



**Universitat de les  
Illes Balears**

Facultat de Ciències

**Memòria del Treball de Fi de Grau**

# Un binomio inseparable: la química y la cocina

Jonathan González Sánchez

**Grau de Química**

Any acadèmic 2015-16

DNI de l'alumne: 43217693A

Treball tutelat per Juan Frau Munar  
Departament de Química

S'autoritza la Universitat a incloure aquest treball en el Repositori Institucional per a la seva consulta en accés obert i difusió en línia, amb finalitats exclusivament acadèmiques i d'investigació	Autor		Tutor	
	Sí	No	Sí	No
	X		X	

Paraules clau del treball:  
Gastronomía Molecular, Experimentación, Enseñanza Secundaria



# ÍNDICE

Resumen	Pag.4
1. Introducción	Pág.4
2. Objetivos	Pág.7
3. Metodología	Pág.7
3.1. Conceptos del currículum introducidos	Pág.8
3.2. Viabilidad del proyecto	Pág.9
4. Desarrollo	Pág.10
4.1. Primer plato: Espinacas hervidas	Pág.10
4.2. Segundo plato: Carne a la Maillard	Pág.21
5. Conclusiones	Pág.29
6. Bibliografía	Pág.30

## **RESUMEN:**

La realidad sobre el sistema educativo de la enseñanza secundaria es que presentan currículums inabordables y obsoletos en materias de ciencias, de forma que no son capaces de despertar la atracción del alumno.

En este trabajo se pretende dar una solución mediante la puesta en práctica de una actividad capaz de introducir conceptos curriculares de la química a través de la gastronomía molecular y la experimentación, y así conseguir que el alumnado asuma los conceptos de una manera convencional.

## **1. INTRODUCCIÓN**

Es normal escuchar preguntas de los alumnos como ¿qué es la química? ¿Para qué sirve? ¿Se puede relacionar con la vida cotidiana? Los alumnos observan la química como algo abstracto basado en mezclas, explosiones y experimentos que no tienen ningún sentido aunque la química es mucho más que eso.

Basta únicamente fijarse en las acciones más cotidianas del día para observar que la vida está llena de química. Cocinar, limpiar, coger el coche son acciones muy comunes en el día a día que esconden una gran variedad de reacciones químicas.

Para encontrar la causa del rechazo a la química en el alumnado, debemos observar la realidad del sistema educativo en la enseñanza de las ciencias naturales.

La situación actual de la enseñanza de la química para el alumnado de la ESO y Bachillerato ha caído en el deterioro. Tal y como se enseña la química, da la percepción de que no hay nada por descubrir, sino que todo está perfectamente estudiado y conocido. En esta idea caen la mayoría de libros de texto que utilizan los alumnos, así como el profesorado que suele dejarse llevar por el material didáctico que posee, sin plantearse si es o no el método más efectivo [1]. El profesorado cumple una labor muy importante, y según el enfoque que este ofrezca, el resultado en el alumnado puede ser muy diferente.

Normalmente, los libros de textos ofrecen un material basado en leyes, ecuaciones que el alumno debe memorizar para realizar una prueba de la que será evaluado. Pero

exactamente, qué pretendemos de los alumnos; ¿Alumnos que son capaces de memorizar una serie de ecuaciones y leyes? ¿O preferimos alumnos que sean capaces cuestionarse los fenómenos que tienen lugar en la naturaleza?

Para poder iniciar una transición hacia otra manera de ver la química en la enseñanza, debería empezarse por una revisión y modificación de los currículums vigentes. Los actuales currículums, tanto de la ESO [2,3] y Bachillerato [2,4] presentes en el BOE y BOIB, marcan los mínimos y máximos conceptos respectivamente que deben enseñarse al alumnado. Estos currículums se pueden considerar excesivos, inabordables y obsoletos. Excesivos ya que rara vez en un curso de ESO o Bachillerato se acaba todo el temario exigido, y esto provoca que el docente priorice acabar el temario exigido a poder trabajar aspectos igual o más importantes en la química como puede ser el afán de descubrir e investigar. Y obsoletos ya que los actuales currículums han visto reducidos la repercusión de fenómenos químicos a simples expresiones matemáticas [1].

Los currículums vigentes deben ser corregidos y adaptados a los nuevos tiempos y al mismo tiempo buscar una forma más didáctica y eficaz de enseñar la química, para dejar de observar el cierto rechazo existente debido a su dificultad.

Esta segunda premisa puede conseguirse incrementando y apoyándose en la experimentación y en los diferentes niveles educativos, sin olvidar por supuesto los fundamentos conceptuales de la química. En este sentido se ha dado un paso atrás en los últimos años, al suprimir una de las asignaturas que precisamente mejor reflejaba cómo debe ser la enseñanza de las ciencias, que era la asignatura de Técnicas experimentales que se cursaba en 1º de Bachillerato de la anterior ley educativa [5]. Partiendo de la base de esa materia, se trata de “girar” el planteamiento actual, es decir, la idea es que a partir de un enfoque práctico despertar el interés del alumnado para posteriormente poder realizar las convenientes explicaciones teóricas. A este método se le llama método inductivo-deductivo, ya que a partir de la observación y el análisis se llega a la generalización [6].

Este enfoque práctico puede realizarse desde muchos puntos de vista, aunque parece interesante el hecho de aplicar realidades cotidianas a la química, con el fin de que el alumno se sienta más cercano a la hora de aprender. Uno de los posibles hechos cotidianos a partir del cual, se podrán introducir conceptos químicos es la cocina y la gastronomía.

¿Es posible cocinar aplicando conocimientos y métodos científicos?

Esta pregunta, no es ni mucho menos una pregunta que se haya “inventado” actualmente. Ya en el siglo XIX, Antonin Careme, comenzó a promover en su obra *Disertations alimentaires et culinaires*, la idea de que la cocina puede tener las ideas de una ciencia. A principios del siglo XX autores como Joseph Favre o Auguste Escoffier profundizaron en esta idea, mucho antes de que en el siglo XXI se haya puesto tan de moda el binomio química-cocina [7].

Según Vazques Montalbán [8]: *“La nouvelle cuisine, ha tratado de renovar el apetito y el paladar del burgués manager, del escritor, del devoto y del médico, sobre todo del médico, que detecta colesterol, hipertensión, exceso de lípidos y vigila la salud de una clase social que pretende ser inmortal”*.

El concepto de Gastronomía Molecular surge de los “Talleres internacionales sobre gastronomía molecular y física” que se organizaron desde 1992 hasta 2004, centrados en la comprensión de los fenómenos físicos y químicos involucrados en el hecho culinario. Por tanto, la Gastronomía Molecular puede definirse como la aplicación del conocimiento científico a las preparaciones gastronómicas con el fin de llegar a la perfección en su preparación [9]. Esta corriente inundó numerosas cocinas al final del siglo xx y principios del presente siglo.

Para empezar, se deben establecer cuáles son los lazos que unen química con cocina. Los lugares de trabajo, la cocina y el laboratorio, presentan una serie de similitudes. Uso de un espacio amplio y limpio en el cuál hay mesas para trabajar con ciertos productos. La necesidad de trabajar en unas condiciones higiénicas que no pongan en peligro nuestra propia salud o la de los comensales. La existencia de un material común, como podrían ser las cucharas, vasos, placas calefactoras, etc. En ambos lugares se requiere una vestimenta especial, generalmente blanca. Además, la cocina esconde una gran variedad de reacciones químicas, procesos como un cambio de color, la aparición de un olor o sabor, diferencia de textura, etc.

La química ha ayudado a conocer por qué suceden algunos procesos en la cocina, así como la influencia que tienen los diferentes ingredientes en el plato final que va a ser ingerido [10]. Por tanto, tanto la química y la cocina son actividades que utilizan imaginación, intuición y creatividad. Ambas se basan en el trabajo de un gran número de personas que han compartido su actividad a un determinado público.

