



ARTÍCULO ORIGINAL

Enseñanza de la Bioquímica para las carreras de Biología y Microbiología de la Facultad de Biología, Universidad de La Habana, en el Plan de Estudio D

Teaching Biochemistry in Biology and Microbiology in the Faculty of Biology, University of Havana, in Studies Plan D

Jorge Oscar González Bacerio, Uris Lianne Ros Quincoces, Alina Forrellat Barrios*

Facultad de Biología
Universidad de La Habana

* Autor para correspondencia:.....
aforre@fbio.uh.cu

RESUMEN

En este trabajo se realiza un análisis de los contenidos impartidos tradicionalmente en las asignaturas Bioquímica I y II para las carreras de Biología y Microbiología en la Facultad de Biología de la Universidad de La Habana, en función de su correspondencia con los Sistemas de Conocimientos y de Habilidades reconocidos en el Plan de Estudio D vigente. A partir de este análisis comparativo con las asignaturas equivalentes en la carrera de Bioquímica y Biología Molecular, se presenta el rediseño de los contenidos impartidos, en el sentido de desplazarlos, en los casos en que es posible y conveniente, desde el clásico modelo mamífero hacia los objetos de estudio de estos profesionales: el mundo vivo en toda su diversidad, en el caso de Biología, y los microorganismos y virus, en el caso de Microbiología. De esta manera, se utilizan en las clases de Bioquímica I ejemplos concretos de estructura y función de biomoléculas presentes en modelos de organismos más apropiados para las dos carreras. En Bioquímica II se explota la extraordinaria diversidad metabólica presente en los diferentes grupos de organismos vivos y se introduce la enseñanza de otras rutas metabólicas características de cada grupo, o que constituyen variaciones a vías presentes en los mamíferos. Estas modificaciones pudieran facilitar la enseñanza-aprendizaje de la Bioquímica en estas carreras, así como incrementar la contribución de estas asignaturas a la formación profesional en estas ramas de las Ciencias Biológicas.

Palabras clave: carreras de Biología y Microbiología, contenidos, diseño curricular, metabolismo

ABSTRACT:

In this work, a review of the contents traditionally studied on Biochemistry I and II courses for Biology and Microbiology careers, at the Faculty of Biology, University of Havana, is realized. This analysis was done taking into account the agreement of contents with the Knowledge and Skills Systems recognized

Recibido: 2013-09-06

Aceptado: 2014-03-09

in the current Study Plan D. From this analysis, comparative with the equivalent courses on Biochemistry and Molecular Biology career, a redesign of the studied contents is presented. According to this, these contents were displaced, when was possible and convenient, from the classical mammal model to the study objects of these professionals: the living world in all its diversity, for biologists, and microorganisms and viruses, for microbiologists. In this manner, we use on Biochemistry I lectures specific examples of structure-function relationship of biomolecules from models of organisms more appropriated for the two careers.

Similarly, we exploit on Biochemistry II the extraordinary metabolic diversity that is present in different groups of living organisms, as well as we introduced the teaching of other metabolic routes, characteristic of each group or which constitute variations of classical mammalian pathways. These modifications could make easier the teaching and learning of Biochemistry for biologists and microbiologists, as well as could increase the contribution of these courses to the formation of professionals in these domains of Biological Sciences.

Keywords: *Biology and Microbiology careers, contents, curricular design, metabolism.*

Introducción

El incremento vertiginoso de los conocimientos generados en las Ciencias Biológicas en las últimas décadas, obliga a una revisión constante del grado de actualidad de los contenidos que se imparten en las asignaturas correspondientes a estas especialidades de la Educación Superior. Esto es necesario para cumplir con la misión de los claustros de formar profesionales con una vasta cultura biológica y técnicamente capaces de afrontar los retos concretos que impone la práctica científica (Montero, 2012).

