



UNIVERSIDAD DE LA RIOJA

TRABAJO FIN DE ESTUDIOS

Título

Incorporación de simulaciones tridimensionales en el aprendizaje de Química y Biología

Autor/es

JORGE GONZÁLEZ RODRÍGUEZ

Director/es

JUDITH MILLÁN MONEO

Facultad

Escuela de Máster y Doctorado de la Universidad de La Rioja

Titulación

Máster Universitario de Profesorado, especialidad Física y Química

Departamento

QUÍMICA

Curso académico

2017-18



Incorporación de simulaciones tridimensionales en el aprendizaje de Química y Biología, de JORGE GONZÁLEZ RODRÍGUEZ

(publicada por la Universidad de La Rioja) se difunde bajo una Licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 Unported.

Permisos que vayan más allá de lo cubierto por esta licencia pueden solicitarse a los titulares del copyright.

© El autor, 2018

© Universidad de La Rioja, 2018

publicaciones.unirioja.es

E-mail: publicaciones@unirioja.es

Trabajo de Fin de Máster

Incorporación de simulaciones tridimensionales en el aprendizaje de Química y Biología

Autor:

Jorge González Rodríguez

Tutor/es: Judith Millán Moneo

MÁSTER:

Máster en Profesorado, Física y Química (M02A)

Escuela de Máster y Doctorado



**UNIVERSIDAD
DE LA RIOJA**

AÑO ACADÉMICO: 2017/2018

RESUMEN	1 – 2
1. INTRODUCCIÓN	3 – 4
2. OBJETIVOS Y COMPETENCIAS.....	5 – 8
2.1. Objetivos generales y específicos	5 – 7
2.2. Competencias	7 – 8
3. MARCO TEÓRICO	9 – 14
4. ESTADO DE LA CUESTIÓN	15 – 18
5. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN DIDÁCTICA	19 – 65
5.1 Descripción de la metodología propuesta	22 – 64
5.1.1 <i>Práctica 1: Química orgánica básica (I)</i>	22 – 27
5.1.2. <i>Práctica 2: Química orgánica básica (II)</i>	28 – 33
5.1.3. <i>Práctica 3: Bioquímica (I): Glúcidos</i>	34 – 42
5.1.4. <i>Práctica 4: Bioquímica (II): Lípidos</i>	43 – 49
5.1.5. <i>Práctica 5: Bioquímica (III): Proteínas</i>	50 – 56
5.1.6. <i>Práctica 6: Bioquímica (IV): Ácidos nucleicos</i>	57 – 63
5.1.7 <i>Evaluación de la metodología propuesta</i>	64 – 65
6. DISCUSIÓN	67 – 71
6.1. Viabilidad político-cultural	67
6.2. Viabilidad de conocimiento	68
6.3. Viabilidad concreta	68 – 71
6.4. Viabilidad económica	71 – 72
7. CONCLUSIONES	73 – 77
8. REFERENCIAS	79 – 83

RESUMEN

El aprendizaje de la Biología y la Química ha supuesto una serie de dificultades para el alumnado. Así, uno de los principales problemas observados para ambas materias es la dificultad de transformar las estructuras planas de las biomoléculas orgánicas, presentadas en los libros de texto, a su distribución tridimensional. Esta propuesta de innovación elabora una metodología basada en seis etapas para mejorar el rendimiento académico del alumnado en Química y Biología y fomentar la visión tridimensional del alumnado. Para ello, se utilizarán distintos programas de edición y visualización de moléculas con el objetivo de construir simulaciones tridimensionales de compuestos orgánicos. Así, en las dos primeras etapas se construirán y analizarán moléculas orgánicas, centrándose en los diferentes grupos funcionales que las constituyen y sus consecuencias estructurales. Posteriormente, las cuatro últimas etapas estudiarán los componentes estructurales biológicos que constituyen la base fisicoquímica de la vida: glúcidos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos, centrándose en la complejidad tridimensional de los compuestos que forman y las interacciones que establecen para ello.

PALABRAS CLAVE

Simulación por ordenador, estructura tridimensional, biomolécula orgánica, proteína, ácido nucleico, carbohidrato, lípido, software computacional 3D.

ABSTRACT

Biology and Chemistry learning involves a list of difficulties for the student body. One of the main problems in the field of both subjects is the difficulty of translating planar structure of organic biomolecules, collected in textbooks, into their real three-dimensional distribution. This innovation project involves a 6-stage methodology to increase the academic efficiency of the students of Chemistry and Biology and enhances spatial skills of the student body. To reach that goals, some molecule editor and visualizers are used to build 3D simulations of the organic molecules and represent 3D structure of biomolecules. Thus, organic molecules will be built and analyzed in the first two stages, focusing on the different functional groups that constitute them and their structural consequences. Subsequently, the last four stages will study the biological structural components which constitute the basis of life: carbohydrates, lipids, proteins and nucleic acids, focusing on the three-dimensional complexity of their structures.

KEYWORDS

Computer simulation, 3D structure, organic biomolecule, protein, nucleic acid, carbohydrate, lipid, computational 3D software.

1. INTRODUCCIÓN

El Trabajo Fin de Máster (TFM) supone la finalización del período de formación del futuro docente y el reflejo de todas las competencias adquiridas durante la realización de todas las asignaturas impartidas en el Máster en Profesorado de Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato, Formación Profesional y Enseñanza de Idiomas y en el período de prácticas. Por tanto, el resultado de todo el período de aprendizaje se manifiesta en la realización de este TFM. Según la guía para la realización de este, existen dos modalidades de Trabajo Fin de Máster: propuesta de innovación educativa, centrada en la optimización de las condiciones de enseñanza-aprendizaje de los contenidos de la especialidad mediante un enfoque innovador, o proyecto de investigación educativa, en el cual se testea la propuesta educativa de acuerdo con el método científico, presentando unos resultados y obteniéndose unas conclusiones derivadas de su aplicación.

El presente TFM es un Proyecto de Innovación desarrollado para las materias de Química y Biología, centrado en mejorar el rendimiento del aprendizaje del alumnado en un área común de ambas materias: la Bioquímica. De acuerdo con el Decreto 21/2015 del Boletín Oficial de La Rioja (BOR) del 26 de junio,¹ ciertos contenidos desarrollados en ambas asignaturas en el 2º curso de Bachillerato están íntimamente relacionados, por lo que cualquier mejora en el proceso de enseñanza-aprendizaje de éstos supondrá un efectivo avance en el rendimiento académico de ambas áreas.

Para ello, se ha elaborado una propuesta de intervención didáctica que constará de 6 prácticas basadas en la visualización y construcción de moléculas orgánicas y biomoléculas mediante el uso de diferentes editores y visualizadores moleculares de uso libre, utilizados en el ámbito de la química computacional. Así, se trata de una propuesta interdisciplinar de innovación que pretende mejorar no solamente el resultado académico en ambas materias, sino potenciar al mismo tiempo otras habilidades transversales de alumnado de la modalidad de Ciencias.

Por lo tanto, de acuerdo con la guía de elaboración del TFM, el presente proyecto de innovación mostrará los objetivos principales y específicos sobre los que se ha elaborado la intervención didáctica, así como las competencias que se adquieren. Además, se incorporarán los fundamentos teóricos en los que se basa dicha propuesta, teniendo en cuenta los contenidos trabajados en el máster, y se mostrarán los antecedentes de la cuestión y las aportaciones recientes sobre las que se centra el TFM. Posteriormente, se detallará de forma exhaustiva la intervención didáctica propuesta, y se discutirá acerca de la viabilidad real de la implementación de ésta, así como los beneficios que se pueden alcanzar y los inconvenientes que se puedan llegar a percibir. Finalmente, se recogerán los logros alcanzados con el trabajo propuesto y una reflexión crítica sobre la elaboración del TFM.

2. OBJETIVOS Y COMPETENCIAS

En este apartado, se tratarán los objetivos generales y específicos que se persiguen con la propuesta innovadora. Además, se analizarán las competencias que la propuesta innovadora pretende adquirir.

2.1. Objetivos generales y específicos

La propuesta de innovación educativa se ha elaborado para alcanzar una serie de objetivos generales y específicos enfocados al alumnado de 2º de Bachillerato de las asignaturas de Química y Biología, de acuerdo con los contenidos, criterios de evaluación y estándares de aprendizaje evaluable recogidos en el Decreto 21/2015 del B.O.R.¹ Así, los objetivos generales recogen los resultados de aprendizaje pretendidos al realizar todo el proceso descrito en la metodología, mientras que los objetivos específicos se han diseñado para cubrir los contenidos, criterios de evaluación y estándares evaluables de aprendizaje de las materias analizadas de acuerdo con la legislación vigente.¹

Los objetivos generales (OG) que la propuesta de innovación trabaja se detallan a continuación:

- **OG1:** Mejorar el rendimiento del alumnado de Química y Biología de 2º de Bachillerato.
- **OG2:** Potenciar la visión espacial del alumnado en el área de la Química y Biología.
- **OG3:** Desarrollar la capacidad de transformación de imágenes de biomoléculas orgánicas planas a complejos estructurales tridimensionales.
- **OG4:** Acercar herramientas de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) propias del ámbito universitario al alumnado preuniversitario.
- **OG5:** Relacionar los contenidos desarrollados en dos ramas diferentes de la ciencia: biología y química.

Una vez desglosados los objetivos generales que la propuesta de innovación pretende conseguir, se detallarán a continuación los objetivos específicos (OE) de dicho proyecto:

- **OE1:** Estudiar la estructura de los compuestos orgánicos más sencillos: alcanos, alquenos y alquinos.
- **OE2:** Observar las características estructurales de la ciclación de alcanos y los derivados del benceno.
- **OE3:** Diferenciar los tipos de grupos funcionales: alcoholes, aldehídos, cetonas, éteres, ácidos, ésteres, aminas y amidas.
- **OE4:** Construir biomoléculas sencillas con los diferentes grupos funcionales.
- **OE5:** Formular y nombrar de forma adecuada los compuestos orgánicos según la nomenclatura aceptada por la *International Union of Pure and Applied Chemistry* (IUPAC).
- **OE6:** Diferenciar la composición estructural de la unidad fundamental de los diferentes tipos de biomoléculas orgánicas.
- **OE7:** Entender la ciclación de los monosacáridos y las características estructurales de la formación del enlace hemiacetal.
- **OE8:** Analizar los monosacáridos más comunes: pentosas y hexosas.
- **OE9:** Comprender el ensamblaje de los disacáridos y la creación del enlace o-glucosídico.
- **OE10:** Examinar los disacáridos y oligosacáridos biológicamente relevantes.
- **OE11:** Observar la estructura y composición de los distintos tipos de lípidos: glicéridos, fosfolípidos, terpenos y esteroides.
- **OE12:** Observar la estructura y composición de los 20 aminoácidos proteicos.
- **OE13:** Comprender la creación del enlace peptídico en el ensamblaje de los dipéptidos con sus características estructurales.
- **OE14:** Examinar las diferentes estructuras de las proteínas, con ejemplos de diferentes polipéptidos.

- **OE15:** Estudiar los distintos tipos de bases nitrogenadas, y los distintos enlaces que establecen con el resto de las unidades que forman los nucleótidos.
- **OE16:** Analizar la estructura secundaria propuesta por Watson y Crick para el ácido desoxirribonucleico (ADN), centrándose en la complementariedad entre bases nitrogenadas y sus diferentes puntos de contacto.
- **OE17:** Comparar las características estructurales de la doble hélice de Watson y Crick (WC) con otras estructuras secundarias presentes en el ADN, señalando la importancia de los enlaces de hidrógeno en su estabilización.

2.2. Competencias

Una vez analizados los objetivos generales y específicos que se pretenden desarrollar con la propuesta de innovación, se detallarán a continuación las competencias básicas que dicha propuesta plantea. Para ello, se toman como referencia las competencias clave en el Sistema Educativo Español, desarrolladas en la orden Orden ECD/65/2015 el 21 de Enero de 2015, publicada en el BOE.² Por lo tanto, las competencias a adquirir por la propuesta de innovación son:

- Competencia digital (CD):

- **CD1:** Se utilizan diferentes recursos TIC para la construcción y visualización tridimensional de biomoléculas orgánicas.
- **CD2:** Se desarrollan diversas destrezas relacionadas con el acceso y gestión de la información almacenada en diferentes repositorios estructurales de biomoléculas: *biotopics*,³ *Protein Data Bank*,⁴ etc.
- **CD3:** Se fomenta la participación, la motivación y la curiosidad por el aprendizaje mediante el uso de las tecnologías utilizadas en el ámbito universitario.

- Competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología (CMCT): Esta competencia se desarrollaría en la dimensión de ciencia y tecnología:

- **CMCT1:** se trabajan conceptos relativos a la química y a la biología manipulando herramientas tecnológicas mediante el procesado de datos

científicos para la adquisición de un conocimiento transversal e interconectado de ambas materias.

- Competencia lingüística (CL):

- **CL1**: Se adquiere terminología específica del ámbito de la bioquímica y de la nomenclatura de compuestos orgánicos.

- Aprender a aprender (CAA):

- **CAA1**: Se valora la importancia de la comprensión del funcionamiento de los componentes biológicos del ser humano, integrando en la estructura del conocimiento los conceptos esenciales de la bioquímica.

- Sentido de la iniciativa y espíritu emprendedor (CSIEE):

- **CSIEE1**: Se potencia, con la configuración diseñada de actividades individuales, el trabajo autónomo y la capacidad de reflexión sobre aspectos estructurales de las biomoléculas orgánicas.

3. MARCO TEÓRICO

En este apartado, se tratarán los diferentes fundamentos teóricos en los que se basa el proyecto de investigación, aunándolo con los contenidos desarrollados en el máster.

Tal y como señala Johnstone,⁵ es necesario proponer un modelo de aprendizaje que supere las posturas estáticas de un único modelo y aúne los beneficios de cada uno. Así, este investigador propone un modelo^{5,6} basado en el procesamiento de la información, que aúna a su vez ciertos aspectos de las teorías de aprendizaje significativo de Ausubel⁷ y Piaget y sus discípulos.⁸ (Figura 1).

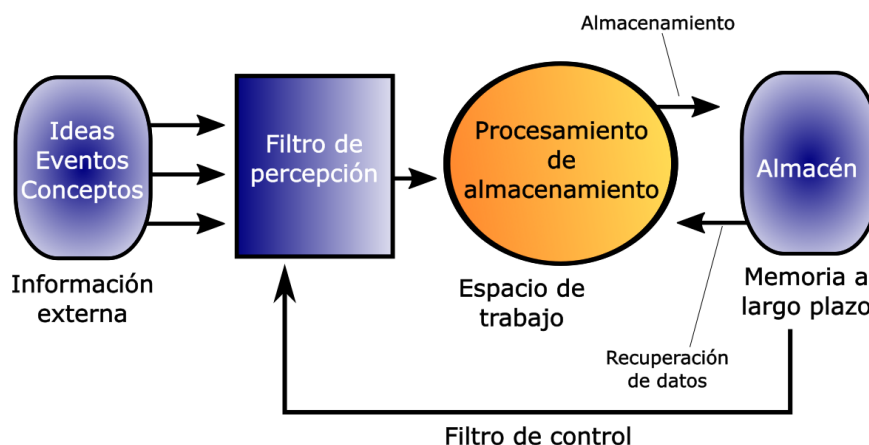


Figura 1. Esquema del modelo de aprendizaje propuesto por Johnstone, adaptado de ref. 5.

El proyecto de innovación desarrollado en este TFM, dividido en seis prácticas, sigue el modelo teórico descrito por Johnstone.⁵ Una vez que el alumno ha recibido los contenidos tratados y los comienza a almacenar en su memoria a corto plazo, la metodología propuesta permite que conecte dichos contenidos previamente asimilados con la visualización tridimensional de las biomoléculas orgánicas, percibiendo las características estructurales y las conexiones que se establecen entre sus constituyentes. Así, el resultado es que aumente la motivación del alumno, al percibir de forma muy visual las estructuras tridimensionalmente de las biomoléculas y utilizar herramientas propias del ámbito universitario, construyendo su propio conocimiento y haciendo que el

aprendizaje sea significativo. Además, las prácticas propuestas pondrían en marcha la memoria operativa del alumno, estableciendo conexiones entre la memoria a corto plazo y la memoria a largo plazo y traduciéndose en un aprendizaje eficaz. Al mismo tiempo, esta propuesta de innovación se asienta en que fomenta la motivación del alumnado en el aprendizaje de Biología y Química. Estos conceptos se presentan de forma atractiva al alumnado, involucrándolos en la importancia de la tridimensionalidad de las estructuras con su construcción. Así, esta metodología toca los tres componentes de la motivación: componente de expectativa, puesto que el alumno es capaz de llevar a cabo la tarea propuesta; componente de valor, porque percibe el valor que esta tarea tiene y las habilidades que le van a potenciar, y el componente afectivo, porque el estudiante asimila las emociones al realizar esa tarea. Todas estas teorías del aprendizaje y la motivación han sido tratadas durante el Máster en la asignatura Aprendizaje y desarrollo de la Personalidad.

Por otro lado, uno de los aspectos más importantes de la aplicación de este proyecto de innovación es la incorporación de técnicas computacionales al aula de bachillerato para la visualización tridimensional de estructuras biológicas. Existen muchas formas de representar moléculas orgánicas para la enseñanza de la química.⁹ A pesar de los intentos de muchos libros de texto por mostrar imágenes de biomoléculas en las que se intuye su estructura tridimensional, la realidad es que no dejan de ser imágenes bidimensionales.^{10,11} Así, Wu y Shah¹² señalan que la incorporación de herramientas de visualización permite superar los errores conceptuales inherentes a las representaciones espaciales. De hecho, diversos estudios apuntan que el uso de estos instrumentos mejoran el rendimiento en química general y acentúan la comprensión de conceptos abstractos.¹³⁻¹⁵ Por consiguiente, parece evidente que las herramientas de visualización resultan efectivas para ayudar a los estudiantes en la comprensión de diversos conceptos relacionados con la química y en la potenciación de sus habilidades espaciales.

En este contexto, este proyecto de investigación utiliza las herramientas computacionales propias del mundo de la investigación y las introduce en el aula de bachillerato. Es una clara aplicación de TIC propias del entorno universitario al ámbito preuniversitario. Así, la metodología que se detallará en el punto 5 de

este TFM se ha construido de forma que, en primer lugar, se ha identificado los problemas relativos a la enseñanza y aprendizaje relativos a la física y la química; en segundo lugar, se ha analizado críticamente las actuaciones relativas a la docencia centrada en dicho problema; en tercer lugar, se ha planteado una propuesta alternativa docente de carácter innovadora, utilizando las TIC para solventar los problemas detectados y mejorar el aprendizaje que se ha traducido en el diseño y desarrollo de este proyecto de innovación. Por lo tanto, este proyecto tendría una intrínseca relación con la asignatura Innovación docente e iniciación a la investigación educativa. De hecho, fijándose en la guía docente de esta asignatura,¹⁶ las competencias específicas que figuran en dicha guía son:

- **CE22:** Identificar los problemas relativos a la enseñanza y aprendizaje de las materias de la especialización y plantear alternativas y soluciones.
- **CE23:** Conocer y aplicar propuestas docentes innovadoras en el ámbito de la especialización cursada.
- **CE24:** Analizar críticamente el desempeño de la docencia, de las buenas prácticas y de la orientación utilizando indicadores de calidad.
- **CE25:** Conocer y aplicar metodologías y técnicas básicas de investigación y evaluación educativas y ser capaz de diseñar y desarrollar proyectos de investigación, innovación y evaluación.

Por lo tanto, se puede concluir que la propuesta de investigación formulada cubre todas las competencias específicas de esta asignatura y sus fundamentos se han utilizado para elaborar este TFM.

Asimismo, la aplicación de las TIC al ámbito de la escuela también ha sido un eje importante en la asignatura de Complementos para la formación disciplinar. Una parte central de dicha asignatura consistió en llevar a cabo experimentos realizados con el *smartphone*, lo que ha permitido entrar en contacto con otra serie de metodologías innovadoras para fomentar el aprendizaje de la física y la química. De hecho, parte de la bibliografía aportada en dicha asignatura ha sido relevante en la elaboración de la presente propuesta de innovación. Por lo tanto,

se puede aseverar que los contenidos asimilados en esta asignatura han contribuido en el desarrollo de este TFM.

Además, este proyecto de investigación está construido en torno a los contenidos que figuran en el Decreto 21/2015 del BOR del 26 de junio.¹ Así, el conocimiento de los diferentes currículos de Bachillerato que se han utilizado en este proyecto, así como el tratamiento y la selección de la información que figura en dicho Decreto ha sido ampliamente tratado en la asignatura de Aprendizaje y Enseñanza de la Física y la Química. Igualmente, el diseño de la metodología del proyecto, siguiendo una temporalización adecuada, sus criterios de evaluación y la integración de técnicas audiovisuales que estimulan el aprendizaje activo del alumnado ha sido el eje vertebral de esta asignatura, y, por lo tanto, la propuesta de innovación docente no podría haberse llevado a cabo sin los conocimientos adquiridos en esta asignatura. Y si acudimos, nuevamente, a la guía docente de esta asignatura,¹⁶ este proyecto de innovación demuestra la adquisición de todas las competencias específicas y generales de la misma:

- **CG01:** Conocer los contenidos curriculares de las materias relativas a la especialización docente correspondiente, así como el cuerpo de conocimientos didácticos en torno a los procesos de enseñanza y aprendizaje respectivos.
- **CG02:** Planificar, desarrollar y evaluar el proceso de enseñanza y aprendizaje potenciando procesos educativos que faciliten la adquisición de las competencias propias de las respectivas enseñanzas, atendiendo al nivel y formación previa de los estudiantes, así como a la orientación de los mismos, tanto individualmente como en colaboración con otros docentes y profesionales del centro.
- **CG03:** Buscar, obtener, procesar y comunicar información (oral, impresa, audiovisual, digital o multimedia), transformarla en conocimiento y aplicarla en los procesos de enseñanza y aprendizaje en las materias propias de la especialización cursada
- **CG04:** Concretar el currículo que se vaya a implantar en un centro docente participando en la planificación colectiva del mismo; desarrollar y aplicar

metodologías didácticas, tanto grupales como personalizadas, adaptadas a la diversidad de los estudiantes.

- **CG06:** Adquirir estrategias para estimular el esfuerzo del estudiante y promover su capacidad para aprender por sí mismo y con otros, y desarrollar habilidades de pensamiento y de decisión que faciliten la autonomía, la confianza e iniciativa personales.
- **CE16:** Conocer los desarrollos teórico-prácticos de la enseñanza y el aprendizaje de las materias correspondientes.
- **CE17:** Transformar los currículos en programas de actividades y de trabajo
- **CE18:** Adquirir criterios de selección y elaboración de materiales educativos•
- **CE19:** Fomentar un clima que facilite el aprendizaje y ponga en valor las aportaciones de los estudiantes
- **CE20:** Integrar la formación en comunicación audiovisual y multimedia en el proceso de enseñanza aprendizaje
- **CE21:** Conocer estrategias y técnicas de evaluación y entender la evaluación como un instrumento de regulación y estímulo al esfuerzo.

Por consiguiente, la contribución de esta asignatura en el desarrollo del presente TFM ha sido indudable.

Tres asignaturas adicionales se han cursado durante la realización de este máster. Estas asignaturas son: Prácticum; Procesos y Contextos Educativos y Sociedad, Familia y Educación. Los conocimientos adquiridos con la realización de estas asignaturas se han integrado en la elaboración de esta propuesta.

Por un lado, la asignatura del Prácticum ha permitido percatarse de los problemas reales que se observan en el aula y de las dificultades de aprendizaje que tienen el alumnado para asimilar los conceptos en química y biología, especialmente aquellos que requieren concepción espacial. Asimismo, esta asignatura ha puesto de relieve la complejidad de introducir una serie de actividades adicionales en el cargado calendario académico, y teniendo en cuenta este aspecto, se ha diseñado la metodología de forma que el encaje sea lo más apropiado posible.

Por otro lado, la asignatura Procesos y Contextos educativos ha contribuido en la elaboración de este TFM de forma conceptual. Es decir, los fundamentos desarrollados en esta asignatura han proporcionado la base teórica para entender diferentes nociones utilizadas en este TFM. Además, esta propuesta de investigación se ha centrado en potenciar uno de los tres componentes didácticos de los procesos de enseñanza-aprendizaje, aspecto clave tratado en dicha asignatura: el alumno, centrándose en sus capacidades y en mantener su motivación por el aprendizaje. Igualmente, la elaboración de esta propuesta de innovación ha tenido en cuenta las diferentes estrategias trabajadas en esta asignatura. Fijándose en la guía docente de la asignatura, uno de los resultados del aprendizaje es “seleccionar y utilizar los enfoques y las estrategias más adecuadas para mejorar de manera continua la calidad en los centros de secundaria, aproximándolos hacia un planteamiento de educación inclusiva.” Así, esta propuesta persigue precisamente la mejora de la calidad educativa, si bien es cierto que se aplicaría al ámbito de bachillerato y no de secundaria.

