

Biocatàlisis

Código: 100997
Créditos ECTS: 6

Titulación	Tipo	Curso	Semestre
2500502 Microbiología	OT	4	0

Contacto

Nombre: Josep Antoni Biosca Vaqué
Correo electrónico: Josep.Biosca@uab.cat

Uso de idiomas

Lengua vehicular mayoritaria: catalán (cat)
Algún grupo íntegramente en inglés: No
Algún grupo íntegramente en catalán: Sí
Algún grupo íntegramente en español: No

Prerequisitos

No hay prerequisites oficiales. De todos modos, parte de los contenidos de las asignaturas de 1er curso: Bioquímica y Laboratorio Integrado 1, así como parte del contenido de la asignatura Laboratorio Integrado 3 de segundo curso, son necesarios para poder seguir correctamente la asignatura.

Objetivos y contextualización

La asignatura Biocatàlisis se centra en el estudio de los enzimas, sus propiedades y aplicaciones. El conocimiento de los enzimas es clave en el marco de la Bioquímica, Biología Molecular y ciencias relacionadas, dado su papel como catalizadores de las reacciones biológicas y de sus aplicaciones en los procesos biotecnológicos. La asignatura analiza los enzimas desde diferentes perspectivas: actividad, cinética, mecanismos y aplicaciones. El objetivo general de la asignatura es proporcionar los fundamentos para el análisis, caracterización y uso de las enzimas desde las perspectivas de la investigación y de la aplicación biotecnológica y biomédica.

Objetivos concretos de la asignatura:

Conocimiento de las características generales, clasificación y métodos de ensayo de la actividad enzimática.
Análisis de la cinética enzimática y determinación y significado de los parámetros cinéticos.
Conocimiento de la inhibición enzimática y sus aplicaciones, especialmente en el campo de los fármacos.
Análisis del centro activo y conocimiento de los métodos de caracterización.
Análisis de los mecanismos enzimáticos y de regulación.
Aplicaciones biomédicas y biotecnológicas de los enzimas.

Competencias

- Aplicar los conocimientos teóricos a la práctica.
- Diseñar experimentos e interpretar los resultados.
- Interpretar a nivel molecular mecanismos y procesos microbianos.
- Obtener, seleccionar y gestionar la información.
- Reconocer los distintos niveles de organización de los seres vivos, en especial de animales y plantas, la diversidad y las bases de la regulación de sus funciones vitales de los organismos e identificar mecanismos de adaptación al entorno.
- Utilizar bibliografía o herramientas de Internet, específicas de Microbiología y de otras ciencias afines, tanto en lengua inglesa como en la lengua propia.

Resultados de aprendizaje

1. Analizar los mecanismos funcionales del equilibrio hidrosalino y ácido-base del organismo animal.
2. Aplicar los conocimientos teóricos a la práctica.
3. Calcular e interpretar los parámetros cinéticos de las reacciones enzimáticas, mediante métodos gráficos y utilizando programas informáticos.
4. Conocer y utilizar las bases de datos de enzimas en relación a la actividad, funciones biológicas y aplicaciones.
5. Diseñar experimentos e interpretar los resultados.
6. Diseñar, ejecutar y evaluar un protocolo básico de obtención y purificación de una enzima.
7. Identificar los principales mecanismos de inhibición enzimática, conocer su significado biológico y calcular e interpretar las correspondientes constantes.
8. Obtener, seleccionar y gestionar la información.
9. Saber evaluar la idoneidad de los métodos de determinación de actividades enzimáticas y establecer las condiciones experimentales de ensayo.
10. Saber explicar las bases estructurales y los principales mecanismos de catálisis enzimática y su regulación.
11. Saber explicar las bases termodinámicas de la catálisis enzimática.
12. Saber obtener información sobre la base estructural de las enzimas y sus mecanismos en las principales bases de datos.
13. Utilizar bibliografía o herramientas de Internet, específicas de Microbiología y de otras ciencias afines, tanto en lengua inglesa como en la lengua propia.

Contenido

Tema 1. Introducción a la biocatálisis.

Concepto de biocatálisis. Mercado y utilización de los biocatalizadores. Prejuicios en la utilización de enzimas. Perspectiva histórica. Olas de innovación en la biocatálisis. Ventajas e inconvenientes de los biocatalizadores. Diferentes tipos de procesos de biocatálisis. Sistemas celulares y enzimáticos: propiedades. Factores a considerar en un proceso de biocatálisis: fuente del biocatalizador y optimización del proceso.