Tradicionalmente, la enseñanza de la Bioquímica se ha caracterizado por el predominio del modelo mamífero (sobre todo el humano) en los contenidos impartidos en las asignaturas Bioquímica I (relación estructura-función en las biomoléculas) y Bioquímica II (metabolismo celular) para las tres carreras que se estudian en la Facultad de Biología, Universidad de La Habana: Biología, Bioquímica y Biología Molecular, y Microbiología y Virología (Plan de Estudio D^{a,b}, 2007). Este enfoque, si bien es pertinente dado el conocimiento acumulado en esta área y la importancia que tiene su dominio para el ejercicio de la Biomedicina, es limitado, ya que no es representativo de la amplia diversidad de estructuras y procesos bioquímicos presentes en el mundo vivo, los cuales se evidencian claramente cuando se aborda el estudio de otros grupos de organismos como los microorganismos, las plantas y los invertebrados (Buchanan *et al.*, 2000; Nelson y Cox, 2005; Madigan *et al.*, 2012). El avance acelerado de la Biología Molecular y Celular en el presente siglo, impone nuevos retos en la enseñanza de la Bioquímica, ya que en los textos actuales se aborda la relación

estructura-función de las biomoléculas y la diversidad metabólica en diferentes grupos de organismos como virus, microorganismos, plantas, animales y el hombre (Buchanan *et al.*, 2000; Nelson y Cox, 2005).

Ampliar el espectro de estudio a otros modelos no mamíferos en la enseñanza de la Bioquímica puede repercutir en la formación de profesionales con una visión más amplia de la Biología y, por tanto, más capacitados para abordar problemas biológicos desde diferentes aristas (Montero, 2012).

El objetivo del presente trabajo es analizar cómo se adecuaron los contenidos de las asignaturas Bioquímica I y II, en el contexto del Plan de Estudio D, para las carreras de Biología y Microbiología y Virología, de manera que el proceso de enseñanza-aprendizaje en estas materias se ajuste a la formación integral de un biólogo y un microbiólogo en la actualidad, así como que contribuya a la motivación de los estudiantes por el estudio de la Bioquímica y la Biología Molecular.

Objetivos de las asignaturas Bioquímica I y II para las carreras Biología y Microbiología

Las tres carreras que se estudian en la Facultad de Biología de la Universidad de La Habana (dos de ellas de carácter nacional) presentan diferentes objetos de trabajo del profesional (Tabla I).

Las adecuaciones de algunos contenidos impartidos en las asignaturas Bioquímica I y II para las carreras Biología y Microbiología y Virología se enmarcan dentro de los objetivos de ambas asignaturas en los Planes de Estudios D correspondientes:

Tabla I. Carreras de la Facultad de Biología, Universidad de La Habana.

Table I. Careers in the Faculty of Biology, University of Havana.

Carrera	Cobertura	Objeto de trabajo del
Biología	Regional	Organismos vivos
Microbiología y Virología	Nacional	Microorganismos y Virus
Bioquímica y Biología Molecular	Nacional	Fenómenos biológicos desde una perspectiva molecular

Carrera de Biología: El objetivo de la asignatura Bioquímica I es "Establecer las características estructurales y las relaciones estructura-función de las biomoléculas, a partir del análisis de sus grupos funcionales, la estimación de parámetros experimentales y su papel en las estructuras biológicas para lograr el conocimiento de las bases estructurales de los seres vivos. Describir los mecanismos centrales de transducción de energía a nivel molecular y celular desde una perspectiva dialéctico-materialista, siendo capaces de comparar las particularidades de los organismos autótrofos y heterótrofos." Por su parte, el objetivo de la asignatura Bioquímica II es "Describir y analizar los procesos metabólicos centrales de los seres vivos con un enfoque multilateral que integra los aspectos morfológicos, bioquímicos y fisiológicos, explicando cómo se lleva a cabo su regulación y, de esta manera, consolidar el concepto de la interdependencia estructura-función a nivel molecular y celular, lo que permitirá la interpretación completa de los procesos biológicos que se llevan a cabo a un nivel superior de organización" (Plan de Estudio Da, 2007).