El empujón definitivo fue propiciado por la irrupción de cocineros, como Ferrán Adrià, Joan Roca, Heston Bumental, etc., con intereses por la ciencia y por aplicar ideas de otras disciplinas a su profesión que está generando una simbiosis entre la ciencia y la cocina de consecuencias todavía difíciles de valorar. El objetivo final es que la ciencia

ofrezca unos recursos a los cocineros que les permitan desarrollar nuevas técnicas y preparaciones.

Esta circunstancia puede ser aprovechada en el ámbito de la educación. La cocina produce un gran interés en la sociedad y en la juventud, que la química no despierta. Por tanto, se trata de favorecer que la ciencia, la química, ilustre lo que ocurre al preparar un determinado plato.

Se han barajado varias opciones sobre cómo enfocar el proyecto, pero la idea de realizar un menú gastronómico en el que se trabaje con química y cocina introduciendo conceptos a los alumnos, da solidez al proyecto, reuniendo bajo la denominación de “menú gastronómico” todo el trabajo realizado en una sola idea. El uso de ejemplos cotidianos, de la gastronomía, va a favorecer la curiosidad y capacidad de asombro [1].

## **2. OBJETIVOS**

Este proyecto tiene como objetivos la elaboración de una actividad didáctica en la que el alumnado de Secundaria y Bachillerato sea capaz de ver conceptos básicos de la química a través de la vida cotidiana, en este caso a partir de la cocina molecular, y que pueda realizarse en los centros de enseñanza secundaria.

Esta relación entre experimentación, química y cocina debe permitir al alumno asimilar conceptos asociados a las asignaturas de Ciencias Naturales y fomentar la curiosidad del alumnado.

Se trata de que el alumnado se sienta más cerca de la química, y que no se quede con la visión exclusiva de una serie de teorías y fórmulas que debe memorizar para realizar una prueba.

## **3. METODOLOGÍA**

Dadas las similitudes existentes entre ambas disciplinas, y con la intención prioritaria de hacer de la química una ciencia accesible para todos los públicos, incentivar el interés entre los más jóvenes y al mismo tiempo establecer unas bases sólidas de

conocimiento, se propone una idea innovadora que es capaz de relacionar la química como ciencia, aplicada en la cocina, y destinada al alumnado de ESO y Bachillerato.

La propuesta se basa en la realización de un menú gastronómico en el que cada uno de sus platos pueda considerarse individualmente y sin relación con los otros. Los platos del menú se presentaran en forma de preguntas abiertas con las que el profesor guía a los alumnos al objetivo propuesto. Una vez conocido el contexto, se realizará la práctica de laboratorio que permita trabajar los conceptos y contenidos curriculares. La práctica propuesta debe cumplir con los requisitos de seguridad y además debe poder ser realizable en un instituto.

El menú gastronómico propuesto consta de un primer plato y un segundo plato, con la posibilidad de ser ampliado con un posible postre.

El primer plato se basa en la preparación de unas espinacas hervidas y analizar la influencia del pH en la degradación de la clorofila.

El segundo plato es un bistec caramelizado, en el que se trata de estudiar qué reacciones tienen lugar y que implicaciones tienen estas para el comensal. Esta práctica tendrá un enfoque más teórico y se realizará mediante una simulación de las reacciones por ordenador, con el fin de poder introducir los conceptos fundamentales que permiten justificar la geometría molecular y sus implicaciones en la reactividad química.

### **3.1 Conceptos del currículum introducidos**

El primer plato, en el que se estudia la degradación de la clorofila, va destinada al alumnado de 3º y 4º de la ESO. En esta práctica se introducirán los siguientes contenidos recogidos en el BOE y BOIB [2,3] para las materias de Física y Química como de Biología y Geología:

- La introducción de un concepto muy importante químicamente hablando, cómo es el pH, y ver la influencia de este en las reacciones químicas.
- Una pequeña mención al análisis cualitativo y cuantitativo, a partir de la espectroscopia.
- El material básico de laboratorio, así como reconocer las características del método científico.
- La estructura de la materia, de forma que se pueden introducir conceptos a partir de la estructura del anillo de porfirina de la clorofila.
- La estructura de la célula, concretamente sobre los orgánulos existentes, haciendo especial mención en los cloroplastos.

- Se puede explicar el proceso de la fotosíntesis, y la importancia de la clorofila en este proceso, capaz de transformar energía lumínica en energía química.

El segundo plato, trata la reacción de Maillard, que se da en la carne caramelizada al cocinarla. En este caso, se trata de una práctica que va destinada a un alumnado de Bachillerato. Los conceptos que se introducirán serán los siguientes [3,4]:

- Introducción a la formulación en química orgánica. Identificación de los distintos grupos funcionales.
- Introducción del enlace químico y justificación de la geometría molecular: teoría de enlace de valencia (TEV), teoría de repulsión de pares electrónicos de la capa de valencia (TRPEV), y concepto de hibridación.
- Introducir el concepto de nucleófilo y electrófilo, que suelen pasar desapercibidos durante el Bachillerato y son muy útiles para entender la reactividad química.
- La existencia de biomoléculas y sus tipos.

Cabe mencionar que estas prácticas se formulan a partir de una serie de preguntas iniciales al alumnado, con el objetivo de potenciar su espíritu investigador y curioso. Una vez formuladas estas preguntas abiertas al alumnado, se procederá a realizar la práctica, de manera que no empezarán la práctica desde un conocimiento cero sobre ella. Una vez acabada la práctica, se formulan una serie de cuestiones preparadas para que el alumnado pueda contestarlas una vez ha realizado el experimento.

Además, este proyecto está pensado para que ambas prácticas puedan sufrir variaciones, y se les pueda dar diferentes enfoques. Para ello, se va a proporcionar un material destinado a los docentes, en el que se va a explicar con todo detalle, los fundamentos químicos de cada práctica, para que a partir de ahí, el docente pueda aumentar el nivel de conocimientos del alumnado si lo considerase necesario.

### **3.2 Viabilidad del proyecto**

Uno de los objetivos del proyecto, es que este menú gastronómico, compuesto de dos prácticas para alumnado de diferente edad, pueda llevarse a cabo en centros de enseñanza secundaria obligatoria. Para ello son necesarios varios requisitos:

- Un lugar adecuado para realizarlo.
- Disponibilidad horaria dentro del currículum del curso.
- Económicamente viable obtener el material necesario.

El primer requisito suele estar cubierto en la gran mayoría de centros, ya que disponen de un laboratorio de prácticas. Por tanto, la primera experiencia se realizaría en el laboratorio. En cambio, para la segunda experiencia únicamente se requieren ordenadores y el programa informático que se utilizará, en este caso ACDLabs.

En cuanto a la disponibilidad horaria dentro del currículum, es cierto que no existe una asignatura como tal de experimentación. La inclusión del presente proyecto sustituiría a las clases habituales de las materias de Física y Química o Biología y Geología, en la ESO y de Física y Química en Bachillerato.

Por último, este proyecto es totalmente viable desde el punto de vista económico. Para la primera experiencia, el material que se necesita es material que suele estar en todos los laboratorios de centros de secundaria, y la materia prima, las espinacas, son muy fáciles de conseguir. Para la segunda experiencia, la mayoría de centros ya tienen salas con ordenadores, y además se usará el programa informático ACDLabs, que tiene una versión gratuita, y que puede descargarse desde la red.

## **4. DESARROLLO**

La propuesta de menú explicada anteriormente en los objetivos y la introducción, se compondrá de las dos siguientes prácticas. Cabe mencionar que la información aquí presente, no corresponde al guion que se entregará al alumnado. El alumnado recibirá un documento similar a los presentados a continuación pero sin ninguna respuesta a las preguntas planteadas ni con la información adicional para el profesorado.