Tema 2. Propiedades, clasificación y nomenclatura de las enzimas.

Propiedades generales de las enzimas: Concepto y significación biológica, química y práctica. Definiciones. Complejo enzima-sustrato. Disminución de la energía de activación. Estado de transición. Cofactores enzimáticos. Nomenclatura y clasificación de las enzimas. Bases de datos con información de enzimas.

Tema 3. Métodos de determinación de la actividad enzimática y de obtención de enzimas.

Obtención y caracterización de las enzimas. Fuentes de obtención. Técnicas para la extracción de enzimas. Métodos de determinación de la actividad enzimática. Velocidad inicial: concepto, determinación, representación. Unidades de actividad enzimática. Efecto de la concentración de enzima.

Tema 4. Análisis de la cinética enzimática.

Cinética enzimática. Reacciones con un sustrato. Efecto de la concentración de sustrato: ecuación de Michaelis-Menten. Estado pre-estacionario y estado estacionario: conceptos. Hipótesis de estado estacionario: tratamiento de Briggs-Haldane. Reacciones enzimáticas con más de un complejo intermedio enzima-sustrato.

Tema 5. Determinación de los parámetros cinéticos.

Determinación de los parámetros cinéticos. Métodos con representaciones lineales: Lineweaver-Burk, Eadie-Hofstee y Hanes-Woolf. Otros métodos. Significado de los parámetros cinéticos k_{cat} , K_M y k_{cat} / K_M . Ecuación de Michaelis-Menten para reacciones reversibles: relación de Haldane.

Tema 6. Inhibición de la catálisis enzimática.

Inhibición de la catálisis enzimática: tipos de inhibidores. Inhibidores reversibles: inhibición competitiva, inhibición acompetitiva y mixta (incluye la inhibición no competitiva). Modelo general. Análisis gráfico de los diferentes tipos de inhibición. Determinación de las constantes de inhibición. Concepto de IC₅₀ y su relación con las constantes de inhibición. Inhibición por exceso de sustrato. Discriminación entre sustratos competitivos. Inhibidores pseudoirreversibles e inhibidores irreversibles. Marcadores por afinidad. Inhibidores suicidas. Utilización de inhibidores como fármacos.

Tema 7. Análisis de la cinética enzimática en reacciones con más de un sustrato.

Reacciones con más de un sustrato: notación de Cleland. Mecanismo secuencial ordenado, mecanismo secuencial estadístico, mecanismo de doble desplazamiento (ping-pong). Tratamiento matemático y análisis gráfico. Métodos para la determinación del tipo de mecanismo. Intercambio isotópico y efecto isotópico.

Tema 8. Cinética de los estados efímeros o fugaces ("transients").

Características de los métodos de cinética rápida. Métodos de mezcla: flujo continuo ("continuous flow"), flujo detenido ("stopped-flow") y flujo extinguido ("quenched-flow"). Métodos de relajación: salto de temperatura (T-jump), salto de presión (P-jump). Análisis del "Burst" de una reacción: determinación de la concentración de centros activos. "Bursts" y "lags".

Tema 9. Efecto del pH y de la temperatura en las reacciones enzimáticas.

Acción de la temperatura sobre la cinética enzimática. Representación de Arrhenius. Enzimas de organismos extremófilos. Efectos del pH sobre la cinética enzimática. Ionización de residuos esenciales. Influencia del pH sobre los parámetros cinéticos. Evaluación de las constantes de ionización. Identificación de los grupos ionizables implicados en los procesos de unión y catálisis. Efectos del micro entorno sobre el pK.

Tema 10. Cooperatividad y Alostereismo.

Unión de ligandos a proteínas. Concepto y tipos de cooperatividad. Análisis de la cooperatividad. Unión del oxígeno a la hemoglobina. Modelos de cooperatividad. Modelo de Monod, Wyman y Changeux. Explicación de los efectos cooperativos homotrópicos por el modelo MWC. Enzimas alostéricas. Sistemas K y sistemas V. Modelo de Koshland, Nemethy y Filmer. Determinación del modelo de cooperatividad que sigue una determinada enzima. Ejemplo de enzima con regulación alostérica: aspartato carbamil transferasa.

Tema 11. Especificidad enzimática.