Finalmente, es imprescindible ser consciente del entorno sociocultural del alumnado y del centro a la hora de elaborar una propuesta de innovación. Ser conscientes de los recursos materiales y personales reales que posee un centro educativo es vital a la hora de elaborar un proyecto de innovación coherente. Así, se ha elaborado un proyecto de innovación que se adecúe a los recursos que el centro y el alumnado tienen, de forma que la viabilidad de este sea posible, adaptando la metodología en este sentido, tal y como se detallará en el punto 6. Este proyecto podría haberse sobredimensionado e involucrado muchos más recursos que los propuestos (ya sea en forma de equipamiento más novedoso, un software más costoso, etc.); sin embargo, esta propuesta de innovación docente es sensible a las diferentes realidades existentes en los centros educativos, y por ello se ha elaborado una propuesta objetiva y equilibrada, utilizando los recursos existentes en cualquier centro y un *software* sin ningún tipo de coste, como se detallará en el punto 5. Todos estos aspectos del ámbito sociológico han sido tratados en la asignatura de Sociedad, Familia y Educación con la elaboración de los distintos trabajos propuestos, y este proyecto es un reflejo de la sensibilidad adquirida en esta asignatura.

4. ESTADO DE LA CUESTIÓN

En este apartado, se expondrán los antecedentes y aportaciones recientes relativos al tema tratado.

El aprendizaje de la ciencia siempre ha llevado consigo una serie de dificultades, ya sea conceptuales, actitudinales, metodológicas, etc. que han sido estudiadas en profundidad por muchos autores.^{5,17,18} Estos problemas en el ámbito de la educación han abarcado todas las ramas de la ciencia, observándose dificultades en las ramas de la física,¹⁹ la química²⁰⁻²² y la biología.^{23,24}

Si el objetivo es que se consiga una enseñanza de calidad, eficaz y acorde con el contexto actual, es necesario un replanteamiento del paradigma de la enseñanza de las ciencias experimentales. Así, en los últimos años, muchos estudios han reflexionado en busca de optimizar el proceso enseñanza-aprendizaje de las ciencias, demandando un cambio en el modelo de educación, haciendo al estudiante más partícipe en ese proceso de aprendizaje.^{5,25-30}

En este proceso de renovación de la enseñanza, se han utilizado muchas estrategias diferentes para mejorar el proceso de aprendizaje, como el uso de *smartphones* para la realización de experimentación en física y química³¹⁻³⁴ o la incorporación de diferentes aplicaciones informáticas y móviles para potenciar el aprendizaje de las ciencias.³⁵⁻³⁸

Así, la Figura 2 a-d recoge diferentes experimentos realizados con el *smartphone*,³¹⁻³³ y el uso de diferentes aplicaciones informáticas (e-f).^{36,38}

En el ámbito de la química orgánica y la bioquímica, los estudiantes aprenden a dibujar moléculas y biomoléculas de formas muy diferentes. Estas moléculas son dibujadas en papel, de forma lineal o mediante dibujos sencillos que pretenden emular su esqueleto estructural, sin tener apenas en cuenta las características tridimensionales ni la complejidad de su ensamblaje. Además, los libros de texto, tal y como señala Dries y col.^{10,11} presentan estas estructuras como objetos bidimensionales, ignorando cómo se relacionan esas imágenes a su estructura tridimensional real. Por lo tanto, la transformación de esas representaciones bidimensionales a su estructura tridimensional real es

complejo para el alumnado, traduciéndose en dificultades a la hora de entender la estructura de los compuestos, sus enlaces intra- e intermoleculares y sus propiedades físicas.^{12,39,40} De hecho, Wu y Shah¹² señalan que muchos de los errores conceptuales que los alumnos poseen en química son debido a dificultades para operar con representaciones espaciales.



Figura 2. Diferentes experimentos realizados con smartphones (a-d)³¹⁻³³ y visualización de diferentes aplicaciones móviles e informáticas (e-f).^{36,38}

En la actualidad, estas dificultades se están intentando solventar desde muchas perspectivas, tales como son la construcción de modelos moleculares tridimensionales mediante su impresión en impresoras 3D, como se muestra en la Figura 3,⁴¹⁻⁴³ o la introducción de simulaciones tridimensionales,⁴⁴⁻⁴⁶ utilizada en el ámbito universitario y en investigación. Wu y Shaw¹² concluyen que algunas herramientas de visualización han sido efectivas para ayudar a los estudiantes a superar los tipos de errores conceptuales que surgen a causa de los problemas con las representaciones espaciales.

El presente proyecto de innovación pretende ahondar en esta última perspectiva, incluyendo las simulaciones tridimensionales en la práctica docente y permitiendo al alumnado su utilización con el objetivo de reforzar el aprendizaje

de biomoléculas orgánicas, maximizando y potenciando el rendimiento del alumnado y sus habilidades espaciales.^{10,47}

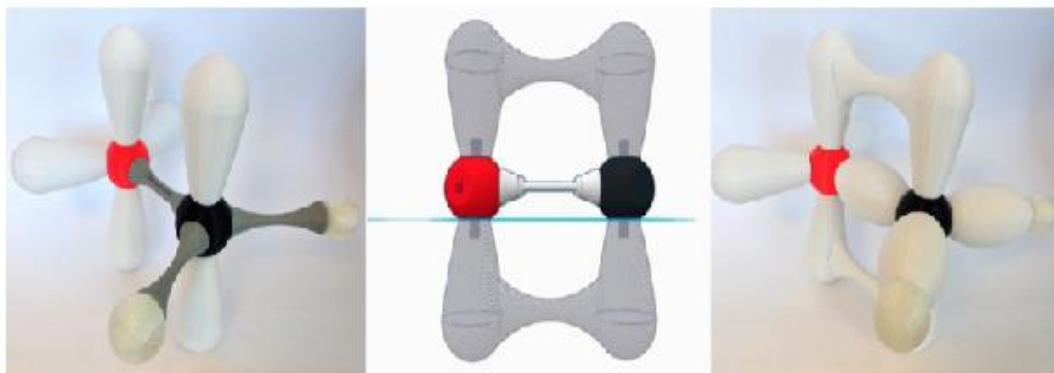


Figura 3. Modelos tridimensionales construidos con impresoras 3D.⁴³

En este sentido, y siendo conscientes de que el alumnado de educación preuniversitaria carece de conocimientos para la utilización de estos complejos programas de modelado tridimensional, se ha diseñado una metodología consistente en 6 prácticas en las que se utilizarán los apartados más sencillos de estos programas con el objetivo de visualizar y construir diferentes biomoléculas y percibir la tridimensionalidad de dichas estructuras. Dicha metodología se detallará en profundidad en el apartado 5 de este TFM.

5. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN DIDÁCTICA

En este apartado, se detallará la actuación sistemática de la propuesta de innovación planteada. La actuación propuesta consta de 6 prácticas, las cuales se separan en dos bloques diferenciados: bloque de Química Orgánica, constituido por dos prácticas; y bloque de Bioquímica, constituido por cuatro prácticas.

Dado que las prácticas diseñadas corresponden con contenidos desarrollados en dos asignaturas diferentes (Química y Biología), desglosaremos tanto los contenidos tratados como sus criterios de evaluación y estándares de aprendizaje evaluables por separado.

- Bloque I: Química Orgánica: los contenidos tratados en estas dos prácticas están relacionados con la asignatura Química de segundo de Bachillerato, quedando encuadrados en el Bloque IV: Síntesis orgánica y nuevos materiales según el decreto 21/2015 del BOR del 26 de junio.¹ Dichos contenidos se desglosan a continuación:

- Estudio de funciones orgánicas.
- Nomenclatura y formulación orgánica según las normas de la IUPAC.
- Funciones orgánicas de interés: oxigenadas y nitrogenadas, derivados halogenados, tioles y perácidos. Compuestos orgánicos polifuncionales.
- Principales compuestos orgánicos de interés biológico e industrial: materiales polímeros y medicamentos.

Los criterios de evaluación y estándares de aprendizaje evaluables asociados a dichos contenidos¹ son:

- *Criterios de evaluación:*

1. Reconocer los compuestos orgánicos, según la función que los caracteriza.
2. Formular compuestos orgánicos sencillos con varias funciones.
6. Valorar la importancia de la química orgánica vinculada a otras áreas de conocimiento e interés social.

- *Estándares de aprendizaje evaluables:*

1.1. Relaciona la forma de hibridación del átomo de carbono con el tipo de enlace en diferentes compuestos representando gráficamente moléculas orgánicas sencillas.

2.1. Diferencia distintos hidrocarburos y compuestos orgánicos que poseen varios grupos funcionales, nombrándolos y formulándolos.

6.1. Relaciona los principales grupos funcionales y estructuras con compuestos sencillos de interés biológico

- Bloque II: Bioquímica: los contenidos tratados en estas dos prácticas están relacionados con la asignatura Biología de segundo de Bachillerato, quedando encuadrados en el Bloque I: La base molecular y fisicoquímica de la vida, según el decreto d 21/2015 del 26 de junio.¹ Dichos contenidos se desglosan a continuación:

- Los componentes químicos de la célula. Bioelementos: tipos, ejemplos, propiedades y funciones.
- Las moléculas orgánicas. Glúcidos, lípidos, próticos y ácidos nucleicos.

De acuerdo con dicho Decreto,¹ los criterios de evaluación y estándares de aprendizaje evaluables asociados a dichos contenidos son:

- *Criterios de evaluación:*

3. Reconocer los diferentes tipos de macromoléculas que constituyen la materia viva y relacionarlas con sus respectivas funciones biológicas en la célula.

4. Identificar los tipos de monómeros que forman las macromoléculas biológicas y los enlaces que les unen.

5. Determinar la composición química y describir la función, localización y ejemplos de las principales biomoléculas orgánicas.

- *Estándares de aprendizaje evaluables:*

3.1. Reconoce y clasifica los diferentes tipos de biomoléculas orgánicas, relacionando su composición química con su estructura y su función.

4.1. Identifica los monómeros y distingue los enlaces químicos que permiten la síntesis de las macromoléculas: enlaces O-glucosídico, enlace éster, enlace peptídico, O-nucleósido.

5.1. Describe la composición y función de las principales biomoléculas orgánicas.

Una vez relacionada la propuesta de intervención con los documentos curriculares, se procederá a describir los materiales utilizados. Así, se precisa de una clase con equipamiento informático para todos los alumnos, así como un equipo de proyección para el adecuado seguimiento de la práctica por parte del alumnado. Además, se precisará un *software* específico para la visualización y construcción de estructuras tridimensionales. Existen muchos programas, ampliamente utilizados en investigación, que permiten la visualización tridimensional de estructuras: *Chemcraft*,⁴⁸ *Gaussview*,⁴⁹ *Avogadro*,^{50,51} *Pymol*,⁵² *Visual Molecular Dynamics*,⁵³ etc. En el presente trabajo de investigación, se optará por la utilización de dos programas gratuitos de visualización: *Avogadro*^{50,51} y *JSmol*.⁵⁴ Ambos programas, de acceso libre, se combinarán para la realización de las prácticas. Así, para el bloque de química orgánica, se utilizará el programa *Avogadro*,^{50,51} el cual, además de permitir la visualización de estructuras tridimensionales orgánicas, posibilita la construcción de moléculas orgánicas sencillas. En el bloque de bioquímica, combinaremos el anterior programa con el segundo seleccionado, que permitirá la visualización de estructuras biológicas almacenadas en el repositorio de Biotopics.³ Además, se les facilitará la descripción detallada de cada práctica para el adecuado seguimiento.

Una vez detallados los materiales utilizados, se procederá a la descripción de la aplicación de la metodología de trabajo. Las seis prácticas propuestas, de una hora de duración, se realizarán, en el aula de informática del centro en la sesión previa a la prueba escrita de cada unidad didáctica, una vez que el alumno ya tiene ciertas nociones sobre el tema. Los fundamentos biológicos y químicos seguidos en las prácticas se han elaborado de acuerdo con los libros de texto de Biología y Química de 2º de Bachillerato.^{55,56} Y los sistemas seleccionados en cada caso han sido seleccionados de acuerdo con los contenidos recogidos en el Decreto 21/2015 del BOE¹ siguiendo los dos libros de texto anteriormente indicados. Así, cada una de las 6 prácticas recoge los objetivos específicos que se pretenden conseguir con ellas, recogidos en la sección 2.1 del TFM.

5.1 Descripción de la metodología propuesta

En este apartado, se describirán detalladamente las 6 prácticas, incluyendo una pequeña introducción de cada práctica, los objetivos desarrollados y la realización práctica.

5.1.1 Práctica 1: Química orgánica básica (I)

En esta práctica, el alumno se familiariza con el software *Avogadro*,^{50,51} una herramienta que permitirá la creación de moléculas orgánicas sencillas y su visualización tridimensional. Asimismo, se repasarán los compuestos más simples de química orgánica, desarrollados en Bloque IV: Síntesis orgánica y nuevos materiales del decreto 21/2015¹ de la asignatura de Química: alcanos, alquenos, alquinos, cicloalcanos, benceno y sus derivados.

Objetivos

Los objetivos específicos que se tratarán en la práctica 1 son:

- **OE1:** Estudiar la estructura de los compuestos orgánicos más sencillos: alcanos, alquenos y alquinos.
- **OE2:** Observar las características estructurales de la ciclación de alcanos y los derivados del benceno.
- **OE5:** Formular y nombrar de forma adecuada los compuestos orgánicos según la nomenclatura IUPAC aceptada.

Realización práctica:

A continuación, se detallarán las tareas que el alumno deberá realizar en esta primera práctica. Se comenzará con los compuestos orgánicos más simples: alcanos, alquenos, y alquinos (OE1), construyendo diferentes hidrocarburos y nombrándolos de acuerdo con la nomenclatura adecuada (OE5).

Posteriormente, una vez que se haya familiarizado con el software, se procederá a estudiar la estructura de compuestos cíclicos: cicloalcanos, benceno y sus derivados, observando las características espaciales de los mismos (OE2) y nombrándolos de acuerdo con la nomenclatura aceptada (OE5).

Así, se abre el programa *Avogadro*^{50,51} situado en el escritorio. El menú de la página de inicio del programa queda recogido en la Figura 4. Tras unos minutos en los que el alumno se familiariza con las distintas posibilidades del programa, se procederá a comenzar con la práctica.

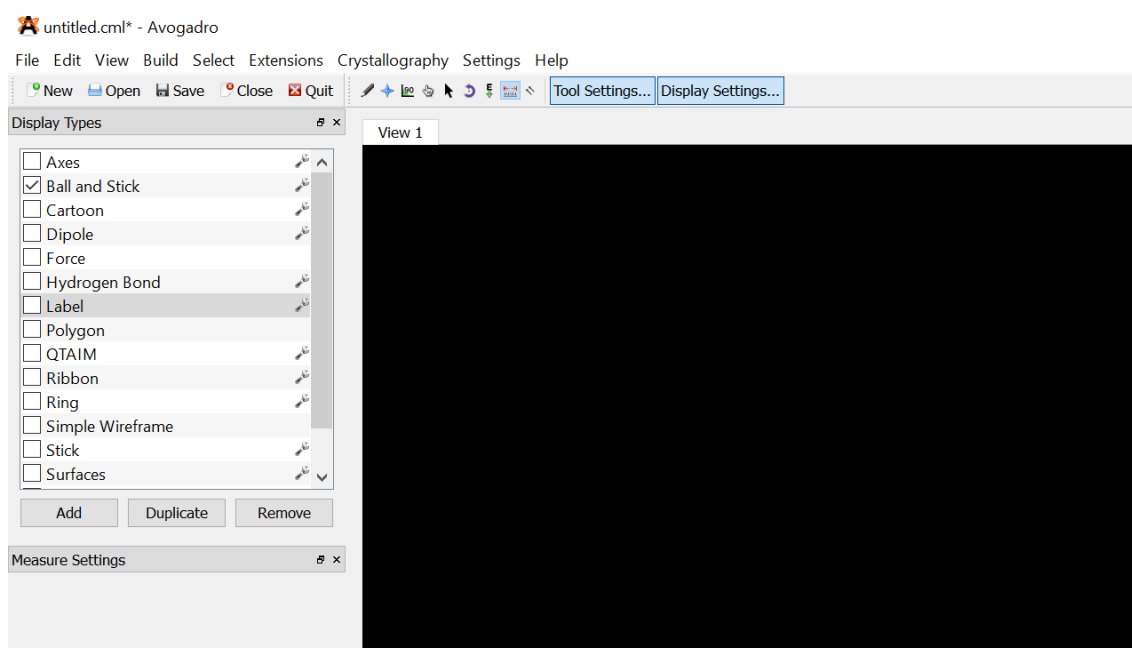


Figura 4. Menú inicial del programa.

- *Alcanos, alquenos y alquinos.*

En esta primera parte de la práctica, se estudiarán los hidrocarburos más sencillos (alcanos, alquenos y alquinos) que constituye el inicio del bloque de química orgánica de acuerdo con el libro Química.⁵⁶ Así, se selecciona la pestaña *Build – Insert – Fragment*, tal y como aparece en la Figura 5, desplegándose una ventana donde aparecen un grupo elevado de fragmentos. En este primer apartado se trabajarán los tres compuestos orgánicos indicados anteriormente, resaltados en rojo en la Figura 5.

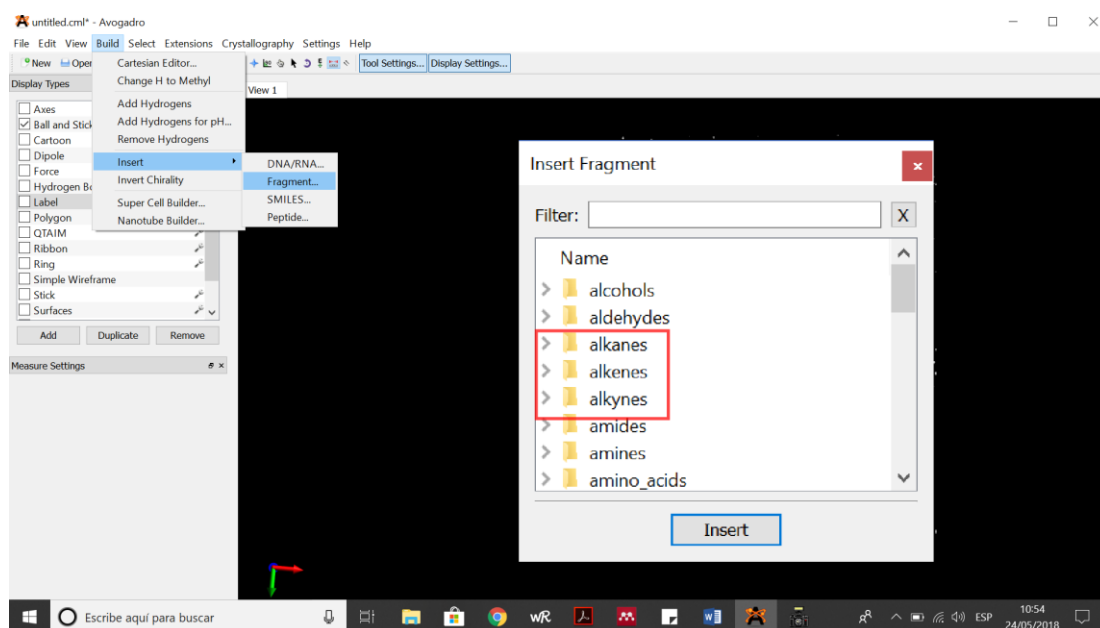


Figura 5. Menú construcción del programa *Avogadro*.^{50,51}

Se selecciona el primero de ellos, desplegándose una amplia variedad de compuestos. Se elige la molécula heptano, clicando en insertar, y se observas su estructura lineal (Figura 6, izda.). Duplicamos imagen para mantener la estructura inicial (*view – duplicate view*) y en la segunda pestaña se selecciona un hidrógeno en el carbono 3 (azul en la Figura 6) y se inserta otro fragmento: etano. Así, se obtiene el 3-etiletano (Figura 6, dcha.) y se observa su estructura tridimensional, rotando la imagen con el ratón.

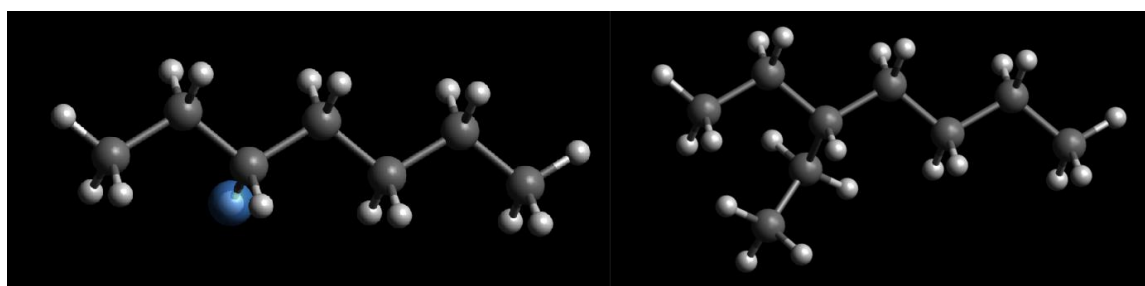


Figura 6. Estructura del heptano (izda.) y 3-etiletano (dcha.).

Se abre una nueva pestaña y seleccionamos un eteno de la lista: 1-buteno (Figura 7, izda.). Se añade un metano en posición cis es el hidrógeno 1 (Figura 7, centro), observando su estructura tridimensional. A continuación, se duplica la pantalla y se añade el mismo metano en posición trans (Figura 7, dcha.), analizando las diferencias estructurales entre ambos compuestos.

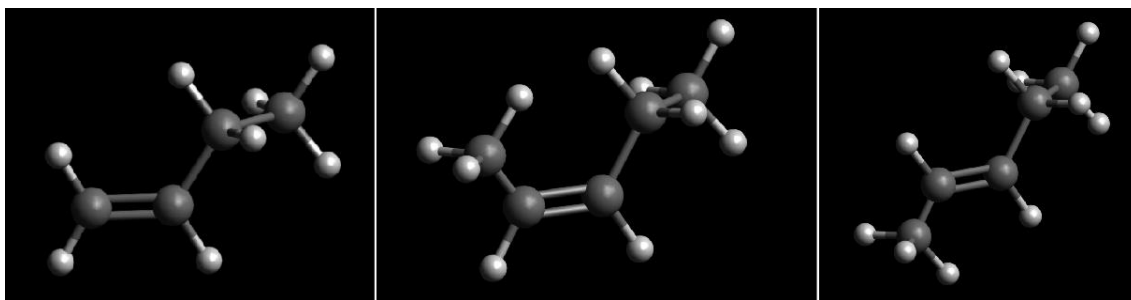


Figura 7. Estructura del 1-buteno (izda), 2-penteno en cis (centro) y 2-penteno en trans (dcha).

Abrimos una nueva pestaña y seleccionamos un etino de la lista: 1-propino. Observamos la planaridad de la estructura (Figura 8).

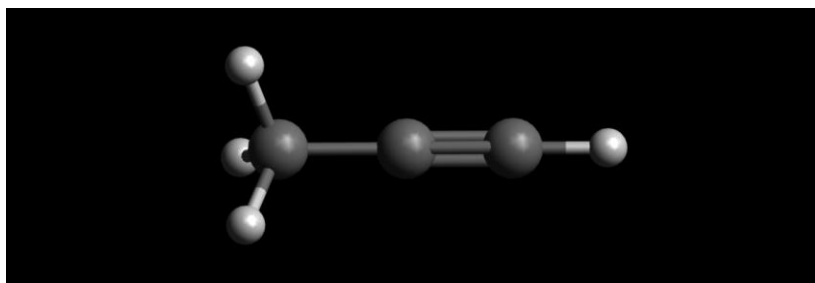


Figura 8. Estructura del 1-propino.

Una vez vistos diferentes hidrocarburos sencillos, el alumno deberá representar 2-3 hidrocarburos de cada clase, diferentes a los observados durante la explicación, nombrándolos de acuerdo con la nomenclatura adecuada, almacenando las imágenes en un informe que se entregará al final de la práctica. Lo que se pretende es que el alumno reconozca las diferencias estructurales de alcanos, alquenos y alquinos y los sepa formular de forma adecuada.

- Cicloalcanos y derivados del benceno.

En esta parte de la práctica, se estudiarán diferentes compuestos cíclicos: cicloalcanos y benceno y derivados, observando sus características espaciales. Así, se selecciona la pestaña de cicloalcanos en la sección de insertar fragmento, observando que hay una lista de distintos alcanos cíclicos. Esta práctica se centrará en los ciclos de 3-6 miembros, los más comunes dentro de la química orgánica de 2º de Bachillerato. Así, se abrirán secuencialmente un ciclopropano,

ciclobutano y ciclopentano, observando las diferencias estructurales de cada ciclo (OE2) y las formas geométricas que adoptan (Figura 9, imágenes a, b y c). En el caso de los ciclos de 6 miembros, se contemplarán dos configuraciones diferentes del ciclohexano: en forma de silla y en forma de twist (Figura 9, imagen d y e respectivamente).