### **4.1. PRIMER PLATO: ESPINACAS HERVIDAS**

#### **Introducción**

Las clorofilas son un grupo de pigmentos de color verde presentes en todas aquellas células que tengan cloroplastos, como son las plantas o las algas, participando en el proceso de la fotosíntesis. Además, la clorofila presenta muchas ventajas en nuestras dietas, ya que tiene propiedades antioxidantes y anticancerígenas [10].

Uno de los estudios de esta práctica se basa en la degradación de la clorofila presente en las verduras. Procesos como el escaldado, aplicación de calor, variaciones de luz, de

pH y oxígeno del medio influyen en el proceso de degradación de la clorofila que provocan un cambio de coloración.

## Objetivo

Estudiar la degradación de la clorofila en las verduras y analizar la influencia del pH en esta degradación.

## Actividad

Como se ha indicado anteriormente, previo a la realización de la práctica se contextualizará la actividad al alumno. Para ello se realizarán una serie de preguntas abiertas que permitirán al profesor guiar a los alumnos hacia los objetivos propuestos. A continuación se indican algunas posibles preguntas y sus respuestas.

### Contextualización de la actividad:

- ¿Por qué muchas verduras presentan coloración verde?

El color verde que presentan es debido a la absorben de la luz solar violeta, azul y roja y reflejan la verde.

En la siguiente figura se muestra se muestra el espectro de la radiación electromagnética y una ampliación de la zona del visible entre 400 y 700 nm.

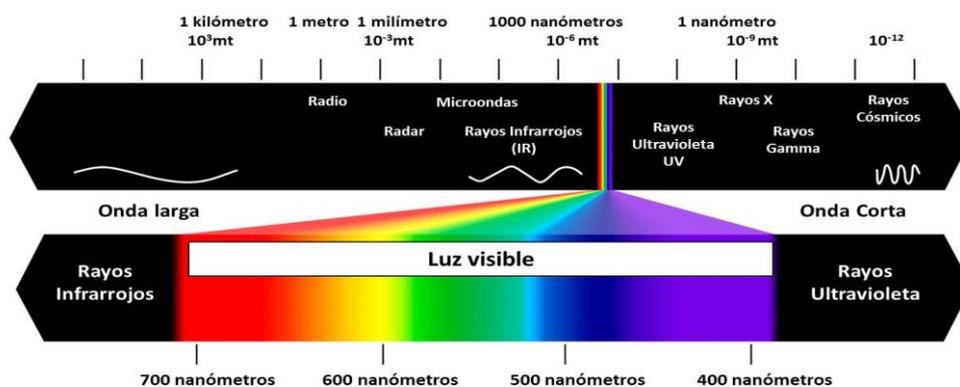


Figura 1: Espectro de la radiación electromagnética.

- ¿Es invariable ese color?

No todos los organismos fotosintéticos tienen una coloración verde, e incluso gran parte de los árboles sufren un cambio de coloración en la hoja durante el otoño.

En el agua pueden existir organismos fotosintéticos de muchos colores si tenemos en cuenta las bacterias y las algas. En el mar hay una gran variedad de colores: verde, marrón, rojo... debido a que la radiación solar que les llega es diferente a la que llega en la superficie terrestre [11].

- ¿Quién es el responsable de esta absorción?

La clorofila, que además de dar el color a las plantas también tiene una participación directa en el proceso de la fotosíntesis.

A continuación los alumnos buscarán bien a través de internet o mediante el uso de un programa tipo ACDLabs, ChemBioOffice la estructura química de la clorofila (figura 2).

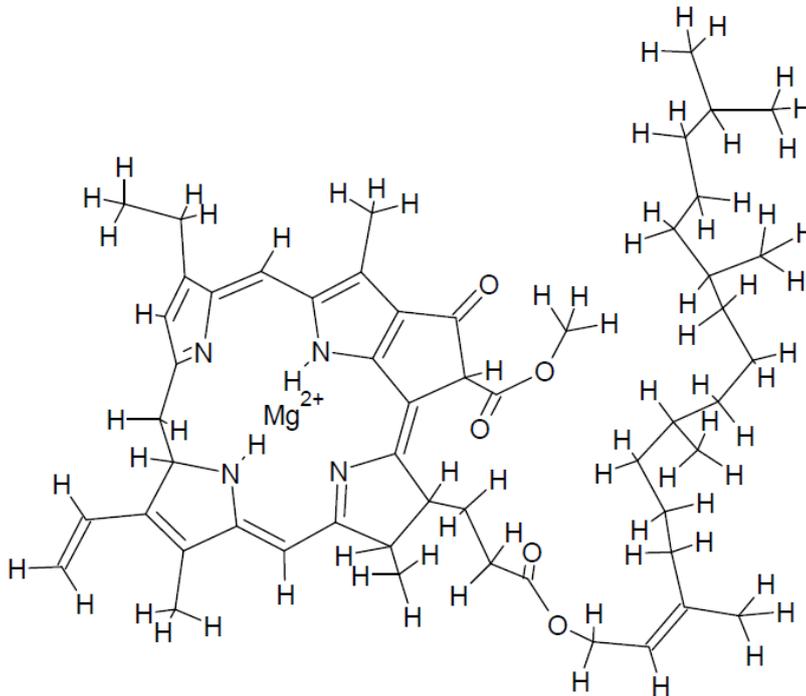


Figura 2: Estructura de la clorofila

Una vez introducida la estructura, se continuará con las preguntas que permiten contextualizar la práctica.

- ¿Qué es lo más curioso de esta estructura molecular y qué provoca el color?

La presencia de dos zonas claramente diferenciadas, un anillo de porfirina con un magnesio y por otro lado una cadena hidrofóbica. La función del anillo de porfirina es la de absorber la luz. La estructura presenta un gran número elevado de dobles enlaces conjugados, lo que permitirá transiciones de electrones entre los niveles de energía en la zona del visible.

- ¿Cómo pensáis que podemos cambiar el color de la clorofila?

En este momento se trata que el alumnado comience a dar ideas, entre las cuales se espera que alguien diga aplicando calor, variando el pH...

Una vez los alumnos ya han tenido tiempo para pensar y buscar información, se trata de realizar una actividad práctica en el laboratorio, de forma que puedan afrontar y asimilar los conceptos que han investigado anteriormente.

A continuación se va a experimentar y explicar cómo se produce la degradación de la clorofila para diferentes condiciones: aplicando temperatura a un pH ácido, a un pH básico, a un pH neutro. Además se deberá comprobar la clorofila presente en las espinacas sin hervir para poder realizar la comparación.

Para ello se harán seis grupos de cuatro alumnos cada uno considerando un tamaño medio de un curso de ESO de 25 de alumnos.

#### Proceso experimental:

1. Lavar las espinacas con abundante agua fría. Las espinacas pueden o no ser troceadas, dependiendo del recipiente donde serán pesadas.
2. A cada grupo se le asigna un número de muestra:
  - A: Hervir 300 mL de agua en una placa calefactora. Añadir 10 mL de jugo de limón y 1 g de espinacas. Dejar durante 10 minutos que hierva.
  - B: Hervir 300 mL de agua en una placa calefactora. Añadir 20 mL de jugo de limón y 1 g de espinacas. Dejar durante 10 minutos que hierva.
  - C: Hervir 300 mL de agua en una placa calefactora. Añadir 30 mL de jugo de limón y 1 g de espinacas. Dejar durante 10 minutos que hierva.

D: Hervir 300 mL de agua en una placa calefactora. Añadir 10 g de bicarbonato de sodio y 1 g de espinacas. Dejar durante 10 minutos que hierva.

E: Hervir 300 mL de agua en una placa calefactora. Añadir 1 g de espinacas. Dejar durante 10 minutos que hierva.

