



UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID

Proyecto de Innovación

Convocatoria 2024/2025

Nº Proyecto: 100

Implementación de modelos físicos y virtuales como recursos didácticos para mejorar la comprensión de la Bioquímica en el área de Ciencias de la Salud

Carmen Rodríguez Cueto

Facultad de Medicina

Dpto. Bioquímica y Biología Molecular

1. OBJETIVOS PROPUESTOS EN LA PRESENTACIÓN DEL PROYECTO

La Bioquímica es un área de conocimiento extensa, caracterizada por su naturaleza interdisciplinar al combinar principios de Biología y de Química. Es crucial que quienes aspiren a ser profesionales en Ciencias de la Salud cuenten con una formación sólida en esta disciplina, no solo por su papel central en la comprensión del funcionamiento molecular de los organismos vivos, sino también por su aplicabilidad directa en el análisis fisiopatológico, el diagnóstico clínico y el diseño de estrategias terapéuticas. Es, por tanto, una asignatura troncal cuya adecuada asimilación resulta imprescindible para la formación científica del alumnado.

Sin embargo, pese a su relevancia, la Bioquímica se percibe con frecuencia como una materia densa, altamente teórica y alejada de la práctica clínica. Esta percepción se ve agravada por la complejidad intrínseca de muchos de sus contenidos, que requieren un elevado nivel de abstracción conceptual, especialmente en lo que respecta a la estructura tridimensional y a la función de las biomoléculas. En particular, los estudiantes suelen enfrentarse con dificultades importantes a la hora de visualizar estructuras moleculares, interpretar mecanismos enzimáticos o integrar rutas metabólicas, lo que repercute en una comprensión fragmentada y poco significativa de los conceptos.

En este contexto, diversos estudios en didáctica de la Bioquímica han puesto de manifiesto la necesidad de renovar los enfoques docentes mediante metodologías activas y recursos que permitan una representación más visual, interactiva y manipulativa de los contenidos. Las herramientas digitales, las simulaciones moleculares y los modelos físicos tridimensionales permiten transformar conceptos abstractos en experiencias tangibles, facilitando así la construcción de un conocimiento más profundo, funcional y duradero. El auge de estas metodologías activas en la Educación Superior representa una oportunidad para sustituir parcial o complementariamente la clase magistral tradicional por actividades más dinámicas, participativas y centradas en el estudiante.

Como respuesta a esta problemática, este proyecto de innovación docente propuso como objetivo principal mejorar la comprensión de los contenidos más complejos de la Bioquímica en el alumnado de los grados en Ciencias de la Salud, mediante la incorporación de recursos didácticos innovadores, tanto manipulativos como visuales.

En concreto, se planteó seleccionar, desarrollar e integrar modelos físicos tridimensionales (comerciales y personalizados mediante impresión 3D), junto con herramientas virtuales interactivas de libre acceso, que permitieran representar de forma clara y tangible las estructuras y procesos bioquímicos. Esta estrategia busca fomentar la participación activa del alumnado, potenciar su motivación y facilitar una conexión más directa entre los contenidos teóricos y su aplicación en contextos biomédicos y clínicos.

Este enfoque responde a varias necesidades docentes y formativas detectadas previamente, que justifican su pertinencia:

- Superar la barrera de abstracción conceptual que dificulta la comprensión de la estructura y función de las biomoléculas.

- Aumentar el nivel de motivación del alumnado hacia la Bioquímica, presentándola como una disciplina con aplicaciones claras y relevantes en su futura actividad profesional.
- Fomentar la participación activa y el aprendizaje significativo a través de la manipulación, la exploración autónoma y la interacción con recursos visuales.
- Facilitar la inclusión de metodologías docentes innovadoras, alineadas con los estándares europeos en educación superior (EEES), y promover la competencia digital del profesorado.

La implementación de estos recursos permite generar un entorno de aprendizaje más interactivo y experiencial, en el que el alumnado puede construir su conocimiento de manera activa, significativa y contextualizada. Los modelos físicos tridimensionales permiten, por ejemplo, observar directamente interacciones espaciales entre biomoléculas, mientras que las herramientas virtuales posibilitan simular procesos dinámicos —como reacciones enzimáticas o mecanismos de regulación— que no pueden captarse adecuadamente con recursos estáticos.

De este modo, el proyecto aspira no solo a mejorar el rendimiento académico y la comprensión conceptual, sino también a contribuir a la adquisición de competencias transversales clave, como el pensamiento crítico, la capacidad de análisis estructural-funcional, la integración de conocimientos y la autonomía en el aprendizaje.

Para materializar estos fines, se establecieron los siguientes objetivos específicos:

1. Identificar los conceptos bioquímicos abstractos de mayor dificultad para el alumnado de Ciencias de la Salud.
2. Seleccionar herramientas virtuales interactivas de libre acceso para visualizar procesos bioquímicos complejos.
3. Seleccionar y desarrollar modelos físicos (comerciales e impresos en 3D) que representen estructuras clave.
4. Integrar estos recursos en asignaturas del área de Bioquímica y Biología Molecular.
5. Diseñar una estrategia de evaluación del impacto en el aprendizaje y la motivación del alumnado.

2. OBJETIVOS ALCANZADOS

El proyecto ha alcanzado de forma satisfactoria los objetivos planteados, implementando con éxito una estrategia estructurada en cinco fases que han permitido identificar barreras de aprendizaje, seleccionar recursos pedagógicos adecuados, integrarlos de forma coherente en la docencia y evaluar su impacto real en el proceso educativo.

1. Identificación de conceptos bioquímicos de difícil comprensión

En primer lugar, se identificaron los conceptos considerados más abstractos o inaccesibles por parte del alumnado, con especial atención a aquellos que exigen visualización espacial, comprensión estructural y análisis funcional. Esta fase se desarrolló mediante encuestas específicas, grupos focales con estudiantes, análisis de exámenes anteriores y revisión de las experiencias docentes acumuladas.

Las principales dificultades detectadas se concentraron en la estructura tridimensional de las biomoléculas, la estereoquímica, los mecanismos de acción enzimática y la integración de rutas metabólicas. Estos conceptos, clave en la formación bioquímica, suelen actuar como cuellos de botella en el aprendizaje, afectando negativamente la motivación, el rendimiento y la adquisición de competencias.

2. Selección y evaluación de herramientas virtuales interactivas

La segunda fase del proyecto se centró en la búsqueda, análisis y selección de recursos digitales accesibles que ofrecieran representaciones visuales dinámicas y manipulables de estructuras y procesos bioquímicos. Se evaluaron más de 100 herramientas mediante una revisión sistemática basada en criterios de interactividad, adecuación curricular, accesibilidad, calidad visual y facilidad de integración docente.

Entre las herramientas finalmente seleccionadas se encuentran visualizadores moleculares (como PDB, ChemTube3D, AlphaFold, Biomodel), simuladores interactivos (como PhET, Sumanas Inc., LearnChemE) y plataformas gamificadas (Wordwall, Educaplay), que permiten abordar contenidos desde enfoques variados. Estos materiales han sido clasificados y vinculados a contenidos específicos del currículo, generando un repositorio común que ha comenzado a aplicarse en diversas asignaturas del área.

3. Desarrollo y adquisición de modelos físicos tridimensionales

En paralelo a la digitalización, se desarrolló una línea de trabajo basada en el uso de modelos físicos para representar estructuras moleculares complejas de forma tangible. Se combinaron modelos comerciales (Molymod®) con la creación de modelos personalizados mediante impresión 3D, orientados a representar moléculas como proteínas, lípidos o ADN, y complejos funcionales como la ATP sintasa.

Los modelos han sido diseñados en colaboración con personal técnico especializado y validados con grupos piloto, teniendo en cuenta criterios de fidelidad estructural, resistencia al uso, facilidad de manipulación y utilidad didáctica. Esta aproximación ha permitido mejorar la comprensión de conceptos que requieren visión espacial y análisis funcional simultáneo.

4. Integración de los recursos en la docencia reglada

Ambos tipos de recursos (virtuales y físicos) se han integrado en la planificación docente de varias asignaturas troncales del área de Bioquímica y Biología Molecular en los grados de Medicina, Nutrición, Fisioterapia y Podología. Las metodologías empleadas han incluido aula invertida, estaciones rotatorias, talleres manipulativos, dinámicas de gamificación y evaluaciones formativas interactivas.

Esta integración no ha sido puntual ni anecdótica, sino sistemática y adaptada a cada contexto docente. Los recursos se han introducido como parte estable de las actividades prácticas y teóricas, permitiendo su aplicación transversal a lo largo de los cursos y titulaciones implicadas.

5. Evaluación del impacto en el aprendizaje y la motivación

La fase final consistió en una evaluación mixta (cuantitativa y cualitativa) del impacto del proyecto. Se utilizaron cuestionarios pre/post sobre contenidos específicos, encuestas de satisfacción, entrevistas semiestructuradas al alumnado y rúbricas de valoración docente.

Los resultados obtenidos muestran una mejora significativa en la comprensión de los conceptos abordados, así como un aumento generalizado en el interés y la participación del alumnado. El profesorado implicado ha destacado el potencial de estos recursos para fomentar un aprendizaje más activo, visual y duradero.

En conjunto, el proyecto no solo ha cumplido los objetivos específicos definidos en su formulación, sino que ha generado herramientas y materiales reutilizables que han comenzado a formar parte estructural de la docencia del área, con posibilidad de expansión a otros contextos y niveles educativos. Además, ha fortalecido la colaboración entre docentes, técnicos y estudiantes, consolidando una comunidad educativa comprometida con la innovación docente basada en evidencias.

3. METODOLOGÍA EMPLEADA EN EL PROYECTO

El desarrollo del proyecto siguió una metodología estructurada en cinco fases, orientada a la consecución progresiva de los objetivos planteados. Se fomentó un enfoque participativo y colaborativo entre el profesorado, el personal técnico y el alumnado.

Fase 1: Identificación de dificultades conceptuales: Se emplearon encuestas anónimas, grupos focales y análisis de evaluaciones previas para detectar los conceptos que presentan mayor dificultad entre el alumnado de Ciencias de la Salud. Esta información fue discutida en sesiones de coordinación docente, permitiendo priorizar aquellos contenidos cuya comprensión se ve más beneficiada por el uso de representaciones visuales y manipulativas.

Fase 2: Selección de herramientas digitales: Se realizó una revisión sistemática de recursos virtuales de libre acceso con potencial pedagógico, priorizando aquellos con visualización tridimensional, capacidad de interacción, calidad gráfica y facilidad de integración curricular. Los recursos fueron evaluados por el equipo docente y clasificados según su aplicabilidad, tipo de contenido y nivel de dificultad, conformando un banco de materiales alineado con las competencias de cada asignatura.

Fase 3: Desarrollo y adquisición de modelos físicos: Se combinó la adquisición de modelos comerciales con la fabricación de modelos personalizados mediante impresión 3D. La impresión 3D ha constituido una de las innovaciones metodológicas más destacadas del proyecto, al permitir representar estructuras complejas no disponibles comercialmente y adaptarlas a objetivos docentes concretos. Para el diseño de los modelos se partió por un lado de datos estructurales obtenidos de bases de datos especializadas como el Protein Data Bank (PDB), a partir de los cuales se generaron archivos STL mediante software de modelado molecular. Estos archivos fueron optimizados para su impresión en diferentes tecnologías: FDM (modelado por deposición de filamento fundido), utilizada para piezas resistentes y de gran tamaño, e impresión con resina líquida fotopolimerizable (SLA/DLP), empleada en modelos de alta resolución. Se fabricaron diversos modelos que abordan desde la conformación tridimensional global y las interacciones entre subunidades, hasta aspectos funcionales y dinámicos relacionados con el mecanismo molecular. Además del diseño de modelos a partir de la estructura del PDB, se utilizó e imprimió un modelo de ATP sintasa cuyo archivo *stl* se encontró en el repositorio libre thingiverse

Fase 4: Integración en el aula: Los recursos desarrollados se han integrado en forma de pruebas piloto en varias asignaturas troncales del área de Bioquímica y Biología Molecular, mediante actividades diseñadas con metodologías activas (aula invertida, talleres manipulativos, gamificación, estaciones rotatorias, entre otras). Estas pruebas se han llevado a cabo en grupos seleccionados o en sesiones específicas dentro del curso académico, con el objetivo de evaluar la viabilidad, utilidad y receptividad de los materiales en un entorno real de aula.

Fase 5: Evaluación del impacto: La evaluación del impacto ha combinado instrumentos cuantitativos y cualitativos: cuestionarios pre/post centrados en contenidos específicos, encuestas de satisfacción del alumnado y entrevistas semiestructuradas. Estos datos han servido para obtener una primera aproximación al efecto de los recursos en la comprensión conceptual, el interés y la participación del alumnado.

4. RECURSOS HUMANOS

El equipo humano implicado en el desarrollo del proyecto ha estado constituido por un grupo interdisciplinar de docentes, personal técnico y estudiantado de la Facultad de Medicina de la Universidad Complutense de Madrid (UCM) y de la Universidad Francisco de Vitoria (UFV). Esta colaboración interinstitucional ha permitido aunar experiencia docente, conocimiento técnico y acceso a infraestructuras especializadas, aspectos clave para el éxito del proyecto.

El núcleo del equipo lo han conformado seis profesoras pertenecientes a la Sección Departamental de Bioquímica y Biología Molecular de la UCM, todos ellos con una sólida trayectoria en docencia universitaria en titulaciones del ámbito de las Ciencias de la Salud y con experiencia previa en innovación educativa.

- Carmen Rodríguez Cueto (responsable de la coordinación del proyecto)
- Eva de Lago Femia
- Onintza Sagredo Ezquioga
- Concepción García García
- Elisa Navarro González de Mesa
- María Gómez Cañas

A este equipo se ha sumado un profesor de la Facultad de Ciencias Experimentales de la Universidad Francisco de Vitoria, con amplia experiencia en docencia en Química, así como en tecnología de impresión 3D aplicada a la educación, lo que ha sido especialmente relevante para el diseño y fabricación de modelos moleculares personalizados. Su participación ha facilitado el acceso a tecnologías avanzadas gracias a la colaboración con el Fab-Lab de la UFV, un espacio dotado de equipamiento especializado para el modelado e impresión tridimensional de alta resolución.

- Ramiro Perezan Rodríguez

Asimismo, el proyecto ha contado con el apoyo de un técnico de laboratorio de la Sección Departamental de Bioquímica y Biología Molecular de la UCM, con amplia experiencia en las prácticas docentes.