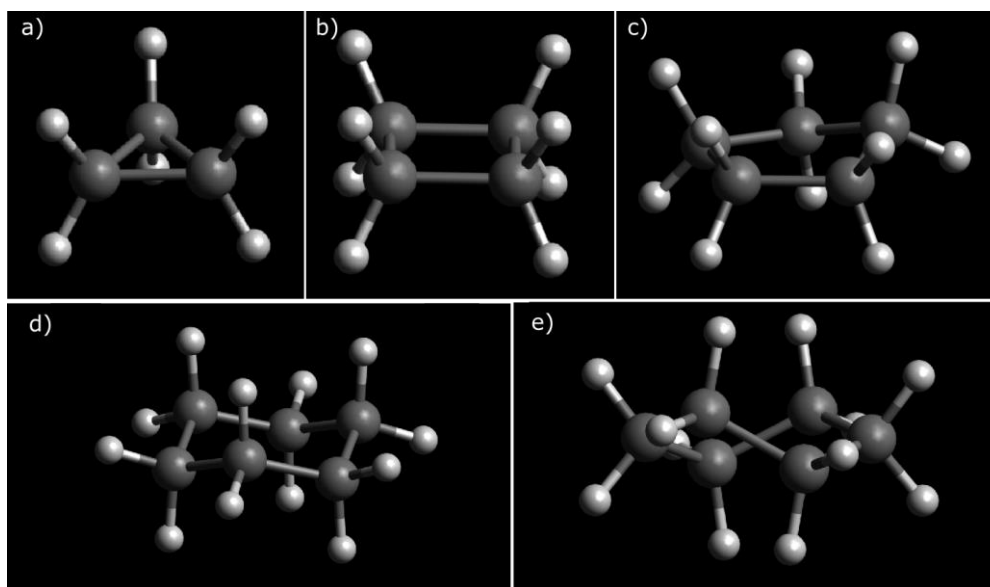


Figura 9. Estructura de diferentes alcanos cíclicos: a) ciclopropano, b) ciclobutano, c) ciclopentano, d) ciclohexano en silla y e) ciclohexano en twist

Una vez observadas las diferencias estructurales de los cicloalcanos, se estudiará el benceno y sus derivados, analizando las diferencias estructurales con los cicloalcanos. Así, se despliega el apartado de aromáticos del menú de construir y se selecciona el benceno (Figura 10, imagen a). Se analizarán las diferencias estructurales observadas con los cicloalcanos, recogándose las más importantes en el documento adjunto (OE2).

Posteriormente, se seleccionarán los derivados más importantes del benceno, estudiados durante la asignatura de química de 2º de Bachillerato: tolueno, fenol, anilina, anisol, benzaldehído y ácido benzoico (Figura 10, imagen b-g respectivamente). El alumno deberá nombrar cada uno de estos compuestos con la nomenclatura IUPAC adecuada (OE5), adjuntando una imagen de cada compuesto.

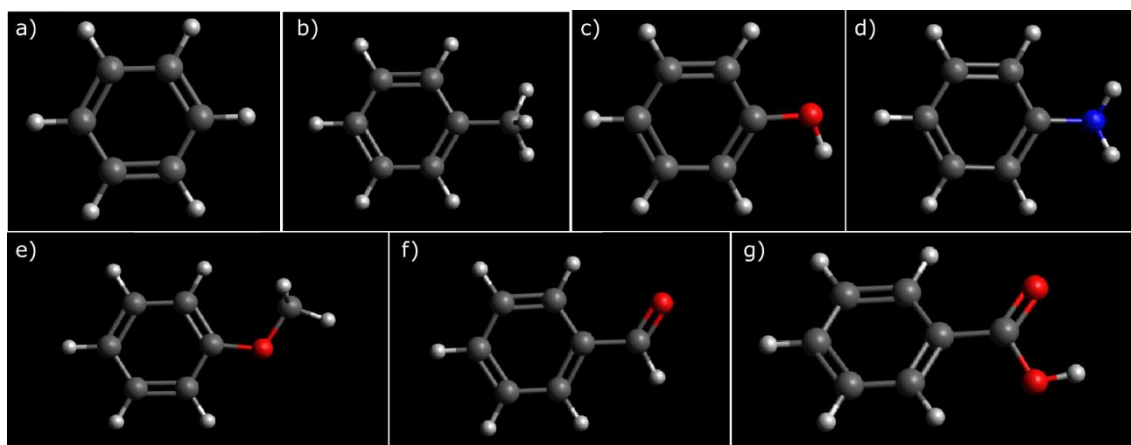


Figura 10. Estructura del benceno y sus principales derivados: a) benceno, b) tolueno, c) fenol, d) anilina, e) anisol, f) benzaldehído, g) ácido benzoico.

Posteriormente, se analizarán las características estructurales y espaciales de diferentes bencenos disustituídos. Así, a partir del benceno, se construirán orto, meta y para derivados del benceno, nombrándolos de forma adecuada según la nomenclatura IUPAC. En la Figura 11 se muestran diferentes ejemplos: (a) o-metilpropilbenceno, b) m-hidroximetilbenceno y c) p-etilmetilbenceno).

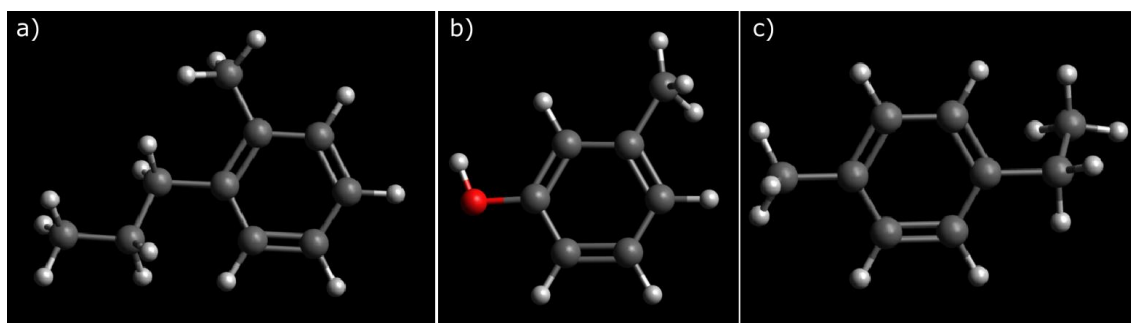


Figura 11. Estructura de diferentes derivados del benceno: a) o-metilpropilbenceno, b) m-hidroximetilbenceno y c) p-etilmetilbenceno.

El alumno deberá representar y nombrar adecuadamente benceno disustituído de cada clase, diferente a los presentados durante la explicación, y recogerlos en el informe.

Así, el resultado de esta primera práctica es que el alumno haya sido capaz de construir diferentes compuestos orgánicos sencillos (**OE1**) con el *software Avogadro*^{50,51} y se ha observado las características estructurales de estos (**OE2**). Finalmente, se ha incidido en la formulación y nomenclatura adecuada de estos compuestos (**OE5**).

5.1.2. Práctica 2: Química orgánica básica (II)

En esta práctica, el alumno, ya familiarizado con el software *Avogadro*,^{50,51} utilizará las nociones aprendidas en la anterior práctica para construir moléculas orgánicas sencillas con diferentes grupos funcionales. Así, esta práctica cubre dos contenidos desarrollados en el Bloque IV: Síntesis orgánica y nuevos materiales del decreto 21/2015¹ de la asignatura de Química: estudio de funciones orgánicas y funciones orgánicas de interés: oxigenadas y nitrogenadas. Por lo tanto, en esta práctica se tratarán los grupos funcionales siguientes: alcoholes, aldehídos, cetonas, éteres, aminas, ácidos y sus derivados, nombrando de forma adecuada todos los compuestos propuestos.

Objetivos

Los objetivos específicos que se tratarán en la práctica 2 son:

- **OE3:** Diferenciar los tipos de grupos funcionales: alcoholes, aldehídos, cetonas, éteres, ácidos, ésteres, aminas y amidas.
- **OE4:** Construir biomoléculas sencillas con los diferentes grupos funcionales.
- **OE5:** Formular y nombrar de forma adecuada los compuestos orgánicos según la nomenclatura IUPAC aceptada.

Realización práctica:

A continuación, se detallarán las tareas que el alumno deberá realizar en esta segunda práctica. Se comenzará con la función alcohol, observando cómo se une el grupo (-OH) al hidrocarburo correspondiente. Y se continuará con las funciones oxigenadas éter, aldehído y cetona, observando las diferencias estructurales de los mismos e incidiendo en la importancia de una nomenclatura adecuada. Posteriormente, se analizará la función oxigenada amina y las diferencias estructurales si está mono-, di- o trisustituidas. Finalmente, estudiaremos la función ácido y dos de sus derivados más importantes: ésteres y amidas. Así, el alumno ha de ser capaz de reconocer los compuestos

orgánicos, según la función que los caracteriza y formularlos compuestos orgánicos sencillos con varias funciones de forma adecuada, quedando todo recogido en el correspondiente informe que se entregará al finalizar la práctica, cubriendo así dos de los criterios de aprendizaje que figuran en el Decreto 21/2015 del BOR.¹

Así, se abre el programa *Avogadro*^{50,51} situado en el escritorio y el menú *build*. Y se comenzará con la primera de las funciones orgánicas: Alcoholes (grupo funcional: -OH). Así, con los conocimientos adquiridos en la anterior práctica, se construirán distintos alcoholes: 2-propanol, 1,2,3-propanotriol y 2-butin-1,4-diol (Figura 12, a-c respectivamente), buscándolos en la lista de alcoholes del menú *Build - Insert - Fragment* y/o seleccionando el hidrógeno adecuado para añadir el grupo OH (si fuera necesario). En este último caso, se seleccionaría la molécula agua de la lista y se insertaría en el hidrógeno correspondiente. En el caso del resto de funciones, el procedimiento sería similar. Así, la imagen de cada uno de ellos con su nomenclatura correspondiente debe figurar en un informe que se entregará al final de la práctica.

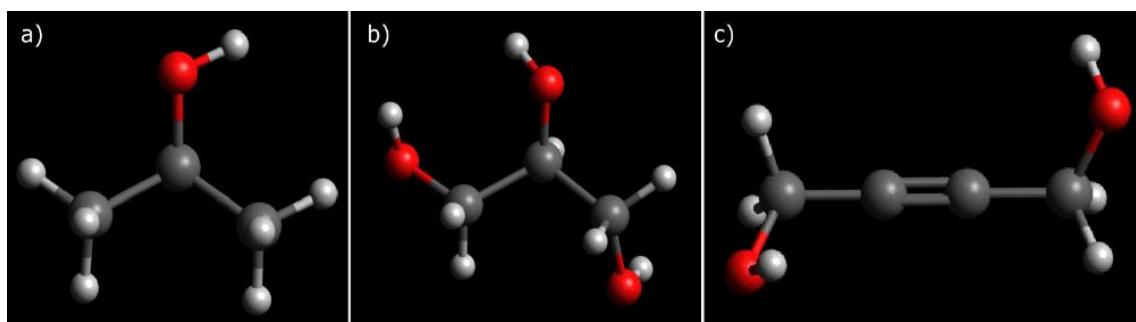


Figura 12. Estructura de diferentes alcoholes: a) 2-propanol, b) 1,2,3-propanotriol y c) 2-butin-1,4-diol.

- Éteres: es el siguiente grupo funcional que estudiaremos (-O-). Así, con los conocimientos adquiridos, se construirán distintos éteres: etilmetiléter, isobutilisopropiléter, tetrahidrofurano (Figura 13, a-c respectivamente). La imagen y su nombre correspondiente figurará en el informe final.

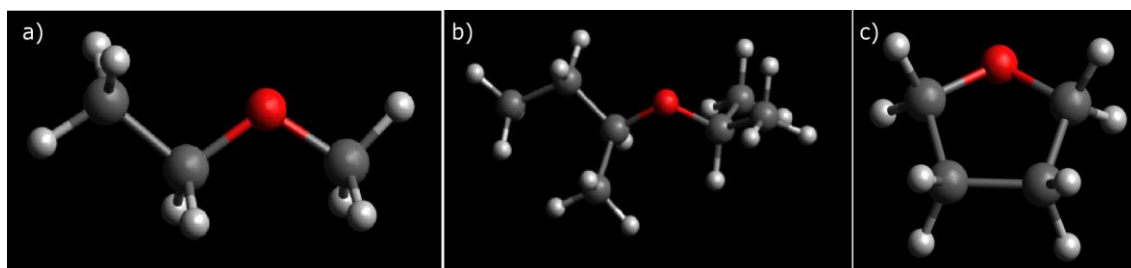


Figura 13. Estructura de diferentes alcoholes: a) etilmetiléter, b) isobutilisopropiléter, c) tetrahidrofurano.

- Aldehídos: es el primer grupo que implica un doble enlace entre el carbono y el oxígeno, siempre en un extremo de la cadena (-CHO). Se construirán distintos aldehídos con el programa (Figura 14: a) 2-hexanal y b) 3-metil-3-pentenal). La imagen y su nombre IUPAC correspondiente figurará en el informe final.

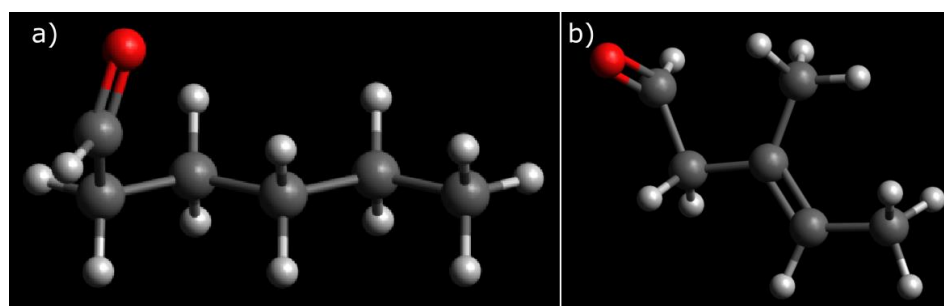


Figura 14. Estructura de los aldehídos 2-hexanal (a) y 3-metil-3-pentenal (b).

- Cetonas: es el segundo grupo funcional con un doble enlace carbono-oxígeno (-CO-), en este caso dentro de la cadena carbonada. Se construirán las siguientes cetonas: a) acetona, b) 3-octen-2-ona y c) ciclohexanona (Figura 15). La imagen de cada compuesto con su nomenclatura adecuada figurará en el informe final.

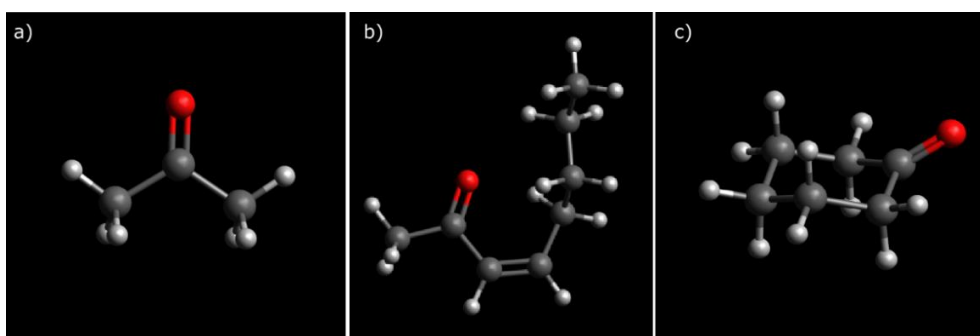


Figura 15. Estructura de las cetonas: a) acetona, b) 3-octen-2-ona y c) ciclohexanona.

- Aminas: se trata del primer grupo funcional estudiado que introduce el nitrógeno (-NH₂). Así, en función de si la amina es terminal o está sustituida, tendremos distintas aminas. La Figura 16 recoge la estructura de diferentes compuestos aminados: a) 2-butilamina, b) N-etil-N-isopropilbutanamina, c) 1-azaciclopentano o pirrolidina, d) 1,4-diazabicyclo(2,2,2)octano o trietilendiamina. La imagen de cada uno con su nombre IUPAC correspondiente figurará en el informe final.

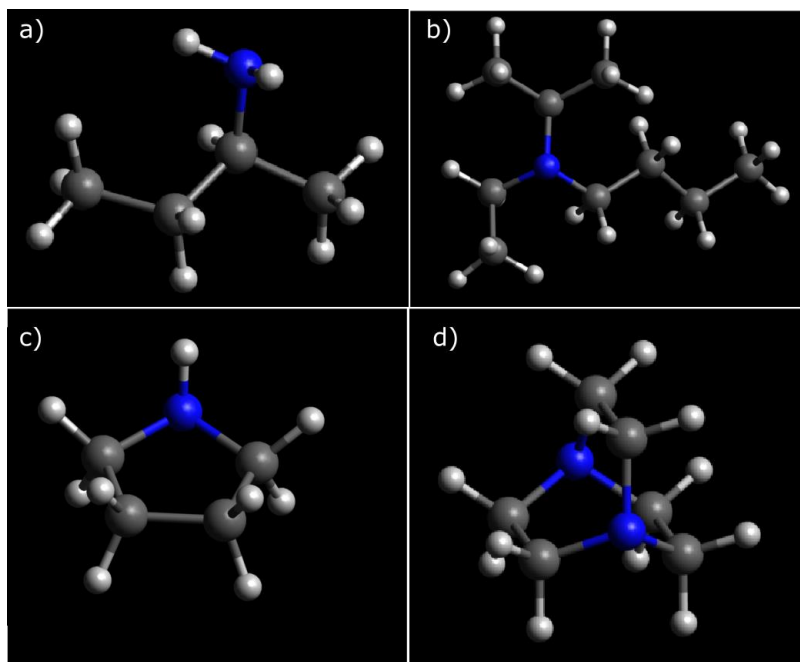


Figura 16. Estructura de las aminas: a) 2-butilamina, b) N-etil-N-isopropilbutanamina, c) pirrolidina y d) trietilendiamina.

- Ácidos: el grupo funcional ácido tiene la forma (-COOH) y es siempre terminal. Así, con los conocimientos adquiridos, se construirán distintos ácidos: a) ácido butanoico, b) ácido 2-butenodioico y c) ácido 2,3-dihidroxi-butenodioico o ácido tartárico (Figura 17). El informe final recogerá la estructura y nomenclatura de los compuestos propuestos.

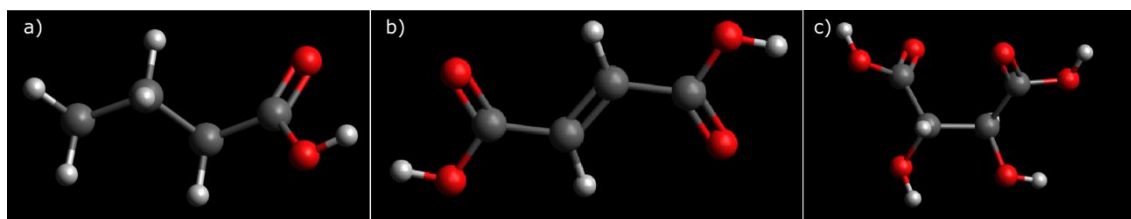


Figura 17. Estructura de los ácidos a) butanoico, b) 2-butenodioico y c) tartárico.

- Derivados de ácidos: los ácidos son un grupo muy versátil que permiten formar diferentes compuestos: ésteres, amidas primarias y sustituidas, cloruros de acilo, anhídridos, etc. En este apartado, trataremos únicamente ésteres y amidas.

- Ésteres. Son derivados de ácidos carboxílicos cuyo hidrógeno del grupo OH ha sido sustituido por una cadena carbonada (-COO-R). Así, en esta práctica, se construirán distintos ésteres: a) acetato de metilo, b) butanoato de bencilo, c) acetato de 2-etilhexilo (Figura 18). La estructura y el nombre IUPAC de estos compuestos aparecerá en el informe correspondiente.

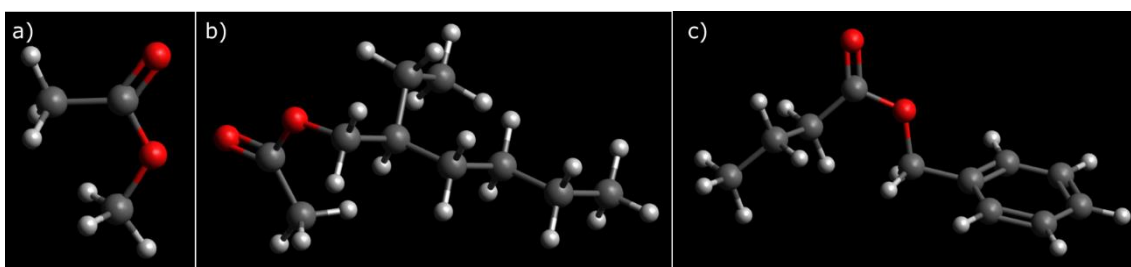


Figura 18. Estructura de los ésteres: a) acetato de metilo, b) acetato de 2-etilhexilo, c) butanoato de bencilo.

- Amidas. Son derivados de ácidos carboxílicos cuyo grupo OH ha sido sustituido por un grupo amina (-CONH₂). Los hidrógenos del grupo aminado pueden sustituirse por grupos carbonados. Así, se construirán las amidas: a) acetamida, b) N-etil-N-metilbutanamida y c) N-etilbenzamida (Figura 19).

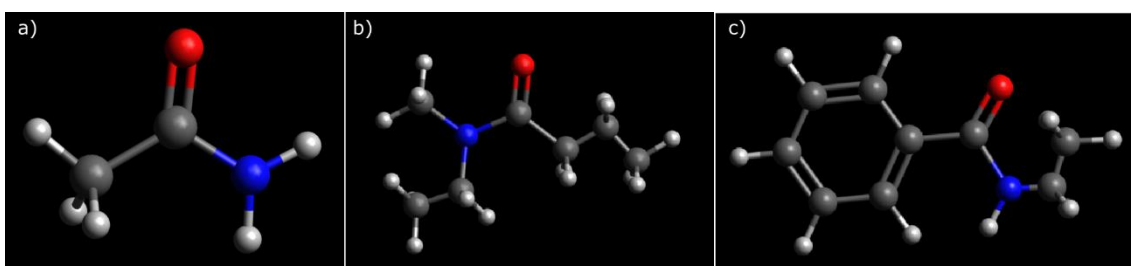


Figura 19. Estructura de las amidas propuestas: a) acetamida, b) N-etil-N-metilbutanamida y c) N-etilbenzamida.

Así, el resultado de esta segunda práctica, con la presentación del informe con las distintas estructuras, es que el alumno haya sido capaz de construir y diferenciar compuestos orgánicos con diferentes grupos funcionales: alcoholes, aldehídos, cetonas, éteres, ácidos, ésteres, aminas y amidas, con el *software*

Avogadro^{50,51} (**OE3-OE4**). Además, será capaz de formularlos de forma adecuada siguiendo la nomenclatura IUPAC aceptada (**OE5**).

Así, con estas dos primeras prácticas quedarán cubiertos los contenidos y criterios de evaluación cubriendo así dos de los criterios de aprendizaje que figuran en el Decreto 21/2015 del BOR¹: reconocer los compuestos orgánicos, según la función que los caracteriza; y formular compuestos orgánicos sencillos con varias funciones.

5.1.3. Práctica 3: Bioquímica (I): Glúcidos

Esta práctica profundizará en el primer grupo de biomoléculas orgánicas que constituyen la materia viva: los glúcidos. Así, trabajaremos con el programa *Avogadro*^{50,51} para la primera parte y continuaremos con el programa *JSmo*⁶⁴ para la visualización de los principales glúcidos. Así, este último programa lo abriremos desde la página web: <http://www.biotopics.co.uk/index.html>,³ que posee un repositorio con una gran cantidad de biomoléculas relevantes (Figura 20).

The screenshot shows the BioTopics website interface. At the top, it says 'The BioTopics website gives access to interactive resource material, developed to support the learning and teaching of Biology at a variety of levels.' Below this is a navigation menu with categories: 'Introductory Topics', 'Classical Topics', 'Further Topics', and 'Higher level Topics'. A dropdown menu for '3D molecules (list)' is open, showing a list of molecules: Glucose, Galactose, Fructose, Sucrose, Maltose, Lactose, and various disaccharides and polysaccharides. The website also features sections for 'Biological Facts and Fallacies', 'Interactive 3-D structures of over 130 Biological molecules', 'Books', and 'Something to listen to'. The site is authored by Richard Steane.

Figura 20. Base de datos de la estructura de biomoléculas orgánicas.³

Objetivos

Los objetivos específicos que se tratarán en la práctica 2 son:

- **OE6:** Diferenciar la composición estructural de la unidad fundamental de los diferentes tipos de biomoléculas orgánicas.
- **OE7:** Entender la ciclación de los monosacáridos y las características estructurales de la formación del enlace hemiacetal.
- **OE8:** Analizar los monosacáridos más comunes: pentosas y hexosas.
- **OE9:** Comprender el ensamblaje de los disacáridos y la creación del enlace o-glucosídico.

- **OE10:** Examinar los disacáridos y oligosacáridos biológicamente relevantes.

Realización práctica:

A continuación, se detallarán las tareas que el alumno deberá realizar en esta tercera práctica, correspondiente al primer grupo de biomoléculas orgánicas: los glúcidos. Se trata de una práctica que irá incrementando secuencialmente el tamaño de los glúcidos. Así, se comenzará con la estructura de su unidad fundamental, el monosacárido, observando cómo se establece el enlace hemiacetal que cicla la estructura lineal de los monosacáridos y sus características estructurales. Se observará la estructura de una selección de diferentes monosacáridos y se fusionarán para formar disacáridos, haciendo hincapié en el enlace o-glucosídico. Se verá la estructura de diferentes disacáridos relevantes, de acuerdo con el libro de Biología de 2º de Bachillerato,⁵⁵ y se finalizará analizando la estructura de sistemas más complejos: oligosacáridos y polisacáridos. Al finalizar la práctica, se entregará un informe en formato *Word* con la imagen de todas las estructuras analizadas y su nombre correspondiente, indicando los aspectos más relevantes de las mismas: tipos de enlace y sus elementos involucrados en ellos, etc.

- Monosacáridos lineales vs. Estructura cíclica: el enlace hemiacetal.

En esta parte, se diferenciará entre monosacáridos de cadena lineal y monosacáridos ciclados y se comprenderá cómo se forman estas estructuras cicladas. Para ello, se abre el programa *Avogadro*^{50,51} y se construirán una pentosa de cadena lineal (D-Ribosa) y una hexosa de cadena lineal (D-Glucosa) y observaremos su estructura (Figura 21, a y b respectivamente). En dicha Figura, aparece la proyección de Fisher de dichas moléculas y su estructura tridimensional. El carbono implicado en el enlace hemiacetal está marcado con un asterisco.