El centro activo, especificidad y estructura tridimensional. Definición de centro activo. Características del centro activo. Teorías sobre el acoplamiento entre la enzima y el sustrato. Teoría de Fisher (llave-cerradura). Teoría de Koshland ("induced fit" o acoplamiento inducido). La hexoquinasa como ejemplo de acoplamiento inducido. Hipótesis de la unión a tres puntos. Hipótesis que implican tensión. Estabilización del estado de transición. Evidencias que apoyan la teoría del estado de transición. Anticuerpos catalíticos. Aplicaciones de los anticuerpos catalíticos.

Tema 12. Estudio del centro activo.

El centro activo. Identificación de los centros de unión y de catálisis. Marcado con una parte del sustrato. Utilización de sustratos artificiales. Modificación química con inhibidores irreversibles específicos. Marcadores por afinidad. Inhibidores suicidas, ejemplos con interés farmacológico. Mutagénesis dirigida. Las serina-proteasas: subtilisina. Comparación de la mutagénesis y el marcaje químico. Investigación de la estructura tridimensional de proteínas: rayos X, RMN, modelado molecular. El alcohol deshidrogenasa. Endonucleasas de restricción. Mecanismos "editoriales" y de corrección de errores: aminoacil-tRNA sintetasas.

Tema 13. Mecanismos de catálisis enzimática.

Mecanismos de catálisis. Introducción a los mecanismos de la acción enzimática. Catálisis ácido-básica. Catálisis covalente. Piridoxal fosfato. Catálisis con iones metálicos. Mecanismos de la alcohol deshidrogenasa y la anhidrasa carbónica. Efecto del entorno: catálisis electrostática. El lisozima. Mecanismo de la subtilisina.

La superóxido dismutasa. Efectos de proximidad y orientación. Canalización de intermediarios. Enzimas multifuncionales. Enzimas con funciones adicionales no enzimáticas "moonlighting enzymes".

Tema 14. Cofactores y ribozimas.

Cofactores y ribozimas. Actividad catalítica del RNA. Tipo de ribozimas. El ribosoma es una ribozima. Significado biológico de las ribozimas. Aplicaciones de las ribozimas.

Tema 15. Regulación de la actividad enzimática.

Regulación de la actividad enzimática. Modificación de la concentración de enzima. Regulación de la síntesis y degradación de las enzimas. Mecanismos de degradación. Variación de la velocidad enzimática en función de la concentración de sustrato, producto y cofactores. Activación por precursor y retro inhibición. Significado funcional de la cooperatividad y el Alosteroismo. Control hormonal. Isoenzimas.

Polimerización-despolimerización. Unión a otras proteínas. Modificación covalente irreversible. Modificación covalente reversible. Sistemas de cascada enzimática.

Tema 16. Aplicaciones biomédicas y biotecnológicas de las enzimas.

Enzimas en bioquímica clínica y biotecnología. Enzimas como agentes terapéuticos. Enzimas indicadores de patologías. Enzimas plasmáticos. Factores que afectan los niveles de los enzimas plasmáticos. Ejemplos de enzimas con interés diagnóstico. Aminotransferasas. Creatina quinasa. Lactato deshidrogenasa. Indicadores del infarto de miocardio. Enzimas como reactivos en bioquímica clínica. Enzimas y errores congénitos del metabolismo, ejemplos. Enzimas en la industria. Producción en gran escala de enzimas. Aplicaciones: fármacos, industria alimentaria, detergentes, industria textil. Enzimas inmovilizados. Enzimas como biosensores.

Tema 17. Evolución dirigida.

Métodos para mejorar la biocatálisis. Diseño y síntesis de nuevos catalizadores. Evolución dirigida. Generación de mutantes. Selección y cribado de la actividad enzimática deseada. Re-diseño de enzimas para modificar su termoestabilidad y enantioselectividad. Evolución adaptativa en el laboratorio.

PROBLEMAS

Habrán cinco sesiones de resolución de problemas, en las que se plantearán problemas de purificación de enzimas, determinación de parámetros cinéticos en ausencia y presencia de inhibidores, así como caracterización de mecanismos de inhibición y elucidación de los mecanismos de reacciones bi-sustrato.

Entrega de trabajos en grupo (por el Campus Virtual)

Durante el curso se realizarán dos entregas (a través de la plataforma del campus virtual) de temáticas relacionadas con temas tratados en clase. Se podrán hacer por grupos de dos o tres personas.

PRÁCTICAS

Se organizan en 2 sesiones de 4 horas, una sesión de una hora y una sesión de tres horas.