- Inés Hernández Fisac

También se ha contado con dos investigadoras postdoctorales que llevan años colaborando en la Docencia del Departamento de Bioquímica y Biología Molecular:

- Noemí Esteras Gallego
- Valentina Satta

Finalmente, se ha incorporado al equipo una estudiante delegada del Grado en Fisioterapia, cuya participación ha aportado una perspectiva directa del estudiantado:

- Pilar Guzmán Verdú

Esta estructura de equipo ha permitido una distribución eficaz de tareas, combinando competencias pedagógicas, técnicas y organizativas. Además, la colaboración entre instituciones ha favorecido la transferencia de conocimiento y recursos, contribuyendo a la sostenibilidad y escalabilidad del proyecto más allá del marco inicial de actuación.

5. DESARROLLO DE LAS ACTIVIDADES

El proyecto se ha desarrollado a lo largo de cinco fases secuenciales, cada una de ellas orientada a la consecución de un objetivo específico. Estas fases han permitido avanzar desde la identificación de necesidades hasta la evaluación preliminar del impacto educativo, pasando por el diseño, selección e integración de recursos didácticos innovadores.

Fase 1. Identificación de dificultades conceptuales

Esta fase tuvo como objetivo reconocer los principales obstáculos de comprensión conceptual que presenta el alumnado en el aprendizaje de la Bioquímica, especialmente en las asignaturas dependientes de la Sección Departamental de Bioquímica y Biología Molecular de la UCM, en las que imparte docencia la mayoría del profesorado participante en el proyecto, y que se integran en diversos grados del ámbito de las Ciencias de la Salud. Se llevó a cabo mediante una aproximación mixta que incluyó:

- Encuestas anónimas al alumnado de varias asignaturas del primer y segundo curso, orientadas a identificar los contenidos percibidos como más abstractos, difíciles o desconectados de la práctica clínica.
- Grupos focales con estudiantes seleccionados, que permitieron explorar con mayor profundidad las causas subyacentes de estas dificultades, así como recoger propuestas espontáneas sobre recursos que consideran útiles para mejorar su aprendizaje.
- Análisis cualitativo de exámenes y actividades de años anteriores, en los que se identificaron patrones recurrentes de errores y lagunas conceptuales.
- Sesiones de discusión docente, donde el profesorado implicado en la docencia de Bioquímica y Biología Molecular compartió su experiencia y detectó los denominados “conceptos umbral”: contenidos que, si no se comprenden adecuadamente, bloquean el avance en la asignatura.

Entre los temas con mayores dificultades se señalaron: la estereoquímica de biomoléculas, la estructura tridimensional de proteínas y ácidos nucleicos, los mecanismos enzimáticos, la termodinámica de las reacciones bioquímicas, y la regulación integrada del metabolismo.

Fase 2. Selección de herramientas virtuales

Con base en los resultados de la fase anterior, se emprendió una revisión sistemática de herramientas digitales de acceso abierto con potencial didáctico para abordar los conceptos complejos previamente identificados. Se analizaron más de 100 recursos educativos, utilizando una matriz de evaluación que incluía:

- Relevancia curricular y adecuación al nivel formativo.
- Grado de interactividad, visualización tridimensional y manipulación.
- Usabilidad técnica y facilidad de integración en entornos docentes.
- Calidad visual, diseño gráfico y claridad conceptual.
- Posibilidades de autoevaluación y retroalimentación inmediata.

Se seleccionaron herramientas como ChemTube3D, PhET Simulations, Sumanas Inc., Protein Data Bank (PDB), AlphaFold, Geneious, Biomodel y Sketchfab, entre otras. Además, se incorporaron recursos gamificados como Wordwall, Educaplay o

simuladores de reacciones y mecanismos metabólicos interactivos, clasificados por nivel de dificultad y tipo de contenido.

Los materiales seleccionados fueron catalogados en una base de datos estructurada, vinculada a los contenidos de varias asignaturas, y se diseñaron actividades específicas para su implementación piloto en el aula (Anexo 1).

Fase 3. Desarrollo y adquisición de modelos físicos

Una de las acciones más innovadoras del proyecto fue el diseño y fabricación de modelos físicos personalizados mediante impresión 3D, combinada con la adquisición de modelos comerciales. Esta línea de trabajo se desarrolló en dos vertientes:

1. Selección de modelos comerciales (Molymod®), que incluyeron hélices alfa, láminas beta y estructuras de lípidos. Estos modelos fueron seleccionados por su resistencia, facilidad de manipulación y valor didáctico en la enseñanza de la estructura molecular básica (Anexo2).
2. Diseño de modelos personalizados mediante impresión 3D, orientados a representar estructuras complejas o inexistentes en el mercado. El proceso se llevó a cabo en colaboración con técnicos del Fab-Lab de la Universidad Francisco de Vitoria y liderados por uno de ellos profesores participantes en el proyecto, el Dr. Ramiro Perezan y constó de las siguientes etapas:
 - Obtención de modelos moleculares a partir de estructuras reales descargadas del Protein Data Bank (PDB).
 - Conversión de archivos PDB a formatos STL, utilizando software de visualización y edición molecular como Chimera, PyMOL y/o Blender.
 - Diseño y segmentación de las estructuras, incorporando detalles funcionales y subunidades con diferenciación cromática o por textura.
 - Impresión en distintas tecnologías: FDM (deposición de filamento fundido) para prototipos resistentes, y SLA/DLP (fotopolimerización de resinas) para piezas con mayor nivel de detalle.

Se diseñaron modelos para cubrir diversas necesidades didácticas, desde la visualización de la conformación tridimensional (proteínas multiméricas) hasta la representación de mecanismos moleculares (como la rotación de subunidades en la ATP sintasa). Estos modelos permiten facilitar el trabajo colaborativo y el aprendizaje manipulativo en el aula. Los modelos desarrollados mediante impresión 3D se han centrado principalmente en la ATP sintasa, una proteína de enorme relevancia fisiológica.

Esta enzima es esencial para el metabolismo celular, ya que cataliza la síntesis de ATP (la principal fuente de energía química en los organismos vivos) a partir de ADP y fosfato inorgánico, utilizando como fuerza impulsora el gradiente de protones generado durante la cadena de transporte electrónico mitocondrial. Su importancia científica quedó reconocida con la concesión del Premio Nobel de Química en 1997 a Paul D. Boyer y John E. Walker, por desvelar el mecanismo mediante el cual la ATP sintasa lleva a cabo esta función vital. Desde el punto de vista docente, la ATP sintasa representa un modelo especialmente valioso por su complejidad estructural y su mecanismo de acción rotacional, único entre las proteínas celulares. Está formada por múltiples subunidades dispuestas en dos dominios funcionales principales (F_0 y F_1), cuya interacción permite la conversión de energía electroquímica en energía química. Esta organización modular

y dinámica resulta difícil de visualizar en dos dimensiones, lo que justifica plenamente el uso de modelos físicos tridimensionales para facilitar su comprensión. Los diseños impresos incluyen representación diferenciada de subunidades, zonas móviles y orientación funcional, permitiendo ilustrar tanto su arquitectura como su mecanismo catalítico de forma tangible y manipulativa en el aula (Anexo 3).

Fase 4. Integración en el aula

La implementación de los recursos se realizó en formato piloto. Se integraron en sesiones específicas dentro de las siguientes asignaturas de grado:

- Bioquímica Básica (1.º Medicina)
- Bioquímica Humana (2.º Medicina)
- Genética Molecular Humana (2.º Medicina)
- Bioquímica (1.º Nutrición)
- Regulación e Integración del Metabolismo (2.º Nutrición)
- Biología (Bioquímica) (1.º Fisioterapia y Podología)

Se emplearon metodologías activas, adaptadas a cada contexto:

- Aula invertida: acceso previo a simuladores, reservando la clase para resolver casos.
- Talleres prácticos: con uso combinado de modelos físicos y recursos digitales.
- Gamificación: actividades interactivas con retroalimentación inmediata.
- Estaciones rotatorias: con actividades secuenciales que permiten abordar un mismo concepto desde distintos formatos (visual, manipulativo, teórico).
- Autoevaluaciones: cuestionarios digitales integrados al final de cada unidad.

Estas actividades han permitido valorar la receptividad del alumnado, su participación y la funcionalidad práctica de los recursos antes de una implementación más amplia.

Fase 5. Evaluación del impacto

La fase final consistió en la evaluación preliminar del impacto del proyecto sobre el proceso de aprendizaje. Se combinaron instrumentos cuantitativos y cualitativos (Anexo 4):

- Cuestionarios pre/post sobre contenidos tratados con apoyo visual o manipulativo.
- Encuestas de satisfacción centradas en percepción de utilidad, claridad conceptual y motivación.
- Entrevistas semiestructuradas a una muestra del alumnado y al profesorado participante.

Los resultados apuntan a una mejora clara en la comprensión de contenidos complejos, así como una mayor motivación y participación durante las sesiones que incorporaron los recursos. También se han recogido propuestas para mejorar el diseño de algunos modelos y optimizar la integración digital.

La información recopilada servirá para ajustar los materiales y actividades de cara a su expansión y consolidación en futuras ediciones, sentando las bases de un modelo de innovación docente sostenible y transferible.

6. ANEXOS

- Anexo 1. Actividades con recursos virtuales
- Anexo 2. Actividades con modelos físicos comerciales
- Anexo 3. Actividades con modelos tridimensionales personalizados
- Anexo 4. Instrumentos de evaluación empleados

ANEXO1. ACTIVIDADES CON RECURSOS VIRTUALES

ASIGNATURA: BIOQUÍMICA BÁSICA (MEDICINA), BIOQUÍMICA (NUTRICIÓN), BIOLOGÍA-BIOQUÍMICA (FISIOTERAPIA Y PODOLOGÍA)

La enseñanza de la Bioquímica en los grados de Medicina, Nutrición Humana y Dietética, Fisioterapia y Podología supone un reto importante debido a la abstracción y complejidad de muchos de sus contenidos. Procesos como el transporte de solutos a través de membranas, la cadena de transporte de electrones, la fosforilación oxidativa o las rutas metabólicas requieren integrar estructuras moleculares, dinámicas funcionales y relación con patologías, lo que supone una barrera para muchos estudiantes. En el marco del presente Proyecto de Innovación Docente se han identificado y aplicado diversos recursos digitales interactivos, organizados por bloques temáticos, para facilitar la comprensión y visualización de estos procesos. A continuación, se recogen ejemplos representativos clasificados por tema.

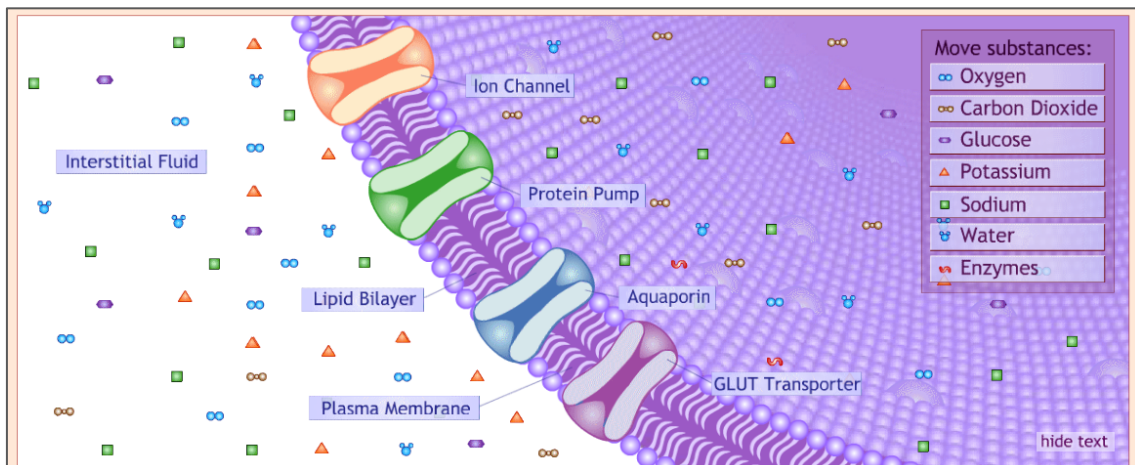
RECURSO 1:

TEMA: Transporte a través de las membranas biológicas

Recurso: animación interactiva sobre el paso de solutos a través de membranas celulares.

Este recurso permite representar de forma clara y sencilla el paso de solutos a través de las membranas celulares, incluyendo la participación de canales y transportadores. Es especialmente útil para que los alumnos comprendan las diferencias entre los tipos de transporte y los gradientes generados.

FUENTE: <https://www.pbslearningmedia.org/resource/tdc02.sci.life.cell.membraneweb/cell-membrane-just-passing-through/>



APLICACIÓN: Se utilizó como complemento en la clase teórica sobre transporte celular. El recurso fue proyectado tras la explicación del contenido, y se proporcionó el enlace en el campus virtual para su revisión autónoma por parte del alumnado.

EVALUACIÓN: Se ha previsto una encuesta de percepción en el campus virtual para valorar si el recurso ha facilitado la comprensión de los diferentes tipos de transporte.

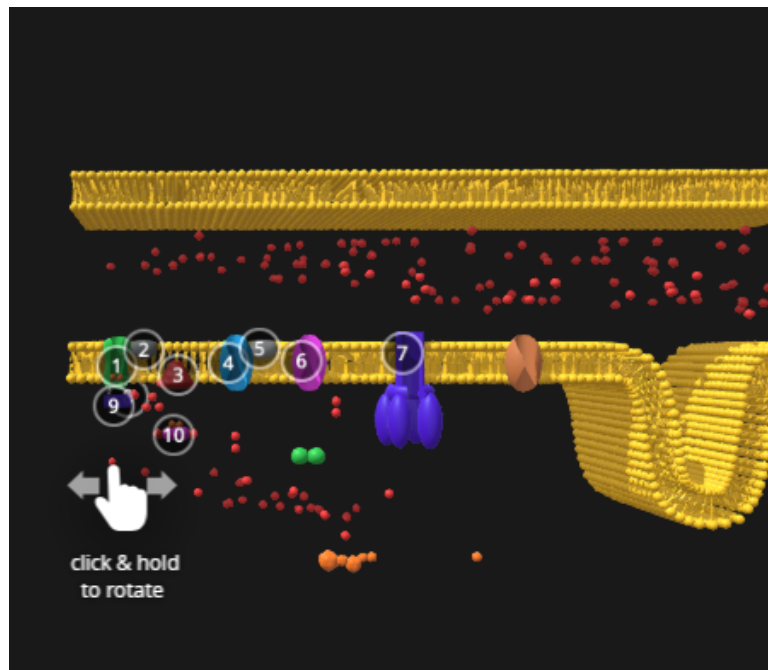
RECURSO 2:

TEMA: Cadena de transporte de electrones

Recurso: modelo 3D simplificado de la cadena respiratoria mitocondrial.