Carrera de Microbiología: El objetivo de la asignatura Bioquímica I es "Describir y analizar las características estructurales y propiedades fundamentales de las biomoléculas, interrelacionándolas con la función biológica que realizan a través de un análisis integral del vínculo dialéctico estructura-función." Por otra parte, el objetivo de la asignatura Bioquímica II es "Describir y analizar las rutas metabólicas centrales de los organismos vivos, enfatizando su carácter universal, integración y condiciones celulares que determinan su regulación, lo que les permitirá una interpretación más completa de los procesos biológicos a los niveles molecular y celular" (Plan de Estudio Db, 2007).

Algunos contenidos modificados en la asignatura Bioquímica I

Para comprender el funcionamiento celular es importante que el estudiante conozca la relación entre la estructura química y la función biológica de las macromoléculas que componen a los seres vivos (proteínas, carbohidratos, lípidos y ácidos nucleicos). Estos contenidos se imparten en la asignatura Bioquímica I. De esta manera, los estudiantes están preparados para comprender la diversidad y complejidad del metabolismo celular, el cual se estudia en la asignatura Bioquímica II.

La función biológica de las biomoléculas está determinada por su estructura química, de manera que un estudio adecuado de la estructura química facilita la comprensión adecuada de la función biológica de proteínas, carbohidratos, lípidos y ácidos nucleicos.

En el tema correspondiente al estudio de las proteínas en Bioquímica I, se mencionan algunos ejemplos de péptidos biológicamente activos que tienen una organización estructural diferente a la que se describe para las proteínas (contienen aminoácidos no proteicos). Estas estructuras inusuales protegen a estos péptidos de la degradación y de esta manera se preserva su función biológica. Un ejemplo ilustrativo es el glutatión, un péptido que juega un papel fundamental como barrera antioxidante en muchos organismos vivos y que contribuye a disminuir las especies reactivas del oxígeno, generadas por estrés oxidativo. Otro ejemplo es la tyrocidina, un péptido biológicamente activo de origen microbiano (un ionóforo) que contiene D-aminoácidos, como característica estructural excepcional que le confiere resistencia a la acción de las proteasas.

En la naturaleza, muchos organismos vivos liberan toxinas como mecanismos de defensa. Muchas de estas son de naturaleza proteica y su estudio permite en la actualidad encontrar innumerables blancos terapéuticos en Biomedicina. Entre las toxinas de origen proteico destacan las citolisinas de anémonas, las cuales son proteínas que provocan la ruptura de las membranas celulares y, por tanto, la pérdida de la integridad celular. En este campo, un grupo de investigación de la Facultad de Biología de la Universidad de La Habana se ha dedicado por más de 20 años al estudio de la relación estructura-función de estas proteínas. Como resultado del conocimiento acumula-

do, actualmente se desarrollan proyectos de investigación que tienen como objetivo explotar las propiedades funcionales de estas proteínas para el diseño de inmunotoxinas que sean capaces de eliminar selectivamente células tumorales, y para la liberación de vacunas o medicamentos directamente en el interior de determinadas células del sistema inmune, de modo que se estimule una respuesta inmunológica profiláctica o terapéutica más favorable para determinadas enfermedades (Tejuca *et al.*, 1994, 1996, 2001; Veitía *et al.*, 1995; Álvarez *et al.*, 2001; Lanio *et al.*, 2001, 2003).

Otras toxinas proteicas de invertebrados marinos son los inhibidores de las enzimas proteasas aislados de anémonas, moluscos, anélidos, entre otros organismos, a cuyo estudio se ha consagrado por más de tres décadas otro grupo de investigación de la Facultad de Biología. Entre los resultados más notables obtenidos con estos inhibidores destacan su inclusión en un juego diagnóstico prenatal para la fibrosis quística, y en el proceso de producción de una variante de insulina humana recombinante, utilizada en el tratamiento de la Diabetes mellitus (Delfín *et al.*, 1996; Gil *et al.*, 2011; González *et al.*, 2004, 2007; González-González *et al.*, 2010; Reytor *et al.*, 2011).