Una vez observado los monosacáridos lineales, se pasará a observar su forma ciclada. Para ello, utilizaremos el visualizador *JSmol*,⁵⁴ situado en la página web: <http://www.biotopics.co.uk/index.html> Así, se selecciona en dicha

página *3D-molecules – Carbohydrates* y se eligen los monosacáridos ribosa y glucosa (Figura 22). Se analizan los ciclos de cinco miembros, de forma pentagonal, denominados furanosas; y los ciclos de seis miembros, de forma hexagonal, denominados piranosas, centrándose en cómo el oxígeno del grupo hidroxilo del último carbono asimétrico (marcado con un asterisco en la cadena lineal) se involucra en la formación del anillo (resaltado en amarillo en su estructura cíclica). Anotamos en el informe todas estas observaciones, con las imágenes de las estructuras cicladas.

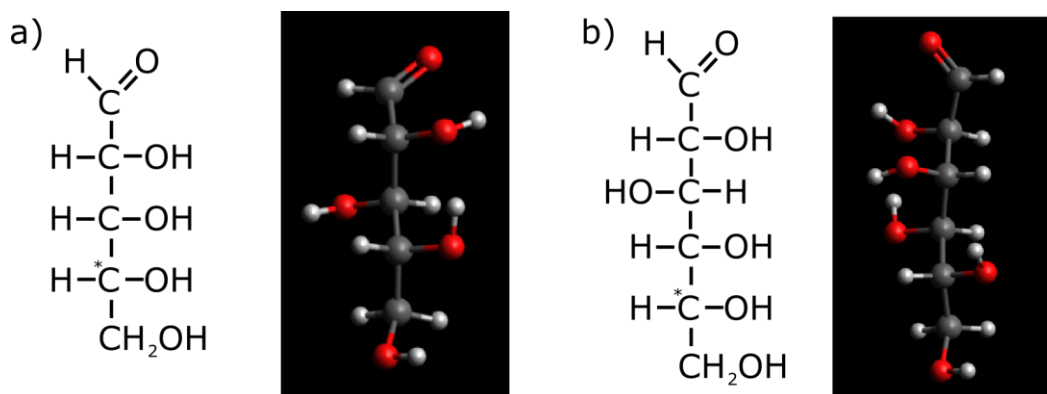


Figura 21. Estructura lineal de la D-Ribosa (a) y la D-glucosa (b).

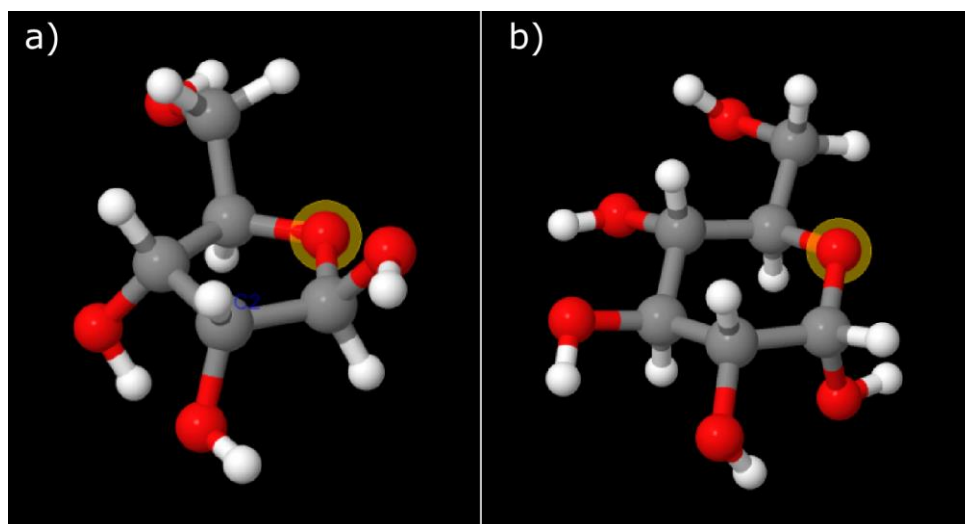


Figura 22. Estructura cíclica de la D-Ribosa (a) y la D-glucosa (b).

La formación del enlace hemiacetal trae consigo otra importante característica: el carbono carbonílico correspondiente a los grupos aldehído y cetona se designa en la fórmula cíclica con el nombre de carbono anomérico y quede unido a un grupo -OH, cuya posición estructural dará lugar a un nuevo tipo de estereoisomería conocida como anomería. Así, obtendremos dos formas

anoméricas: forma alfa (α), en el cual el grupo OH del carbono anomérico queda bajo el plano; y forma beta (β), cuyo grupo hidroxilo queda sobre el plano. La Figura 23 recoge la forma alfa (a) y beta (b) de la glucopiranososa. El hidroxilo del carbono anomérico se ha resaltado en amarillo en ambas imágenes. Así, se observarán las diferencias estructurales de ambas moléculas, anotándolas en el informe.

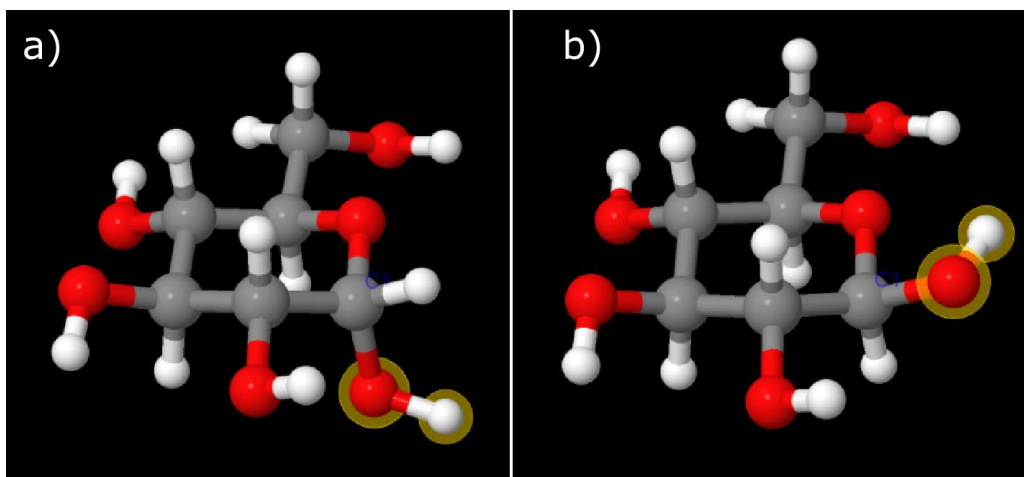


Figura 23. Estructura de los anómeros α -D-glucosa (a) y β -D-glucosa (b).

Al finalizar esta sección, el alumno ha de ser capaz de entender la ciclación de los monosacáridos y las características estructurales de la formación del enlace hemiacetal (**OE7**) y diferenciar los monosacáridos de tipo α y β .

- Monosacáridos más relevantes.

En esta parte, observaremos las diferencias estructurales de los monosacáridos más comunes, distinguiendo aquellos que forman anillos de cinco y seis miembros. Se seleccionarán, así, diferentes biomoléculas del repositorio de *Biotopics*. Así, la Figura 24 recoge la estructura de diferentes furanosas de alto interés biológico, de acuerdo con el libro de texto Biología de 2º de Bachillerato.⁵⁵ Estas furanosas son: a) β -D-ribosa, b) β -D-deoxiribosa y c) β -D-fructosa. Así, las dos primeras se diferencian en la ausencia del hidroxilo del grupo 2 (resaltado en amarillo en la Figura), mientras que la tercera es una hexosa que cicla formando una furanosa.

La Figura 24 también recoge la estructura de diferentes piranosas: d) α -D-galactosa y e) α -D-glucosa. La principal diferencia entre ambas radica en la posición estructural de los diferentes grupos OH (en concreto el OH del carbono 4, resaltado en amarillo).

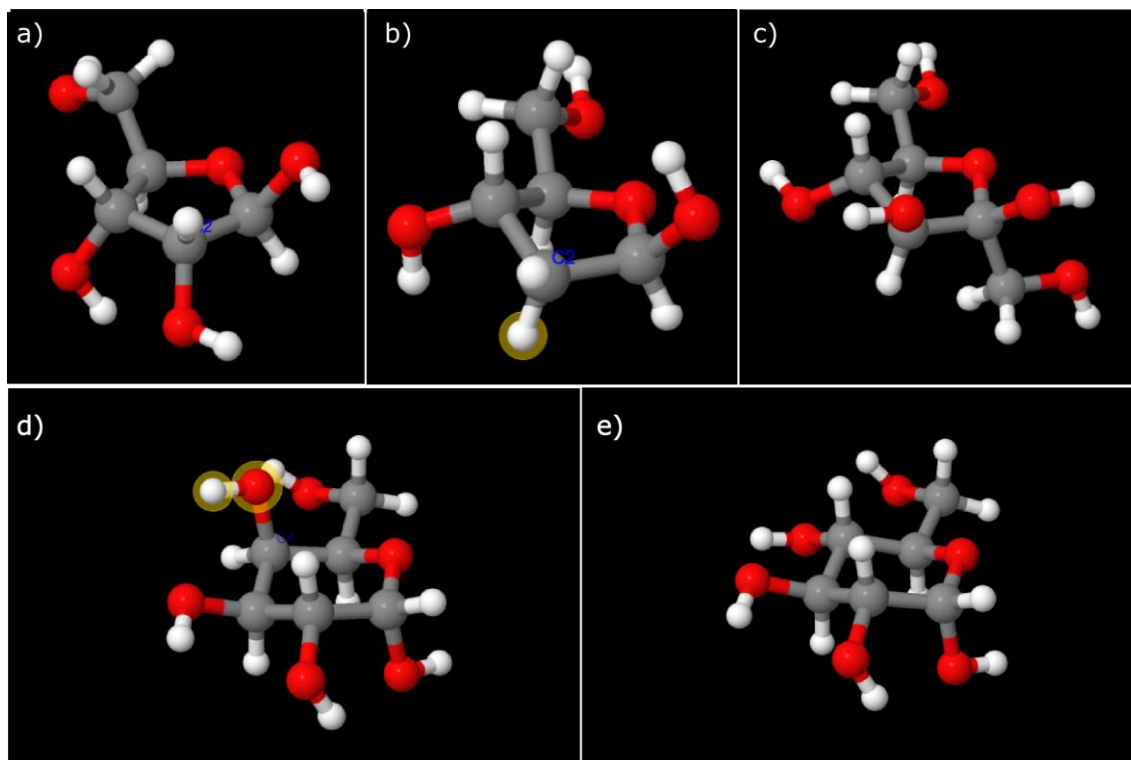


Figura 24. Estructura de las furanosas a) β -D-ribosa, b) β -D-deoxiribosa y c) β -D-fructosa, y de las piranosas d) α -D-galactosa y e) α -D-glucosa.

Así, el alumno terminará esta sección entendiendo cómo la posición de los grupos -OH marcará la estructura de los diferentes tipos de monosacáridos, y analizará los monosacáridos más comunes: pentosas y hexosas (**OE8**). Recogerá los aspectos más relevantes de este apartado en el informe relativo a la práctica de los glúcidos.

- Formación de disacáridos y oligosacáridos: enlace O-Glucosídico.

Los disacáridos contienen dos monosacáridos unidos mediante un enlace O-glucosídico. Este enlace se establece entre dos grupos hidroxilo de diferentes monosacáridos e implica la liberación de una molécula de agua. Así, existen,

principalmente, dos tipos de enlace: enlace monocarbonílico y dicarbonílico. Las características más importantes de ambos enlaces se recogerán en el informe.

- Enlace monocarbonílico: se establece entre el hidroxilo del carbono anomérico del primer monosacárido y otro grupo alcohol del segundo monosacárido. Se denomina (1→4). Un ejemplo de este tipo de enlace se muestra en la molécula de maltosa, que establece este enlace entre dos glucosas de tipo α , o la lactosa, que implica dos glucosas de tipo β ((Figura 25, a y b respectivamente). El enlace o-glucosídico se ha resaltado en amarillo en la imagen.

- Enlace dicarbonílico: se establece entre los hidroxilos del carbono anomérico de ambos monosacáridos. Se denomina (1→2). Un ejemplo de este tipo de enlace se observa en la sacarosa, que implica la unión de una α -D-glucosa y una β -D-fructosa (Figura 25 c).

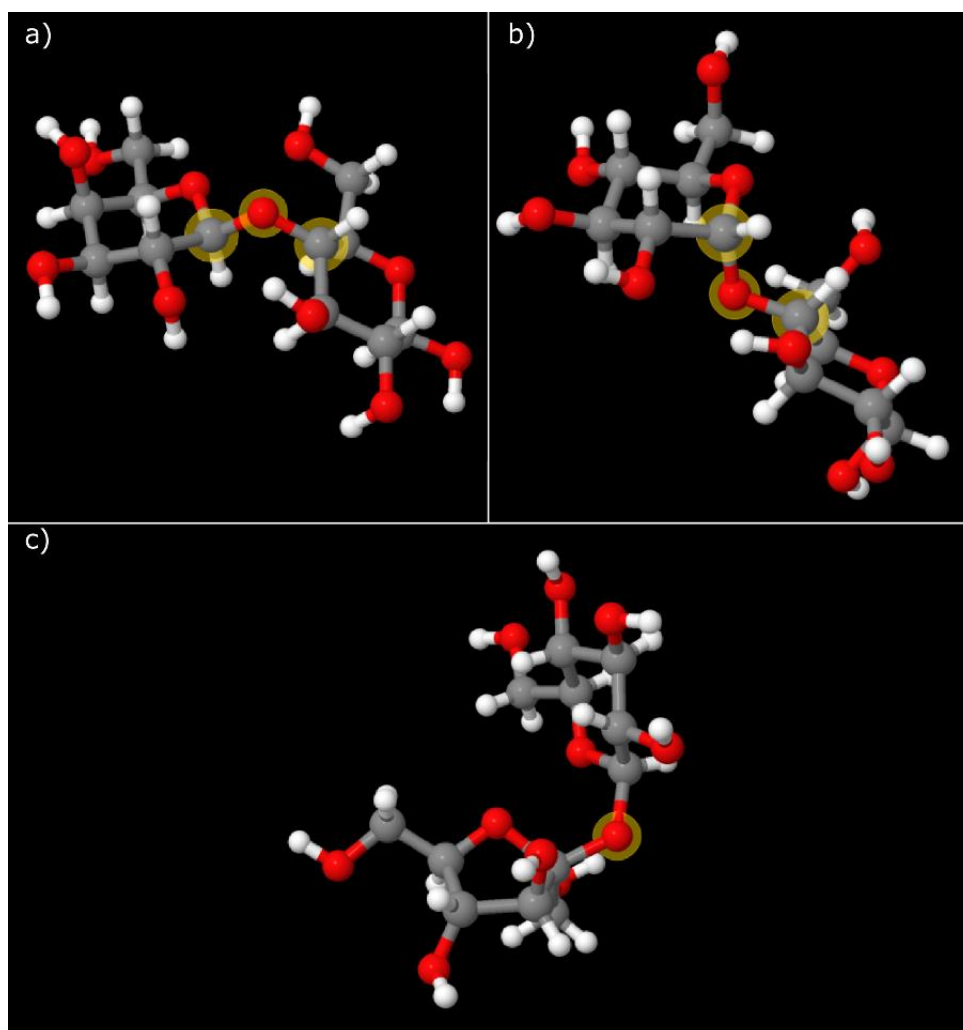


Figura 25. Estructura de los disacáridos a) maltosa, b) lactosa y c) sacarosa.

Una vez analizados los disacáridos más relevantes, se estudiará la estructura de algunos de los polisacáridos biológicamente más importantes. Así, se observará la estructura de los dos componentes más importantes del almidón: la amilosa y la amilopectina; y de la celulosa.

La amilosa consiste en la unión de cadenas largas de α -D-glucosas unidas por enlaces α -(1 \rightarrow 4). El modelo observado constaría de 40 glucosas (Figura 26a) que formaría un enrollamiento helicoidal (Figura 26b). Así, la estructura estaría estabilizada por enlaces de hidrógeno, representados en azul en la Figura 26c. Los enlaces o-glucosídicos también se han resaltado en amarillo en dicha Figura.

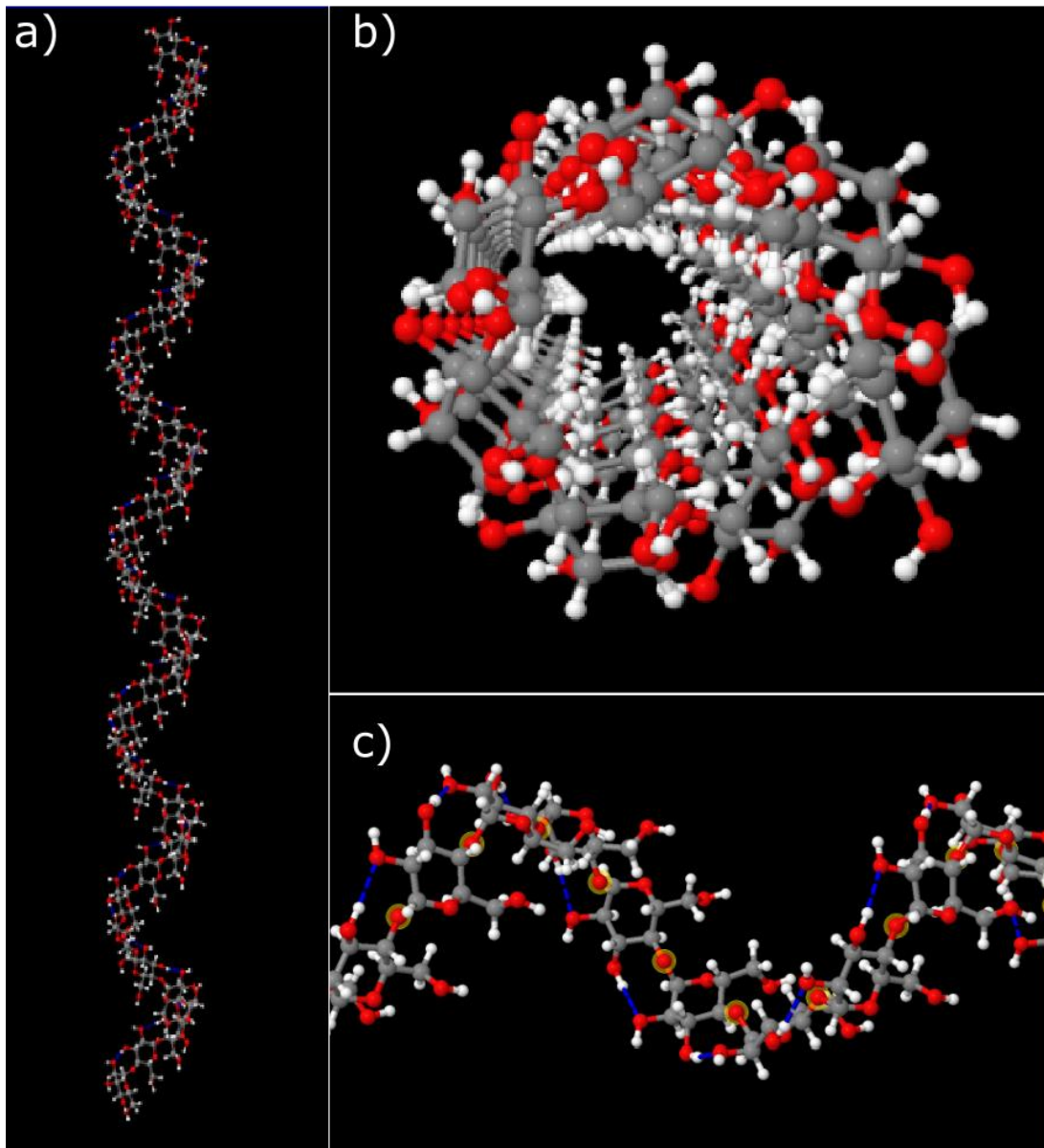


Figura 26. Estructura de la amilosa desde diferentes perspectivas (a-c).

La amilopectina tiene una estructura similar a la amilosa. Así, su esqueleto está formado por α -D-glucosas unidas por enlaces α -(1 \rightarrow 4), pero posee puntos de ramificación con enlaces α -(1 \rightarrow 6) cada 15-30 monómeros. Así, su estructura global, el enrollamiento helicoidal, tanto del esqueleto de glucosas como de su ramificación y un zoom del punto de unión de ramificación estabilizados por enlaces de hidrógeno se muestran en la Figura 27 (a-d respectivamente).

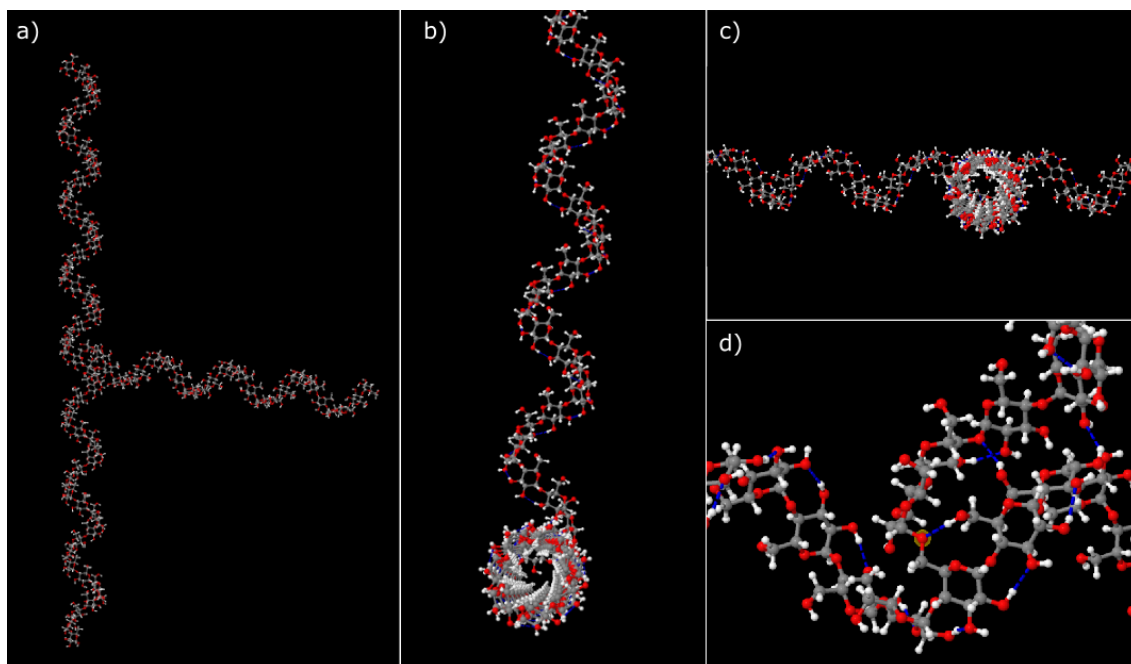


Figura 27. Estructura de la amilopectina desde diferentes perspectivas (a-d).

Finalmente, observaremos la estructura de la celulosa (Figura 28a). Este polímero lineal está formado por moléculas de β -D-glucosas unidas por enlace β (1 \rightarrow 4). Además, se establecen enlaces de hidrógeno intracatenarios, observados en azul en la Figura 28b, que estabilizan las láminas formadas.

Al terminar esta sección, el alumno debe recoger en el informe la estructura de alguno de los disacáridos, oligosacáridos y polisacáridos estudiados, indicando el tipo de interacciones intermoleculares que estabilizan la estructura final y las características estructurales de los mismos.

Así, al finalizar esta práctica, el alumno ha de ser capaz de diferenciar la composición estructural de la unidad fundamental de los glúcidos (**OE6**), entender la ciclación de los monosacáridos y la formación del enlace hemiacetal (**OE7**). Además, habrá analizado la estructura de glúcidos en complejidad creciente, de monosacáridos hasta polisacáridos (**OE8 - OE10**) entendiendo

cómo se forman los enlaces intramoleculares (o-glucosídicos) (OE9) e intermoleculares (enlaces de hidrógeno) que estabilizan las estructuras finales.