La cadena de transporte de electrones es un proceso complejo que implica múltiples complejos enzimáticos. Este recurso ofrece una representación visual simplificada para facilitar la comprensión global del proceso.

FUENTE: <https://sketchfab.com/3d-models/mitochondria-electron-transport-chain-01f7861179454f22b3b541380c895c84>



APLICACIÓN: Se presentó tras la explicación teórica, facilitando una visión espacial de los complejos enzimáticos implicados. Se invitó al alumnado a interactuar con el modelo desde sus dispositivos, y se dejó disponible en el campus virtual.

EVALUACIÓN: Se recogerá la impresión del alumnado mediante una pregunta abierta en el campus y se comparan los resultados de la prueba escrita con los de cursos anteriores.

RECURSO 3:

TEMA: Fosforilación oxidativa

Recurso: animación 3D del proceso de síntesis de ATP en la mitocondria.

La fosforilación oxidativa es uno de los procesos metabólicos clave en la generación de energía celular. Su complejidad estructural y funcional hace que los alumnos requieran recursos visuales para comprender el acoplamiento entre la cadena respiratoria y la síntesis de ATP.

Recurso: animación 3D del proceso de síntesis de ATP en la mitocondria.

FUENTE: <https://www.youtube.com/watch?v=Ox6XAJCcc48>



APLICACIÓN: Se visionó en clase, con pausas para explicar cada paso del proceso. El enlace fue compartido en el campus virtual.

EVALUACIÓN: Se incluirá una pregunta específica en el examen final y se analizará el rendimiento de los estudiantes que visualizaron el recurso frente a los que no asistieron a clase.

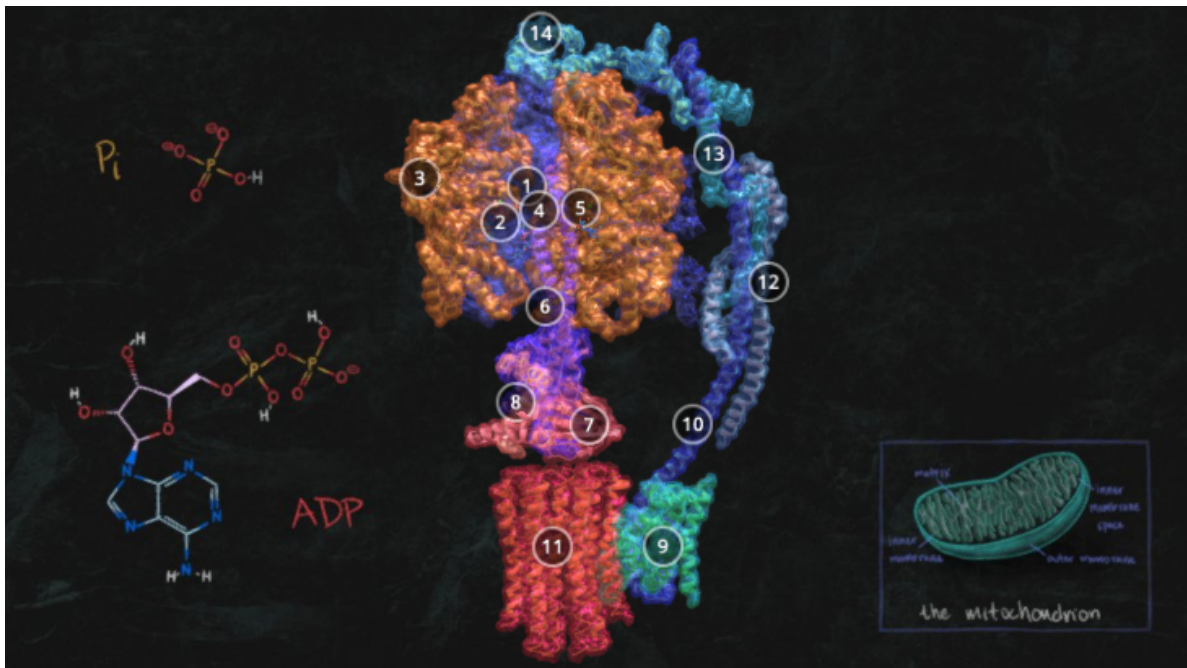
RECURSO 4:

TEMA: Estructura y función de la ATP sintasa

La ATP sintasa es una enzima de gran complejidad estructural y funcional. Su representación tridimensional permite entender la rotación de subunidades y el mecanismo de síntesis de ATP de forma mucho más intuitiva. Recurso: modelo tridimensional interactivo del complejo ATP sintasa.

Recurso: modelo tridimensional interactivo del complejo ATP sintasa.

FUENTE: <https://sketchfab.com/3d-models/atp-synthase-with-adp-molecules-65ee0f613f814e30b105f11c861d2b89>



APLICACIÓN: El modelo se utilizó tras la explicación esquemática de la enzima para ilustrar su estructura y su mecanismo de rotación. Se animó a los estudiantes a explorarlo desde casa.

EVALUACIÓN: Se ha previsto incluir una pregunta en la encuesta de satisfacción sobre si el modelo ayudó a visualizar la arquitectura funcional de la enzima.

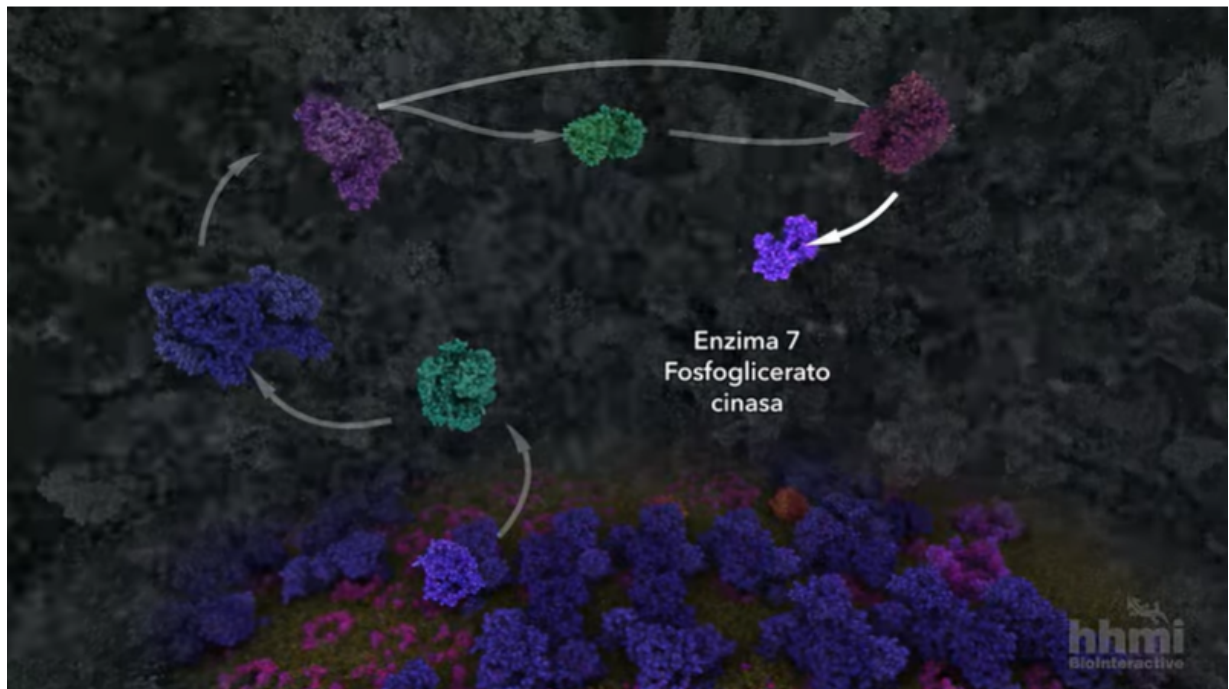
RECURSO 5:

TEMA: Glucólisis

La glucólisis es una ruta central del metabolismo y comprenderla implica visualizar secuencias enzimáticas, sustratos y productos. Este recurso permite seguir el proceso de forma visual y estructurada. Recurso: animación paso a paso del proceso glucolítico.

Recurso: animación paso a paso del proceso glucolítico.

FUENTE: <https://www.biointeractive.org/es/classroom-resources/glycolisis>



APLICACIÓN: Se presentó en clase como resumen visual tras la explicación. Se colgó en el campus virtual para estudio individual.

EVALUACIÓN: Se incluirá una pregunta específica en el examen de teoría para evaluar su impacto en el aprendizaje.

RECURSO 6:

TEMA: Glucólisis (actividad lúdica)

Este recurso tiene como objetivo reforzar los contenidos de la glucólisis mediante una actividad gamificada, facilitando el repaso y la memorización de las enzimas implicadas.

Recurso: juego interactivo sobre enzimas de la glucólisis.

Recurso: juego interactivo sobre enzimas de la glucólisis.

FUENTE: <https://wordwall.net/es/resource/15178409/enzimas-de-la-glucolisis>



APLICACIÓN: Actividad propuesta al finalizar la unidad. Se motivó al alumnado mediante bonificación de puntuación.

EVALUACIÓN: Registro de participación y comparación de rendimiento en la parte de la prueba asociada a este contenido.

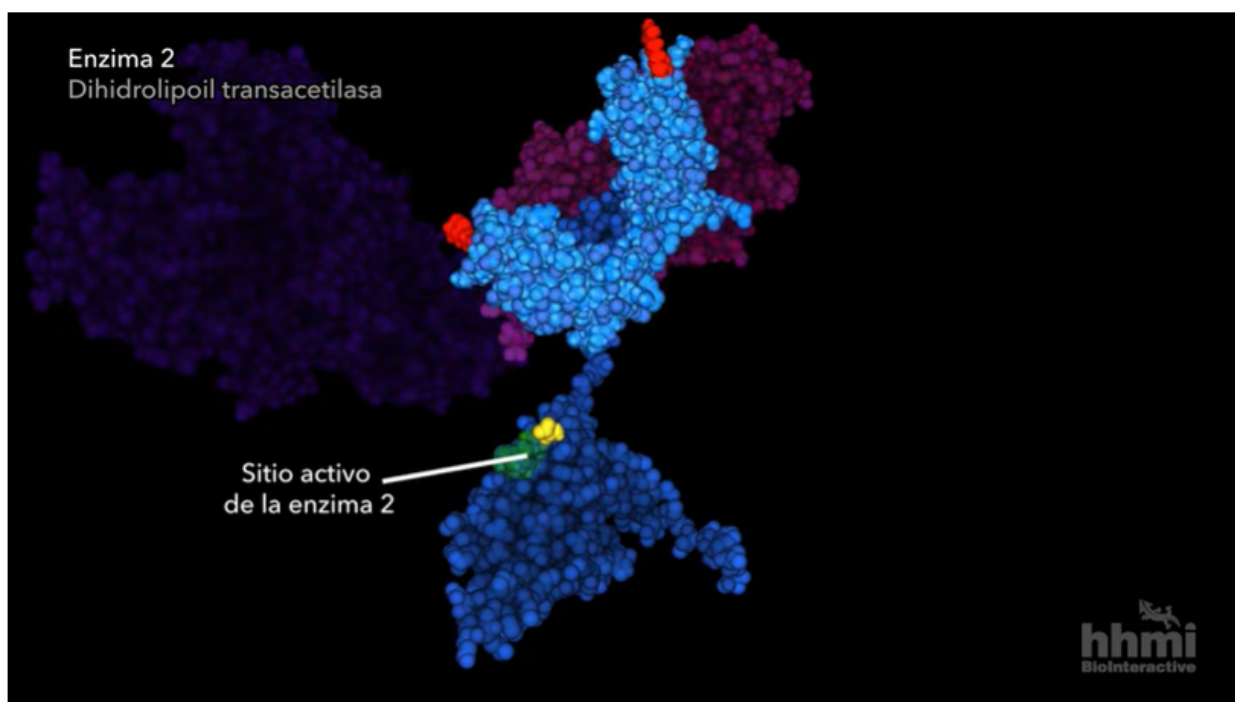
RECURSO 7:

TEMA: Descarboxilación oxidativa del piruvato

El complejo piruvato deshidrogenasa es una estructura enzimática compleja y clave para la conexión entre glucólisis y ciclo de Krebs. Este recurso ayuda a comprender su organización y mecanismo. Recurso: animación del complejo piruvato deshidrogenasa.

Recurso: animación del complejo piruvato deshidrogenasa.

FUENTE: <https://www.biointeractive.org/es/classroom-resources/piruvato-deshidrogenasa>



APLICACIÓN: Se proyectó en clase como complemento explicativo y se facilitó su enlace en el campus virtual.

EVALUACIÓN: Se valorará su impacto a través de preguntas específicas en la prueba escrita.

RECURSO 8:

TEMA: Ciclo del ácido cítrico (Krebs)

El ciclo de Krebs es fundamental en el metabolismo celular y requiere una visión integrada de reacciones químicas, energéticas y estructurales. Este recurso proporciona una guía visual clara del proceso.

Recurso: resumen visual del ciclo metabólico.

FUENTE: <https://www.biointeractive.org/es/classroom-resources/ciclo-del-acido-citrico>



APLICACIÓN: Recurso disponible en el campus virtual como material de refuerzo.

EVALUACIÓN: Evaluación mediante pregunta en examen y comparación con resultados de cursos previos.