Programa: Caracterización de una enzima sobreexpresado en la levadura (*Saccharomyces cerevisiae*). Análisis de la estereoespecificidad de la reacción para con diferentes sustratos empleando cromatografía de gases. Determinación de los parámetros cinéticos en condiciones de estado estacionario, utilizando "software" específico. Utilización de un programa para estudiar la estructura tridimensional de las proteínas.

Metodología

La asignatura de Biocatálisis consta de clases teóricas, entrega de trabajos en grupo (por el campus virtual), clases de problemas y clases de prácticas. A continuación se describe la organización y la metodología docente que se seguirá en estas actividades.

Clases de teoría:

El contenido del programa de teoría será impartido principalmente en forma de clases magistrales con soporte audiovisual. Las presentaciones utilizadas en clase estarán a disposición de los alumnos en el Campus Virtual de la asignatura antes del inicio de cada uno de los temas. Estas sesiones expositivas constituirán la parte más importante del apartado de teoría. Es recomendable que los alumnos dispongan del material publicado en el Campus Virtual en forma impresa para poder seguir las clases con más comodidad. Se aconseja que los alumnos consulten de forma regular los libros recomendados en el apartado de Bibliografía de esta guía docente para consolidar y clarificar, si es necesario, los contenidos explicados en clase. También es aconsejable que los alumnos utilicen los enlaces indicados en el Campus Virtual, que contienen vídeos y animaciones relacionados con los procesos explicados en clase.

Resolución y entrega de trabajos en grupo:

Esta actividad pretende trabajar la competencia del trabajo en equipo, mediante la organización del alumnado en grupos de trabajo en los que todos los miembros deberán participar activamente en la redacción y presentación de los trabajos.

La metodología de esta actividad será la siguiente:

Al inicio del curso los alumnos se organizarán en grupos de dos o tres personas, inscribiendo los grupos a través del Campus Virtual antes de la fecha límite indicada por el profesor (véase Programación de la asignatura). Los grupos trabajarán los temas indicados para esta actividad fuera del horario de clase. Los trabajos se entregarán a través del Campus Virtual. La calificación obtenida será aplicable a todos los miembros del grupo de trabajo al que pertenezca el alumno.

Los enunciados de las entregas se publicarán a través del Campus Virtual donde también se indicarán las fechas de entrega.

Clases de resolución de problemas:

Habrán 5 sesiones de problemas que se dedicarán a la resolución de los tipos de problemas más relacionados con los contenidos del programa de teoría. Se pretende que estas clases sirvan para consolidar los contenidos previamente trabajados en las clases de teoría y también para que el alumno se familiarice con algunas de las estrategias experimentales, con la interpretación de datos científicos y la resolución de problemas basados en situaciones experimentales reales.

Los enunciados de los problemas se entregarán a través del Campus Virtual con antelación a la clase de problemas en la que se vayan a tratar.

Clases de prácticas:

Habrán dos sesiones de 4 horas, una sesión de una hora y una sesión de tres horas, con el siguiente contenido:

- 1.- Determinación de la actividad de la enzima Bdh1p en extractos de levadura (que sobre-expresan esta enzima). Cálculo de la actividad en U / mL de extracto, frente diferentes sustratos.
- 2.- Determinación de los parámetros cinéticos para la enzima Bdh1p frente acetoína. Preparación de mezclas de reacción con diferentes sustratos. Determinación de las velocidades iniciales frente acetoína y determinación de los parámetros cinéticos con una hoja de cálculo.
- 3.- Separación de sustratos y productos de las mezclas de reacción por extracción con acetato de etilo. Caracterización de los sustratos y productos de la reacción de Bdh1p mediante la separación de los mismos en una columna quiral ubicada en un cromatógrafo de gases.
- 4.- Utilización de un programa informático para la determinación de los parámetros cinéticos de Bdh1p. Análisis de diferentes patrones de inhibición. Utilización de un programa informático para estudiar la estructura de las proteínas.

Tutorías

Se realizará una sesión de tutoría del grupo clase antes de las pruebas parciales 1 y 2 y, a petición de los alumnos, tutorías individuales. En caso de que el número de solicitudes sea elevado se realizarán, de manera adicional, tutorías de aula que se anunciarían oportunamente a través del Campus Virtual. El objetivo de estas sesiones será el de resolver dudas, repasar conceptos básicos y orientar sobre las fuentes de información consultadas.