F: Pesar 1 g de espinacas

En las cinco primeras muestras se determina el pH del medio.

El resultado de la práctica nos muestra coloraciones diferentes que pueden identificarse a simple vista. El siguiente paso será la extracción de los pigmentos existentes para poder cuantificarlos y analizar las diferencias entre las diferentes muestras.

3. Extracción: Una vez han hervido las espinacas del recipiente, se ponen las espinacas hervidas en un mortero y se añaden 10 mL de etanol, una punta de espátula de arena y se muele hasta quedar totalmente homogéneo. Este proceso se debe repetir para cada una de las muestras anteriores.
4. Filtrado: Una vez se ha molido correctamente y ha quedado totalmente homogéneo, se realizará una filtración al vacío con el Kitasato, el embudo Buchner y su filtro correspondiente.

La mayoría de los centros educativos de secundaria continuarían el proceso un proceso de separación de los diferentes pigmentos vegetales, mediante una cromatografía en capa fina [12]. Sin embargo el objetivo es utilizar un método espectroscópico para cuantificar y comparar los pigmentos extraídos.

5. Determinación espectroscópica de la clorofila: Los pigmentos fotosintéticos, como la clorofila o los carotenos, absorben a distintas longitudes de onda dentro del espectro visible. La clorofila presenta un máximo de absorbancia a 648-663 nm. Para los carotenos amarillos y rojos sus máximas intensidades se encuentran entre 450-508 nm [13].  
Utilizando un espectrofotómetro o un colorímetro se puede cuantificar la cantidad de clorofila presente en el extracto de pigmentos de las muestras en etanol.



Figura 3: Diferencia de coloración entre dos de las muestras.

Una vez filtrado, se llena una cubeta del extracto etanólico (Figura 3), y con el espectrofotómetro se hace un barrido de las absorbancias desde 325 nm a 850 nm, utilizando etanol como blanco. En las figuras 4 y 5 se muestra el espectro obtenido para un pH ácido (30 mL) y un pH básico en comparación con la muestra sin hervir. Este espectro puede representarse mediante una hoja de cálculo.

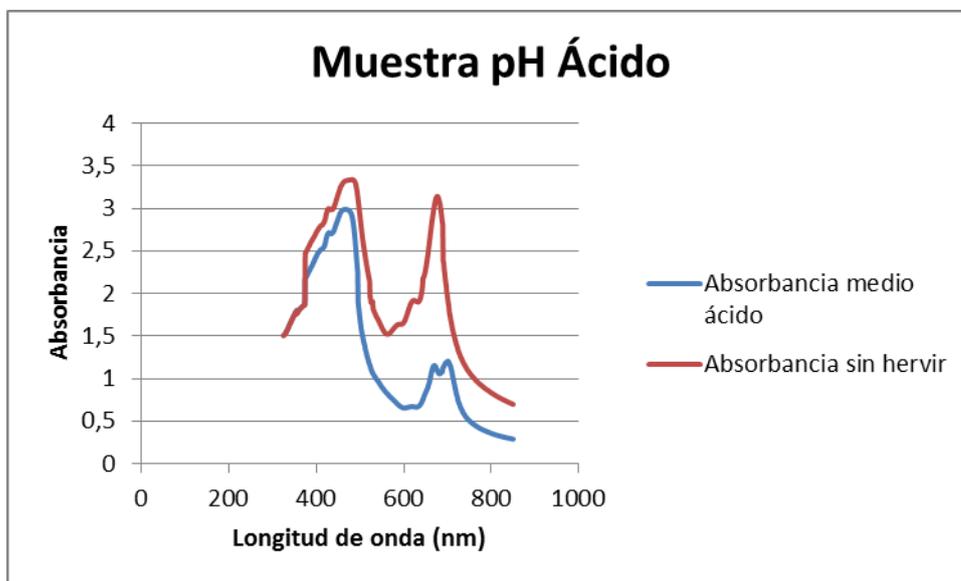


Figura 4: Espectro de la muestra ácida (C) y sin hervir (F)

En medio ácido (figura 4) se produce una gran degradación de la clorofila, ya que el pico de absorbancia de la clorofila, a unos 660 nm es muy inferior en medio ácido que el presente en las espinacas sin tratar.

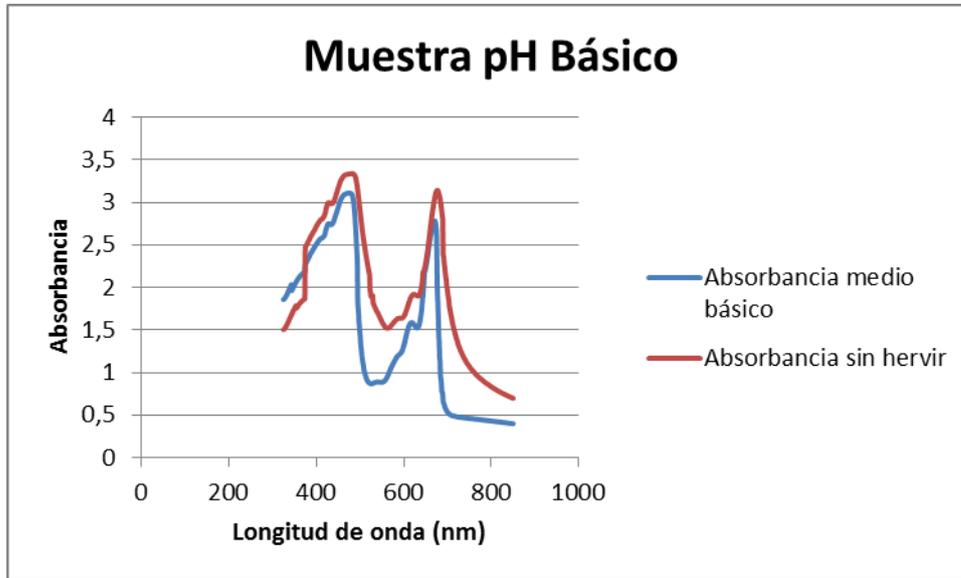


Figura 5: Espectro de la muestra básica (D) y sin hervir (F)

En cambio en medio básico (figura 5) se observa como ambos picos están muy próximos a 660 nm, por tanto, en medio básico, se reduce casi totalmente la degradación de la clorofila.

En la tabla 1 se muestran los máximos de absorbancia a 663 nm obtenidos en las seis muestras obtenidas.

Tabla 1: Medidas de absorbancia y pH de las seis muestras

Muestra	Absorbancia a 663 nm	pH
A-Espinacas hervidas medio ácido (10 mL)	1,31	2,65
B-Espinacas hervidas medio ácido (20 mL)	1,12	1,94
C-Espinacas hervidas medio ácido (30 mL)	1,07	1,79
D-Espinacas hervidas medio básico (10 mL)	2,66	8,25
E-Espinacas hervidas con agua	2,57	7,59
F-Espinacas sin hervir	2,79	-

Cabe destacar que a mayor cantidad de ácido cítrico, se produce una degradación más completa de la clorofila, dado que los valores de absorbancia disminuyen a medida que aumenta la cantidad de ácido cítrico presente.

Debe tenerse en cuenta, que la metodología empleada es una simplificación del procedimiento oficial [14,15], ya que este precisa de un material caro siendo un método poco aplicable al alumnado de un centro de Enseñanza Secundaria Obligatoria.

### **Cuestiones posteriores a la práctica**

Realizada la práctica el profesor propondrá una serie de preguntas para comprobar si las competencias han sido asimiladas.

- ¿Cuál ha sido el efecto del ácido y el bicarbonato?