RECURSO 9:

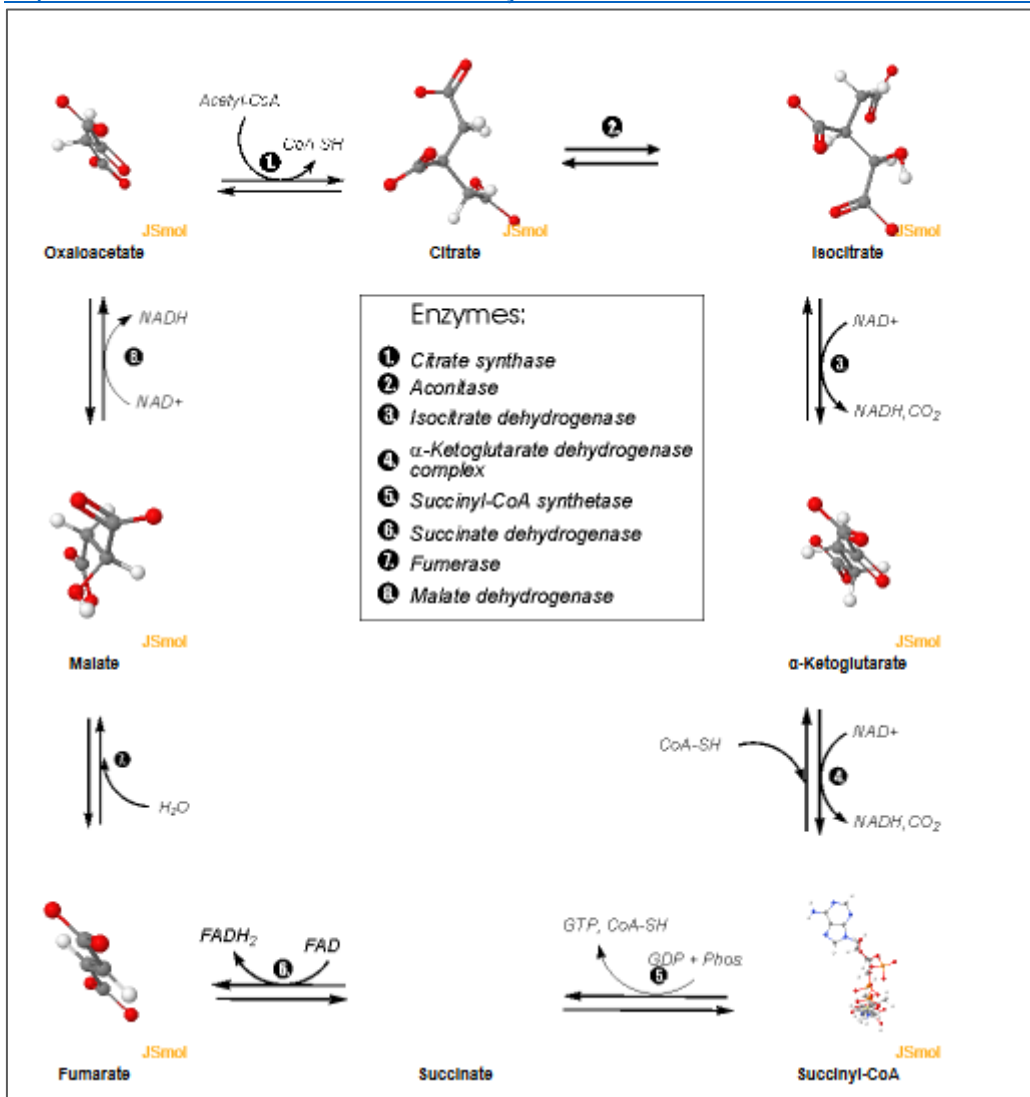
TEMA: Estructura molecular en el ciclo de Krebs

La comprensión de las estructuras químicas de los intermediarios del ciclo de Krebs es clave para entender las transformaciones metabólicas. Este recurso permite visualizar cada una de ellas en 3D. Recurso: visualizador 3D de las estructuras moleculares del ciclo.

Recurso: visualizador 3D de las estructuras moleculares del ciclo.

FUENTE:

<https://sites.chem.utoronto.ca/chemistry/coursenotes/GTM/JM/Krebs/krebs3D.htm>



APLICACIÓN: Se mostró en clase para visualizar cambios estructurales. Disponible para el autoestudio.

EVALUACIÓN: Se recogerá retroalimentación cualitativa del alumnado en entrevistas o encuestas abiertas.

RECURSO 10:

TEMA: Repaso lúdico del bloque de hidratos de carbono

El cierre de un bloque temático mediante actividades lúdicas permite reforzar conceptos, identificar dudas y mejorar la retención. Este recurso permite un repaso transversal de los contenidos. Recurso: juego tipo "quiz" sobre hidratos de carbono y proteínas.

Recurso: juego tipo "quiz" sobre hidratos de carbono y proteínas.

FUENTE: <https://wordwall.net/resource/60861112/carbs-and-proteins>

Wordwall Quiz Interface:

Word Bank: dehydration reaction, monosaccharide, Protein, carbohydrates, glucose, insulin, carbon, hydrogen, oxygen, polysaccharide, Peptide Bond, disaccharide, Carbon, Hydrogen, oxygen, nitrogen, When 50 or more amino acids bond, saccharide, glycogen, Glycosidic Bond, enzyme

Questions:

- What does the pancreas release when glucose is detected?
- What is the bond called when amino acids come together?
- Storage form of glucose?
- What is it called when carbs bond together?
- Two units of sugar are called?
- Which nutrient's main function is for growth and repair?
- Protein that speeds up metabolism or chemical reaction is called an...?
- What is another word for 'sugar'?
- What elements make up an amino acid?
- Three or more units of sugar are called?
- When does an amino acid become a protein?
- A nutrient used for energy?
- The molecular structure of C₆H₁₂O₆?
- If you lack 2 hydrogen and 1 oxygen you are...?
- A single unit of sugar is called?
- What elements make up a carbohydrate?

Submit Answers

APLICACIÓN: Se utilizó como actividad final de repaso del bloque. Se fomentó la participación mediante bonificación.

EVALUACIÓN: Valoración del rendimiento asociado a la participación en la actividad lúdica.

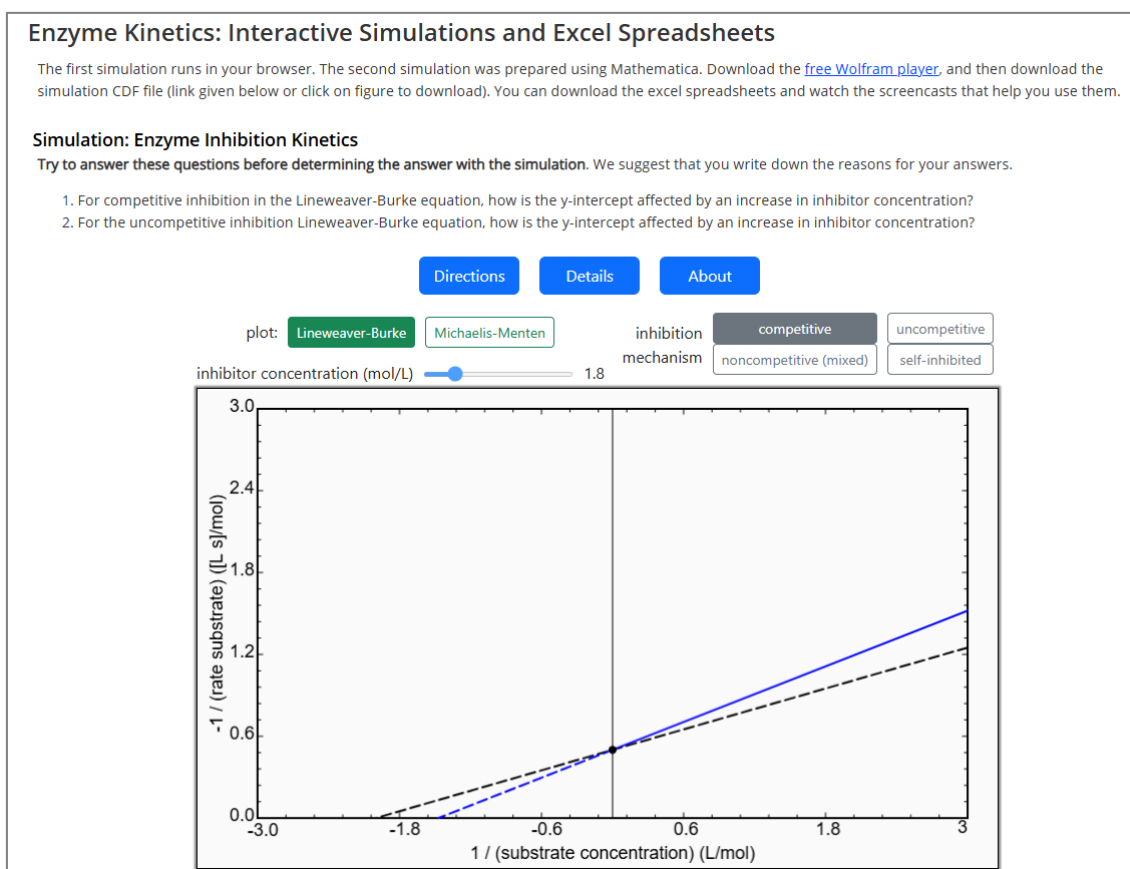
RECURSO 11:

TEMA: Cinética enzimática

Este recurso simula gráficas de velocidad frente a concentración de sustrato, proporcionando un entorno interactivo donde el alumno controla factores clave como concentración de sustrato, concentración de enzima y tipo de inhibición. Permite visualizar en tiempo real los cambios en K_m y V_{max} , y comparar escenarios con distintos tipos de inhibidores.

Recurso: simulador de cinética enzimática interactiva.

FUENTE: <https://learncheme.com/quiz-yourself/interactive-self-study-modules/enzyme-kinetics/enzyme-kinetics-simulation/>



APLICACIÓN: Se utiliza tras la explicación teórica del tema, proyectando el recurso en clase para mostrar ejemplos. Luego, se propone una práctica autónoma en el campus virtual en la que el alumnado ajusta variables (sustrato, enzima, inhibidores), compara curvas y responde preguntas guiadas sobre K_m , V_{max} e implicaciones fisiológicas.

EVALUACIÓN:

Se incluye una sección de preguntas tipo test en el campus virtual donde los estudiantes deben analizar una gráfica producida por el simulador y determinar K_m y V_{max} ; Identificar el tipo de inhibición aplicado y justificar cómo cambiarían las curvas si modifican variables adicionales (como aumento de enzima o presencia de inhibidor).

ASIGNATURA: BIOQUIMICA HUMANA (MEDICINA), REGULACION DEL METABOLISMO (NUTRICIÓN)

La asignatura de Bioquímica Humana EN Medicina, y su análogo Regulación e Integración del Metabolismo en Nutrición Humana y Dietética, abordan los mecanismos bioquímicos responsables del funcionamiento celular y su regulación. Estas materias implican un alto grado de abstracción, ya que requieren integrar rutas metabólicas complejas, mecanismos de señalización y regulación hormonal, así como comprender la fisiología metabólica de distintos órganos y tejidos. Para facilitar su comprensión, se han implementado recursos visuales interactivos, seleccionados por su aplicabilidad directa al temario y su capacidad de representar dinámicamente procesos bioquímicos complejos. A continuación, se describen algunos de los recursos utilizados, su aplicación en el aula y las estrategias de evaluación asociadas.

RECURSO 1:

TEMA: Visión general de las vías metabólicas

Esta herramienta interactiva permite al alumnado explorar rutas metabólicas completas en un formato visual dinámico y detallado. Los estudiantes pueden observar la conexión entre distintas rutas, las moléculas implicadas y los puntos clave de regulación.

Recurso: Ruta metabólica interactiva de EMBL (Pathways)

FUENTE: <https://pathways.embl.de/>

The screenshot shows the iPATH3 web application. At the top, there's a navigation bar with 'iPATH3', 'Pathway maps', 'Tools', 'Share', and 'Help'. A search bar is on the right with 'Search current map', 'Search', 'Login', and 'Register' buttons. The main area is a large, colorful network of metabolic pathways. A 'DETAILED INFORMATION' window is open, displaying the following compound identifiers: 3DMET:B05142, C05989, ChEBI:28673, LIPIDMAPS:LMFA07050254, LIPIDMAPS:LMFA07050347, NIKKAJI:J2.760.831K, and PubChem:8265. On the right side, there's a 'CONTROLS' panel with 'Customize' and 'Export' buttons, an 'Element selection' input field, 'Show advanced options', 'Selection saving (for restoring and time-series):' with a 'title' input, and 'Submit data' and 'Reset map' buttons.

APLICACIÓN: Se utilizó en la fase introductoria de la asignatura para contextualizar el mapa general del metabolismo. El recurso se proyectó en clase y se asignó como tarea individual explorar rutas específicas (glucólisis, ciclo de Krebs, gluconeogénesis). El recurso quedó disponible en el campus virtual.

EVALUACIÓN: Se solicitó a los estudiantes realizar una actividad integradora con la herramienta, donde debían describir los puntos de control compartidos entre varias rutas y explicar cómo afectan a la homeostasis. Esta actividad fue evaluada mediante rúbrica.

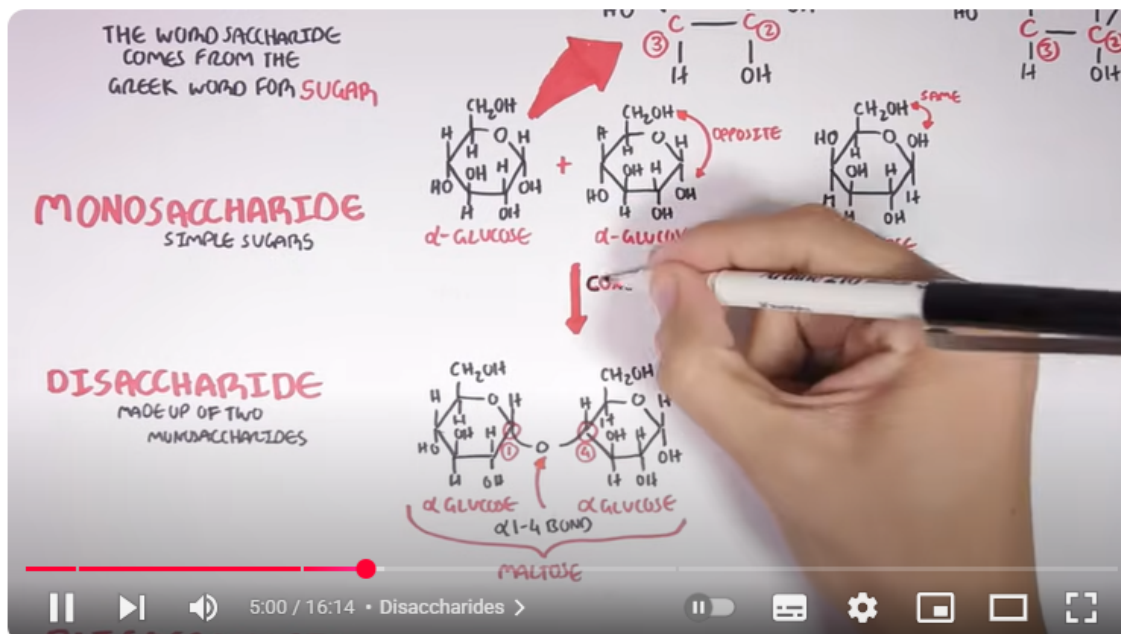
RECURSO 2:

TEMA: Mecanismos de regulación / Acción hormonal / Señalización intracelular / Segundos mensajeros

Los vídeos presentan esquemas visuales narrados que explican procesos como cascadas de señalización, mecanismos hormonales o acción de segundos mensajeros. Su estilo esquemático y progresivo facilita la comprensión de conceptos abstractos.