Material disponible en el Campus Virtual de la asignatura:

Presentaciones utilizadas por el profesor en las clases de teoría. Entregas. Enunciados de los problemas. Protocolo de las clases prácticas. Calendario de las actividades docentes (clases de aula, tutorías y evaluaciones).

Actividades

Título	Horas	ECTS	Resultados de aprendizaje
Tipo: Dirigidas			
Clases de resolución de problemas	5	0,2	3, 4, 6, 7
Clases de teoría	35	1,4	4, 6, 7, 8, 9, 10, 11
Prácticas de laboratorio	12	0,48	2, 3, 4, 5, 7, 8
Tipo: Supervisadas			
Tutorías en grupo	2	0,08	7, 8, 10, 11
Tipo: Autónomas			
Entrega de trabajos a través del Campus Virtual	5	0,2	4, 8, 9, 13
Estudio	43	1,72	1, 3, 7, 8, 9, 10, 11, 13
Prácticas de laboratorio	20	0,8	2, 4, 5, 8, 9, 12, 13
Resolución de los problemas	22	0,88	3, 4, 6, 7, 8, 9, 13

Evaluación

Pruebas parciales de teoría. Evaluación individual (5/10).

- La evaluación de esta actividad se realizará mediante dos pruebas escritas en las que el alumno debe demostrar su grado de consecución de los conceptos teóricos.

- Cada una de las pruebas tendrá un peso global del 25%. La primera estará programada a mediados del semestre y la segunda a finales del semestre. Las dos pruebas incluirán preguntas cortas relacionadas con las clases de teoría.

Prueba de problemas. Evaluación individual (1/10).

El día de la segunda prueba parcial se deberán resolver tres problemas de los tipos tratados en las clases de problemas. El resultado de esta prueba tendrá un peso global del 10%.

Entregas por el Campus Virtual. Evaluación grupal (2,5/10). Esta actividad no es recuperable.

Se realizarán durante el curso dos entregas relacionados con el contenido dado en las clases de teoría. Los trabajos elaborados en grupos de 2-3 personas se entregarán a través del Campus Virtual. Para la valoración

se tendrá en cuenta no sólo la resolución correcta del trabajo sino también su planteamiento y presentación. Todo el grupo recibirá la misma calificación.

Si se considera necesario, el profesor podrá solicitar que se rellene de manera individual un cuestionario referente al trabajo del grupo. Aunque los resultados de este cuestionario no tendrán, de entrada, un peso específico en la calificación de la asignatura, en caso de detectar valoraciones negativas de una persona por parte del resto de miembros de su grupo que demuestren que no ha participado en el trabajo, la calificación obtenida por el grupo no se le aplicará o bien se le podrá reducir.

Asistencia a las clases prácticas y realización de la memoria. Evaluación grupal (1,5/10). Esta actividad no es recuperable.

El alumno deberá llevar el material adecuado como bata, gafas de protección y el guión de prácticas (previamente trabajado en casa). Se evaluará la actitud del alumno en el laboratorio, así como su trabajo. El alumno entregará una memoria de prácticas el día fijado por el profesor en la que habrá respondido las cuestiones planteadas. La evaluación de la actitud supondrá el 25% de la nota y la evaluación de la memoria presentada, el 75% restante del total de la nota.

Evaluación global de la asignatura.

La evaluación global de la asignatura incluirá las calificaciones de las dos pruebas parciales de teoría, la prueba de problemas, la calificación de las entregas trabajadas en grupo y la calificación de las prácticas de laboratorio. Sobre un total de 10 puntos será necesario obtener una calificación global igual o superior a 5 puntos para el total de la evaluación de la asignatura.

Las personas que, por causa justificada y habiendo recibido la autorización previa del profesor, no formen parte de ningún grupo de trabajo no habrán podido demostrar la superación de algunas competencias y resultados de aprendizaje de la asignatura. En este caso, la calificación máxima que podrán obtener en la asignatura será de 7,5 puntos sobre 10.

Para aprobar la asignatura se requiere que la nota de teoría + la nota de problemas + la nota de entregas por el campus virtual + la nota de prácticas sumen un mínimo de 5 puntos de 10 posibles.

Prueba de recuperación.

Para participar en la prueba de recuperación, el alumnado debe haber sido previamente evaluado en un conjunto de actividades el peso de las cuales equivalga a un mínimo de dos terceras partes de la calificación total de la asignatura o módulo. Por lo tanto, el alumnado obtendrá la calificación de "No Evaluable" cuando las actividades de evaluación realizadas tengan una ponderación inferior al 67% en la calificación final.