La generación de estos conocimientos, mediante la investigación científica, ha tributado positivamente a la docencia de pregrado y posgrado en la Facultad de Biología.

Muchos son los ejemplos de relación estructura-función de proteínas en el mundo vivo. La tela de las arañas está formada por una proteína de función estructural; la seda que produce el gusano de seda *Bombix mori* constituye otra proteína de función estructural; la luciferina es una proteína responsable de la emisión de luz por las luciérnagas; las plumas de las aves, el pelo, las pezuñas y los cuernos son de naturaleza proteica y tiene función de protección (Nelson y Cox, 2005).

Las transformaciones bioquímicas deben ocurrir a elevadas velocidades de manera tal que sea posible la vida. La célula cuenta con una batería de catalizadores biológicos (las enzimas) que aceleran considerablemente la velocidad de las reacciones bioquímicas. El estudio de las enzimas es un tema fundamental en Bioquímica. Entre las modificaciones realizadas en los contenidos de Bioquímica I, se hace énfasis en las

oxigenasas, enzimas clave para la utilización del O₂ como reaccionante en procesos biológicos. También se hace referencia a enzimas de interés biotecnológico producidas por microorganismos a nivel industrial, y sus aplicaciones. Se estudian igualmente algunas enzimas que participan en la invasión de los patógenos microbianos a los tejidos del hospedero, así como las estructuras y funciones de los principales antibióticos, sobre todo los que actúan como inhibidores de enzimas clave en la fisiología microbiana (Madigan *et al.*, 2012).

La función energética de los carbohidratos se relaciona con su estructura química, lo cual tradicionalmente se evidencia con el estudio de los polisacáridos de reserva en animales (glucógeno) y plantas (almidón). En Bioquímica I se estudian además diferentes polímeros de almacenamiento energético en bacterias, como otros polisacáridos diferentes del glucógeno, poli-hidroxialcanoatos y polifosfatos. Asimismo, se mencionan los polisacáridos de la placa dental (Madigan *et al.*, 2012).

En relación con los carbohidratos que desempeñan funciones estructurales, se estudian los heteropolisacáridos (polímeros de unidades monosacáridas diferentes) que, en asociación con proteínas, forman los proteoglicanos y las glicoproteínas. Las moléculas de azúcares unidas a proteínas (glicoconjugados) en estas estructuras juegan roles esenciales en los procesos biológicos. Por ejemplo, pueden ser blancos de reconocimiento por toxinas y microorganismos patógenos. La matriz extracelular, que constituye un conjunto de macromoléculas que forman el ecosistema donde la célula realiza sus funciones vitales, está compuesta por colágeno, elastina, glicosaminoglicanos y glicoproteínas de adhesión (Nelson y Cox, 2005). Algunas bacterias carecen de péptidoglicano en sus paredes celulares. Estas están formadas por complejos de proteínas, polisacáridos y lípidos, análogos a las cápsulas de las bacterias Gram-negativas. Otras presentan celulosa como excepción en sus paredes celulares (cocos Gram-positivos). Las arqueas presentan pseudopéptidoglicanos en sus paredes celulares, lo cual está relacionado con la resistencia a la lisozima (proteasa presente en las lágrimas). Otras arqueas presentan paredes celulares compuestas por glicoproteínas o solo proteínas (Madigan *et al.*, 2012).

El estudio del modelo tradicional de glicocáliz en organismos pluricelulares no excluye el análisis de

esta estructura también presente en bacterias. El glicocalix bacteriano contiene glicoproteínas y polisacáridos, y desempeña una importante función en la adherencia de los patógenos a las mucosas del hospedero (Madigan *et al.*, 2012).