Recurso: Vídeos explicativos ilustrados del canal de Armando Hasudungan

FUENTE: <https://www.youtube.com/@armandohasudungan>



APLICACIÓN: Se visualizaron fragmentos seleccionados en clase como complemento a las explicaciones teóricas. Posteriormente, se proporcionaron enlaces para su revisión autónoma.

EVALUACIÓN: Los estudiantes debían entregar un esquema propio basado en el vídeo trabajado, con preguntas de reflexión individual. El profesorado valoró la precisión de los esquemas y la capacidad de síntesis.

RECURSO 3:

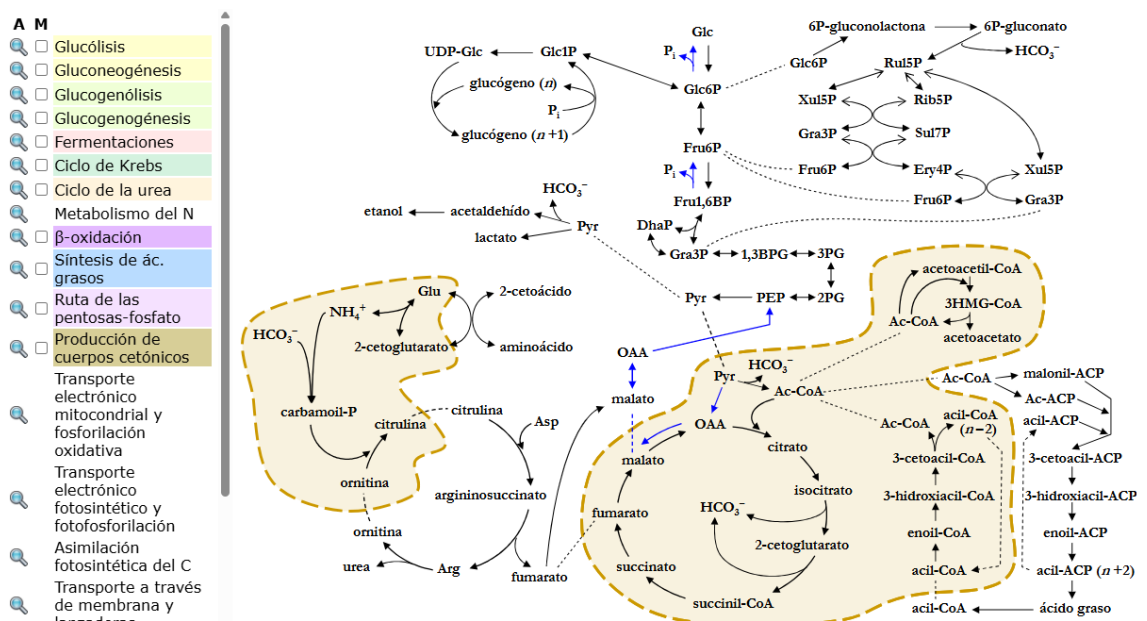
TEMA: Integración del metabolismo por órgano o tejido

Estas plataformas ofrecen representaciones funcionales del metabolismo global y de órganos específicos, permitiendo al alumnado navegar por las distintas rutas y estudiar sus interacciones y regulación.

Recurso: Modelos interactivos de integración metabólica

FUENTE:

- https://biomodel.uah.es/metab/inicio_integrado.htm
- <https://biomodel.uah.es/metab/intermed/inicio.htm>



APLICACIÓN: Se utilizaron en actividades de aula invertida, asignando previamente a cada grupo el análisis de un órgano (hígado, músculo, cerebro...). En clase, expusieron cómo cambia su metabolismo según el estado nutricional.

EVALUACIÓN: Se planteó una prueba de autoevaluación tipo test tras cada presentación grupal. Además, se incluyó una pregunta integradora en el examen de teoría.

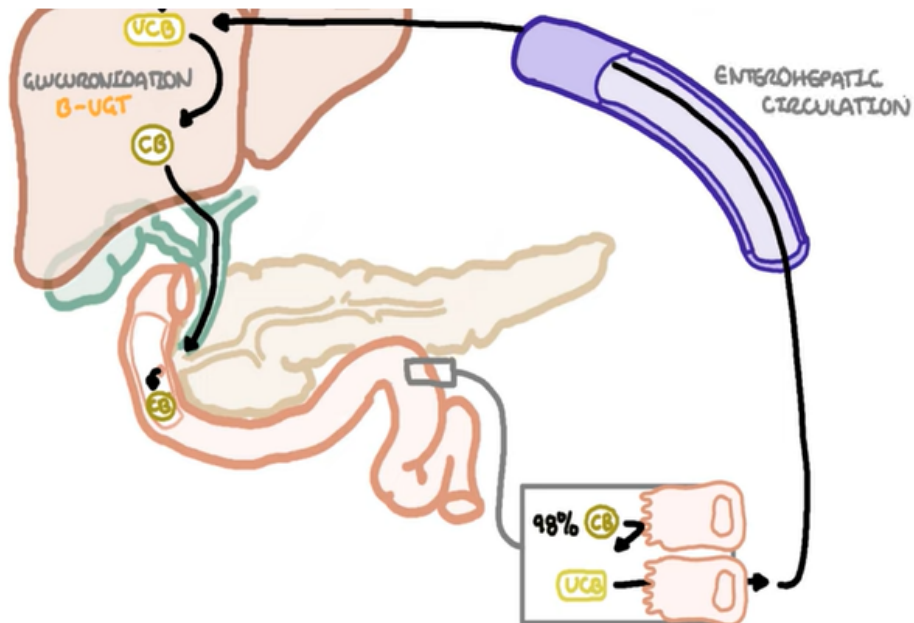
RECURSO 4:

TEMA: Metabolismo específico – Ejemplo: Metabolismo de la bilirrubina

Este vídeo permite entender de manera clara y visual el metabolismo de la bilirrubina, un proceso que combina aspectos bioquímicos, fisiológicos y clínicos. Su formato de ilustración en tiempo real resulta especialmente útil para integrar conceptos.

Recurso: Vídeo explicativo ilustrado

FUENTE: <https://www.youtube.com/watch?v=-JFqnBYmzc>



Metabolismo de la bilirrubina: bilirrubina no conjugada y conjugada

APLICACIÓN: Se mostró durante la clase correspondiente al metabolismo hepático. Posteriormente, se discutió su relevancia clínica en el contexto de ictericias y diagnóstico bioquímico.

EVALUACIÓN: Se propuso como pregunta de desarrollo una síntesis del proceso visualizado, centrada en las implicaciones clínicas y bioquímicas del metabolismo de la bilirrubina.

ASIGNATURA: GENÉTICA MOLECULAR HUMANA

La asignatura de Genética Molecular Humana, impartida en segundo curso del Grado en Medicina, aborda procesos microscópicos y abstractos difíciles de visualizar, como la transcripción, el procesamiento del RNA y la traducción. La terminología técnica y la necesidad de integrar múltiples conceptos simultáneamente también contribuyen a que los estudiantes encuentren dificultades para asimilar esta materia, lo que puede requerir métodos de enseñanza más dinámicos y ejemplos prácticos para facilitar la comprensión. En este contexto, y como parte del Proyecto de Innovación Docente, se han implementado varios recursos visuales aplicados a distintos temas de la guía docente, cuya evaluación está en curso.

RECURSO 1:

TEMA: Splicing alternativo

El proceso de splicing implica una serie de reacciones químicas a nivel estructural y espacial que suelen ser difíciles no sólo de comprender para los alumnos, sino también de explicar para el profesorado. Por ese motivo, se buscó un recurso online de libre acceso que permitiese transformar estos conceptos abstractos en imágenes concretas y en movimiento, para que los estudiantes pudiesen captar mejor la función del spliceosoma y cómo éste regula la expresión genética, conectando teoría con un aprendizaje visual más efectivo

Recurso: animación 3D del proceso de corte y empalme de exones en el procesamiento del RNA mensajero en eucariotas

FUENTE: <https://dnalc.cshl.edu/view/16938-3D-Animation-of-RNA-Splicing.html>



APLICACIÓN: El vídeo se visionó en clase, después de la explicación teórica y se preguntó a los estudiantes si les había servido para visualizar mejor el proceso y afianzar los conceptos relacionados con el mismo. La respuesta fue claramente positiva y los alumnos apreciaron el empleo del recurso. Se les proporcionó el enlace en el campus virtual para su estudio en casa.

EVALUACIÓN: posteriormente al debate en clase se hizo una encuesta conjunta a través de Whoclap. La encuesta se elaboró a través de preguntas empleadas en exámenes de años anteriores y se evaluó si las respuestas una vez visionado el recurso eran mejores o no a lo obtenido en el examen en cursos anteriores. En el futuro se hará un análisis estadístico para evaluar si el aprendizaje tras el visionado del recurso es significativamente superior al aprendizaje en años anteriores.

RECURSO 2:

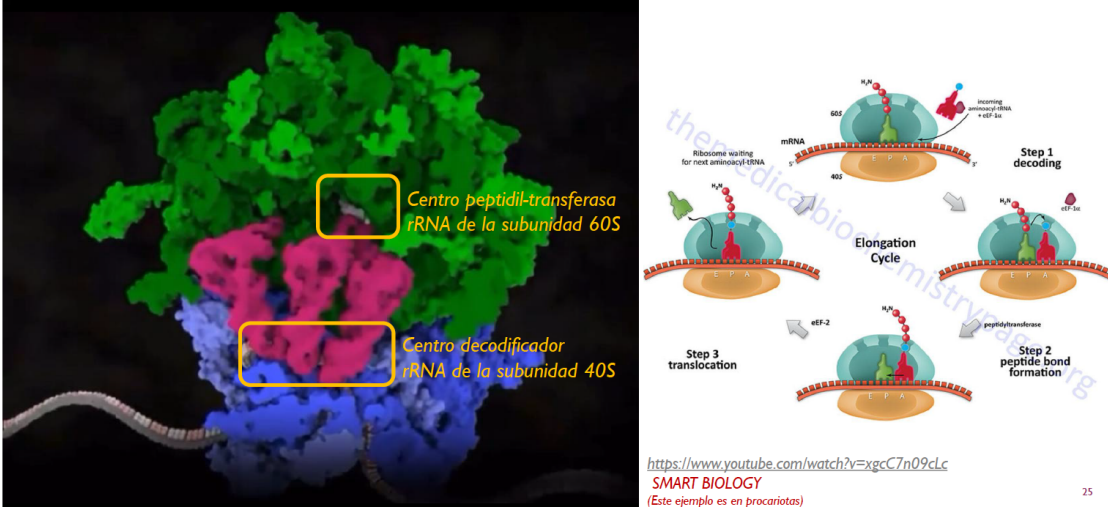
TEMA: Traducción del mensaje genético

La traslación del ribosoma durante la síntesis de proteínas suele ser difícil de entender para los alumnos porque implica una serie de movimientos coordinados y dinámicos entre el ARNm, los ARNt y las subunidades ribosomales. Este proceso no solo requiere conocer la estructura tridimensional del ribosoma, sino también comprender cómo cambia su conformación para avanzar codón por codón, algo que no es fácil de visualizar con esquemas estáticos. El recurso buscado es una animación que permite visualizar de forma más sencilla el proceso.

Recurso: animación creada por Smart Biology para mostrar la traslación del ribosoma en el proceso de elongación.

FUENTE: <https://www.youtube.com/watch?v=xgcC7n09cLc>

ETAPAS DE LA TRADUCCIÓN EN EUCARIOTAS: ELONGACIÓN



Centro peptidil-transferasa
rRNA de la subunidad 60S

Centro decodificador
rRNA de la subunidad 40S

Step 1 decoding

Step 2 peptide bond formation

Step 3 translocation

peptidyltransferase

eEF-2

SMART BIOLOGY
(Este ejemplo es en procariontes)

<https://www.youtube.com/watch?v=xgcC7n09cLc>

25

APLICACIÓN: Visionado durante la clase correspondiente tras la explicación teórica, se le proporciona además el link para que puedan utilizarlo durante el estudio. Cabe mencionar que es un recurso de pago creado por Smart Biology, pero tiene una serie de videos cortos en abierto en youtube que se pueden emplear para procesos concretos.

EVALUACIÓN: Se comparará durante el examen de teoría las respuestas sobre esta parte del temario entre el curso pasado y este, para comprobar si la visualización del contenido ha favorecido el aprendizaje.

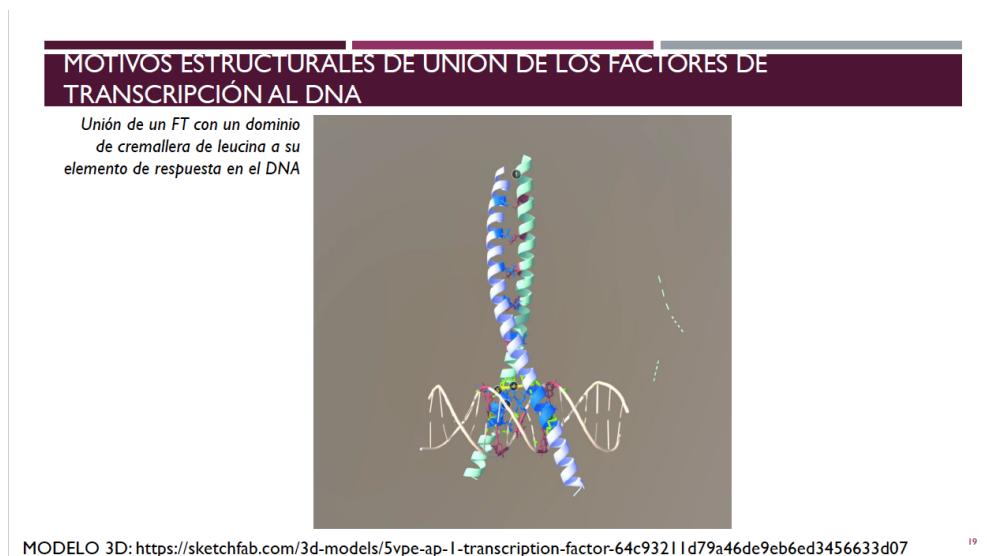
RECURSO 3:

TEMA: Regulación de la expresión génica a nivel transcripcional: factores de transcripción

Para muchos alumnos, entender las estructuras de unión de los factores de transcripción al ADN, como las cremalleras de leucina, los dedos de zinc o los dominios hélice-giro-hélice, resulta complicado porque requieren un conocimiento tridimensional de la estructura molecular. Estas estructuras implican interacciones específicas entre aminoácidos y secuencias del ADN que no son fácilmente visualizables en dos dimensiones o mediante una simple descripción teórica. Además, la diversidad de dominios de unión y su nomenclatura puede resultar abrumadora, especialmente cuando se intenta memorizar sin comprender cómo y por qué se forman estas interacciones. Por ese motivo, se buscaron recursos de modelos 3D que les permitieran no sólo visualizar las estructuras sino también interactuar con ellas desde diferentes ángulos.