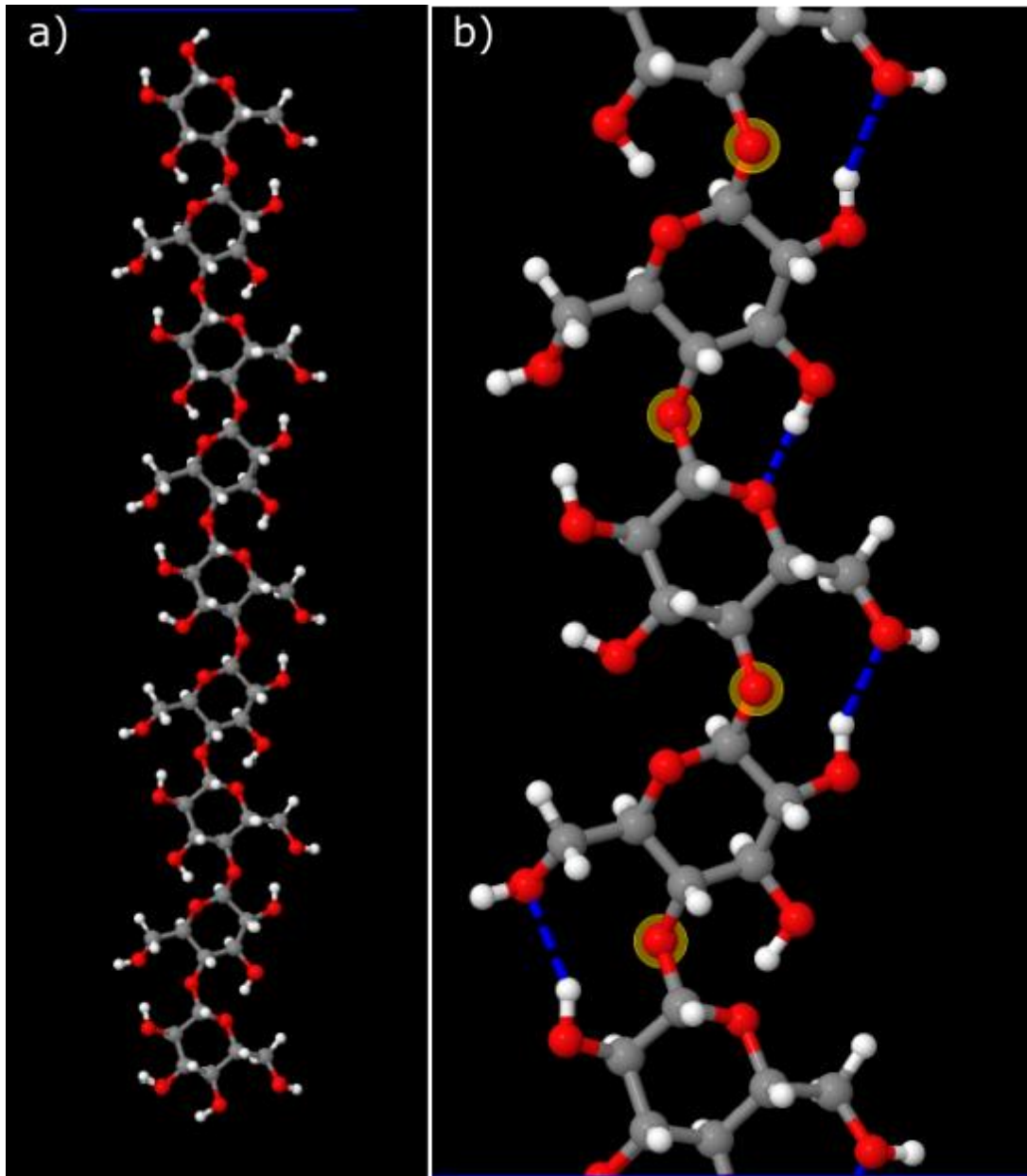


Figura 28. Estructura de la celulosa.

5.1.4. Práctica 4: Bioquímica (II): Lípidos

Esta práctica profundizará en el segundo grupo de biomoléculas orgánicas que constituyen la materia viva: los lípidos. Este grupo está formado por sustancias químicas muy heterogéneas, constituidos por oxígeno, hidrógeno y carbono (lípidos saponificables) y por, además, otros elementos como azufre y fósforo (lípidos insaponificables). Así, continuaremos con el programa *JSmo⁵⁴* para la visualización de los principales lípidos, utilizando nuevamente el programa *Avogadro^{50,51}* y el repositorio de estructuras almacenadas en la página web: <http://www.biotopics.co.uk/index.html>.

Objetivos

Los objetivos específicos que se tratarán en la práctica 4 son:

- **OE6:** Diferenciar la composición estructural de la unidad fundamental de los diferentes tipos de biomoléculas orgánicas.
- **OE11:** Observar la estructura y composición de los distintos tipos de lípidos: glicéridos, fosfolípidos, terpenos y esteroides.

Realización práctica:

A continuación, se detallarán las tareas que el alumno deberá realizar en esta cuarta práctica, correspondiente al segundo grupo de biomoléculas orgánicas: los lípidos. Se comenzará con la estructura de la unidad fundamental de los lípidos saponificables, el ácido graso, observando su estructura y las diferencias estructurales más importantes entre los ácidos grasos saturados e insaturados. Se observará la estructura de una selección de diferentes ácidos grasos y, de acuerdo con el libro de texto de Biología de 2º de Bachillerato, se analizará la estructura de lípidos de mayor tamaño: glicéridos, fosfolípidos, esteroides y terpenos. . Al finalizar la práctica, se entregará un informe con la imagen de todas las estructuras analizadas y su nombre correspondiente, indicando los aspectos

más relevantes de las mismas: tipos de enlace y sus elementos involucrados en ellos, características espaciales relevantes, etc.

- Ácido graso

En esta parte, se estudiará la unidad fundamental de los lípidos saponificables: el ácido graso. Así, se tratan de ácidos orgánicos monocarboxílicos que contienen una cadena carbonada que termina en un grupo ácido (-COOH). Su fórmula general es $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_n-\text{COOH}$. En función de su estructura, se observan dos tipos de ácidos: si no posee ningún doble enlace en su esqueleto carbonado se denominan saturados, y si poseen dobles enlaces se denominan insaturados.

Se abre el programa *Avogadro*^{50,51} para construir ácidos grasos saturados e insaturados. Primero se analizará la estructura de ácidos grasos saturados. Así, se construirán los ácidos octanoico, palmítico y esteárico (Figura 29, a-c respectivamente). Su estructura, tal y como se observa en la Figura 29, varía exclusivamente en la longitud de la cadena carbonada: 8, 16 y 18 carbonos respectivamente (incluyendo el carbono del grupo carboxilo).

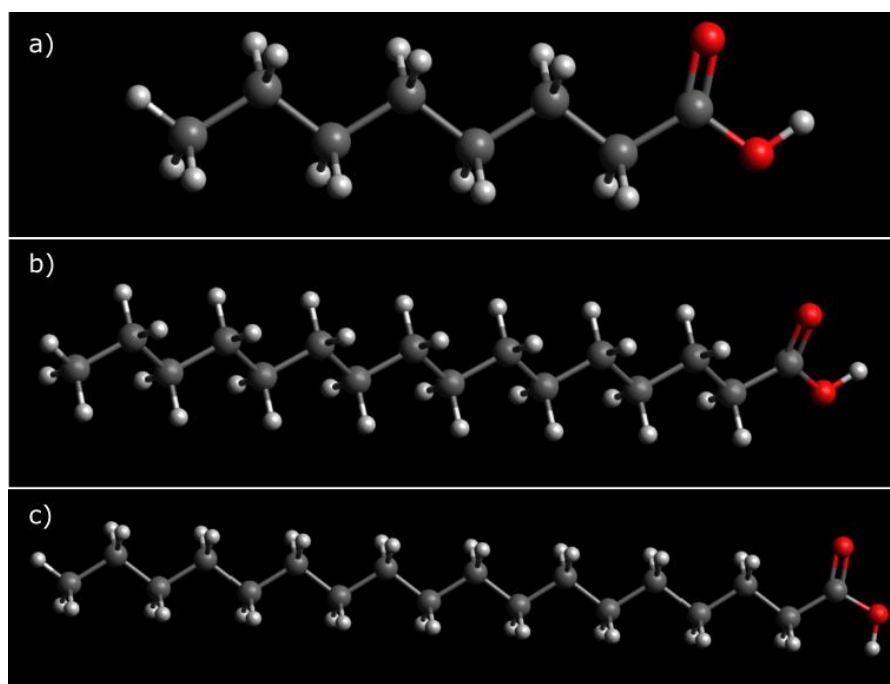


Figura 29. Estructura de los ácidos grasos a) octanoico, b) palmítico y c) esteárico.

Una vez observadas las características estructurales de los ácidos grasos saturados, se pasará a estudiar las de los insaturados. Así, en función del número de dobles enlaces que tengan en su cadena carbonada, existen ácidos grasos monoinsaturados (1 doble enlace) o poliinsaturados (varios dobles enlaces). Para observar las características espaciales de los ácidos grasos monoinsaturados, se analizará la estructura del ácido oleico y del ácido elaídico. Ambos compuestos son ácidos grasos de 18 carbonos. Sin embargo, el primero posee una insaturación en el carbono 9 de tipo cis (Figura 30a) que gira completamente su estructura. Por otro lado, el ácido elaídico, cuya estructura se puede observar en el repositorio de *biotopics* (<http://www.biotopics.co.uk/jsmol/fattyacids.html>) posee un doble enlace de tipo trans en el carbono 9 que no obliga a doblar su estructura (Figura 30b).

Una vez observada la estructura de los ácidos grasos monoinsaturados, pasaremos a analizar las de los poliinsaturados. Así, existen diversos ejemplos con más de una insaturación. Para observar su estructura, se construirán los ácidos linoleico, linolénico y araquidónico, que poseen 2, 3 y 4 insaturaciones respectivamente, todas ellas de tipo cis (Figura 31, a-c respectivamente).

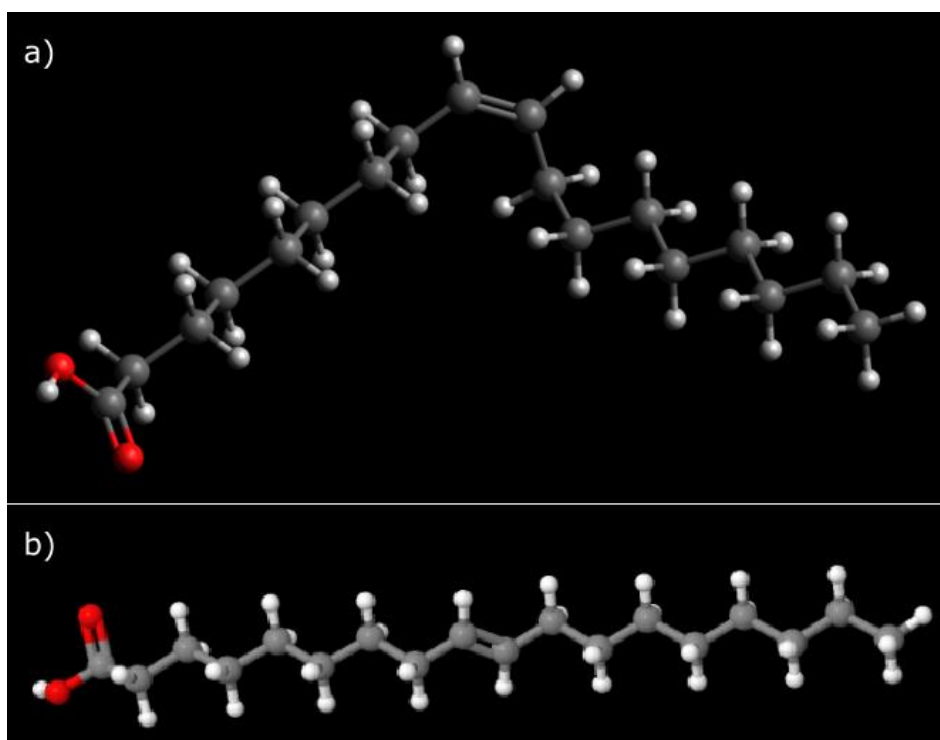


Figura 30. Estructura de ácidos grasos monoinsaturados a) oleico y b) elaídico.

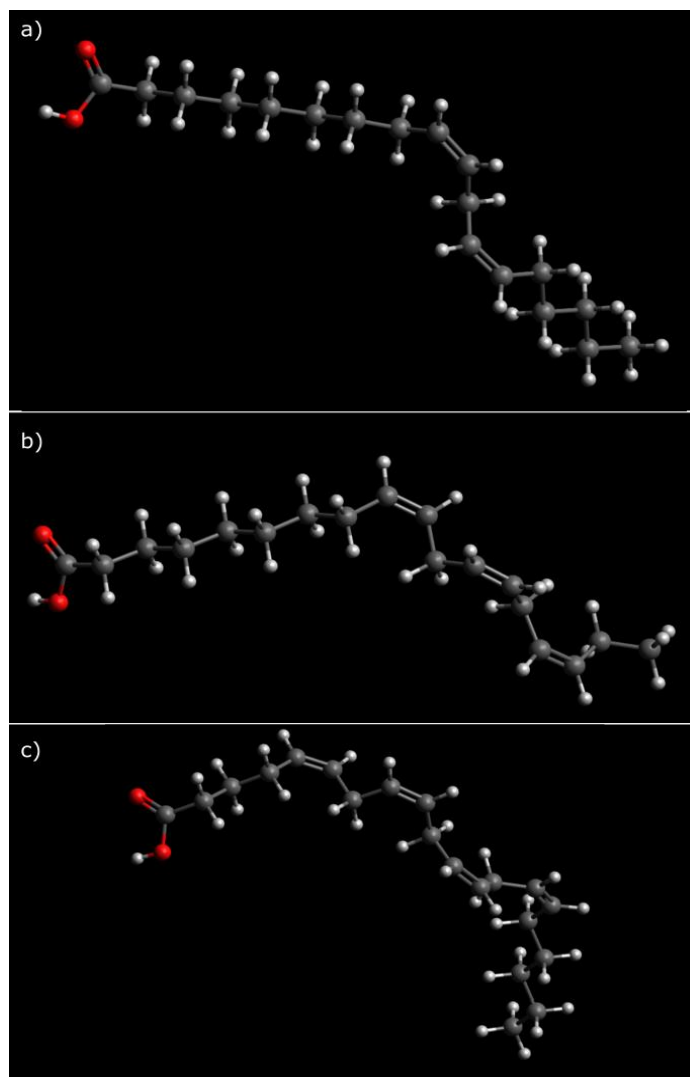


Figura 31. Estructura de ácidos grasos poliinsaturados a) oleico y b) eláidico.

Así, las diferencias estructurales entre los ácidos grasos saturados e insaturados (monoinsaturados o poliinsaturados), así como una imagen de cada tipo de ácido graso, debe quedar recogido en el informe de esta práctica. Al finalizar esta sección, el alumno debe ser capaz de distinguir la estructura de la unidad fundamental de los lípidos (**OE6**).

- Lípidos de mayor tamaño

Una vez entendida la composición estructural del ácido graso, se procederá a estudiar la de lípidos de mayor tamaño. Así, se utilizará el programa *JSmol*⁵⁴ y el repositorio de biomoléculas de *biotopics*, analizando la estructura de cuatro tipos de lípidos: glicéridos, fosfolípidos, terpenos y esteroides.

- Glicéridos

Son compuestos formados por un propanotriol llamado glicerina, cuyos grupos hidroxilos sufren esterificaciones con una, dos o tres moléculas de ácidos grasos, dando lugar a mono-, di- o triglicéridos. Así, se observará la estructura de los tres tipos de glicéridos, construidos a partir de una, dos o tres moléculas de ácido esteárico (Figura 32, a-c respectivamente). En el caso de los mono y diglicéridos, el grupo hidroxilo libre se ha resaltado en amarillo en la Figura.

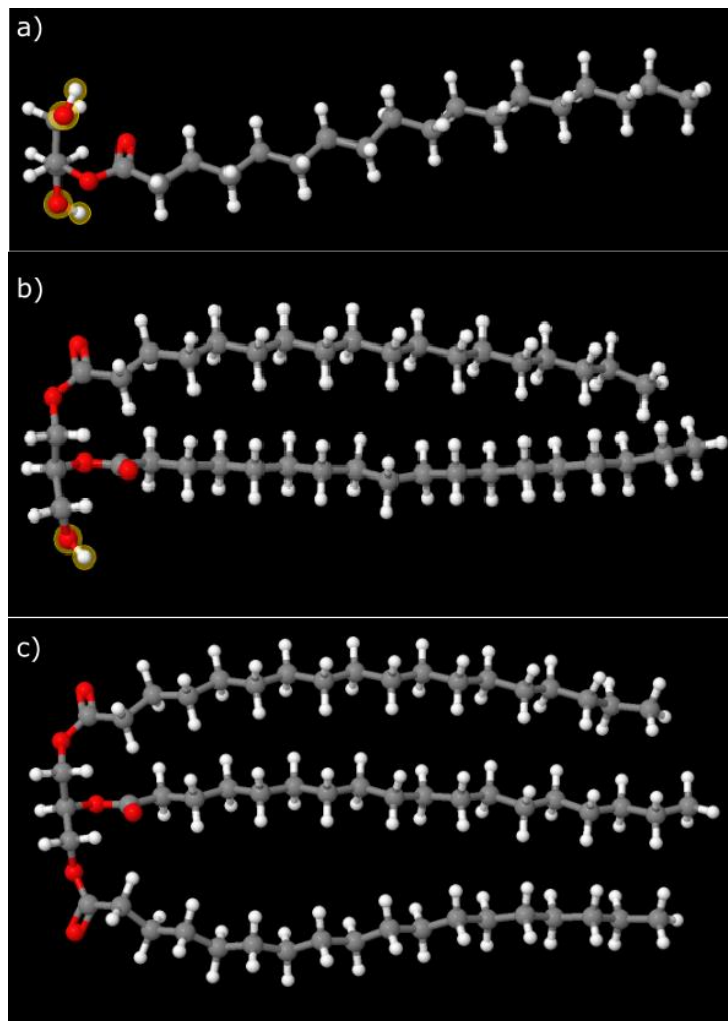


Figura 32. Estructura de a) monoglicéridos, b) diglicéridos y c) triglicéridos

- Fosfolípidos

Son lípidos formados por una molécula de glicerina esterificada en el carbono 3 por un grupo fosfato, formando el glicerol-3-fosfato. Así, los otros dos hidroxilos sufren esterificaciones con diferentes ácidos grasos. Por lo tanto, se observa que

su estructura posee una parte claramente hidrofílica (grupo fosfato) y una parte claramente hidrofóbica (ácidos grasos), dando lugar a una molécula anfipática.

El fosfolípido más común procede del ácido fosfatídico, constituido por un ácido esteárico y un ácido oleico. Sin embargo, el fosfolípido que estudiaremos es una variación de este. Su estructura se puede observar en la Figura 33a, constituido por dos ácidos esteáricos y un grupo colina añadido al fosfato. Así, los fosfolípidos se organizan formando bicapas (Figura 33b). Las dos bicapas se han resaltado en amarillo y blanco en la Figura, observándose cómo la parte hidrofóbica queda encerrada en su interior.

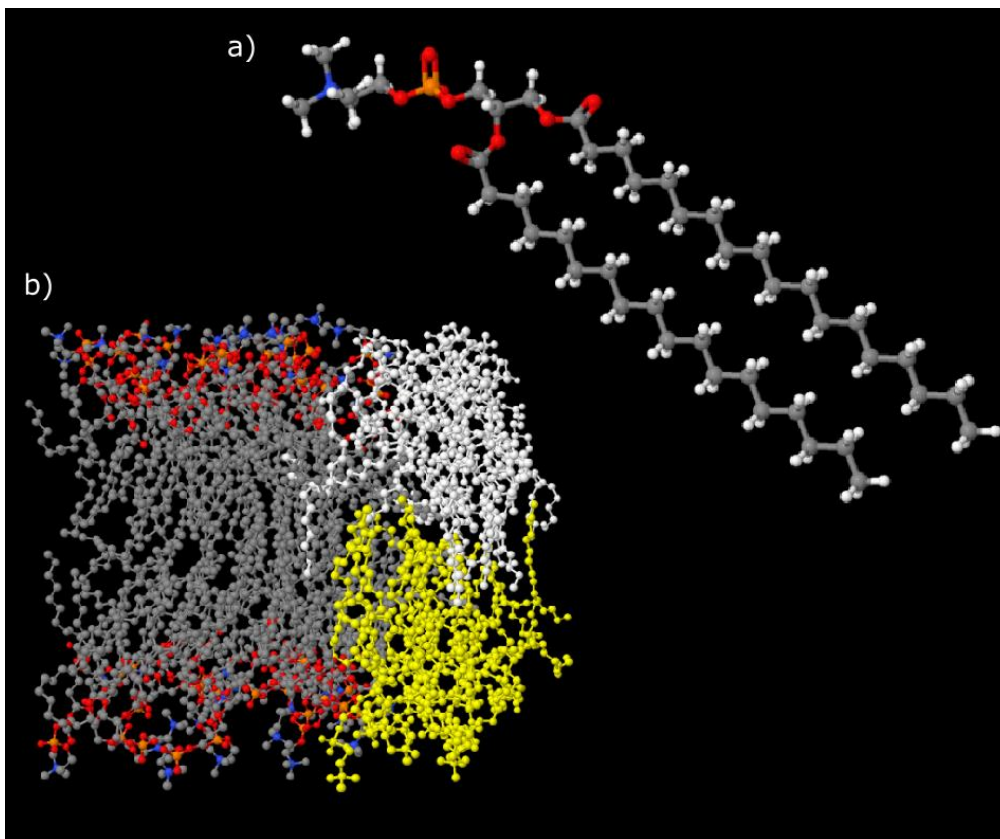


Figura 33. Estructura de a) fosfolípido y b) bicapa lipídica.

- Terpenos

Derivan de la polimerización de moléculas de isopreno, dando lugar a una variedad de estructuras. Así, observaremos la estructura de dos terpenos biológicamente relevantes: vitamina A o retinol y Vitamina E (Figura 34, a-b respectivamente). Ambas contienen cuatro moléculas de isopreno, formando diterpenos.

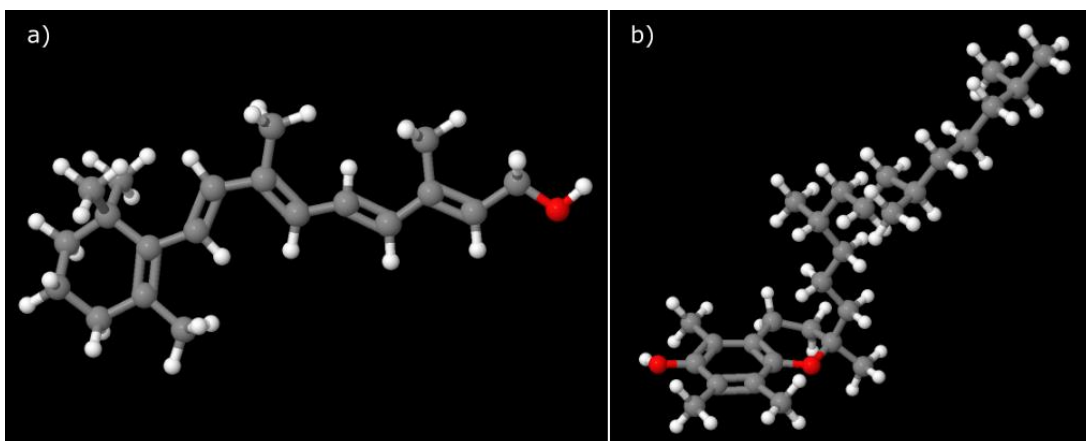


Figura 34. Estructura de a) vitamina A y b) vitamina E.

- Esteroides

Derivan de un compuesto cíclico llamado ciclopentanoperhidrofenantreno, formada por tres anillos de ciclohexano unidos a un ciclopentano. Entre los esteroides más relevantes figura el colesterol (Figura 35a), que forma parte de las membranas plasmáticas, o la vitamina D, implicada en los procesos de absorción de calcio y fósforo (Figura 35b).

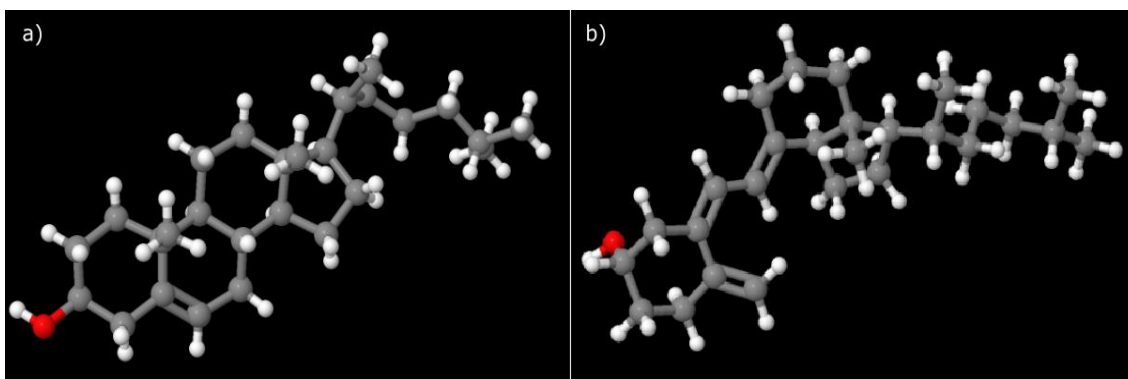


Figura 35. Estructura de a) colesterol y b) vitamina D.

Así, al finalizar esta sección, el alumno recogerá en el informe relativo a esta práctica las características estructurales más importantes de los diferentes tipos de lípidos, junto con una imagen de cada estructura.

Al término de esta práctica, el alumno debe ser capaz de diferenciar la composición estructural del ácido graso (OE6) y de señalar las características estructurales más relevantes de diferentes tipos de lípidos glicéridos, fosfolípidos, terpenos y esteroides (OE11).

5.1.5. Práctica 5: Bioquímica (III): Proteínas

Esta práctica tratará la familia de las proteínas, el grupo de moléculas más abundantes de las células y están distribuidas por toda la célula. Así, trabajaremos con el programa *Avogadro*^{50,51} para la primera parte de la práctica, centrada en los aminoácidos, y continuaremos con el programa *JSmo*⁵⁴ para la visualización de las estructuras de las proteínas, almacenadas en el repositorio de biotopics (<http://www.biotopics.co.uk/index.html>).³

Objetivos

Los objetivos específicos que se tratarán en la práctica 5 son:

- **OE6:** Diferenciar la composición estructural de la unidad fundamental de los diferentes tipos de biomoléculas orgánicas.
- **OE12:** Observar la estructura y composición de los 20 aminoácidos esenciales.
- **OE13:** Comprender el ensamblaje de los dipéptidos y la creación del enlace peptídico, con sus características estructurales.
- **OE14:** Examinar las diferentes estructuras de las proteínas, con ejemplos de diferentes polipéptidos.