Son dos compuestos que cambian el pH del medio y se ha observado que en medio ácido, la clorofila sufre un proceso de degradación bastante visible, ya que prácticamente se deja de observar el color verde. En cambio en medio básico, la coloración mostrada y corroborada con los resultados de la tabla 1 demuestra que en medio básico no se produce un cambio marcado en la absorbancia, es decir, no hay una degradación de la clorofila.

- ¿Cómo haríais para calcular las concentraciones de clorofila en cada muestra?

Para ello sería necesario construir una recta de calibrado de concentraciones conocidas de clorofila, para poder así aplicar la Ley de Lambert-Beer conociendo los parámetros  $b \cdot \epsilon$ .

- ¿Interfieren el resto de pigmentos en la determinación de clorofila?

Por suerte, en el espectro visible, únicamente se observa la clorofila y los carotenoides, y mientras que los carotenoides tienen su pico más alto de absorbancia a 450-508 nm aproximadamente, la clorofila se sitúa sobre los 648-663 nm [13]. Por tanto, no hay solapamiento y es por este motivo que no se necesita afinar más la separación.

Además, la clorofila presenta otro pico de absorción a 430 nm, de manera que se podría solapar con los carotenos. Por tanto la separación de los dos pigmentos interesaría en caso de buscar la cuantificación de carotenos.

- ¿Se han extraído todos los pigmentos?

El etanol es un disolvente orgánico que tiene una polaridad similar a los pigmentos fotosintéticos, y es capaz de extraer todos los pigmentos fotosintéticos, en este caso clorofila y caroteno. Por tanto, el etanol se considera un extractante, ya que es capaz de extraer todos los pigmentos. También servirían otros disolventes como metanol o acetona. En cambio, si se desea separar la clorofila de los carotenoides, se puede utilizar un disolvente más apolar y no miscible en etanol, como puede ser el tetracloruro de carbono. El tetracloruro de carbono es capaz de actuar como separador, ya que es capaz de disolver selectivamente la clorofila frente al caroteno [16].

## Material y Reactivos

El material y reactivos necesarios para la realización de la práctica, así como las frases de riesgo y seguridad R y S [17] son las que se indican a continuación.

### Material:

3 Cazuelas pequeñas	Bomba de vacío
Espátula	Kitasato
Balanza	Embudo Buchner
Pipeta	Espectrofotómetro o colorímetro
Mortero	

### Reactivos:

- |  |   |
|--|---|
| - Agua: $H_2O$ . Masa molecular: 18,02 g/mol.  | - Bicarbonato de sodio: $NaHCO_3$ . Masa molecular: 84,0 g/mol Frases R:38 S:2-13 |
| - Espinacas frescas  | - Etanol: $CH_3CH_2OH$ . Masa Molecular: 46,1 g/mol. Frases R:11 S:2-16           |
| - Ácido Cítrico (Limón): $H_3C_6H_5O_7$ Masa molecular:192,13 g/mol Frases R:36 S:26 | - Arena   |

Listado de Frases R y S empleados:

R11 Fácilmente inflamable.

R36 Irrita los ojos.

R38 Irrita la piel.

S2 Manténgase fuera del alcance de los niños.

S13 Manténgase lejos de alimentos, bebidas y piensos.

S16 Conservar alejado de toda llama o fuente de chispas - No fumar.

S26 En caso de contacto con los ojos, lávense inmediata y abundantemente con agua y acúdase a un médico.

### **Información adicional para el profesorado**

A continuación se indican algunos aspectos que pueden ser interesantes para el profesorado. Se trata de unas simples orientaciones que permitan al profesorado adecuar el nivel de la práctica según el nivel del alumnado.

#### Estructura de la clorofila:

En cuanto a su estructura química, se diferencian dos partes; un anillo de porfirina que contiene magnesio y su función es la de absorber la luz, y una cadena hidrofóbica que mantiene la clorofila en la membrana fotosintética. Hay que diferenciar diferentes tipos de clorofila (a, b, c1, c2, d y f) que varían ligeramente en su estructura química.

#### Posibles alteraciones de la clorofila:

La clorofila es susceptible de ser alterada. La alteración más común y que afecta al color de las verduras que contienen clorofila es la sustitución del átomo de magnesio por dos protones, formando una sustancia formada feofitina, que presenta un color verde-marrón. Este proceso de sustitución se ve favorecido en un medio ácido, en el que hay gran presencia de protones como se aprecia en las muestras A, B y C de la experiencia realizada.

Se trata de un proceso irreversible cuando se da en un medio acuoso, consecuencia de ello en procesos de cocinado, se produce el cambio de color de manera irreversible, ya que se debe tener en cuenta que los vegetales suelen ser ácidos por lo que en un tratamiento térmico y en un medio acuoso, tienden a liberar ácidos de las vacuolas de las células provocando una bajada de pH y aumento del proceso de degradación de la clorofila a feofitina [18].



Figura 6: Efecto del calentamiento (cocinado) sobre la clorofila de las habas.

Al añadir un alcalinizante, como puede ser el bicarbonato, aumenta el pH del medio pero por el contrario, favorece la degradación de la tiamina, cuya función es ayudar a las células a convertir carbohidratos en energía evitando debilidad o fatiga [19]. Para mantener el color, también se pueden utilizar compuestos solubles de magnesio.

Además del proceso de degradación de la clorofila, suceden otros procesos durante el proceso de cocción o calentamiento. Tienen lugar procesos de isomerización de la molécula de clorofila que no tienen implicaciones visuales no sobre el alimento. Otra reacción que tiene lugar es la hidrólisis del enlace éster de la clorofila catalizada por la enzima clorofilasa, que está presente en las verduras de color verde. Esta reacción da lugar a la clorofilida, resultante de la eliminación del grupo fitol de la clorofila. Presenta un color más verdoso que la clorofila, por lo que no será apreciable en esta experiencia. Además, la clorofilida es más estable que la clorofila al proceso de sustitución de  $H^+$  por  $Mg^{2+}$  [18].

#### Otras opciones para mantener la coloración verde:

La feofitina es capaz de coordinarse a iones de Cu o Zn para formar pigmentos verdes y estables. El problema es la toxicidad que pueden conllevar estos complejos de cobre, y por esta razón su uso está limitado, aunque estén permitidos estos complejos cúpricos de clorofilas o clorofilidas en la Unión Europea para su uso en alimentos [18].



Figura 7: Queso tipo Gouda (con albahaca) coloreado con clorofila

## 4.2. SEGUNDO PLATO: CARNE A LA MAILLARD

### Introducción

Una de las dificultades fundamentales de los estudiantes de Química preuniversitarios, e incluso en el primer año de universidad, es reconocer la estructura tridimensional de las moléculas. Conocer la geometría molecular es fundamental para poder determinar algunas propiedades físico-químicas y está relacionado también con la reactividad química.

La teoría de repulsión de los pares de electrones de valencia es suficiente para conseguir este objetivo y se aplicará en el contexto de la reacción Maillard como ejemplo de un proceso cotidiano en lugar de presentar las estructuras de un conjunto de moléculas representativas pero sin ningún hilo conductor.

Además para propiciar la interactividad del alumno y que la transmisión de este conocimiento no se transforme en una clase magistral, los estudiantes podrán comprobar sus predicciones mediante el uso de un programa informático como el ACDLabs [20].

La reacción de Maillard incluye un conjunto de reacciones que tienen lugar entre las proteínas y los azúcares presentes en la carne cuando se aplica calor y que produce el característico color marrón que toma la carne al cocinarla. Además también incluye reacciones responsables de propiedades como el olor, sabor...

De las más de 10 reacciones que componen la denominada reacción de Maillard, en esta práctica se van a estudiar dos de ellas; una en la que se forma un compuesto cancerígeno como es la acrilamida, y otra que es la responsable del sabor y olor de la caramelización de la carne.