Se estudian además las características estructurales de las membranas, como asociaciones moleculares entre lípidos, proteínas y carbohidratos, que forman barreras que limitan la célula de su entorno y rodean a los orgánulos con funciones especializadas (figura 1). Así se estudian las estructuras de membranas de orgánulos transductores de energía como las mitocondrias (en células animales y vegetales), especializadas en la respiración celular, y los cloroplastos (células vegetales), especializados en la fotosíntesis, y se enfatiza en la evolución de estos orgánulos según la teoría endosimbiótica, que propone el surgimiento de los mismos a partir de la fusión de organismos aerobios primitivos con organismos anaerobios. El tema dedicado a los lípidos se enriquece con algunos ejemplos de membranas de microorganismos cuya composición es excepcional. Por ejemplo, membranas que solo contienen proteínas. Los micoplasmas contienen esteroides y carotenoides en sus membranas, los cuales son responsables de la estabilidad de estas estructuras (Madigan *et al.*, 2012).

En microorganismos existen otras asociaciones lípidos-carbohidratos distintas a las que se estudian tradicionalmente en nuestros programas. Por ejemplo,

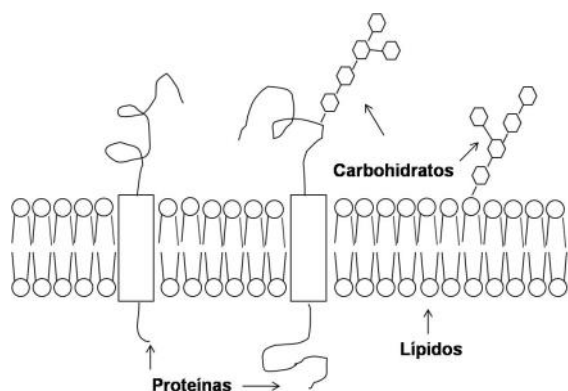


Figura 1. Representación esquemática de una membrana biológica, destacando las principales biomoléculas que la componen.

Figure 1. Schematic representation of a biological membrane, showing main biomolecules that compose it.

los micoplasmas contienen en sus membranas lipoglicanos, que son heteropolisacáridos largos unidos covalentemente a los lípidos de membrana y embebidos en esta (no presentan el esqueleto de lípido A ni fosfato, típicos de los lipopolisacáridos de bacterias Gram-negativas). Los lipoglicanos contribuyen a estabilizar la membrana plasmática, facilitan la unión de los micoplasmas a sus receptores de superficie celular en las células animales, y son antigénicos (Madigan *et al.*, 2012).

También se mencionan ejemplos de glicolípidos que participan en la interacción de microorganismos patógenos con células fagocíticas. Un glicolípido de la superficie celular de *Mycobacterium tuberculosis* permite la agregación celular, el entrelazamiento de largas cadenas de bacterias y el crecimiento en largas estructuras semejantes a cordones, que correlaciona con la virulencia de esta bacteria (Madigan *et al.*, 2012).

La gran diversidad estructural y funcional del mundo microbiano permite encontrar ejemplos de biomoléculas que constituyen excepciones a generalizaciones que tradicionalmente se establecen en Bioquímica, y que pueden interpretarse erróneamente como dogmas. Por ejemplo, es conocido que el colesterol está presente en animales, y los fitosteroides en plantas. Sin embargo, ahora se destaca la presencia de otros esteroides como excepción en algunos grupos de bacterias (metanotrofos) (Nelson y Cox, 2005; Madigan *et al.*, 2012). Durante el estudio de las lipoproteínas se aclara que estas asociaciones moleculares no solo tienen importancia biológica en el modelo mamífero (lipoproteínas plasmáticas), sino que también desempeñan funciones cruciales en microorganismos y virus. Por ejemplo, el receptor de poliovirus es una lipoproteína (Madigan *et al.*, 2012).

El estudio de los ácidos nucleicos también proporciona una buena oportunidad para acercarse más a los estudiantes de estas especialidades a su perfil profesional y aumentar la motivación por la Biociencias Moleculares. En este sentido, los virus constituyen asociaciones entre ácidos nucleicos y proteínas, por lo que se utilizan como modelos para el análisis de varios aspectos de la relación estructura-función de los ácidos nucleicos (Madigan *et al.*, 2012).