Realización práctica:

A continuación, se detallarán las tareas que el alumno deberá realizar en esta quinta práctica, correspondiente al tercer grupo de biomoléculas orgánicas: las proteínas. Se comenzará comprendiendo la composición de su unidad fundamental, el aminoácido, observando la estructura distintos tipos de aminoácidos proteicos. A continuación, se incrementará el tamaño formando dipéptidos y oligopéptidos a través de enlaces peptídicos, centrándose en las características de estos enlaces y en las estructuras que forman. Finalmente, se estudiará la estructura de sistemas más complejos, las proteínas, centrándose en las diferentes estructuras que forman y en los enlaces intermoleculares que las estabilizan. Al finalizar la práctica, se entregará un informe con la imagen de

todas las estructuras de todos los aminoácidos analizados con su nombre correspondiente, y los dipéptidos y oligopéptidos estudiados. Así, se indicarán los aspectos más relevantes de la formación de oligopéptidos y proteínas: tipos de enlace y sus elementos involucrados en ellos y las características espaciales más relevantes.

- Aminoácido

En esta parte, estudiaremos la unidad fundamental de las proteínas: el aminoácido. Están compuestos por carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, de forma que poseen un carbono asimétrico unido a un grupo carboxilo (-COOH), un grupo amino (-NH₂), un hidrógeno y una cadena lateral (-R).

Así, en la naturaleza se encuentran 20 aminoácidos proteicos. Existen diversas clasificaciones, y en esta práctica, los clasificaremos en función del tipo de cadena lateral que los constituyen.

- Aminoácidos hidrófobos: su cadena lateral (-R) es de naturaleza hidrocarbonada no polar. Así, agrupan tanto los aminoácidos de cadena alifática: glicina (Gly), alanina (Ala), valina (Val), leucina (Leu) e isoleucina (Ile) (Figura 36, a-e respectivamente); los aminoácidos aromáticos fenilalanina (Phe) y triptófano (Trp), cuya cadena lateral es un grupo benceno e indol (Figura 36, f-g respectivamente); la metionina (Met), que contiene azufre (Figura 36h) y la prolina (Pro), que posee un grupo imino (Figura 36i).

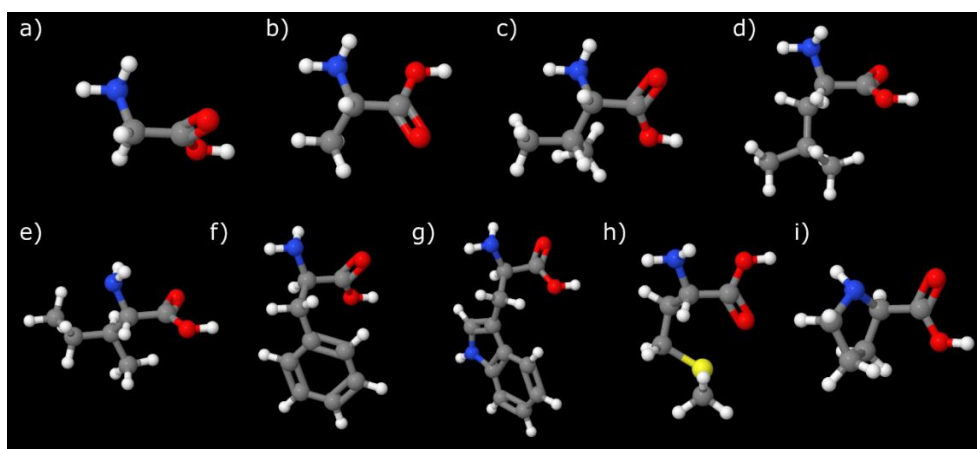


Figura 36. Estructura de a) glicina, b) alanina, c) valina, d) leucina, e) isoleucina, f) fenilalanina, g) triptófano, h) metionina e i) prolina.

- Aminoácidos polares hidrofílicos: se tratan de cadenas laterales de carácter polar, pudiendo establecer enlaces de hidrógeno con otros compuestos. Así, dentro de este grupo encontramos aminoácidos con cadena lateral que contienen un grupo hidroxilo: serina (Ser), treonina (Thr) y tirosina (Tyr) (Figura 37, a-c respectivamente), un grupo amida: asparagina (Asn) y glutamina (Gln) (Figura 32, d-e respectivamente), un grupo -SH: cisteína (Cys) (Figura 37f)

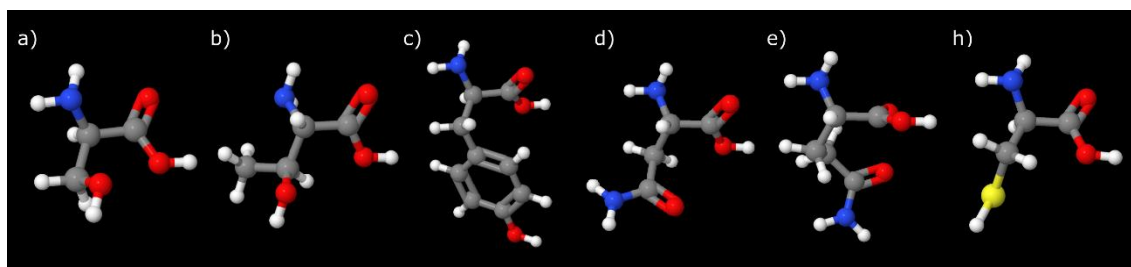


Figura 37. Estructura de los aminoácidos polares a) serina, b) treonina, c) tirosina, d) asparagina, e) glutamina y f) cisteína.

- Aminoácidos básicos: se caracterizan por contener un grupo amino que se ioniza positivamente. Así, dentro de este grupo se encuentran los aminoácidos lisina (Lys), histidina (His) y arginina (Arg) (Figura 38, a-c).

- Aminoácidos ácidos: se caracterizan por contener un grupo carboxilo que se ioniza negativamente con facilidad. Dentro de este grupo se encuentran los aminoácidos ácido aspártico (Asp) y glutámico (Glu) (Figura 38, d-e respectivamente).

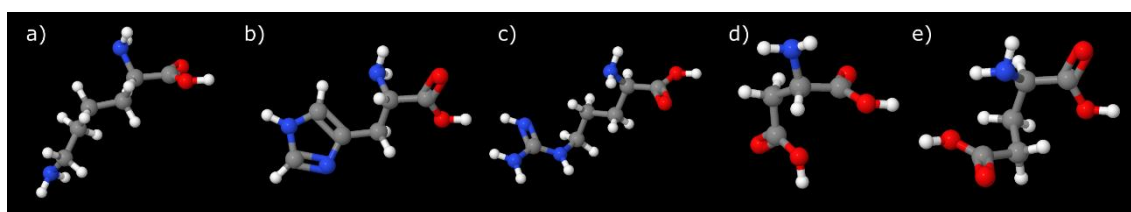


Figura 38. Estructura de los aminoácidos básicos a) lisina, b) histidina y c) arginina y de los aminoácidos ácidos d) ácido aspártico y e) ácido glutámico.

Así, una vez terminada esta sección, el alumno tiene que ser capaz de distinguir la unidad fundamental de las proteínas, el aminoácido (OE6), entendiendo las diferencias estructurales y funcionales que le otorgan las diferentes cadenas laterales (OE12). Así, en el informe de esta práctica, recogerá la estructura de los 20 aminoácidos, clasificándolos según su cadena lateral.

- *Formación de dipéptidos y oligopéptidos: enlace peptídico.*

Los dipéptidos son cadenas constituidas por dos residuos de aminoácidos unidos mediante enlaces peptídicos. Estos enlaces se establecen entre el grupo carboxilo de un aminoácido y el grupo amino de otro grupo, produciéndose una pérdida de una molécula de agua.

Utilizaremos el programa *Avogadro*^{50,51} para construir diversos dipéptidos. Para ello, seleccionamos el menú *Build – Insert – Peptide*, tal y como se observa en la Figura 39a. Así, en disco menú aparecen todos los aminoácidos proteicos, y así se pueden seleccionar la combinación deseada. En la Figura 39b aparece la estructura del dipéptido formado por 2 alaninas, con las moléculas del enlace peptídico resaltadas en amarillo.

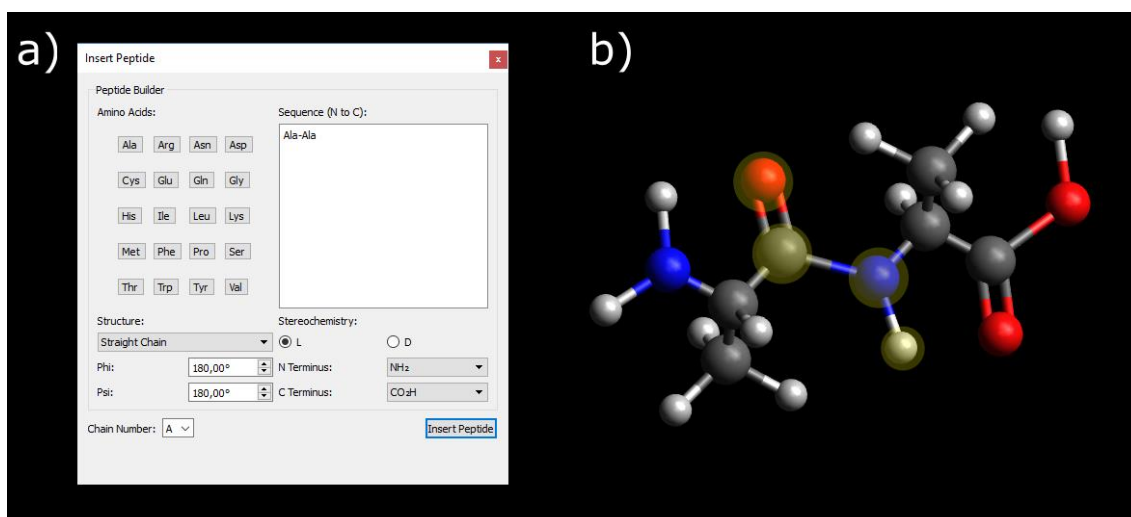


Figura 39. a) Menú insertar péptido. b) Dipéptido formado por 2 alaninas.

Con los conocimientos adquiridos, se construirán los siguientes dipéptidos y oligopéptidos: a) Val-Asp, b) Gln-Arg, c) Cys-Tyr-Leu, d) Ala-Val-Leu-Ile-Pro, e) Ser-Thr-Cys-Arg-His-Asp-Trp-Pro (Figura 40, a-e respectivamente). Se observa cómo se van adecuando las cadenas laterales, mientras que el esqueleto peptídico permanece en el mismo plano.

En esta sección, el alumno comprenderá los elementos involucrados en la formación del enlace peptídico (**OE13**), así como las consecuencias estructurales derivadas de la posición de las diferentes cadenas laterales de los aminoácidos.

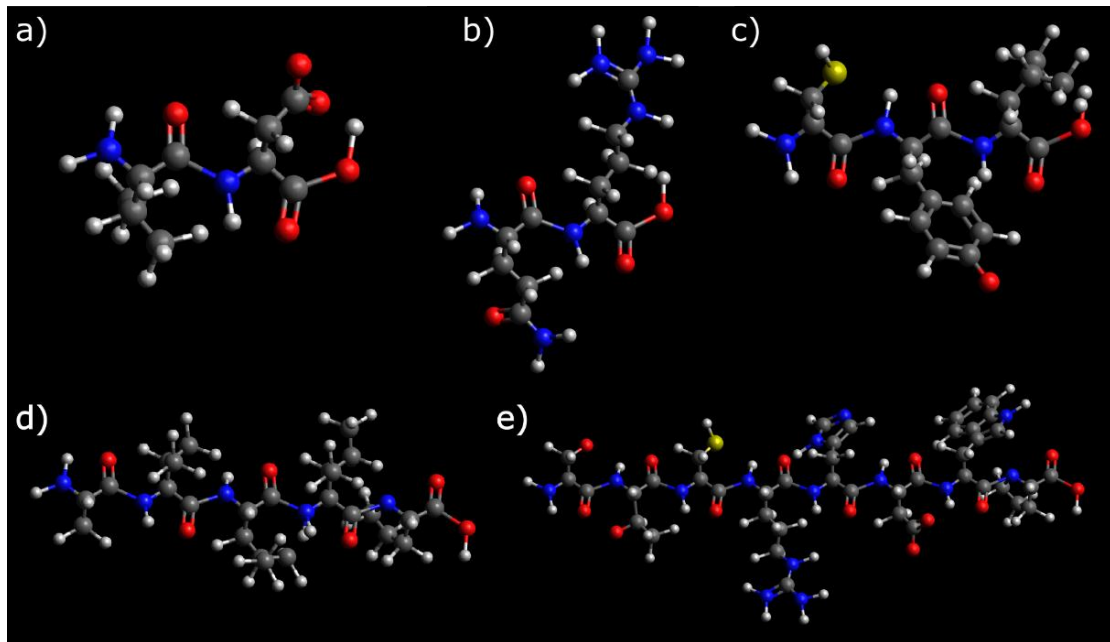


Figura 40. Estructura de los dipéptidos y oligopéptidos: a) Val-Asp, b) Gln-Arg, c) Cys-Tyr-Leu, d) Ala-Val-Leu-Ile-Pro, e) Ser-Thr-Cys-Arg-His-Asp-Trp-Pro

- *Estructura de las proteínas*

Una vez comprendida la naturaleza del enlace peptídico y la formación de dipéptidos, se observará la estructura tridimensional de dos proteínas. De acuerdo con el libro de texto de Biología de 2º de Bachillerato,⁵⁵ se han seleccionado dos de las proteínas estudiadas: glucagón e insulina.

- Glucagón: esta proteína está formada por 29 aminoácidos, cuya estructura primaria posee la siguiente secuencia: His-Ser-Gln-Gly-Thr-Phe-Thr-Ser-Asp-Tyr-Ser-Lys-Tyr-Leu-Asp-Ser-Arg-Arg-Ala-Gln-Asp-Phe-Val-Gln-Trp-Leu-Met-Asn-Thr. Así, para observar esta proteína, se recurrirá al repositorio de *Protein Data Bank*.⁴ Desde el programa *Avogadro*,^{50,51} seleccionaremos *File – Import – Fetch from PDB* y teclearemos la referencia del glucagón: PDB ID: 1KX6.⁵⁷ Aparecerá el polipéptido de glucagón, observando la complejidad de la estructura formada. Así, la Figura 41a recoge la estructura secundaria de la proteína, señalándose los enlaces de hidrógeno intracatenario entre grupos polares en amarillo. Además, cómo se pliega en el espacio (su estructura terciaria) se observa en la Figura 41b. Para ello, se selecciona la representación *cartoon* del menú de representaciones y sustituimos la representación de *ball*

and sticks por otra que más que permita observarla mejor (*simple wireframe*). Las zonas rojas indican presencia de hélices, las verdes de *loops* y las amarillas de láminas.

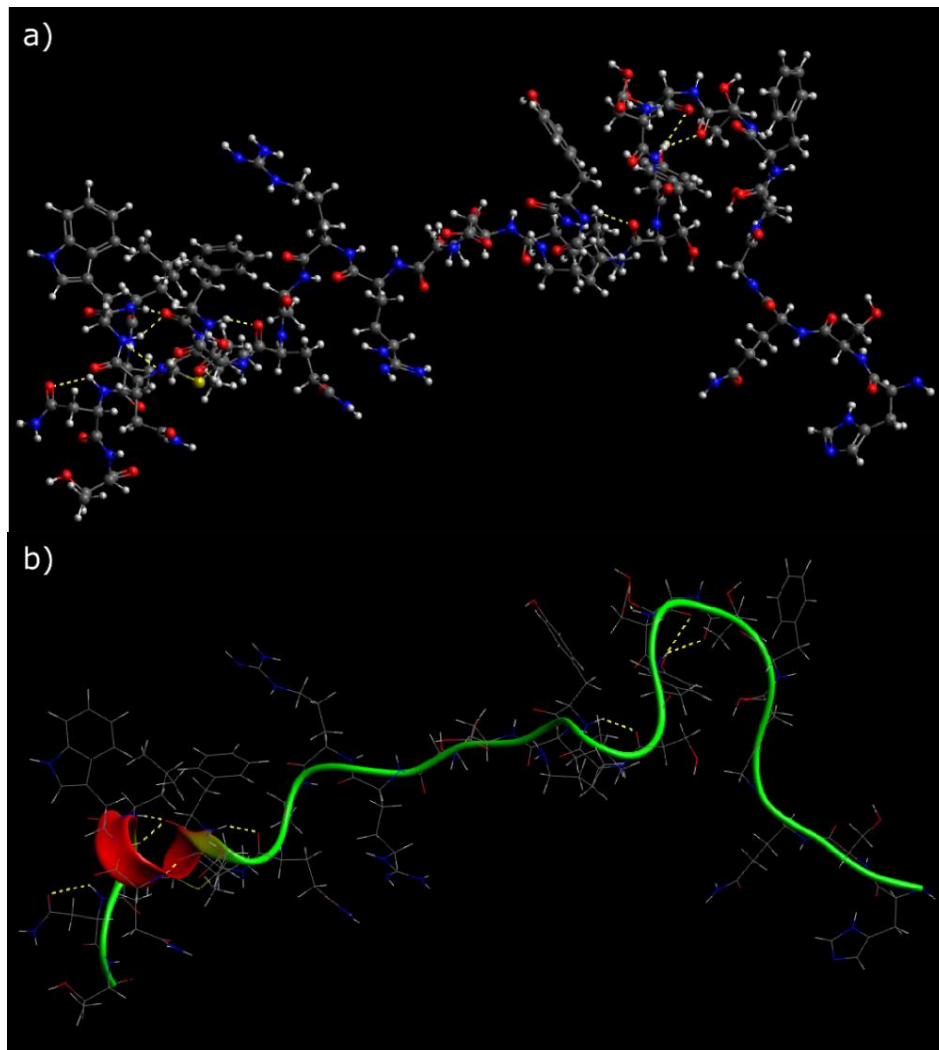


Figura 41. Estructura secundaria a) y terciaria b) del polipéptido glucagón.

- Insulina: esta hormona proteica formada por 51 aminoácidos producida por el páncreas. Así, la estructura tridimensional que observaremos de esta hormona proviene también del repositorio Protein Data Bank, y su identificador del PDB ID es: 1ZNI.⁵⁸ Así, la Figura 42a recoge la estructura de dos dominios de dicha proteína, utilizando una representación de *sticks* para su mejor visualización. Los enlaces de hidrógeno se han marcado en amarillo. La Figura 42b recoge su estructura terciaria, representada mediante la opción *cartoon*, observándose asimismo las regiones de lámina, bucle y hélice, siendo esta última la más abundante. Así, se observan enlaces de hidrógeno intracatenarios e intercatenarios.

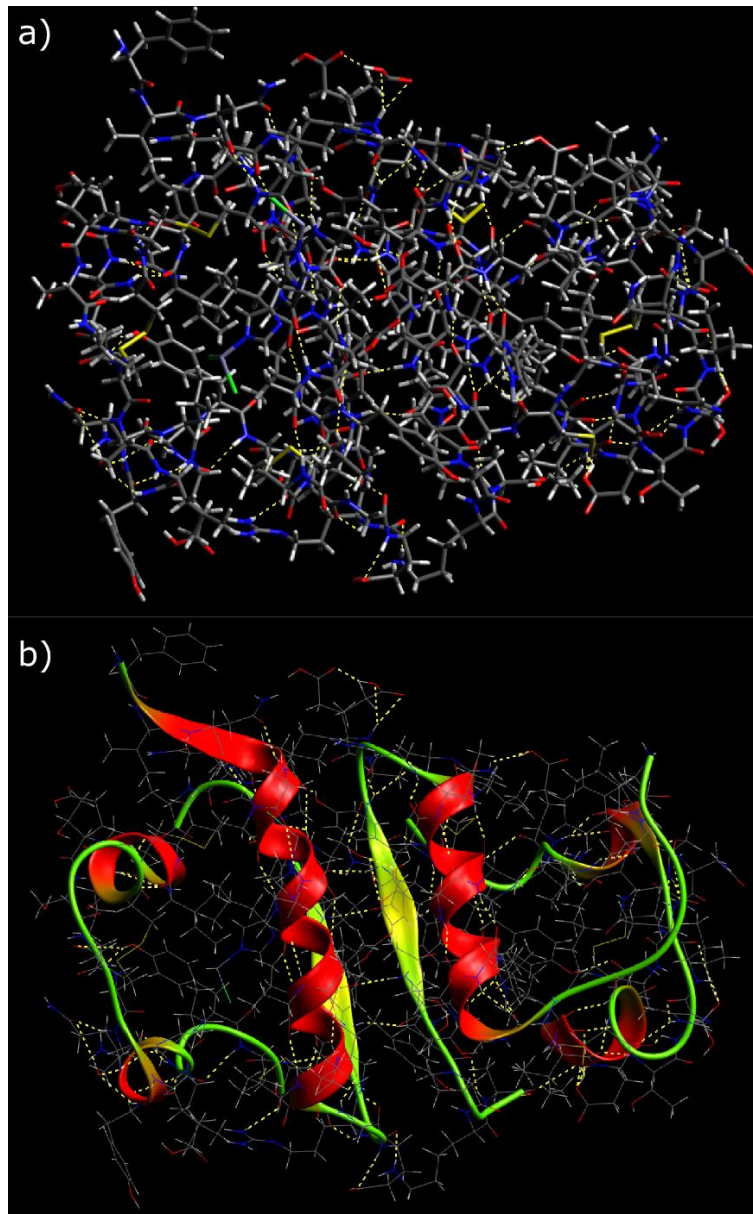


Figura 42. Estructura secundaria a) y terciaria b) de la insulina.

Las diferentes estructuras de estas dos proteínas, así como su representación tridimensional y sus características más importantes, se recogerán en el informe de dicha práctica. Una vez terminada esta sección, el alumno es consciente de las diferentes estructuras que puede presentar proteínas complejas y sus características estructurales y enlaces intra- e intermoleculares que las estabilizan (**OE14**).

Así, al terminar esta práctica, el estudiante es capaz de distinguir la unidad fundamental de las proteínas, los diferentes tipos de aminoácidos y los enlaces que establecen para formar estructuras más complejas, así como las diferentes estructuras que presentan las proteínas y las interacciones que las estabilizan.

5.1.6. Práctica 6: Bioquímica (IV): Ácidos nucleicos

Esta práctica tratará el último grupo de biomoléculas estudiadas: los ácidos nucleicos. Se trata de macromoléculas biológicas que almacenan, transmiten y expresan la información genética. Así, trabajaremos con el programa *Avogadro*^{50,51} para ahondar en la estructura y composición de las bases nitrogenadas y los nucleótidos. Además, se construirán una doble hebra de ácido desoxirribonucleico (ADN) con dicho programa.

Objetivos

Los objetivos específicos que se tratarán en la práctica 6 son:

- **OE6:** Diferenciar la composición estructural de la unidad fundamental de los diferentes tipos de biomoléculas orgánicas.
- **OE15:** Estudiar los distintos tipos de bases nitrogenadas, y los distintos enlaces que establecen con el resto de las unidades que forman los nucleótidos.
- **OE16:** Analizar la estructura secundaria propuesta por Watson y Crick del ADN, centrándose en la complementariedad entre bases nitrogenadas y sus puntos de contacto.
- **OE17:** Comparar las características estructurales de la doble hélice de WC con otras estructuras secundarias presentes en el ADN, señalando la importancia de los enlaces de hidrógeno en su estabilización.

Realización práctica:

A continuación, se detallarán las tareas que el alumno deberá realizar en esta sexta práctica, correspondiente al primer grupo de biomoléculas orgánicas: los glúcidos. Se trata de una práctica que irá incrementando secuencialmente el tamaño de los ácidos nucleicos. Así, se comenzará con la estructura de su unidad fundamental, el ácido nucleico, observando todos los componentes que lo constituyen y los enlaces que establecen. A continuación, se estudiará la estructura secundaria del ADN, centrándose en la complementariedad existente entre las dos hebras de ADN y en cómo se colocan espacialmente. Finalmente,

analizaremos otras posibles estructuras también existentes en el ADN, de acuerdo a los contenidos que figuran en el libro de texto de Biología de 2º de Bachillerato.⁵⁵ Al finalizar la práctica, se entregará un informe con la imagen de todas las estructuras de los componentes de los nucleótidos, indicando los tipos de enlace que establecen entre ellos. Asimismo, se recogerá una imagen con la estructura de Watson y Crick (WC), anotando las características más importantes de esta estructura y los enlaces que establecen.

- *Nucleótidos y sus componentes.*

Se trata de la unidad fundamental de los ácidos nucleicos. Están formados por la asociación de una base nitrogenada, un azúcar de cinco carbonos (pentosa) y una molécula de ácido fosfórico. Así, en esta parte se estudiarán los tres componentes por separado y su ensamblaje para formar los nucleótidos.

- Bases nitrogenadas: son compuestos heterocíclicos formados por nitrógeno y carbono. Así, los sustituyentes unidos y su posición darán lugar a las diferentes bases nitrogenadas. En función del heterociclo, pueden ser de dos tipos: bases pirimidínicas (formados por un heterociclo de 6 miembros) y bases púricas (biciclo de seis y cinco miembros). Se corresponden con las imágenes a y b de la Figura 43, con la numeración de sus distintos miembros. Hay que indicar que, así como la purina estaba en la base de datos del programa *Avogadro*^{50,51} (*Build - Insert - Fragments - Heterocycles - 7H-purine*), la pirimidina no. Por ello, se construirá a partir de un derivado: pyridine, que sí se encuentra en dicha base de datos. Así, seleccionaremos el hidrógeno del C3 y sustituiremos dicho carbono por un grupo nitrógeno, obteniendo así la pirimidina.