Recurso: animación 3D interactiva para la visualización de las estructuras de unión de los factores de transcripción al DNA

FUENTE: <https://sketchfab.com/3d-models/ap-1-fosbjund-bzip-domain-bound-to-cognate-dna-e18181dc8f1048b4a532de9e01fa1e84>



APLICACIÓN: Durante la clase teórica se mostró una visualización del modelo 3D y se explicó a los alumnos cómo podían interactuar con ella, desplazando el modelo en las diferentes dimensiones. A continuación se les pidió que lo hicieran desde sus dispositivos móviles.

EVALUACIÓN: para la evaluación de este recurso se han elaborado encuestas anónimas que los estudiantes deben presentar a través del Campus Virtual. En dichas encuestas, deben explicar en unas pocas líneas cómo el recurso les ha ayudado a la comprensión del mecanismo de unión de los factores de transcripción. A través de dichas encuestas, el docente evaluará de una manera subjetiva si el empleo de dicho recurso ha favorecido el aprendizaje de su estudiantado.

RECURSO 4:

TEMA: modificaciones epigenéticas responsables del estado de la cromatina: modificaciones de histonas

Muchos alumnos tienen dificultades para comprender las modificaciones de las histonas en genética molecular debido a la abstracción del tema y la necesidad de visualizar en el espacio cómo se condensa y relaja la cromatina. Estos procesos pueden resultar confusos cuando se presentan solo en textos o esquemas bidimensionales. En este contexto, una animación en 3D puede ser una herramienta pedagógica poderosa, ya que permite visualizar los cambios estructurales en la cromatina y cómo estos afectan la accesibilidad del ADN. Al mostrar de forma dinámica la interacción entre histonas, ADN y enzimas modificadoras, se favorece una comprensión más profunda e intuitiva del proceso.

Recurso: vídeo mostrando una animación sobre el empaquetamiento del DNA y el efecto de la modificación de las histonas en el mismo.

FUENTE: <https://www.youtube.com/watch?v=XeIGO582s4U>



APLICACIÓN: Se utilizó como recurso un video de la Northwestern University, disponible en YouTube, que se mostró en clase al finalizar el tema teórico. El objetivo fue permitir que los alumnos pudieran visualizar no solo las modificaciones de las histonas, sino también el proceso general de empaquetamiento del ADN, ya que éste suele resultar difícil de imaginar únicamente a partir del contenido teórico.

EVALUACIÓN: Para la evaluación del efecto que tiene el uso de este recurso sobre el aprendizaje se incluirá una pregunta de desarrollo en el examen final. Se comparará la nota de aquellos estudiantes que asistieron a clase el día que se visionó el recurso frente a aquellos que no asistieron a clase para determinar si dicho recurso ayudó a la comprensión de los conceptos.

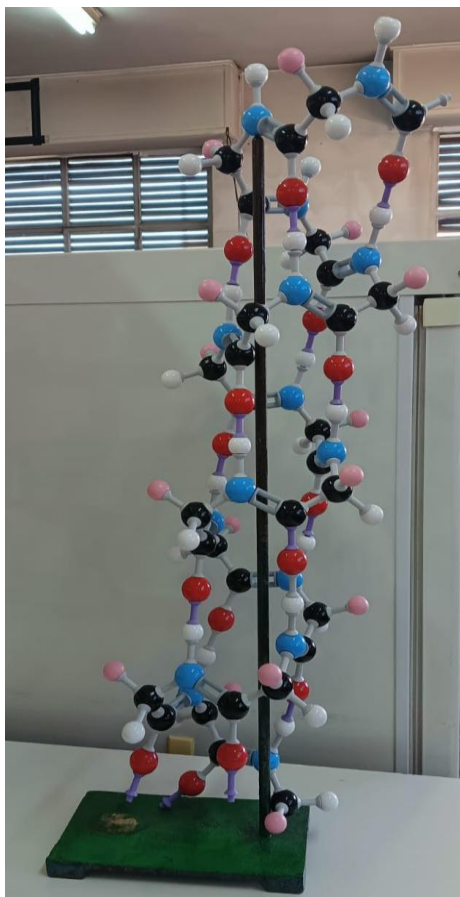
ANEXO 2. ACTIVIDADES CON MODELOS FÍSICOS COMERCIALES

Durante el desarrollo del Proyecto de Innovación Docente se emplearon diversos modelos comerciales de estructuras moleculares con el fin de facilitar la comprensión de conceptos estructurales y funcionales clave en Bioquímica. Estos modelos se utilizaron en actividades prácticas complementarias a la docencia teórica en varias asignaturas del área, como Bioquímica Básica en Medicina, Bioquímica en Nutrición y Biología (Bioquímica) en Podología y Fisioterapia.

Las actividades consistieron en talleres estructurados y dinámicas en grupos pequeños, en las que los estudiantes manipularon los modelos, identificaron sus elementos clave y resolvieron cuestiones orientadas a reforzar el aprendizaje visual y espacial. A continuación, se detallan los modelos utilizados:

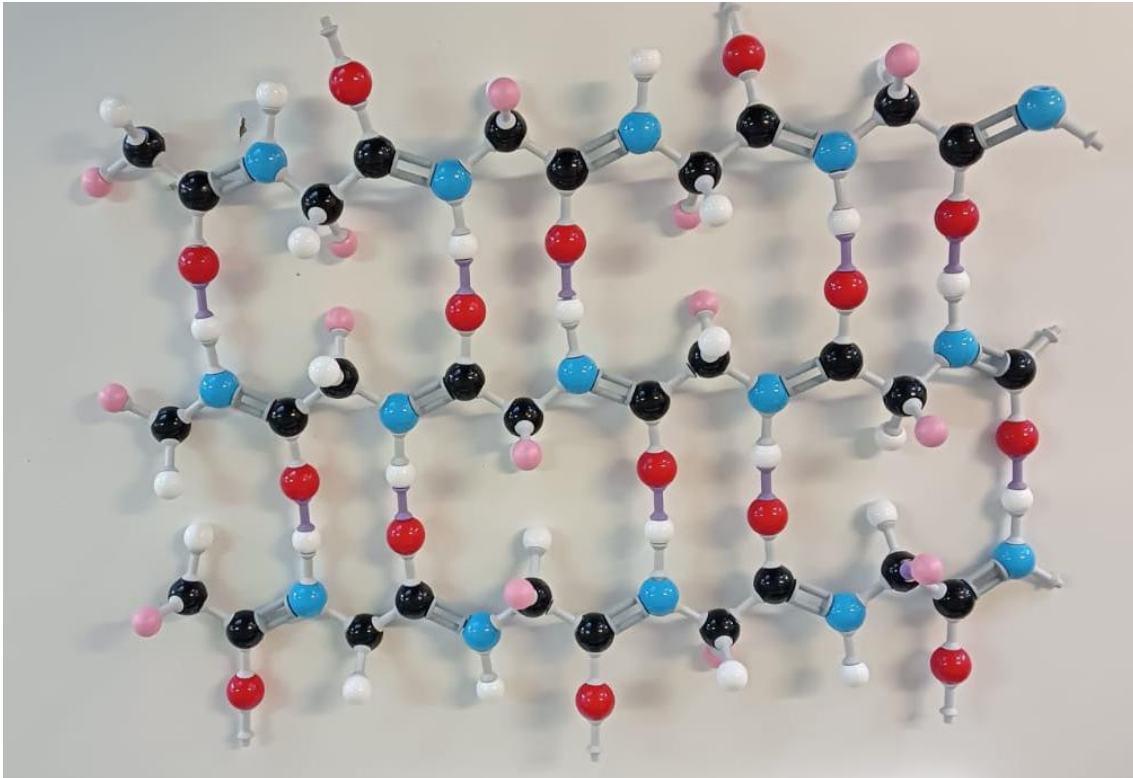
Modelo 1: Hélice Alfa de proteína

- **Referencia:** MKO-133-15 – Molymod
- **Aplicación:** Taller sobre niveles estructurales de las proteínas
- **Objetivo:** Visualizar la disposición helicoidal de los grupos peptídicos y su estabilización mediante enlaces de hidrógeno.



Modelo 2: Lámina Beta antiparalela

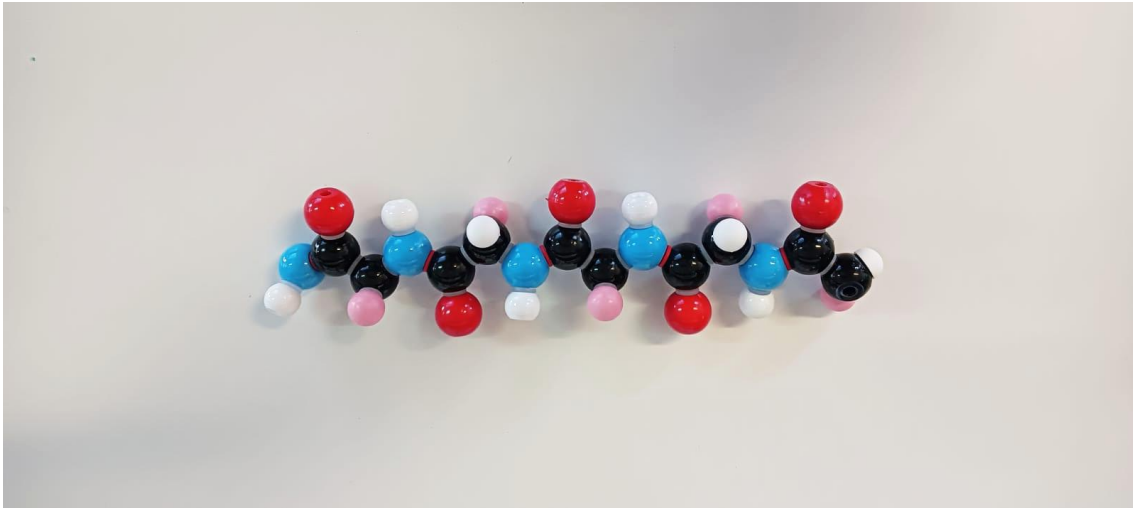
- **Referencia:** MKO-134-15 – Molymod
- **Aplicación:** Comparación entre estructuras secundarias (hélice alfa vs. lámina beta)
- **Objetivo:** Comprender la disposición antiparalela de las cadenas polipeptídicas y su relevancia estructural en proteínas fibrosas.



Modelo 3: Cadena polipeptídica lineal

Referencia: MKS-120 – Molymod

- **Aplicación:** Construcción y plegado manual simulado de proteínas
- **Objetivo:** Ilustrar la formación del esqueleto peptídico y la direccionalidad de las cadenas.



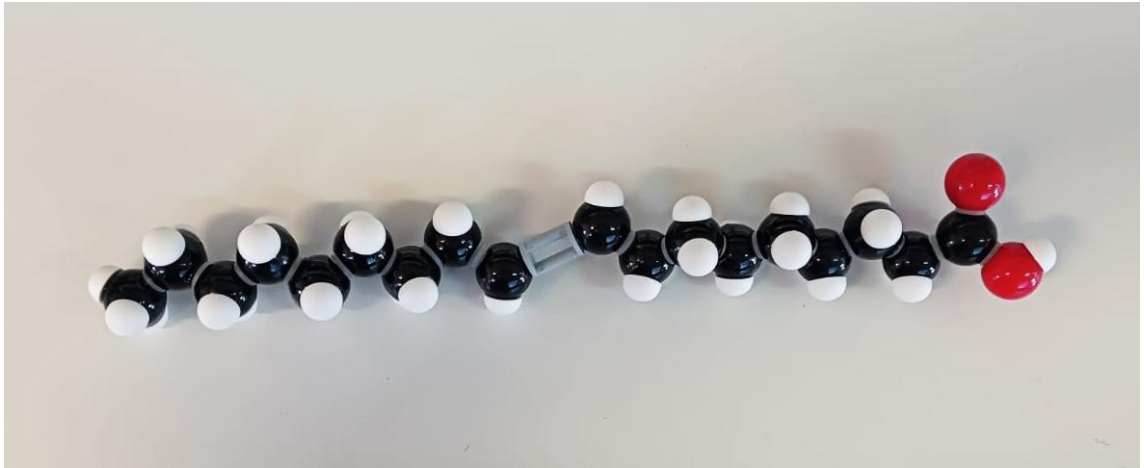
Modelo 4: Ácido graso saturado (esteárico)

- **Referencia:** MKS-117S – Molymod
- **Aplicación:** Comparativa entre distintos tipos de ácidos grasos
- **Objetivo:** Estudiar las características lineales y saturadas de los ácidos grasos y su impacto en la fluidez de membranas.



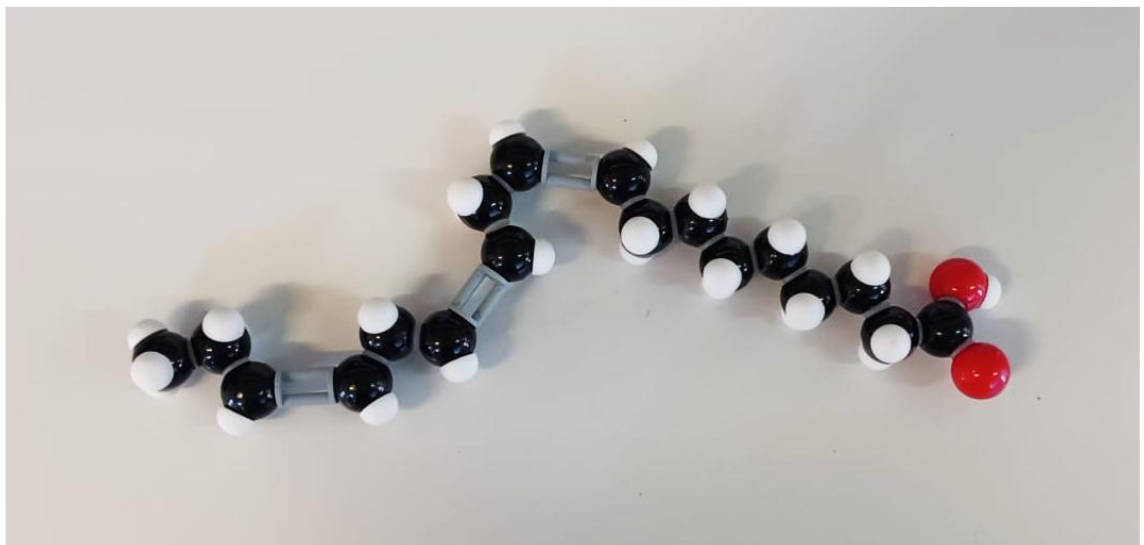
Modelo5: Ácido graso monoinsaturado (oleico)

- **Referencia:** MKS-117U – Molymod
- **Aplicación:** Análisis de la presencia de insaturaciones y su efecto sobre la estructura
- **Objetivo:** Observar cómo los dobles enlaces inducen codos en las cadenas y afectan sus propiedades físicas.