### Objetivo

Interpretar y conocer la estructura tridimensional de una serie de compuestos químicos a partir de la teoría de repulsión de pares electrónicos de la capa de valencia mediante el uso de un programa informático. Este objetivo global vendrá también acompañado de un conjunto de objetivos parciales como son la identificación de grupos funcionales orgánicos a nivel estructural y geométrico, y una pequeña introducción al concepto de nucleófilo y electrófilo tan útil en la reactividad. Todo ello utilizando la reacción de Maillard como pretexto para la introducción de esta serie de conceptos.

## Actividad

Esta actividad va a realizarse íntegramente en una sala de ordenadores (o en el aula de clase, ya que en muchos centros usan portátiles) mediante el uso del programa informático ACDLabs [20].

En este caso, a diferencia de la primera actividad presentada, se introducirá el tema mediante preguntas concretas que realiza el profesor que los alumnos irán respondiendo con la ayuda si es necesario de búsquedas en servidores de internet. A continuación se introducirá con detalle las preguntas, actividades y algunas posibles respuestas sobre la primera reacción de Maillard elegida y en el caso de la segunda el proceso sería similar.

### Primera reacción:

La primera reacción que se va a estudiar es la reacción de formación de la acrilamida a partir de la asparagina y la glucosa.

- ¿Qué son las biomoléculas? ¿Qué tipo de biomoléculas son la asparagina y la glucosa?

En primer lugar se trata que el alumnado sea capaz de dar una definición de biomolécula similar a la siguiente: “Las biomoléculas son las moléculas que constituyen a los seres vivos, y que están formadas principalmente por: hidrógeno, carbono, oxígeno y nitrógeno”.

En segundo lugar que sepa distinguir entre los diferentes tipos de biomoléculas existentes como: glúcidos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos.

Finalmente, saber clasificar la asparagina y la glucosa dentro de estos grupos. La glucosa pertenece al grupo de los glúcidos, siendo el glúcido más conocido por ser el punto de partida de una de las rutas de producción de energía más antiguas, la glucólisis, mediante la cual se transforma glucosa en piruvato, y este en ATP en otras rutas metabólicas. La asparagina es un aminoácido no esencial de los 22 existentes en el código genético. Junto con el resto de aminoácidos forman parte de las proteínas que están implicadas en gran variedad de procesos bioquímicos. La asparagina desempeña un papel importante en la síntesis de glucoproteínas, y una función importante en la actividad cerebral [21].

A continuación buscarán por internet la estructura bidimensional y fórmula molecular de la asparagina, glucosa (cíclica y lineal) y acrilamida. Una vez obtenidas, el profesor continuará con una serie de cuestiones para comprender la estructura tridimensional de estos compuestos.

- ¿Son estas moléculas planas?

En esta pregunta, es previsible que el alumnado, al únicamente haber observado la estructura bidimensional que encontrará en la red, responda que sí observan estas moléculas planas, en contra de la realidad, que entenderán y observarán con la continuación de la actividad.

Para poder contestar a esta pregunta correctamente, primero se va a hacer uso del programa ACDLabs:

- Al abrir el programa, en la parte lateral izquierda se observa la presencia de los diferentes átomos que permiten dibujar una molécula.
- Con el cursor se van construyendo cada molécula por separado conforme a su estructura.
- Una vez esté construida, se debe clicar en la opción “3D optimización” (figura 8).

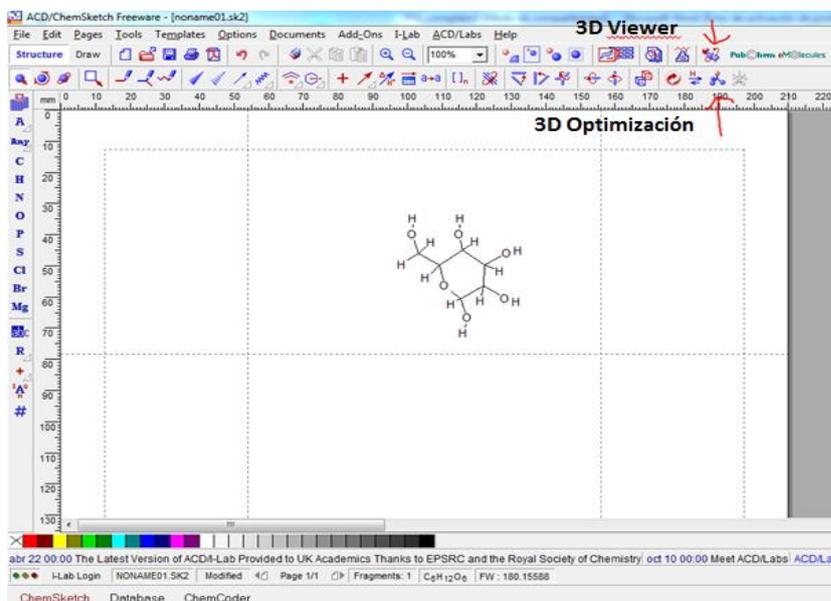


Figura 8: Representación de la glucosa cíclica con el programa ACDLabs

La gran ventaja que ofrece este programa es la posibilidad de ver la molécula en tres dimensiones, para ello:

- Se debe clicar en la opción “3D viewer” (figura 8) y el programa abrirá una nueva ventana en la que se podrá observar la estructura en 3 dimensiones (figura 9).

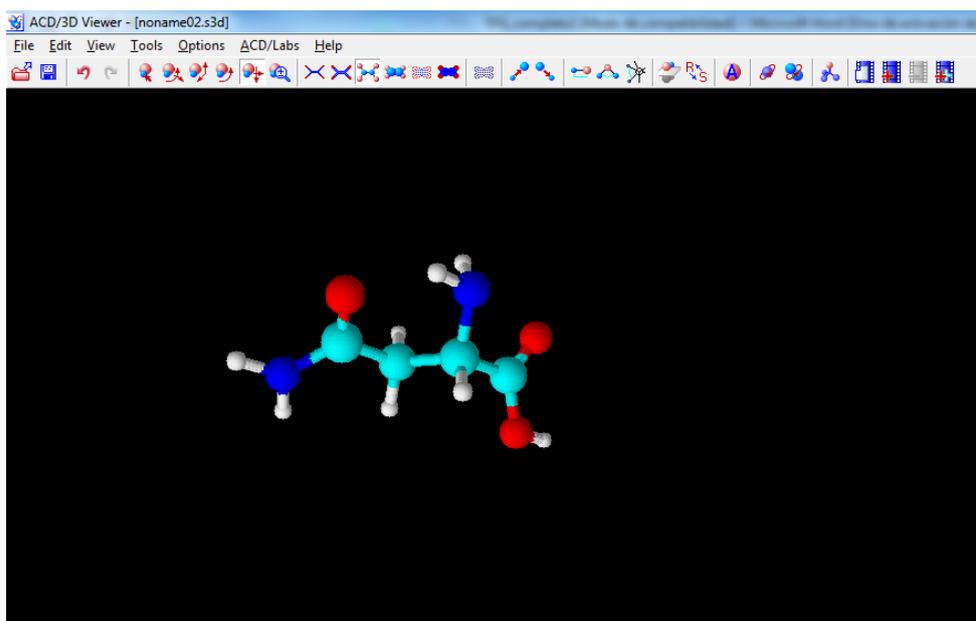


Figura 9: Estructura en 3D de la glucosa cíclica.

Una vez representada se pueden rotar las moléculas para observar mejor todos los enlaces presentes y visualizar la estructura en tres dimensiones.

Por tanto, a partir de esta representación, el alumno puede observar contra su planteamiento inicial que la molécula de glucosa por ejemplo no es plana.

- ¿Qué grupos funcionales podéis diferenciar en estas cuatro estructuras?