Dentro de las bases pirimidínicas, se encuentran: citosina, que posee un grupo cetónico en el carbono 2 y un grupo amino en el carbono 4; timina, que posee dos cetonas en los carbonos 2 y 4 y un metilo en posición 5; y uracilo, formado únicamente por dos grupos cetónicos en posición 2 y 4 (Figura 43, c-e respectivamente). Esta última base es propia únicamente del ARN. En el informe deben figurar la estructura de todas las bases nitrogenadas, perfectamente clasificadas.

Dentro de las bases púricas, tenemos dos tipos: adenina, con un grupo amino en el carbono 6; y guanina, con un grupo amino en el carbono dos y un grupo cetónico en el carbono 6 (Figura 43, f-g respectivamente).

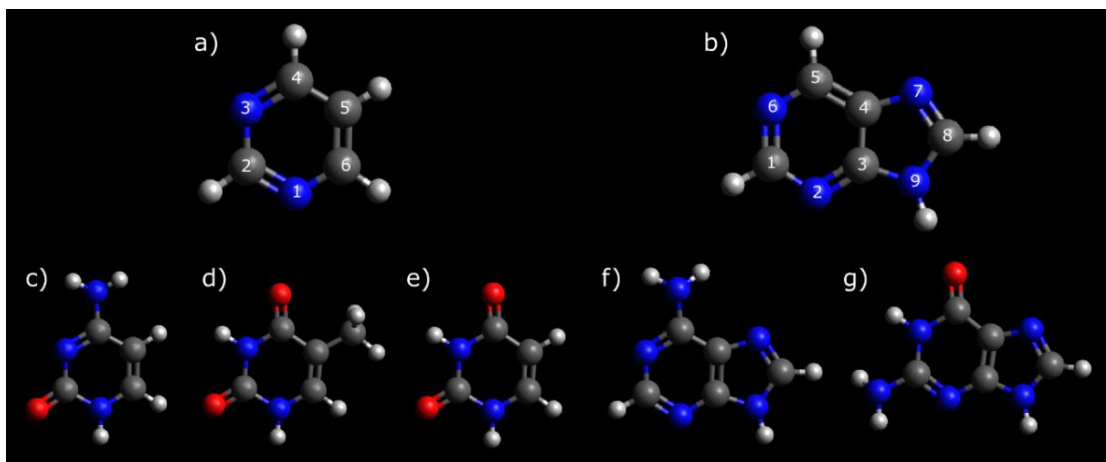


Figura 43. Estructura de los precursores de las bases nitrogenadas a) pirimidina y b) purina y de las bases nitrogenadas c) citosina, d) timina, e) uracilo, f) adenina y g) guanina.

- Pentosa: se trata de un monosacárido ciclado de cinco miembros, y puede ser de dos tipos: una β -D-ribofuranosa y una β -D-2-desoxirribofuranosa. Se corresponden con las estructuras a y b de la Figura 20.

- Ácido fosfórico: se encuentra en los nucleótidos en forma de ión fosfato.

Así, una vez comprendido las partes que forman los nucleótidos, se pasará a estudiar su ensamblaje. Para ello, se construirán dos nucleótidos diferentes, observando sus diferencias estructurales. Seleccionamos el menú *Build – Insert – DNA/RNA*, donde se abre un menú con diferentes opciones, como se muestra en la Figura 44a. Se construirán de esta manera un nucleótido formado por una adenina, una desoxirribosa y un grupo fosfato (adenosín-5-monofosfato) y un nucleótido formado por un uracilo, una ribosa y un grupo fosfato (uridin-5-monofosfato), correspondientes a las imágenes b) y c) de la Figura 44. Se muestran dos perspectivas de cada molécula para observar mejor su estructura.

Así, entre la base nitrogenada y la pentosa se establece un enlace N-Glucosídico, que se establece con el carbono 1 de la pentosa, dando lugar a un nucleósido. Sin embargo, el punto de unión es diferente para bases púricas y pirimidínicas. Como se puede observar en la imagen, con una base púrica se

une a través del N9, resaltado en amarillo, mientras que con una base pirimidínica se establece con el N1, resaltado en rosa). Por otro lado, la unión entre el nucleósido y el grupo fosfato da lugar a un nucleótido (resaltado en verde en la Figura 44). Se establece un enlace de tipo éster entre el grupo hidroxilo del carbono 5 de la pentosa y el ácido fosfórico, liberándose una molécula de agua. La estructura de ambos nucleótidos y sus características estructurales se recogerán en el informe de esta práctica.

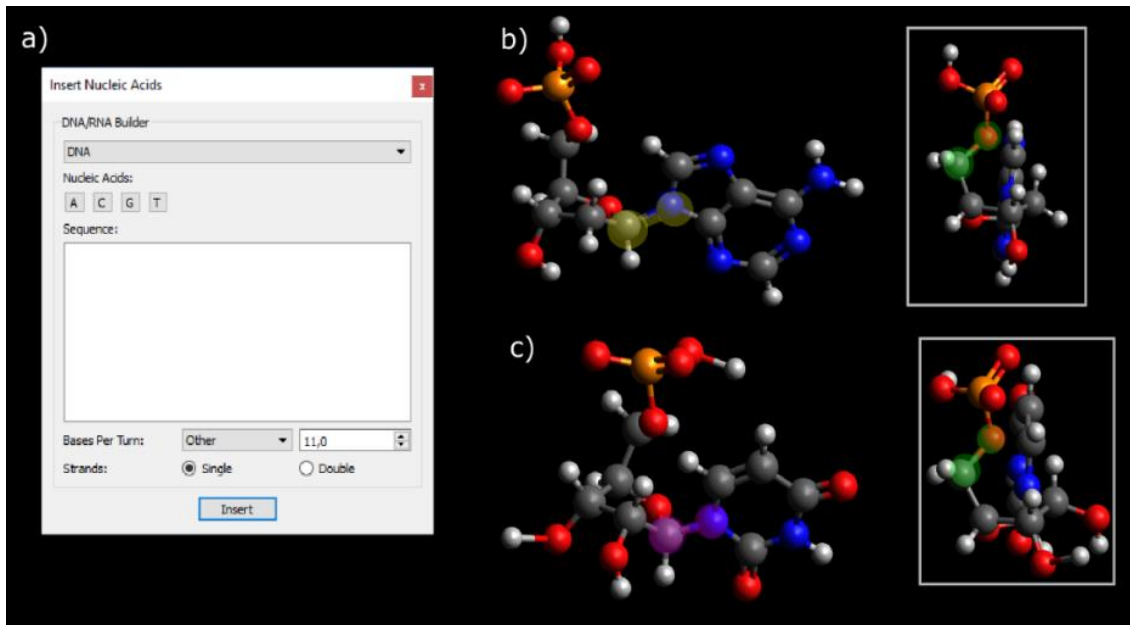


Figura 44. a) Menú insertar DNA/RNA. Estructura del b) adenosín-5-monofosfato y c) uridin-5-monofosfato.

- Estructura secundaria del ADN.

El ADN es un polímero lineal formado por una secuencia de desoxirribonucleótidos de A, G, C y T. Así, posee diferentes niveles de complejidad estructural en función de su empaquetamiento, observándose principalmente dos estructuras.

La estructura primaria es la secuencia de nucleótidos unidos por enlace fosfodiéster, que comienza por un extremo 5' (grupo fosfato) y finaliza en un extremo 3' (pentosa). La unión entre dos nucleótidos se produce mediante enlace fosfodiéster, entre el radical fosfato situado en el carbono 5 de un nucleótido y el grupo hidroxilo del carbono 3' del siguiente nucleótido. Con el programa

Avogadro,^{50,51} se construirán la estructura primaria de la siguiente secuencia de 11 nucleótidos: AGTCGATCCGC (Figura 45a).

La estructura secundaria implica la unión de dos cadenas de ADN mediante enlaces de hidrógeno entre bases complementarias. Estos enlaces de hidrógeno se establecen entre los grupos polares de bases nitrogenadas complementarias: adenina y timina se estabilizan mediante dos enlaces de hidrógeno, mientras que citosina y guanina establecen tres enlaces de hidrógeno. La Figura 45b y 45c muestra la estructura de los nucleótidos complementarios AT y GC respectivamente, con los enlaces de hidrógeno resaltados. La estructura de ambos nucleótidos complementarios se recogerá en el informe de esta práctica, resaltando los enlaces de hidrógeno que se establecen entre ellos.

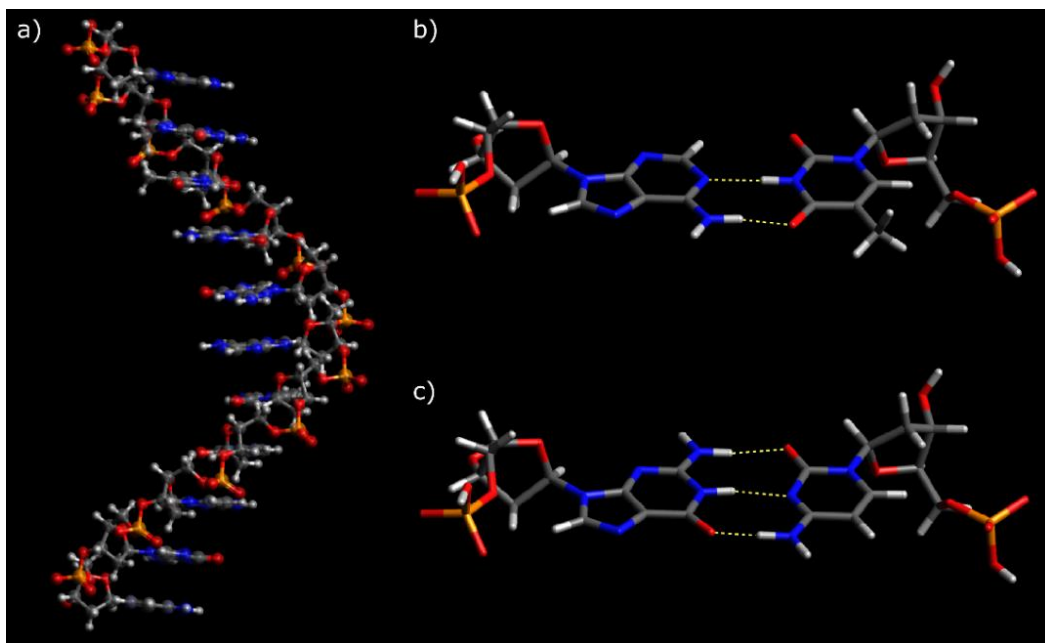


Figura 45. a) Estructura primaria del polinucleótido AGTCGATCCGC. Estructura de los dímeros b) AT y c) GC.

Comprendida la complementariedad de bases, se estudiarán las distintas estructuras secundarias del ADN. El modelo más extendido fue propuesto por Watson y Crick (gracias a las evidencias de Rosalind Franklin) y establece una doble hélice de ADN, de 2 nm de diámetro, formadas por dos cadenas antiparalelas y complementarias enrolladas de forma dextrógira alrededor de un eje imaginario. Esta estructura se denomina de tipo B, y se construirá seleccionando el fragmento de ADN cuyo identificador en la PDB es 1BNA,⁵⁹ la cual corresponde a la Figura 46a.

Existirían otras dos estructuras: la forma A, que se obtiene por desecación de la forma B y cuyos pares de bases se encuentran en planos inclinados, dando lugar a una estructura más ancha y corta; y la forma Z, más larga que la B y cuyas cadenas se encuentran formando un zigzag. Además, el enrollamiento de la última sería levógiro, mientras que en las dos primeras sería dextrógiro. La estructura de la forma A y forma Z se muestra en la Figura 46b y 46c y corresponde a los fragmentos de DNA con ID: 440D⁶⁰ e ID: 2DCG.⁶¹ El enrollamiento se resalta en las imágenes inferiores de cada estructura.

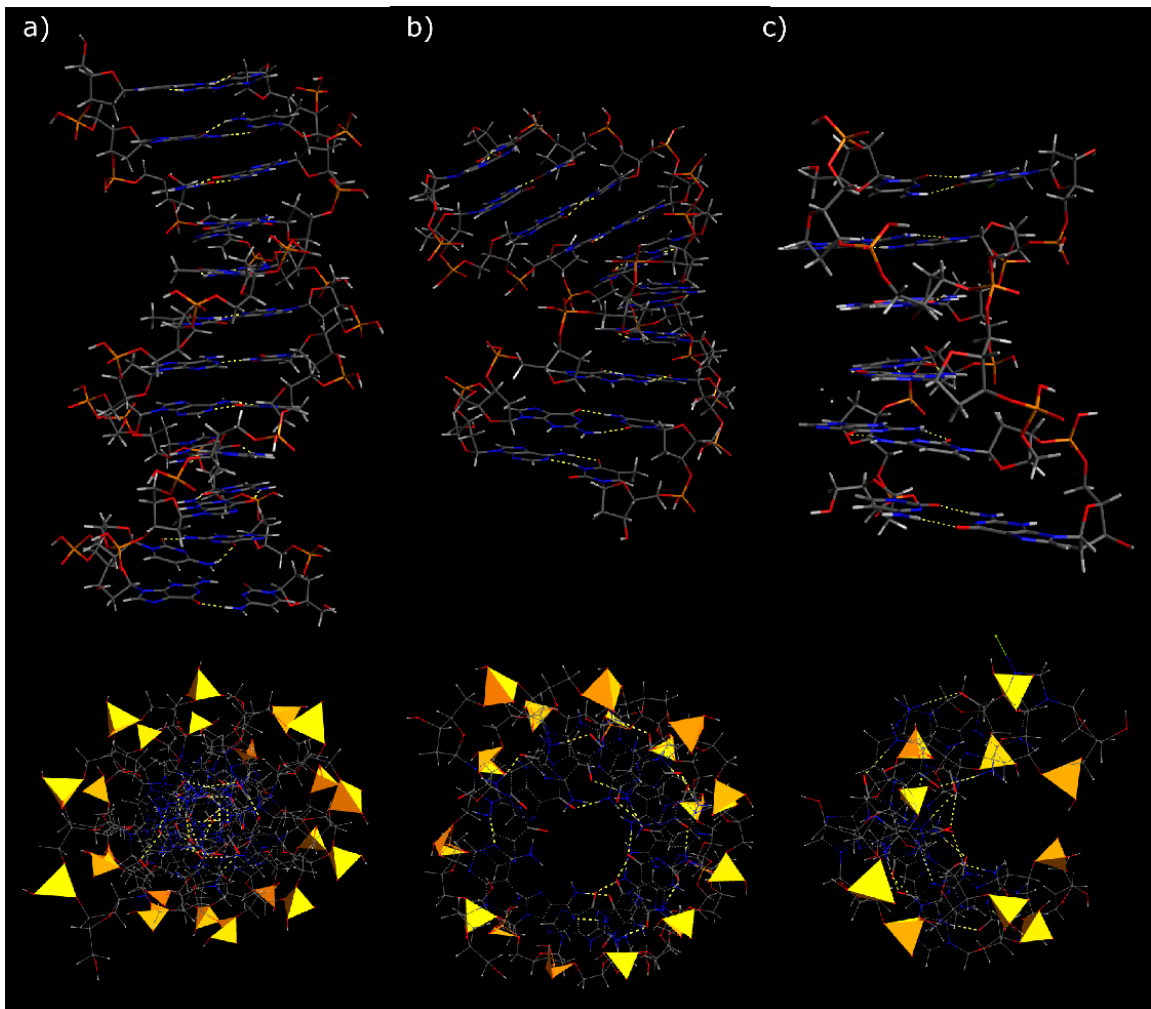


Figura 46. a) Estructura B del fragmento de DNA: 1BNA. b) Estructura A del fragmento de DNA: 440D. c) Estructura Z del fragmento de DNA: 2DCG.

Al terminar esta sección, el alumno debe recoger en el informe la estructura de Watson y Crick del ADN, recogiendo las características estructurales principales.

Así, al finalizar esta práctica, el alumno ha de ser capaz de diferenciar la composición estructural de la unidad fundamental de los ácidos nucleicos (**OE6**), entendiendo las distintas unidades que los componen los nucleótidos y los enlaces que establecen para formarlos (**OE15**). Además, el estudiante habrá analizado la estructura secundaria propuesta por Watson y Crick del ADN, centrándose en la complementariedad entre bases nitrogenadas y sus puntos de contacto (**OE16**) y las habrá comparado con otras estructuras secundarias presentes en el ADN (**OE17**).

5.1.7 Evaluación de la metodología propuesta

Para evaluar la metodología propuesta, se han tenido en cuenta los criterios de evaluación y estándares de aprendizaje evaluables relacionados de Química y Biología que figuran en el Decreto 21/2015 del B.O.R. recogidos en la Tabla 1.

Tabla 1. Criterios de evaluación y estándares de aprendizaje evaluables asociados del área de Química y Biología que figuran en el decreto 21/2015 del B.O.R.

Química	Biología
Criterios de evaluación	
1. Reconocer los compuestos orgánicos, según la función que los caracteriza. 2. Formular compuestos orgánicos sencillos con varias funciones. 6. Valorar la importancia de la química orgánica vinculada a otras áreas de conocimiento e interés social.	3. Reconocer los diferentes tipos de macromoléculas que constituyen la materia viva y relacionarlas con sus respectivas funciones biológicas en la célula. 4. Identificar los tipos de monómeros que forman las macromoléculas biológicas y los enlaces que les unen. 5. Determinar la composición química y describir la función, localización y ejemplos de las principales biomoléculas orgánicas.
Estándares de aprendizaje evaluables	
1.1. Relaciona la forma de hibridación del átomo de carbono con el tipo de enlace en diferentes compuestos representando gráficamente moléculas orgánicas sencillas. 2.1. Diferencia distintos hidrocarburos y compuestos orgánicos que poseen varios grupos funcionales, nombrándolos y formulándolos. 6.1. Relaciona los principales grupos funcionales y estructuras con compuestos sencillos de interés biológico	3.1. Reconoce y clasifica los diferentes tipos de biomoléculas orgánicas, relacionando su composición química con su estructura y su función. 4.1. Identifica los monómeros y distingue los enlaces químicos que permiten la síntesis de las macromoléculas: enlace O-glucosídico, enlace éster, enlace peptídico, O-nucleósido. 5.1. Describe la composición y función de las principales biomoléculas orgánicas.

Las seis prácticas propuestas llevarán asociada la entrega de un informe al finalizar cada una de las prácticas. Dicho informe debe contener una imagen de cada una de las estructuras estudiadas, así como el nombre correcto de cada molécula y las principales características estructurales. Además, en aquellas estructuras que presenten enlaces característicos, será obligatorio tanto la identificación de dicho enlace, su señalización y su composición. Con la presentación de dicho informe completo, quedarían recogidos todos los criterios de evaluación con sus estándares de aprendizaje asociados que figuran en dicho Decreto.

La evaluación propuesta para la metodología diseñada consistiría en una evaluación de carácter sumativo mediante la entrega de dichos informes. La entrega del informe *Word* completo de todas las prácticas en la fecha indicada supondrá un 10% de la calificación del bloque correspondiente, recuperable siempre que se entregue antes de la finalización de la evaluación del bloque correspondiente.

6. DISCUSIÓN

En este apartado, se detallará el plan de viabilidad del proyecto de innovación educativa propuesto, evaluando las ventajas y los posibles inconvenientes para su aplicación, así como los beneficios que se pudieran alcanzar.

Aguerrondo⁶² señala que existen tres tipos de viabilidades que se han de superar para que los problemas derivados de la puesta en marcha de un proyecto de innovación sean superados. Estas viabilidades son: viabilidad político-cultural, viabilidad del conocimiento y viabilidad concreta. Así, se analizarán los tres tipos de viabilidades en relación con el proyecto de investigación planteado. Finalmente, se ha analizado una cuarta viabilidad no considerada en dicha referencia: la viabilidad económica.

6.1. Viabilidad político-cultural

Esta viabilidad está relacionada con lo que Aguerrondo denomina “permiso para actuar”, otorgado por las instituciones locales y por la comunidad educativa.⁶² Así, se refieren a la oposición que la comunidad educativa o las instituciones locales pueden llegar a plantear a la propuesta de innovación.

Así, la metodología propuesta, al tratarse de una serie de prácticas en ordenador que no alterarían el desarrollo normal del currículo de las asignaturas correspondientes y que no precisan ningún tipo de peligrosidad, no precisaría ningún permiso expreso adicional para llevarlas a cabo. Además, tampoco requeriría la tutela de ningún funcionario porque entrarían dentro de la libertad de cátedra de cada profesor. Asimismo, a pesar de que no necesario acogerse a ningún programa estatal o europeo para su puesta en funcionamiento, sería aconsejable intentar encontrar algún programa estatal/europeo para obtener financiación adicional que permita mejorar dicha propuesta o adquirir *software/hardware* más potente. Finalmente, considero que la comunidad educativa vería con buenos ojos la inclusión en el aula de técnicas informáticas utilizadas en el ámbito preuniversitario que potencien las habilidades espaciales del alumnado y pretendan mejorar su rendimiento.

6.2. Viabilidad de conocimiento

Esta viabilidad está relacionada con los conocimientos con los que se cuenta para llevar a cabo y resolver los problemas de la propuesta.⁶² Así, vuelve a indicar dos dimensiones diferentes dentro de esta viabilidad: dimensión científico-profesional y dimensión organizativo-administrativa.

Así, atendiendo a la dimensión científico-profesional, es probable que el profesorado no esté familiarizado con el tipo de *software* planteado en esta propuesta de investigación. No obstante, su uso y manejo no requiere unos conocimientos informáticos muy profundos, pudiendo adquirir la soltura necesaria para su manejo en una sesión previa. Dado el nivel de detalle con el que se ha desarrollado cada una de las prácticas, y una vez realizada la sesión, el profesor ha de ser capaz de enfrentarse a las diferentes dificultades que puedan llegar a surgir durante su puesta a punto.

Por otro lado, atendiendo a la dimensión organizativo-administrativa, la propuesta de innovación pretende establecerse, en un primer estadio, en un determinado centro, por lo que no requeriría ninguna estructura administrativa en paralelo ni ninguna excepción de la norma vigente, sino que se acomoda dentro de la estructura vigente de la asignatura y del centro donde se impartiría.

6.3. Viabilidad concreta

Esta viabilidad se refiere a los aspectos más concretos: recursos humanos y materiales, el tiempo como recurso, etc.

- *Recursos humanos:*

Este apartado estaría en relación con la viabilidad de conocimiento. Así, se refiere al personal que se implicaría en el desarrollo de este y al nivel de especialización de este.

Así, llevar a cabo la propuesta de innovación presentada en este TFM involucraría únicamente al personal del departamento de ciencias del centro correspondiente relacionado con las asignaturas de 2º de Bachillerato de

Química y Biología, lo que podrían ser 2-3 personas en función del tamaño y nivel organizativo del centro. Así, estos profesores serían las responsables de liderar y poner en marcha las prácticas correspondientes y deberían coordinarse para llevarlas a cabo. Esta coordinación implicaría tanto una temporalización similar a la hora de impartir las materias (en el caso de más de un profesor por asignatura) como una reorganización de la secuenciación de los contenidos de las asignaturas (sobre todo en el ámbito de la química) para poder impartir la parte de química orgánica antes de empezar los contenidos de biomoléculas orgánicas en la asignatura de biología. Aunque pueda parecer *a priori* algo complejo a nivel organizativo, los contenidos curriculares seleccionados para esta propuesta son fácilmente acomodables e insertables en el organigrama de la asignatura en el momento que el docente o la docente decida, pues sus fundamentos no requieren de otros contenidos impartidos con anterioridad en dichas asignaturas. Y, además, este esfuerzo organizativo solo debería aplicarse la primera vez que se ponga en marcha dicha propuesta.

Por otro lado, esta propuesta de innovación también requeriría a una persona del departamento de tecnología para la instalación del *software* específico utilizado en la sala de ordenadores. Si bien es cierto que la instalación de dicho *software* no requiere unos conocimientos informáticos exhaustivos, es deseable que esa instalación recaiga sobre un miembro de dicho departamento de acuerdo con la disposición organizativa del centro, con el fin de que todo el proceso se realice de forma adecuada.

Por lo tanto, salvando el aspecto organizativo, la propuesta de innovación planteada no requeriría más de 3-4 personas para llevarla a cabo, lo que es algo bastante razonable.

- Recursos materiales:

Este apartado comprendería las instalaciones físicas y otros recursos materiales.⁶²

Así, esta propuesta de innovación requeriría el uso del aula de informática del centro. Lo recomendable sería que dicha aula de informática tuviera un ordenador por estudiante, de forma que el alumno pueda desarrollar el trabajo de forma autónoma. No obstante, si existiera una limitación de ordenadores, la

propuesta de innovación es lo suficientemente versátil como para adecuarse al trabajo por parejas, y lo único que requeriría sería una adecuación de los criterios de evaluación de dicha propuesta.

Por otro lado, el equipamiento informático, si bien es cierto que no tiene que ser de última generación, el software utilizado sí que requiere de una tarjeta gráfica relativamente potente, al tratar de visualizar estructuras tridimensionales. Aunque no es un punto crítico, sí que es deseable que el equipamiento informático estuviera actualizado para que la visualización fuera lo más fluida posible. No obstante, en cualquier centro que imparta la asignatura de Dibujo de 2º de Bachillerato, de acuerdo con los contenidos que figuran en el decreto 21/2015 del BOR,¹ se utiliza ordenadores capaces de trabajar programas de representación 3D de objetos, que utilizan incluso una carga gráfica superior a la planteada en estas prácticas. Por lo tanto, en principio el lugar donde se establezca la metodología propuesta contaría con los equipamientos necesarios.