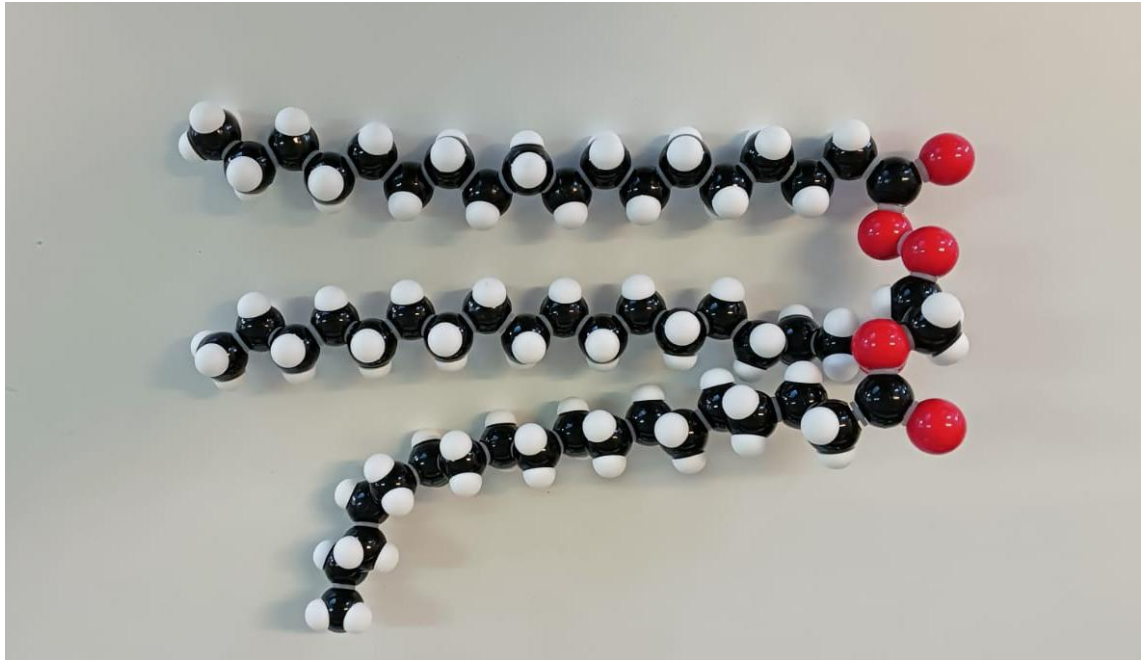
Modelo 6: Ácido graso poliinsaturado (linoléico)

- **Referencia:** MKS-117-Poly – Molymod
- **Aplicación:** Discusión sobre ácidos grasos esenciales y funciones biológicas
- **Objetivo:** Reconocer la complejidad estructural de los poliinsaturados y su relación con procesos bioquímicos clave.



Modelo 7: Triglicérido

- **Referencia:** MKS-114 – Molymod
- **Aplicación:** Reconocimiento de lípidos neutros en el metabolismo lipídico
- **Objetivo:** Identificar la estructura de glicerol y sus enlaces con ácidos grasos.



Ejemplos de actividades realizadas con los modelos físicos comerciales

En el marco del presente proyecto de innovación docente, se han diseñado e implementado diversas actividades prácticas empleando modelos físicos comerciales como herramienta pedagógica complementaria a la docencia teórica. Estos modelos han sido seleccionados específicamente por su valor didáctico para representar conceptos estructurales clave de la Bioquímica que tradicionalmente presentan una mayor dificultad de comprensión para el alumnado. Su uso ha permitido transformar contenidos altamente abstractos en objetos tangibles y manipulables, facilitando así la visualización tridimensional, la exploración autónoma y la integración funcional-estructural de moléculas relevantes para los procesos celulares.

Las actividades se han desarrollado en sesiones prácticas o seminarios, y han estado centradas en el reconocimiento de estructuras moleculares, la exploración de interacciones bioquímicas y la discusión guiada de aspectos funcionales asociados a la conformación molecular. La combinación de estos modelos físicos con metodologías activas (aprendizaje por indagación, resolución de problemas o rotación por estaciones) ha favorecido un entorno de aprendizaje más participativo, donde los estudiantes han podido construir conocimiento de forma más significativa. A continuación, se describen dos ejemplos representativos de dichas actividades.

Actividad 1: Taller de estructuras secundarias de proteínas

- **Modelo utilizado:** Hélice alfa (MKO-133-15) y lámina beta antiparalela (MKO-134-15)
- **Dinámica:** En grupos de 4–5 alumnos, se les proporcionaron ambos modelos para que analizaran las diferencias estructurales entre hélice alfa y lámina beta. Se les entregó una hoja con preguntas orientadas:
 - ¿Qué tipo de enlaces estabilizan las hélices alfa y las láminas beta? ¿En qué se diferencian en cuanto a disposición y orientación de los enlaces de hidrógeno?
 - ¿Cómo varía la orientación de las cadenas laterales (R) en la hélice alfa respecto a la lámina beta?
 - ¿Qué diferencias estructurales existen entre una lámina beta paralela y una antiparalela?
 - ¿Qué consecuencias funcionales pueden tener estas diferencias en la estabilidad o flexibilidad de una proteína?
 - ¿Existen otros tipos de hélices además de la hélice alfa? ¿Qué caracteriza, por ejemplo, a la hélice 3_{10} o a la hélice π ?
 - ¿En qué contextos estructurales y funcionales (proteínas globulares vs. fibrosas) predominan más las hélices o las láminas?
- **Objetivo:** Mejorar la comprensión del plegamiento secundario de proteínas y su representación tridimensional.

Actividad 2: Comparación estructural de ácidos grasos saturados e insaturados

- **Modelos utilizados:** Ácido esteárico (MKS-117S), ácido oleico (MKS-117U), ácido linoléico (MKS-117-Poly)
- **Dinámica:** Durante una sesión práctica, los estudiantes trabajaron en parejas para manipular modelos físicos de ácidos grasos con distinto grado de saturación. A partir de la observación directa, identificaron las diferencias estructurales entre enlaces simples y dobles, prestando especial atención a los cambios conformacionales introducidos por las insaturaciones. Posteriormente, debatieron en grupo sobre cómo estas diferencias estructurales influyen en el empaquetamiento de las moléculas lipídicas, su punto de fusión, su estado físico a temperatura corporal y su papel en la fluidez de las membranas celulares. Se les entregó una hoja con preguntas orientadas:
 - ¿Qué diferencias espaciales observas entre las cadenas de ácidos grasos saturados e insaturados?
 - ¿Cómo influye la presencia de dobles enlaces en la forma tridimensional de la molécula?
 - ¿Qué consecuencias funcionales puede tener esta diferencia estructural en el contexto de la membrana plasmática?
 - ¿Cómo afectaría la presencia de ácidos grasos saturados vs. insaturados en la composición de un triacilglicérido a su punto de fusión?
 - ¿Qué tipo de ácidos grasos se encuentra más habitualmente en grasas sólidas de origen animal y en aceites vegetales? ¿Cómo se explica esto desde un punto de vista estructural?
- **Objetivo:** Relacionar la estructura química de los lípidos con sus propiedades fisicoquímicas, su comportamiento biológico y su relevancia en procesos celulares como la fluidez de membranas, la señalización lipídica y el metabolismo energético.

ANEXO 3. ACTIVIDADES CON MODELOS TRIDIMENSIONALES PERSONALIZADOS

Durante el desarrollo del Proyecto de Innovación Docente, se diseñaron e imprimieron modelos tridimensionales personalizados como recurso didáctico avanzado para facilitar la comprensión de estructuras macromoleculares complejas que, por su tamaño, dinámica y nivel de abstracción, resultan especialmente difíciles de visualizar mediante esquemas bidimensionales.

En particular, se ha puesto el foco en la **ATP sintasa** (Fig 1.), una enzima clave en la síntesis de ATP a partir de un gradiente electroquímico de protones. Este complejo proteico fue seleccionado por su importancia fisiológica, su complejidad estructural y su valor como ejemplo integrador de los conceptos de bioenergética, estructura proteica y dinámica enzimática. La ATP sintasa presenta múltiples subunidades con funciones diferenciadas y un mecanismo de acción rotatorio que ha sido objeto de investigaciones galardonadas con el Premio Nobel (Paul D. Boyer y John E. Walker). Su modelado tridimensional permite visualizar e interactuar con sus componentes de forma tangible, lo que facilita su estudio en profundidad.

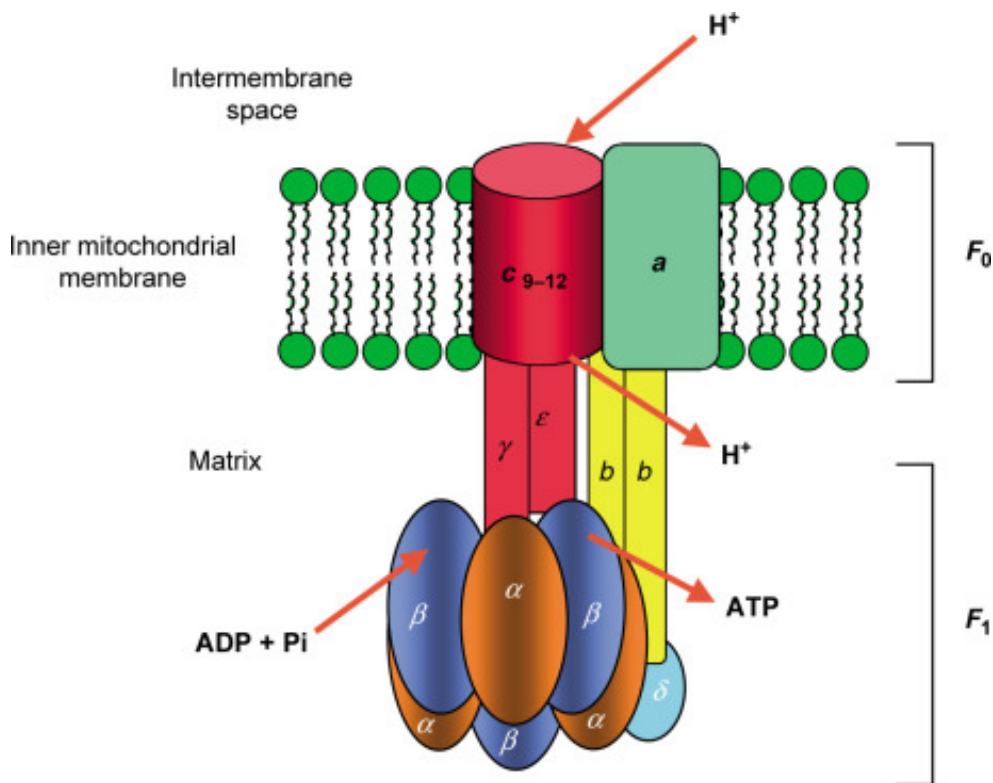


Fig 1. Esquema ilustrativo de la estructura de la ATP sintasa

Modelos impresos de ATP sintasa

Se han desarrollado distintos modelos tridimensionales de la enzima **ATP sintasa**, fabricados mediante tecnologías de impresión 3D. Cada modelo responde a un enfoque didáctico diferente y ha sido producido utilizando técnicas complementarias según el objetivo pedagógico:

- **Modelo estructural en resina líquida (SLA/DLP):** modelo desarrollado a partir de la estructura resuelta experimentalmente disponibles en el Banco de Datos de Proteínas (PDB _00006pqV). Impreso con resina fotopolimerizable de alta resolución, este modelo permite visualizar con gran detalle las formas y contornos del complejo proteico. Su acabado fino facilita la observación de la arquitectura global de la enzima y es útil como recurso expositivo en el aula o para su uso en vídeos docentes.



Fig 2. Modelo de ATP sintasa

- **Modelo segmentado por dominios funcionales (FDM multicolor):** modelo desarrollado a partir de la estructura resuelta experimentalmente disponibles en el Banco de Datos de Proteínas (PDB_00006pqV). Impreso mediante modelado por deposición de filamento fundido (FDM), este modelo emplea diferentes colores para identificar las principales subunidades de la ATP sintasa (F_0 , F_1 , eje central, etc.). Está diseñado para actividades docentes orientadas al análisis funcional, permitiendo a los estudiantes correlacionar estructura y función de cada dominio.