El día de la prueba de recuperación, habrá una prueba de recuperación del primer parcial, otra del segundo parcial y otra de problemas. El alumnado puede presentarse a cualquiera de ellas. En el caso de querer mejorar la calificación, el alumnado también se podrá presentar en cualquiera de las pruebas: la realización de esta nueva prueba (o pruebas) supone la renuncia a la primera calificación.

Actividades de evaluación

Título	Peso	Horas	ECTS	Resultados de aprendizaje
Entrega de trabajos a través del Campus Virtual	25	0	0	4, 8, 9, 12
Prueba de resolución de problemas	10	2	0,08	3, 6, 7, 9
Pruebas parciales de teoría	50	4	0,16	6, 7, 9, 10, 11
Prácticas de laboratorio	15	0	0	1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 12, 13

Bibliografía

Obras específicas

- Biocatalysis. Fundamentals and applications (2004). A. S. Bommarius, B. R. Riebel. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. Acceso on line UAB:

https://cataleg.uab.cat/iii/encore/record/C__Rb2008692__Sbommarius__Orightresult__U__X4?lang=cat&suite=de

- Biocatalysis. Biochemical Fundamentals and Applications (2018). P. Grunwald. World Scientific. 2nd Edition.

- Biotransformations in Organic Chemistry. 6th ed. K. Faber (2011). Ed. Springer. Acceso on line UAB:

https://cataleg.uab.cat/iii/encore/record/C__Rb2038210__Skurt%20faber__Orightresult__U__X4?lang=cat&suite=de

- Enzyme Assay. A Practical Approach. R. Eisenthal and M. J. Danson (2002) 2nd ed. Oxford University Press. Oxford.

- Enzyme Kinetics: Principles and Methods, Third, enlarged and improved Edition. Bisswanger, H. 2017. WileyVCH Verlag GmbH & Co. KGaA. Acceso on line UAB:

https://cataleg.uab.cat/iii/encore/record/C__Rb2033620__Sbisswanger__Orightresult__U__X4?lang=cat&suite=de

- Enzymes: Biochemistry, Biotechnology, Clinical Chemistry. Palmer, T., Bonner, P. 2nd ed. 2007. Elsevier. Acceso on line UAB:

https://cataleg.uab.cat/iii/encore/record/C__Rb1962824__Spalmer%20and%20bonner__Orightresult__U__X2?lan

- Evaluation of enzyme inhibitors in drug discovery. R. A. Copeland (2013). 2nd ed. Wiley Interscience. John Wiley & Sons.

- Fundamentals of Enzyme Kinetics. A. Cornish-Bowden (2012). 4th edition. Wiley-Blackwell.

- Industrial Enzymes. Structure, Function and Applications (2007). Ed. J. Polaina and A.P. Maccabees. Springer.

- Structure and Mechanism in Protein Science. A guide to Enzyme Catalysis and Protein Folding (1998). A. Fersht. W.H. Freeman & Company.

Obras Genéricas.

- "Biochemistry" (2019). Berg, J. M., Tymoczko, J.L, Gatto, Jr., Stryer, L 9ª ed. MacMillan International. New York

- "Biochemistry" (2013), Mathews, C. K., van Holde, K. E., Appling, D., Anthony-Cahill, S. 4ª ed. Pearson Education. Upper Saddle River.

- "Biochemistry" (2011). Voet, D., and Voet, J.G. 4ª ed. Ed.Wiley. London.

- "Bioquímica" (2013). Mathews, C. K., van Holde, K. E., Appling, D., Anthony-Cahill, S. 4ª ed. Addison / Wesley. McGraw-Hill / Interamericana. Madrid.

Traducido de la 4ª ed. en inglés del año 2013 publicada por Pearson Education.

- "Bioquímica con aplicaciones clínicas" (2013). Stryer, L., Berg, J. M., Tymoczko, J. L. 7ª ed. Ed. Reverté.

Traducido de la 7ª ed. en inglés del año 2012 publicada por WH Freeman and Company.

- "Lehninger Principles of Biochemistry" (2017). Nelson, D.L. and Cox, M.M. 7ª ed. Freeman, New York.

- "Lehninger Principios de Bioquímica" (2014). Nelson, D.L. and Cox, M.M. 6ª ed. Omega. Barcelona.

Enlaces web

Estarán actualizados en el Campus Virtual de la asignatura.