- Recursos temporales:

Este apartado hace referencia a la temporalización de la propuesta de innovación: la duración esperable de cada etapa, el tiempo de preparación de la actividad y el lapso esperable entre un problema y su resolución.

Así, el recurso temporal es el segundo aspecto crítico de la propuesta de innovación. Los currículos de Bachillerato están marcados y organizados en torno a la realización de la Evaluación del Bachillerato para el Acceso a la Universidad (EBAU) y, por lo tanto, los tiempos para actividades adicionales están muy limitados.

El proyecto de innovación consta de 6 prácticas de 1 hora de duración, las cuales se distribuirían en 4 horas de la asignatura de Biología y 2 horas de la asignatura de Química, lo que *a priori* no parece una exigencia temporal grande. Además, se ha propuesto de forma que estas prácticas constituyan la última sesión de cada unidad didáctica correspondiente, lo que permitiría, a su vez, afianzar los conceptos desarrollados en cada unidad didáctica. De esta forma, se podría diseñar la asignatura con esta actividad como una sesión de repaso.

Por otro lado, la exigencia temporal de preparación de las actividades no es muy grande, ya que las sesiones están perfectamente detalladas en la propuesta de innovación. Únicamente, se invertiría una pequeña cantidad de tiempo en la instalación del software y en la familiarización con dichos programas. Finalmente, evaluando los problemas que pudieran producirse, éstos se relacionarían con fallos informáticos o de *software*, imposibles de prever. En cualquier caso, parece poco probable que ocurra en todos los ordenadores al mismo tiempo, de forma que, si sucediera, podría reorganizarse la actividad en grupos de dos personas. Asimismo, un fallo de software podría solventarse utilizando el otro de los programas indicados (*JSmol*)⁵⁴ o mediante la utilización de un tercer programa de visualización molecular (*VMD*),⁵³ cuya instalación solamente requeriría darse de alta (sin coste) en la página web del desarrollador⁶³ y el período de tiempo de instalación. No obstante, en la sesión de familiarización con el software indicado, sería idóneo familiarizarse también con este tercer programa para prever cualquier posible problema.

Por lo tanto, la puesta en marcha de la propuesta de innovación, en este aspecto, sería perfectamente factible.

6.4. Viabilidad económica

A pesar de que Aguerro⁶² no hace referencia a esta dimensión de forma directa, es innegable que el coste económico de la propuesta de innovación es un parámetro fundamental a la hora de estudiar su viabilidad. Así, este aspecto hace referencia a los costes económicos de implantación de la propuesta de innovación: coste de software/hardware, costes secundarios, etc.

Así, la propuesta de innovación, en esta dimensión, es perfectamente viable, ya que, tal y como se ha planteado, no tendría ningún coste para la institución:

- El software utilizado es software libre. Por lo tanto, no sería obligatorio la compra de licencias de uso para su uso.

- El lugar para realizarlo es el aula de informática del centro en el que se realicen. Como hemos visto en el apartado material, no sería condición necesaria adquirir ningún equipamiento adicional.

Sin embargo, si se contase con financiación externa, ya sea mediante una subvención estatal o europea (por ejemplo, los premios Francisco Giner de los Ríos a la mejora de la calidad educativa, o subvenciones similares), sería idóneo buscar algún otro software con una interfaz más amistosa o reponer algún ordenador que pudiera estar obsoleto.

- En cuanto a los costes secundarios, con los docentes que imparten la asignatura y un profesor del área de tecnología para instalar el software sería suficiente para poner en práctica dicha propuesta de innovación. Los únicos costes secundarios estarían relacionados con:

- El coste de la electricidad por la utilización de dicho material informático durante 6-8 horas (teniendo en cuenta el tiempo de instalación de los programas) y por la luz de esa aula.
- El coste derivado de la impresión de los guiones de prácticas para el alumnado. Si bien es cierto que se pueden entregar de forma electrónica (que también sería recomendable), el tenerlos en formato papel sería también adecuado.

En conclusión, analizada la viabilidad político cultural, de conocimiento, concreta y económica, la puesta en marcha de la propuesta de innovación es perfectamente viable e idónea.

7. CONCLUSIONES

A lo largo de este TFM se han identificado una serie de problemas relativos al aprendizaje de la química y la biología, centrándose específicamente en las dificultades espaciales que tienen los estudiantes para transformar las moléculas planas en estructuras tridimensionales. Así, se han investigado en profundidad los antecedentes de este tema. El resultado ha sido la elaboración de una metodología basada en 6 prácticas computacionales en las que se construyen y utilizan simulaciones tridimensionales de biomoléculas orgánicas para estudiar las complejidades espaciales de estos entramados biológicos. Sustentando la metodología en los fundamentos teóricos desarrollados en el Máster y encuadrándola para el alumnado de segundo de Bachillerato de las asignaturas Biología y Química, se ha diseñado al detalle una propuesta de innovación descrita en este TFM, estudiando asimismo la viabilidad de la misma en diversas dimensiones, y concluyendo que es factible debido a la sencillez de los recursos humanos, materiales, organizativos y económicos que implica.

Finalmente, se analizarán los logros alcanzados respecto de los objetivos inicialmente planteados, así como una reflexión sobre la elaboración de la propuesta de innovación y las competencias consolidadas en su ejecución.

Así, se justificarán los objetivos desarrollados en el apartado 2, tanto los generales como los específicos. En primer lugar, se argumentarán los objetivos generales. Así, el **OG1** consistía en mejorar el rendimiento del alumnado de Química y Biología de 2º de Bachillerato. En este sentido, lo único que se puede es predecir el resultado, ya que este objetivo no se puede contabilizar hasta que no se ponga en práctica. Sin embargo, parece evidente que la propuesta de innovación cumplirá dicho objetivo, esperándose obtener unos mejores resultados en las pruebas finales, pues involucra al alumnado en el proceso de aprendizaje y le presenta los contenidos de forma atractiva para una asimilación más eficaz. Los **OG2** y **OG3** trataban de potenciar la visión espacial del alumnado y desarrollar la capacidad de transformación de imágenes de biomoléculas orgánicas planas a complejos estructurales tridimensionales. Es evidente que la metodología descrita se ha elaborado con este fin específico, de forma que cumpla claramente ambos objetivos. Asimismo, el **OG4** consistía en

acercar herramientas TIC propias del ámbito universitario al alumnado preuniversitario y este proyecto se ha centrado precisamente en la utilización de *software* computacional propio del ámbito universitario por parte del alumnado de Bachillerato. Finalmente, el **OG5**, enfocado en relacionar los contenidos desarrollados en dos ramas diferentes de la ciencia: biología y química, también ha sido cubierto en este trabajo, asociando los fundamentos de química orgánica con las moléculas estructurales de interés biológico, poniendo de relieve el carácter interdisciplinar de estas dos materias.

Una vez tratados los objetivos generales, se tratarán los objetivos específicos de la propuesta de innovación, desarrollados en el apartado 2. Así, la Tabla 2 presenta los objetivos específicos tratados en cada una de las prácticas, distinguiéndose entre las prácticas diseñadas para la asignatura de Química y las diseñadas para las de Biología.

Como se pueden ver en dicha tabla, varios de ellos son tratados en diferentes prácticas: **OE5**, basado en formular y nombrar de forma adecuada los compuestos orgánicos según la nomenclatura IUPAC aceptada; y **OE6**, centrado en diferenciar la composición estructural de la unidad fundamental de los diferentes tipos de biomoléculas orgánicas; de forma que su asimilación y adquisición es más eficaz. Asimismo, el resto de los objetivos han sido tratados al menos en una ocasión en sus respectivas prácticas. Por lo tanto, se puede concluir que los objetivos perseguidos en la elaboración de la propuesta de innovación han sido bien distribuidos.

Una vez analizados la consecución de los objetivos, se procederá a reflexionar acerca de la elaboración de este TFM. Así, si nos centramos en las competencias generales y específicas que figuran en la guía de elaboración del TFM,¹⁶ vemos que la adquisición de las competencias generales (**CG04-05 y CG08-09; CB7 y CB9**) han sido claramente demostradas. En concreto, esta propuesta de innovación es un fiel reflejo de las competencias **CG04**, centrada en “concretar el currículo que se vaya a implantar en un centro docente participando en la planificación colectiva del mismo; desarrollar y aplicar metodologías didácticas, tanto grupales como personalizadas, adaptadas a la diversidad de los estudiantes”; **CB07**, basada en “que los estudiantes sepan aplicar los

Tabla 2. Objetivos específicos tratados en cada una de las 6 prácticas.

QUÍMICA	Práctica 1: Química orgánica (I)	OE1 OE2 OE5
	Práctica 2: Química orgánica (II)	OE3 OE4 OE5
BIOLOGÍA	Práctica 3: Bioquímica (I). Glúcidos	OE6 OE7 OE8 OE9 OE10
	Práctica 4: Bioquímica (II). Lípidos	OE6 OE11
	Práctica 5: Bioquímica (III). Proteínas	OE6 OE12 OE13 OE14
	Práctica 6: Bioquímica (IV). Ácidos nucleicos	OE6 OE15 OE16 OE17 OE18

conocimientos adquiridos y su capacidad de resolución de problemas en entornos nuevos o poco conocidos dentro de contextos más amplios (o multidisciplinares) relacionados con su área de estudio como específicas”; y **CB09**, apoyada en “que los estudiantes sepan comunicar sus conclusiones y los conocimientos y razones últimas que las sustentan a públicos especializados y no especializados de un modo claro y sin ambigüedades”. No obstante, el resto de las competencias: **CG05**, centrada en “diseñar y desarrollar espacios de aprendizaje con especial atención a la equidad, la educación emocional y en valores, la igualdad de derechos y oportunidades entre hombres y mujeres, la formación ciudadana y el respeto de los derechos humanos que faciliten la vida en sociedad, la toma de decisiones y la construcción de un futuro sostenible”;

CG08 basada en “diseñar y realizar actividades formales y no formales que contribuyan a hacer del centro un lugar de participación y cultura en el entorno donde esté ubicado; desarrollar las funciones de tutoría y de orientación de los estudiantes de manera colaborativa y coordinada; participar en la evaluación, investigación y la innovación de los procesos de enseñanza y aprendizaje”; y **CG09**, enfocada en “conocer la normativa y organización institucional del sistema educativo y modelos de mejora de la calidad con aplicación a los centros de enseñanza.”; aunque no se han tratado de forma directa, también se han adquirido en mayor o menor medida con la realización de este proyecto de innovación.

Por otro lado, las competencias específicas adquiridas en este TFM en su guía docente,¹⁶ se recogen a continuación:

- **CE17:** Transformar los currículos en programas de actividades y de trabajo.
- **CE18:** Adquirir criterios de selección y elaboración de materiales educativos.
- **CE26:** Adquirir experiencia en la planificación, la docencia y la evaluación de las materias correspondientes a la especialización.
- **CE27:** Acreditar un buen dominio de la expresión oral y escrita en la práctica docente.
- **CE28:** Dominar las destrezas y habilidades sociales necesarias para fomentar un clima que facilite el aprendizaje y la convivencia.
- **CE29:** Participar en las propuestas de mejora en los distintos ámbitos a partir de la reflexión basada en la práctica.

Así, la propuesta de innovación claramente ha transformado los currículos de Química y Biología en programas de actividades de trabajo (**CE17**), adquiriendo criterios de selección y elaboración de materiales educativos (**CE18**) y demostrando un dominio de las destrezas y habilidades sociales necesarias para fomentar un clima que facilite el aprendizaje (**CE28**). Asimismo, se ha elaborado una propuesta de mejora en el ámbito de la química y la biología a partir de la reflexión basada en dicha práctica (**CE29**), demostrando una planificación, docencia y evaluación de los contenidos desarrollados en este TFM (**CE26**). Finalmente, la redacción de este proyecto de innovación es la demostración que

acredita un buen dominio de la expresión oral y escrita en la práctica docente de este ámbito (**CE27**).

Para concluir, se realizará una reflexión personal de lo que ha supuesto la elaboración de este TFM. He disfrutado mucho diseñando esta propuesta de innovación, no solamente porque me apasione el tema tratado, sino porque considero que su utilización sería ampliamente beneficiosa, principalmente, por dos motivos:

- En primer lugar, introducir herramientas utilizadas en el ámbito universitario acerca a la sociedad a la realidad investigadora, contextualiza la ciencia actual y la aproxima al ámbito preuniversitario, muchas veces desconectado de los avances científicos actuales.

- En segundo lugar, porque defiende que cualquier esfuerzo en presentar la ciencia como algo atractivo, de forma que el estudiante se sienta intrigado por dos disciplinas que no siempre gozan de la simpatía de estos, es digno de ser tenido en cuenta.

Por lo tanto, considero que la propuesta de innovación aquí presentada cumple ambas dimensiones y por eso, desearía poder llevarla a cabo en algún momento determinado, para chequear tanto los resultados derivados de su aplicación como el índice de aceptación de la misma.

8. REFERENCIAS

- 1 Boletín Oficial de la Rioja, *Decreto 21/2015, por el que se establece el currículo de Bachillerato y se regulan determinados aspectos sobre su organización, así como evaluación, promoción y titulación del alumnado de la Comunidad Autónoma de La Rioja*, 2015.
- 2 Boletín Oficial del Estado, *Orden ECD/65/2015, de 21 de enero, por la que se describen las relaciones entre las competencias, los contenidos y los criterios de evaluación de la educación primaria, la educación secundaria obligatoria y el bachillerato*, 2015.
- 3 Richard Steane, BioTopics, <http://www.biotopics.co.uk/index.html>. (Junio 2018).
- 4 H. M. Berman, J. Westbrook, Z. Feng, G. Gilliland, T. N. Bhat, H. Weissig, I. N. Shindyalov and P. E. Bourne, The Protein Data Bank., *Nucleic Acids Res.*, 2000, **28**, 235–242.
- 5 A. H. Johnstone, You Can't Get There from Here, *J. Chem. Educ.*, 2010, **87**, 22–29.
- 6 A. H. Johnstone, Chemical education research in Glasgow in perspective, *Chem. Educ. Res. Pr.*, 2006, **7**, 49–63.
- 7 D. P. Ausubel, J. D. Novak and H. Hanesian, *Educational Psychology: A Cognitive View*, Holt, Rinehart and Winston, 1978.
- 8 R. Case, *Intellectual development: birth to adulthood / Robbie Case*, Academic Press, Orlando, 1985.
- 9 J. K. Gilbert and D. Treagust, *Science Teachers' Use of Visual Representations*, Springer International Publishing, Cham, 2014, vol. 8.
- 10 D. R. Dries, D. M. Dean, L. L. Listenberger, W. R. P. Novak, M. A. Franzen and P. A. Craig, An expanded framework for biomolecular visualization in the classroom: Learning goals and competencies, *Biochem. Mol. Biol. Educ.*, 2017, **45**, 69–75.
- 11 J. H. F. Meyer, R. Land and C. Baillie, *Threshold Concepts and Transformational Learning*, Sense Publishers, Rotterdam, 2010.
- 12 H. K. Wu and P. Shah, Exploring visuospatial thinking in chemistry learning, *Sci. Educ.*, 2004, **88**, 465–492.
- 13 A. W. Friede, D. L. Gabel and J. Samuel, Using Analogs for Chemistry Problem Solving: Does it Increase Understanding?, *Sch. Sci. Math.*, 2018, **90**, 674–682.
- 14 A. G. Harrison and D. F. Treagust, Secondary students' mental models of atoms and molecules: Implications for teaching chemistry, *Sci. Educ.*, 1996, **80**, 509–534.

- 15 A. G. Harrison and D. F. Treagust, Learning about atoms, molecules, and chemical bonds: A case study of multiple- model use in grade 11 chemistry, *Sci. Educ.*, 2000, **84**, 352–381.
- 16 <https://aps.unirioja.es/GuiasDocentes/servlet/consultaguias> (Junio 2018).
- 17 A. H. Johnstone and N. C. Kellett, Learning Difficulties in School Science - Towards a Working Hypothesis, *Eur. J. Sci. Educ.*, 1980, **2**, 175–181.
- 18 R. F. Kempa, Students' learning difficulties in science. Causes and possible remedies, *Enseñanza las Ciencias*, 1991, **9**, 119–128.
- 19 A. de Pro Bueno and Á. Ezquerro Martínez, La enseñanza y el Aprendizaje de la Física, *ALAMBIQUE*, 2004, **41**, 54–67.
- 20 Z. Huang, W. Yu and Z. Lin, Exploration of the full conformational landscapes of gaseous aromatic amino acid phenylalanine: An ab initio study, *J. Mol. Struct. THEOCHEM*, 2006, **758**, 195–202.
- 21 G. Sirhan, Learning Difficulties in Chemistry: An Overview, *J. Turkish Sci. Educ.*, 2007, **4**, 2–20.
- 22 A. Caamaño and A. Oñorbe, La enseñanza de la química: Conceptos y teorías , dificultades de aprendizaje y replanteamientos curriculares, *ALAMBIQUE*, 2004, **41**, 68–81.
- 23 P. Cañal de León, La enseñanza de la biología, *ALAMBIQUE*, 2004, **41**, 27–41.
- 24 R. Lazarowitz and S. Penso, High school students' difficulties in learning biology concepts, *J. Biol. Educ.*, 1992, **26**, 215–223.
- 25 C. S. Kalman, *Successful Science and Engineering Teaching: Theoretical and Learning Perspectives*, Springer International Publishing, Dordrecht, 2017.
- 26 W. B. Wood, Innovations in Teaching Undergraduate Biology and Why We Need Them, *Annu. Rev. Cell Dev. Biol.*, 2009, **25**, 93–112.
- 27 A. Caamaño and M. Izquierdo, El currículo de química del bachillerato en Cataluña: todavía muy lejos de una química contextualizada, *ALAMBIQUE*, 2003, **36**, 60–67.
- 28 R. L. Dehaan, The impending revolution in undergraduate science education, *J. Sci. Educ. Technol.*, 2005, **14**, 253–269.
- 29 M. Cvijovic, T. Höfer, J. Acimović, L. Alberghina, E. Almaas, D. Besozzi, A. Blomberg, T. Bretschneider, M. Cascante, O. Collin, P. de Atauri, C. Depner, R. Dickinson, M. Dobrzynski, C. Fleck, J. Garcia-Ojalvo, D. Gonze, J. Hahn, H. M. Hess, S. Hollmann, M. Krantz, U. Kummer, T. Lundh, G. Martial, V. M. dos Santos, A. Mauer-Oberthür, B. Regierer, B. Skene, E. Stalidzans, J. Stelling, B. Teusink, C. T. Workman and S. Hohmann, Strategies for structuring interdisciplinary education in Systems Biology: an European perspective, *npj Syst. Biol. Appl.*, 2016, **2**, 16011.

- 30 R. Duit, H. Gropengießer, U. Kattmann, M. Komorek and I. Parchmann, in *Science Education Research and Practice in Europe: Retrospective and Prospective*, eds. D. Jorde and J. Dillon, SensePublishers, Rotterdam, 2012, pp. 13–37.
- 31 E. Kehoe and R. L. Penn, Introducing colorimetric analysis with camera phones and digital cameras: An activity for high school or general chemistry, *J. Chem. Educ.*, 2013, **90**, 1191–1195.
- 32 P. Klein, M. Hirth, S. Gröber, J. Kuhn and A. Müller, Classical experiments revisited: smartphones and tablet PCs as experimental tools in acoustics and optics, *Phys. Educ.*, 2014, **49**, 412.
- 33 J. Kuhn and P. Vogt, Analyzing spring pendulum phenomena with a smartphone acceleration sensor, *Phys. Teach.*, 2012, **50**, 504–505.
- 34 J. Kuhn, A. Molz, S. Gröber and J. Frübis, iRadioactivity — Possibilities and Limitations for Using Smartphones and Tablet PCs as Radioactive Counters, *Phys. Teach.*, 2014, **52**, 351–356.
- 35 J. M. Zydney and Z. Warner, Mobile apps for science learning: Review of research, *Comput. Educ.*, 2016, **94**, 1–17.
- 36 S. Dekhane and M. Y. Tsoi, Designing a Mobile Application for Conceptual Understanding, *Int. J. Mob. Blended Learn.*, 2012, **4**, 34–52.
- 37 K. D. Squire and M. Jan, Mad city mystery: Developing scientific argumentation skills with a place-based augmented reality game on handheld computers, *J. Sci. Educ. Technol.*, 2007, **16**, 5–29.
- 38 T. J. Lin, H. B. L. Duh, N. Li, H. Y. Wang and C. C. Tsai, An investigation of learners' collaborative knowledge construction performances and behavior patterns in an augmented reality simulation system, *Comput. Educ.*, 2013, **68**, 314–321.
- 39 K. J. Schönborn, T. R. Anderson and D. J. Grayson, Student difficulties with the interpretation of a textbook diagram of immunoglobulin G (IgG), *Biochem. Mol. Biol. Educ.*, 2002, **30**, 93–97.
- 40 M. Harle and M. Towns, A review of spatial ability literature, its connection to chemistry, and implications for instruction, *J. Chem. Educ.*, 2011, **88**, 351–360.
- 41 O. A. H. Jones and M. J. S. Spencer, A Simplified Method for the 3D Printing of Molecular Models for Chemical Education, *J. Chem. Educ.*, 2018, **95**, 88–96.
- 42 S. Rossi, M. Benaglia, D. Brenna, R. Porta and M. Orlandi, Three Dimensional (3D) Printing: A Straightforward, User-Friendly Protocol To Convert Virtual Chemical Models to Real-Life Objects, *J. Chem. Educ.*, 2015, **92**, 1398–1401.

- 43 M. R. Penny, Z. J. Cao, B. Patel, B. Sil Dos Santos, C. R. M. Asquith, B. R. Szulc, Z. X. Rao, Z. Muwaffak, J. P. Malkinson and S. T. Hilton, Three-Dimensional Printing of a Scalable Molecular Model and Orbital Kit for Organic Chemistry Teaching and Learning, *J. Chem. Educ.*, 2017, **94**, 1265–1271.
- 44 T. Elangovan and Z. Ismail, The effects of 3D computer simulation on biology students' achievement and memory retention, *Asia-Pacific Forum Sci. Learn. Teach.*, 2014, **15**, 1–25.
- 45 S. R. Martini and C. J. Hartzell, Integrating Computational Chemistry into a Course in Classical Thermodynamics, *J. Chem. Educ.*, 2015, **92**, 1201–1203.
- 46 M. T. Springer, Improving students' understanding of molecular structure through broad-based use of computer models in the undergraduate organic chemistry lecture, *J. Chem. Educ.*, 2014, **91**, 1162–1168.
- 47 M. Oliver-Hoyo and M. A. Babilonia-Rosa, Promotion of Spatial Skills in Chemistry and Biochemistry Education at the College Level, *J. Chem. Educ.*, 2017, **94**, 996–1006.
- 48 chemcraft, <http://www.chemcraftprog.com>. (Junio 2018).
- 49 www.gaussian.com (Junio 2018).
- 50 Avogadro: an open-source molecular builder and visualization tool., <http://avogadro.cc/>. (Junio 2018).
- 51 B. Rayan and A. Rayan, Avogadro Program for Chemistry Education: To What Extent can Molecular Visualization and Three-dimensional Simulations Enhance Meaningful Chemistry Learning?, *World J. Chem. Educ.*, 2017, **5**, 136–141.
- 52 <https://pymol.org/2/> (Junio 2018).
- 53 W. Humphrey, A. Dalke and K. Schulten, VMD: visual molecular dynamics., *J. Mol. Graph.*, 1996, **14**, 27–38.
- 54 Jmol: an open-source Java viewer for chemical structures in 3D, <http://www.jmol.org/>. (Junio 2018).
- 55 J. Alcamí Pertejo, *Biología 2º Bachillerato*, Grupo SM, 2016.
- 56 J. I. del Barrio Barrero, *Química 2º Bachillerato*, Grupo SM, 2016.
- 57 W. Braun, G. Wider, K. H. Lee and K. Wuthrich, Conformation of glucagon in a lipid-water interphase by 1H nuclear magnetic resonance, *J. Mol. Biol.*, 1983, **169**, 921–948.
- 58 G. Bentley, E. Dodson, G. Dodson, D. Hodgkin and D. Mercola, Structure of insulin in 4-zinc insulin., *Nature*, 1976, **261**, 166–168.
- 59 H. R. Drew, R. M. Wing, T. Takano, C. Broka, S. Tanaka, K. Itakura and R. E. Dickerson, Structure of a B-DNA dodecamer: conformation and dynamics., *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, 1981, **78**, 2179–2183.

- 60 Y. G. Gao, H. Robinson and A. H. Wang, High-resolution A-DNA crystal structures of d(AGGGGCCCCT). An A-DNA model of poly(dG) x poly(dC)., *Eur. J. Biochem.*, 1999, **261**, 413–420.
- 61 A. H. Wang, G. J. Quigley, F. J. Kolpak, J. L. Crawford, J. H. van Boom, G. van der Marel and A. Rich, Molecular structure of a left-handed double helical DNA fragment at atomic resolution., *Nature*, 1979, **282**, 680–686.
- 62 I. Aguerro, in *Innovating to Learn, Learning to Innovate*, OECD Publishing, 2008, pp. 175–203.
- 63 <http://www.ks.uiuc.edu/Research/vmd>. (Junio 2018).