Se destaca además el papel enzimático del ARN (ribozimas) en microorganismos primitivos, así como las bases estructurales de su sustitución evolutiva casi

total por las proteínas para desempeñar la función catalítica (Madigan *et al.*, 2012). En este tema es crucial para los profesionales de la Biología y la Microbiología conocer las características estructurales del ARN ribosómico 16S, que permiten su utilización para establecer distancias filogenéticas entre microorganismos. Además se destaca la importancia de la presencia de dihidrouracilo en el ARN de transferencia como una de las características distintivas que permitió clasificar al mundo vivo en los tres dominios en que se divide actualmente (Madigan *et al.*, 2012).

Durante el estudio de las vitaminas y coenzimas, además del manejo tradicional de los compuestos que constituyen vitaminas para los mamíferos, se presentan las vitaminas y factores de crecimiento para los microorganismos. Además, se destacan algunas funciones biológicas en plantas y microorganismos de compuestos que constituyen vitaminas para los mamíferos. Por ejemplo, los carotenoides participan en la fotosíntesis vegetal y bacteriana como pigmentos accesorios. La presencia de carotenoides en las bacterias del género *Mycobacterium* protege del daño oxidativo causado por las especies reactivas del oxígeno (Madigan *et al.*, 2012).

Algunos contenidos modificados en la asignatura Bioquímica II

Por su parte, en el estudio del metabolismo celular (Bioquímica II) es muy importante particularizar en aquellos elementos que constituyen regularidades del metabolismo, y hacer énfasis en el hecho de que muchas vías metabólicas transcurren mediante las mismas reacciones bioquímicas en muchos organismos, aunque el objetivo de la vía puede diferir entre tejidos y de un organismo a otro. De ahí que resulte esencial enfatizar en los eventos de regulación y control del metabolismo, de acuerdo al tejido y al organismo del que se trate. Por ejemplo, la síntesis de glucosa (gluconeogénesis) y la degradación de glucosa (glucólisis) son rutas metabólicas contrapuestas que aseguran niveles adecuados de glucosa, pero tienen que regularse de forma diferente en los distintos tejidos (la degradación de glucosa en el músculo asegura el combustible metabólico necesario para la contracción muscular, mientras que en el hígado contribuye a la homeostasis de la glucosa en la sangre). La glucólisis y la gluconeogénesis se regulan por la luz en las plan-

tas, y en los microorganismos ambas rutas tienen fines diferentes.

Resulta pertinente profundizar en la clasificación de las células quimiótrofas en función de la naturaleza del donador de electrones en sus procesos de transferencia electrónica (organótrofos, si el donador de electrones es un compuesto orgánico, o litótrofos, si es una molécula inorgánica). Esto es de suma importancia en Microbiología, teniendo en cuenta la gran diversidad metabólica del mundo microbiano. Esta diversidad se ilustra con el manejo de ejemplos de flexibilidad metabólica en microorganismos, tales como las bacterias púrpuras y verdes (fotoautótrofos en presencia de luz y organótrofos aerobios en la oscuridad), y las bacterias púrpuras no sulfuradas (capacidad metabólica para comportarse como fotótrofos, organótrofos o litótrofos, según las condiciones del medio) (Madigan *et al.*, 2012).

Relacionado con el metabolismo de carbohidratos y oxidaciones biológicas, se puntualiza la presencia de otras vías catabólicas para la glucosa, como la vía de Entner-Doudoroff, ausente en casi todas las bacterias Gram-positivas pero presente en los géneros *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Agrobacterium* y otras Gram-negativas. Además se profundiza en los tipos más importantes de fermentaciones microbianas y su utilidad práctica. Esta abarca la producción de acetona y butanol, además de las aplicaciones más conocidas en la producción de etanol y bebidas alcohólicas, yogurt y queso (Madigan *et al.*, 2012) (figura 2).