Se trata de que el alumno sea capaz de diferenciar los distintos grupos funcionales y nombrarlos. En este caso el alumno debe ser capaz de identificar que la molécula de glucosa cíclica presenta cinco grupos hidroxilos, y una estructura del tipo piranosa, en la que se forma un ciclo de cinco carbonos y un oxígeno. La molécula de glucosa lineal presenta cinco grupos hidroxilos, y un grupo aldehído. El aminoácido de asparagina, contiene un grupo carboxilo en uno de los extremos, y una amida en el otro extremo.

Además presenta una amina primaria en su cadena lateral. Por último, la acrilamida presenta una amida, además de un doble enlace C=C.

Uno de los objetivos de esta práctica es que a partir de la geometría molecular en tres dimensiones los alumnos sean capaces de interpretar la teoría de repulsión de pares electrónicos de la capa de valencia (TRPEV). Los aspectos en que se debe incidir una vez se dispone de la geometría molecular se indican a continuación:

- Justificación de la geometría molecular mediante la TRPEV.

La teoría de repulsión de electrones de la capa de valencia parte de la premisa de que los electrones se repelen entre sí, y que por tanto la geometría que adopte la molécula será aquella que minimice las repulsiones entre los pares electrónicos enlazantes y no enlazantes de la capa de valencia.

A continuación el alumno rellenará la tabla 2 que relaciona geometrías moleculares con pares de electrones enlazantes y no enlazantes partiendo de las estructuras dibujadas con ACDLabs. Para las combinaciones no presentes, el profesor propondrá nuevas moléculas para que el alumno complete la tabla 2.

Tabla 2: Geometrías moleculares según TRPEV

Pares e <sup>-</sup> libres	0	1	2	3
<b>Número de enlaces</b>				
<b>1</b>	Molécula diatómica			
<b>2</b>	Lineal	Angular	Angular	Lineal
<b>3</b>	Triangular plana	Pirámide trigonal	Forma de T	
<b>4</b>	Tetraédrica	Balancín	Plano cuadrado	
<b>5</b>	Bipirámide trigonal	Pirámide cuadrada	Pentagonal plana	
<b>6</b>	Octaédrica	Pirámide pentagonal		

Una vez se ha completado la tabla se hará incidencia en algunos aspectos estructurales de las moléculas representadas como: la falta de planaridad del anillo de piranosa de la molécula de glucosa, los ángulos y distancias de enlace para las diferentes geometrías expuestas en la tabla 2, la importancia de los pares de electrones libres en estas geometrías, la planaridad del grupo carboxilo en la molécula de asparagina y la del doble enlace en la acrilamida.

También se puede introducir el concepto de conformación de tipo bote o de tipo silla para la molécula de glucosa cíclica.

- Introducción de dos conceptos fundamentales en la reactividad orgánica: nucleófilo y electrófilo.

Se trata de dos conceptos que no forman parte del currículum de bachillerato pero que pueden fácilmente explicarse a partir de las distribuciones electrónicas y que inciden directamente en la reactividad química.

A continuación se identificarán las moléculas estudiadas como ácido o base de Lewis y por tanto sus propiedades como nucleófilo y electrófilo de forma que puedan explicar y justificar que la reacción de Maillard se inicia por un ataque del par electrónico libre del nitrógeno (densidad de carga negativa) de la asparagina sobre el carbono del aldehído (densidad de carga positiva) de la forma lineal de la glucosa [22]. Este proceso también permite introducir que la reacción de Maillard se da en medio básico ya que en medio ácido la amina se encuentra protonada y no puede actuar como nucleófilo. De esta forma también se hace mención al concepto de equilibrio químico.

- Búsqueda de información sobre la acrilamida, producto formado de esta reacción, y sobre los posibles efectos que pueden tener sobre los seres humanos.

La acrilamida se forma al cocinar ciertos alimentos como la carne, al superar una temperatura de 120°C mediante la reacción mencionada en la práctica entre la glucosa y la asparagina. También el tiempo de cocinado del alimento puede influir en dicha reacción. Por tanto, temperatura y tiempo de cocinado son los dos factores más relevantes en la formación de acrilamida en los alimentos.

Sobre los efectos de la acrilamida en los organismos, los estudios indican que se trata de un compuesto que ataca directamente al sistema nervioso tratándose de un compuesto neurotóxico, además de aumentar las posibilidades de sufrir algún tipo de cáncer [23].

#### Segunda reacción:

En una segunda reacción se ha elegido la formación de la 4-hidroxi-5-metil-3(2H)-furanona o norfuranol a partir de un compuesto de Amadori. Este producto de reacción es uno de los responsables del sabor de la carne cocinada y del olor a caramelo [24].

El procedimiento de la práctica sería el mismo que para la primera reacción, pero con la posibilidad de trabajar con otras moléculas que son responsables de otras propiedades. En este caso se proporcionaría al alumno la estructura del compuesto de Amadori, y deberán buscar a través de la red la estructura de la 4-hidroxi-5-metil-3(2H)-furanona. También se dará a conocer que el compuesto de Amadori proviene de una Base de Schiff, resultante de la reacción entre un aminoácido y un grupo carbonilo.

Los objetivos y la metodología planteada es análoga a la reacción anterior y este mismo esquema puede aplicarse a cualquiera de las reacciones que constituyen las reacciones de Maillard, dando al profesorado una posibilidad muy elevada de estructuras y métodos de abordar la relación entre la geometría molecular y las propiedades de ciertos compuestos.

### **Información adicional para el profesorado**

La reacción de Maillard engloba un conjunto complejo y numeroso de reacciones que se inician en la reacción de condensación entre una amina libre de una proteína y un azúcar reductor, generándose una base de Schiff. Esta base de Schiff puede reorganizarse dando lugar a un compuesto de Amadori. Esta etapa inicial continúa con una serie de reacciones que conducen a la formación de compuestos volátiles, con olor y también melanoidinas, responsables de dar color [25].

Del conjunto de reacciones de Maillard, las estructuras de la primera reacción corresponden a la reacción entre el aminoácido no esencial asparagina con un azúcar reductor como puede ser la glucosa o la fructosa, que se muestra en toda su extensión en la figura 10. La reacción entre el carbono carbonílico del azúcar y el nitrógeno del grupo amina del aminoácido conduce a la formación de base de Schiff, que seguidamente se descarboxila y posteriormente se producen dos reacciones; una que forma directamente acrilamida y otra que forma 3-aminopropionamida, que acaba transformándose en acrilamida [26].

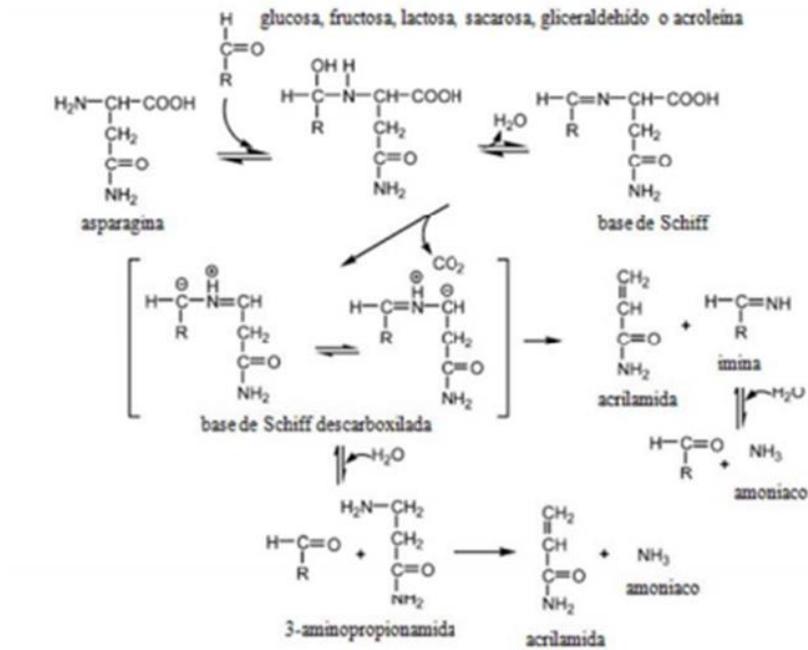


Figura 10: Conjunto de reacciones de formación de acrilamida [26]

En la segunda reacción propuesta se produce la formación del compuesto de Amadori a partir de una transposición de la base de Schiff, en la que el átomo de hidrógeno del grupo hidroxilo adyacente al enlace doble carbono-nitrógeno de la imina se desplaza hacia el nitrógeno formando un compuesto de Amadori. Posteriormente, se produce una enolización 2,3, se elimina la amina para formar una reductona que mediante la pérdida de una molécula de agua y un equilibrio ceto-enólico produce la molécula de norfuraneol [24].