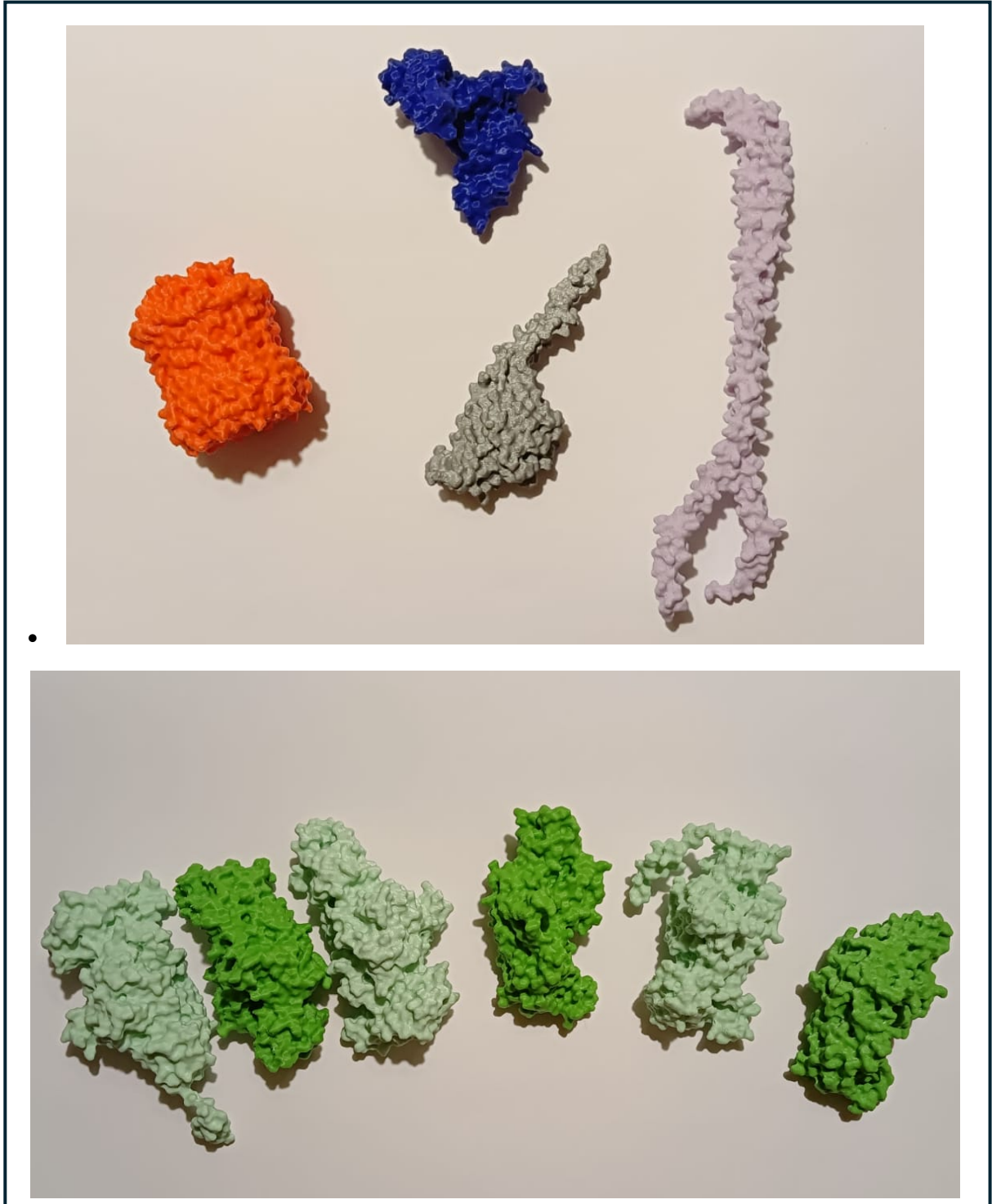


Fig 3. Modelo de ATP sintasa segmentado por dominios funcionales

- **Modelo funcional ensamblable (FDM):** Modelo basado en un diseño público obtenido a partir del repositorio Thingiverse (@chemteacher628). Este modelo incorpora elementos móviles que simulan el giro del rotor y la síntesis de ATP a partir del gradiente de protones. Es especialmente útil en talleres participativos donde se trabaja el mecanismo quimiosmótico de forma tangible. La impresión se ha realizado también mediante FDM, con ajustes de tolerancia para asegurar la movilidad de las piezas.

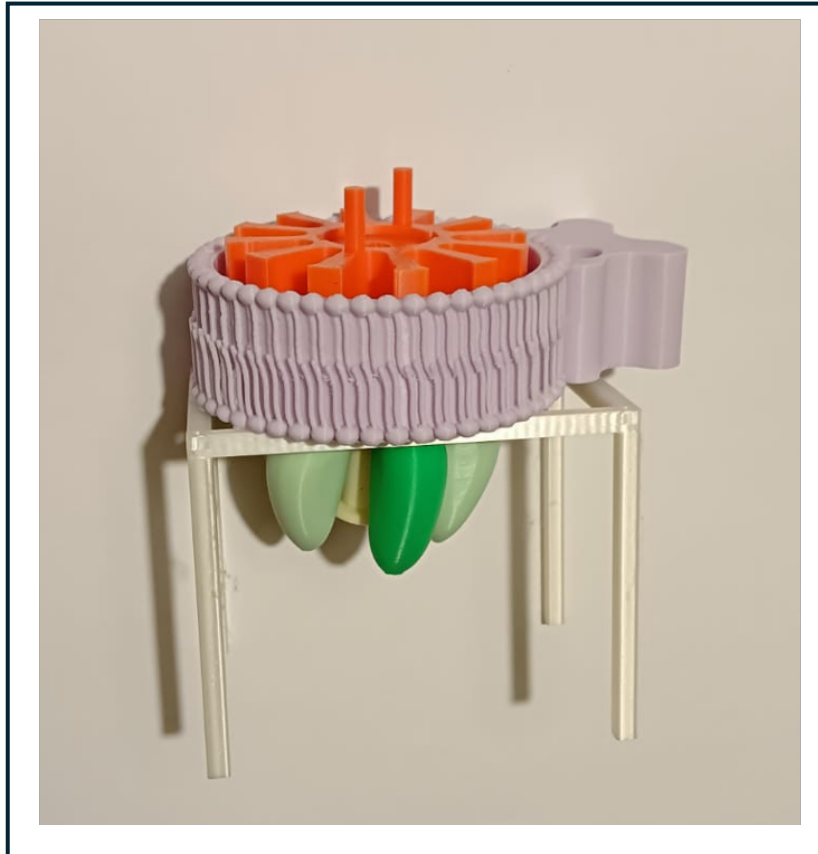


Fig 4. Modelo de ATP sintasa ensamblable.

Estos modelos han sido empleados en sesiones prácticas, acompañados de materiales complementarios.

A continuación, se detallan ejemplos de actividades implementadas con el modelo tridimensional de la ATP sintasa:

Actividad 1: Visualización de la estructura de la ATP sintasa y sus subunidades

- **Modelo utilizado:** ATP sintasa impreso con FDM, con subunidades diferenciadas por color
- **Dinámica:** Tras una introducción teórica sobre la cadena respiratoria y la fosforilación oxidativa, se distribuyó a los estudiantes el modelo 3D de ATP sintasa. En pequeños grupos, identificaron las subunidades (α , β , γ , δ , ϵ , a, b, c, OSCP, etc.) y analizaron su localización y función dentro del complejo. Se les plantearon las siguientes preguntas:
 - ¿Qué subunidades forman el canal de protones y cuáles participan en la síntesis de ATP?
 - ¿Por qué se considera esta enzima un “motor molecular”?
 - ¿Qué diferencias existen entre la estructura mitocondrial y la bacteriana?
 - ¿Cómo afecta la inhibición de esta enzima a nivel celular?
- **Objetivo:** Comprender la organización estructural del complejo ATP sintasa y relacionarla con su mecanismo funcional.

Actividad 2: Simulación de la síntesis de ATP mediante rotación inducida

- **Modelo utilizado:** ATP sintasa funcional impresa con FDM (repositorio Thingiverse)
- **Dinámica:** Se utilizó un modelo funcional que permite insertar pequeñas esferas (simulando protones) en un canal de entrada, provocando la rotación de la subunidad c y la transmisión de movimiento al eje γ . Esta rotación se traduce en cambios conformacionales simulados en las subunidades catalíticas (α y β), conectando el movimiento mecánico con la formación de ATP. Se plantearon las siguientes cuestiones:
 - ¿Qué papel tiene el gradiente de protones en este proceso?
 - ¿Cómo se transfiere la energía mecánica en energía química?
 - ¿Qué analogía existe entre esta enzima y una turbina hidráulica?
 - ¿Qué efectos produciría una mutación que impida la rotación de la subunidad c?
- **Objetivo:** Experimentar de forma interactiva el mecanismo rotatorio de la ATP sintasa y su conexión con la producción de energía celular.

ANEXO 4. INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN EMPLEADOS

En el marco del presente proyecto de innovación docente, se diseñaron diversos instrumentos con el objetivo de evaluar el impacto del uso de recursos manipulativos y visuales (herramientas digitales interactivas y modelos físicos comerciales y personalizados impresos en 3D y) en la comprensión de conceptos complejos de Bioquímica. Los instrumentos han sido elaborados atendiendo a criterios de validez pedagógica, aplicabilidad real en el aula y posibilidad de análisis cuantitativo y cualitativo. Se distinguen tres bloques fundamentales:

- **Cuestionarios pre/post sobre contenidos específicos**
- **Encuestas de satisfacción del alumnado**
- **Entrevistas semiestructuradas**

A continuación, se muestran algunos ejemplos para cada uno de los bloques:

1. Cuestionarios pre/post sobre contenidos específicos

Objetivo:

Evaluar si el uso de recursos innovadores mejora significativamente la comprensión de contenidos específicos de Bioquímica, en comparación con metodologías tradicionales.

Aplicación:

Se aplican antes y después de sesiones específicas en las que se introducen modelos físicos y/o herramientas digitales. Están vinculados a unidades temáticas complejas como estructura y niveles de organización de proteínas, cinética enzimática o mecanismos moleculares energéticos (ej. ATP sintasa).

Formato:

Consta de entre 8 y 10 ítems distribuidos en:

- 4 preguntas de opción múltiple con una sola respuesta correcta.
- 4–6 preguntas abiertas de desarrollo breve, orientadas a evaluar comprensión conceptual y capacidad de razonamiento.

Ejemplos:

A. Preguntas de opción múltiple:

1. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones describe mejor la función de la ATP sintasa?

- a) Cataliza la degradación del ATP en energía útil.
 - b) Participa en la glucólisis generando NADH.
 - c) Sintetiza ATP a partir de ADP y Pi utilizando un gradiente de protones.
 - d) Descompone glucosa en el ciclo de Krebs.
2. En una reacción catalizada por una enzima, el estado de transición representa:
- a) La forma más estable del producto.
 - b) Un complejo reversible entre sustrato y producto.
 - c) Una conformación intermedia de alta energía entre reactivos y productos.
 - d) La unión no específica del sustrato a la enzima.
3. ¿Qué elemento estructural define a una hélice alfa?
- a) Interacciones hidrofóbicas entre cadenas laterales.
 - b) Enlaces de hidrógeno cada cuatro residuos entre el grupo amino y el carbonilo.
 - c) Enlaces disulfuro intracatenarios.
 - d) Acoplamiento de subunidades alfa y beta.
4. ¿Qué nivel estructural de una proteína está determinado por la asociación de múltiples cadenas polipeptídicas?
- a) Primario
 - b) Secundario
 - c) Terciario
 - d) Cuaternario

B. Preguntas de desarrollo breve:

- 5. Describe cómo se acopla el gradiente de protones a la síntesis de ATP en la mitocondria.
- 6. Explica de qué manera la conformación tridimensional de una enzima determina su especificidad.
- 7. Compara tu experiencia al visualizar estructuras proteicas en 2D, en una animación digital y en un modelo físico tridimensional.
- 8. Identifica qué aspectos estructurales de la ATP sintasa resultan más difíciles de comprender sin apoyo visual o manipulativo.
- 9. ¿Cómo ha cambiado tu comprensión del proceso enzimático tras interactuar con estos recursos?
- 10. Propón una situación fisiológica o patológica en la que la comprensión de esta proteína sea relevante.

2. Encuesta de satisfacción del alumnado

Objetivo:

Recoger la percepción del alumnado respecto a la utilidad, motivación y aplicabilidad de los recursos empleados, así como su comparación con métodos convencionales.

Aplicación:

Se aplica una vez finalizada la actividad didáctica que incluye recursos manipulativos o visuales.

Formato:

- 10 ítems con escala Likert.
- 3 preguntas abiertas.

Bloques temáticos:

- Utilidad percibida para la comprensión.
- Claridad conceptual obtenida tras la sesión.
- Motivación e implicación del alumnado.
- Comparación con métodos docentes tradicionales.

Ejemplos:

A. Ejemplos de ítems tipo Likert: preguntas o afirmaciones utilizadas en encuestas y cuestionarios para medir el grado de acuerdo, frecuencia, importancia u otra actitud del encuestado respecto a una determinada afirmación. Se caracterizan por ofrecer una escala ordinal de respuesta con varias opciones que reflejan diferentes niveles de intensidad.

Opciones de respuesta (escala de 5 puntos): totalmente en desacuerdo (1); en desacuerdo (2); ni de acuerdo ni en desacuerdo (3); de acuerdo (4); totalmente de acuerdo (5)

1. El uso del modelo físico me ayudó a visualizar mejor la estructura molecular.
2. Las herramientas digitales permitieron una comprensión más profunda de los procesos enzimáticos.
3. Me resultó más fácil mantener la atención durante esta sesión.
4. He comprendido conceptos que antes me resultaban abstractos o inaccesibles.
5. Considero que este enfoque metodológico debería ampliarse a otras asignaturas del grado.

6. El uso combinado de recursos digitales y físicos ha mejorado mi aprendizaje.
7. Me sentí más implicado/a en la dinámica de la clase.
8. La actividad me permitió aplicar conceptos bioquímicos a situaciones fisiológicas.
9. El formato de trabajo en grupo fue útil para resolver dudas.
10. Prefiero este tipo de sesiones frente a las clases expositivas tradicionales.

B. Preguntas abiertas: permiten al encuestado responder libremente, sin opciones predeterminadas, expresando sus ideas, opiniones, experiencias o sentimientos con sus propias palabras.

1. ¿Qué recurso (físico o digital) te resultó más útil para comprender los contenidos?
2. ¿Qué aspectos de la actividad mejorarías para futuras ediciones?
3. ¿Cómo ha cambiado tu percepción sobre la Bioquímica tras esta experiencia?

3. Guía para entrevistas semiestructuradas

Objetivo:

Profundizar en la evaluación cualitativa de la experiencia, recogiendo impresiones, beneficios percibidos, barreras detectadas y propuestas de mejora por parte del alumnado y el profesorado participante.

Aplicación:

Entrevistas individuales o grupales, grabadas (previo consentimiento), aplicadas al final del cuatrimestre a una muestra representativa de estudiantes y docentes.

Formato:

6–8 preguntas abiertas adaptadas a cada perfil (alumnado/profesorado). La entrevista puede durar entre 15 y 30 minutos.

Ejemplos:

A. Preguntas para el alumnado:

1. ¿Qué valoración general haces de la experiencia con modelos físicos o herramientas digitales en la asignatura?
2. ¿Qué recursos te parecieron más eficaces para entender los contenidos complejos?

3. ¿Hubo algún momento o actividad en el que notaste un cambio claro en tu comprensión?
4. ¿Tuviste dificultades durante el uso de estos recursos? ¿Cómo las resolviste?
5. ¿Recomendarías este tipo de recursos en otras asignaturas? ¿Por qué?
6. ¿En qué medida sentiste que participabas de forma más activa en tu propio aprendizaje?
7. ¿Te gustaría poder acceder a estos materiales fuera del aula para repasar o estudiar?

B. Preguntas para el profesorado:

1. ¿Cómo valoras el efecto de los recursos implementados en la dinámica del aula y en el aprendizaje del alumnado?
2. ¿Qué evidencias observaste (comentarios, rendimiento, participación) que indiquen una mejora real?
3. ¿Qué recursos consideras que han sido más útiles desde el punto de vista didáctico?
4. ¿Qué barreras técnicas, organizativas o metodológicas has identificado?
5. ¿Qué condiciones facilitarían su implementación continuada y sostenible?
6. ¿Has notado una mayor implicación del alumnado durante estas actividades respecto a metodologías tradicionales?
7. ¿Consideras estos materiales transferibles a otros temas o titulaciones del área biomédica?