También se señala la existencia de microorganismos que no presentan todas las enzimas glicolíticas. Por ejemplo, determinadas bacterias del ácido láctico que realizan heterofermentación no presentan aldolasa. Por tanto, la glicólisis no es una ruta absolutamente universal, al contrario de lo que habitualmente se plantea en clases. Un ejemplo interesante del vínculo entre el metabolismo de carbohidratos y enfermedades de origen microbiano lo constituye la relación entre la glucosa-6-fosfato deshidrogenasa y la resistencia ante la malaria (Nelson y Cox, 2005; Madigan *et al.*, 2012).

Es ilustrativo de la enorme diversidad metabólica de los microorganismos la existencia de otros tipos de transporte electrónico, además de los modelos clásicos que se utilizan durante el estudio de la respiración aerobia y la fotosíntesis. Por ejemplo, se destaca el

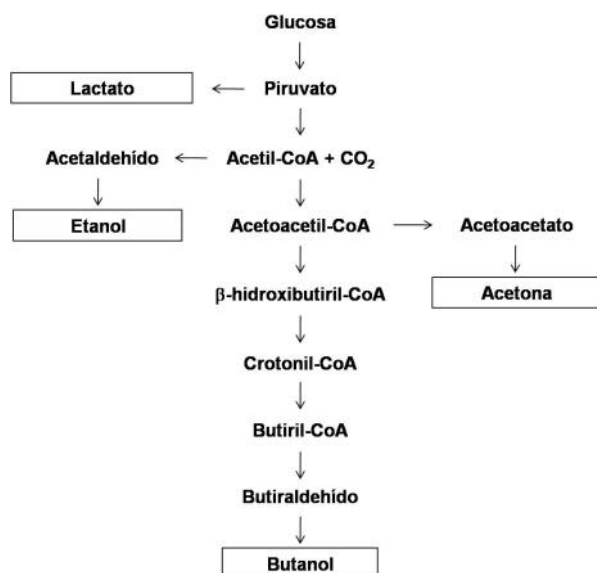


Figura 2. Representación esquemática de algunas de las fermentaciones microbianas más importantes.

Figure 2. Schematic representation of some of the main microbial fermentations.

papel del transporte electrónico reverso (desde transportadores electrónicos con potenciales redox más positivos hasta transportadores con potenciales más negativos, impulsado por una fuente de energía, no necesariamente la luz) en los procesos de transducción de energía en microorganismos. En el género *Photobacterium* se produce un transporte electrónico directo desde el FMNH₂ hasta el O₂, el cual está involucrado en la bioluminiscencia (Madigan *et al.*, 2012).

Además de su función en la síntesis de ATP, la fuerza protón-motriz se emplea alternativamente en bacterias para el transporte activo de solutos y para el movimiento del flagelo bacteriano. El gradiente de potencial electroquímico empleado como fuerza impulsora para la síntesis de ATP no tiene que ser necesariamente de protones (H⁺). Por ejemplo, la síntesis de ATP en el género *Propionigenium* tiene lugar por mediación de un gradiente de Na⁺. En algunos microorganismos no tiene lugar la fosforilación oxidativa, solo fosforilación a nivel de sustrato (bacterias del ácido láctico, *Clostridium*, algunos micoplasmas) (Madigan *et al.*, 2012). Se profundiza además en el papel biológico del Ciclo del glioxilato en plantas y microorganismos. En plantas permite sintetizar gluco-

sa a partir de acetato en las semillas en germinación, y en microorganismos permite el crecimiento en acetato (Nelson y Cox, 2005; Madigan *et al.*, 2012).

Un aspecto de la mayor importancia es el estudio de la respiración anaerobia, tan importante en el mundo microbiano. En este sentido se aborda la metanogénesis (los aceptores electrónicos finales pueden ser: CO₂, metanol, formiato, acetato, entre otros), la reducción del SO₄²⁻, y la reducción del CO₂ a acetato, y del NO₃⁻ a NO₂⁻ (Madigan *et al.*, 2012). Por otra parte, se destaca la gran flexibilidad metabólica de las bacterias fotótrofas. Por ejemplo, las bacterias púrpuras sulfuradas pueden comportarse, en dependencia de las condiciones del medio, como células fotoautótrofas, fotoheterótrofas, litheterótrofas u organoheterótrofas. Por su parte, las bacterias verdes sulfuradas y no sulfuradas pueden actuar como fotoautótrofas, fotoheterótrofas anaerobias u organoheterótrofas. Las cianobacterias pueden ser fotoautótrofas, fotoheterótrofas, organoheterótrofas, y pueden realizar tanto la fotosíntesis oxigénica como la anoxigénica (Madigan *et al.*, 2012).