En general, existe una gran variedad de aminos y azúcares reductores capaces de reaccionar y formar una gran variedad de productos. En las reacciones propuestas en esta práctica, los productos finales obtenidos son la acrilamida y el norfuraneol, que presentan propiedades muy diferenciadas. Por una parte, la acrilamida se absorbe fácilmente por el tubo digestivo actuando como neurotóxica, cancerígena y provocando posibles daños al feto. El problema reside en que una vez se ha formado la acrilamida, esta es estable y no desaparece significativamente hasta tiempos muy prolongados [27]. Por otra parte, el norfuraneol es el responsable del sabor característico de la carne cocinada, así como el olor tipo caramelo. Además, este compuesto es utilizado para dar aroma a algunos perfumes.

Finalmente, se debe destacar que la reacción de Maillard no tiene importancia únicamente en la cocina. El proceso de glicación que constituye la primera etapa de la reacción tiene implicaciones en enfermedades como Alzheimer, Párkinson, diabetes... Por ejemplo, una acumulación de azúcares reductores incrementa el proceso de glicación y conlleva la acumulación de AGEs (Advanced Glycation End Products) que están relacionados con las enfermedades citadas anteriormente [28-30].

## **5. CONCLUSIONES**

Las conclusiones extraídas de este trabajo son las siguientes:

Se ha relacionado de una manera práctica la gastronomía molecular con la enseñanza de la química en la educación secundaria. Para ello se han diseñado dos actividades que han permitido introducir algunos conceptos curriculares de Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato, como son la importancia del pH en los sistemas químicos y el conocimiento de la geometría molecular y su relación con la reactividad química.

Mediante esta actividad se conseguirá despertar el interés por del alumnado por la química de una forma más atractiva y menos tradicional y siempre teniendo presente la importancia de la parte conceptual y a los docentes ver cumplidas sus expectativas de ver como su alumnado tiene interés por la asignatura que imparten.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Córdova Frunz, JL. *La química y la cocina*. Primera edición. Editorial cfe. México. **1990**
- [2] *Decreto 34/2015*, BOIB núm. 73, de 15 de Mayo de 2015, por el que se establece el currículo de la Educación Secundaria Obligatoria en las Islas Baleares
- [3] *Decreto 35/2015*, BOIB núm. 73, de 15 de Mayo de 2015, por el que se establece el currículo del Bachillerato en las Islas Baleares
- [4] *Real Decreto 1105/2014*, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato
- [5] Romano Mozo, J; Balaguer Agut, L. *Ensalada y cócteles cromatográficos*. Didáctica de las Ciencias Experimentales, 74, **2013**
- [6] *Didáctica de la física y la química en los distintos niveles educativos*. Editado por Pinto Cañón, G. Madrid. **2005**
- [7] García del Moral, R; Garrido, M<sup>ª</sup>D; Rodríguez, E; Vargas Berenguel, A; Castells, P. *Química y cocina*. Universidad de Almería. **2008**
- [8] Vázquez Montalbán, M. *Los pájaros de Bangkok*. Primera edición. Editorial Planeta. **1983**
- [9] Vázquez Salas C. *Química en la cocina*. Innovación y experiencias educativas, 19, **2009**
- [10] Recuperado día 2 de Mayo de 2016 de la URL: <http://www.ecured.cu/Clorofila>
- [11] Fernández Nava, R. *¿Por qué la mayoría de plantas son verdes?*. Saber más. 9, **2016**
- [12] Ruíz Martínez, J. *Física y química, Volumen II*. Primera edición. Editorial Mad, S.L. Sevilla. **2003**
- [13] Moreno Limón S; Guerra Cantú JA; Cárdenas Ávila ML; Núñez González MA; Gámez González H; Villarreal Garza JA. *Determinación de carotenoides y clorofila en frutos secos de cuatro variedades de Chile*. Proceedings del XII Congreso Nacional de ciencia y tecnología de los alimentos. Puesto. Guanajuato, México. **2010**

- [14] ISO 10260. *Water quality measurement of biochemical parameters spectrophotometric determination of chlorophyll-a concentration*. Ginebra, International Organization for Standardization: 1-6. **1992**
- [15] Nusch, EA. *Comparison of different methods for chlorophyll and phaeopigments determination*. Archiv für Hydrobiologie Beiheft Ergebnisse der Limnologie 14, 14-36. **1980**
- [16] Rodés García, R; Collazo Ortega, M. *Manual de prácticas de fotosíntesis*. Primera edición. Editorial Las prensas de ciencias. México. **2006**
- [17] *Hojas de seguridad*. Ministerio de Empleo y Seguridad Social. Recuperado día 16 de Mayo de 2016 de la URL: [www.insht.es](http://www.insht.es)
- [18] Heaton, JW; Marangoni, AG. *Chlorophyll degradation in processed foods and senescent plant tissues*. Trends Food Science. 7, 8-15. **1996**
- [19] National Institutes of Health. *Dietary Reference Intakes for Thiamin, Riboflavin, Niacin, Vitamin B6, Folate, Vitamin B12, Pantothenic Acid, Biotin, and Choline*. National Academies Press. Washington DC. **1998**
- [20] ACDLabs Chem Steckh. Verión Windows 7. Fecha de lanzamiento: 7 de noviembre de 2013. Descarga gratis: <http://www.acdlabs.com/resources/freeware/chemsketch/>
- [21] Harper, H. *Manual de Química Fisiológica*. Decimoséptima edición. Editorial El Manual Moderno S.A. México. **1980**
- [23] Friedman, M. *Chemistry, biochemistry, and safety of acrylamide. A review*. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 51, 4504-4526. **2003**
- [22] Gilbert & Martin, Harcourt. *Experimental Organic Chemistry 5th Edition*. Brooks Cole. **2010**
- [24] Schleicher, E; Schieberle, P. *The Maillard reaction: recent advances in food and biomedical sciences*. Edición ilustrada. Editorial Blackwell. **2008**
- [25] Nursten, H. *The Maillard reaction: chemistry biology and implications*. Editorial RSC. Londres. **2005**
- [26] Friedman, M; Levin, C. Review oh methods for the reduction of dietary content and toxicity of acrylamide. Journal of agricultural and food chemistry. 56, 6113-6140. **2008**
- [27] Enriquez-Fernández, BE; Sosa-Morales, ME. *Acrilamida en alimentos: sus causas y consecuencias*. Temas selectos de Ingeniería de Alimentos. 4-2, 1-13. **2010**

[28] Ahmed, N. *Advanced glycation end products-role in pathology of diabetic complications*. Diabetes Research and Clinical Practice. **2005**

[29] Miranda, HV; Outeiro TF. *The sour side of neurodegenerative disorders: the effects of protein glycation*. Journal of pathology. 221, 13-25. **2010**

[30] Yamamoto, A; Simonsen, A. *The elimination of accumulated and aggregated proteins: a role for aggrephagy in neurodegeneration*. Neurobiology of disease. 43, 17-28. **2011**