' apples. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 75: 271-276.
- SAGARPA (2003) Claridades agropecuarias. Boletines. www.sagarpa.gob.mx/boletines.
- Sanz C, Ollas JM, Pérez AG (1997) Aroma biochemistry of fruits and vegetables. En Tomaso-Barbana FA, Roberts RJ (Eds.) *Phytochemistry of Fruit and Vegetables*. Clarendon, Oxford, RU. pp. 125-155.
- Soler EC, Serek M (1997) Inhibitors of ethylene responses in plants at the receptor level: recent development. *Physiol. Plant.* 100: 577-582.
- Soler EC, Dupille E, Serek M (1996) Effect of 1-methylcyclopropane and aminocyclopropane on ethylene binding and ethylene action on cut carnations. *Plant Growth Regul.* 18: 79-86.
- Takeoka GR, Battery RG, Flath RA (1992) Volatile constituents of Asian Pear (*Pyrus serotina*) J. *Agric. Food Chem.* 40: 1925-1929.
- Yahia EM (1994) Apple flavor. *Hort. Rev.* 16: 197-234.
- Young H, Gilbert JM, Murray SH, Ball RD (1996) Causal effects of aroma compounds on Royal Gala apple flavours. *J. Sci. Food Agric.* 71: 329-336.
- Wang Y, Finn Ch, Qian MC (2005) Impact of growing environment on Chickasaw Blackberry (*Rubus L.*) aroma evaluated by gas chromatography olfactometry dilution analysis. *J. Agric. Food Chem.* 53: 3563-3571.
- Wills RBH, Lee TH, Graham D, McGlasson WR, Hall EG (1997) *Postharvest: An Introduction to the Physiology and Handling of Fruit and Vegetables*. 4 ed. New South Wales University Press, Australia. 174 pp.
- Williams MW (1980) Retention of fruit firmness and increase in vegetative growth and fruits of apples with aminooxyvinylglycine. *Horticulture* 15: 76.
- Wyllie S, Fellman JK (2000) Formation of volatile branched chain esters in bananas. *J. Agric. Food Chem.* 48: 3493-3496.
- Wyllie SG (2008) Flavour quality of fruit and vegetables are we on the brink of major advances? En Bruckner R, Grant WS (Eds.) *Fruit and Vegetable Flavour*. CRC, Cambridge, RU. pp 3-9.

THE AROMA OF APPLES

Nora Salas Salazar and Guadalupe Olivas Orozco

SUMMARY

Apples produce volatile chemicals that are responsible for the characteristic aroma of the fruit. These compounds are of interest as they have a great influence in the quality of apples, as they determine the aroma. Current technology has allowed the recognition of about 400 volatile compounds present in apples. Their biosynthesis involves enzymes such as lipoxygenase (LOX), alcohol dehydrogenase (ADH), alcohol acyltransferase (AAT), and substrates such as carbohydrates, proteins and lipids, the latter being the main precursors of volatile compounds

in apples. The volatile compound composition and their concentration can vary in apples depending upon the variety, and the cultivation, harvesting and storage conditions. In this review, information regarding the biosynthesis of the volatile compounds that define the aroma of apples is gathered, as well as the metabolic pathways, enzymes and substrates involved. Also, the main pre-harvest, harvest and post-harvest factors affecting the biosynthesis of volatile compounds are reviewed.

O AROMA DA MAÇÃ

Nora Salas Salazar e Guadalupe Olivas Orozco

RESUMO

As maçãs produzem compostos químicos voláteis que são responsáveis pelo aroma característico da fruta. Estes compostos são de interesse porque têm grande influência na qualidade da maçã, já que determinam seu aroma. A tecnologia atual tem permitido conhecer cerca de 400 compostos voláteis presentes na maçã. Sua biosíntese envolve enzimas tais como lipoxigenase (LOX), álcool desidrogenase (ADH), álcool aciltransferase (AAT) e substratos tais como carboidratos, proteínas e lipídeos, sendo estes últimos os principais precursores de compostos

voláteis na maçã. A composição e concentração dos compostos voláteis na maçã pode variar dependendo da variedade, condições de cultivo, de colheita e de armazenamento. Nesta revisão é coletada informação referente à biosíntese de compostos voláteis que definem o aroma da maçã, assim como as rotas metabólicas, enzimas e substratos envolvidos. Além disso, se detalham os principais fatores pré-colheita, colheita e pós-colheita que afetam a biosíntese de compostos voláteis.