También se incluye el estudio de la litotrofia, tan difundida entre los microorganismos. Los dadores iniciales de electrones pueden ser: H₂ (metanogénesis), NH₄⁺ (bacterias nitrificantes), H₂S (Beggiatoa), entre otros (Madigan *et al.*, 2012).

Se abordan también otras rutas metabólicas que permiten la asimilación del CO₂ sin emplear el Ciclo de Calvin (ruta típica de plantas, tradicionalmente la más estudiada). Entre estas se encuentran el Ciclo de los Ácidos Tricarboxílicos reverso, la vía del hidroxipropionato, y la vía del acetyl-CoA (Madigan *et al.*, 2012).

Un aspecto interesante es el catabolismo aerobio y anaerobio de hidrocarburos alifáticos y aromáticos realizado por microorganismos, lo cual es de actualidad e importancia para las investigaciones en el campo de la industria petrolera. Asimismo, se destacan ejemplos de microorganismos con rutas metabólicas de importancia biotecnológica. Por ejemplo, las bacterias del ácido acético producen sorbosa a partir de la oxidación del sorbitol (bioconversión). Este proceso es más barato que la obtención de sorbosa mediante síntesis química, y la sorbosa a su vez se utiliza para la producción industrial de vitamina C. Estas bacterias también producen celulosa fuera de la pared celular,

lo que se aprovecha en la Biotecnología. Bacterias del género *Streptococcus* producen dextranas, que se emplean como extensores del plasma en las transfusiones de sangre, y en la producción de matrices para la purificación de proteínas mediante Cromatografía de Filtración en Gel (Sephadex) (Madigan *et al.*, 2012).

El estudio del metabolismo lipídico se amplió con el abordaje de estos procesos en las plantas, las cuales tienen características distintivas en este aspecto (Buchanan *et al.*, 2000).

En el metabolismo de compuestos nitrogenados se señala la importancia de la fijación del nitrógeno para la agricultura (producción de fertilizantes). Durante el estudio del ciclo del nitrógeno en la biosfera se distingue entre la respiración anaerobia, donde el NO₃⁻ es el aceptor final de electrones (nitrato-respiración o reducción no asimilativa del NO₃⁻, bacterias entéricas y del tracto urinario), y la reducción asimilativa del NO₃⁻ a NH₄⁺ con el objetivo de incorporar el nitrógeno a estructuras hidrocarbonadas (Madigan *et al.*, 2012).

También se destacan las funciones del tetrahidrofolato y la vitamina B12 en el metabolismo nitrogenado en microorganismos (Madigan *et al.*, 2012).

Los microorganismos también pueden fermentar aminoácidos, o azúcares y aminoácidos simultáneamente. Por ello se puntualiza la existencia de fermentaciones donde participan pares de aminoácidos, uno funciona como dador y otro como aceptor de electrones (Reacción de Stickland; *Clostridium sporogenes*, alanina y glicina) (Madigan *et al.*, 2012).

Durante el estudio de las funciones precursoras de los aminoácidos, se incluyen ejemplos de moléculas bioactivas producidas por microorganismos. Por ejemplo, los géneros *Zymomonas* y *Chromobacterium* sintetizan el antibiótico violaceína a partir del triptófano (Madigan *et al.*, 2012).

CONCLUSIONES

Es posible abordar la enseñanza de la Bioquímica en la Educación Superior formadora de profesionales de las Ciencias Biológicas desde diferentes aristas, en función de la especialidad y del perfil del profesional. De este modo, manteniendo un núcleo central de contenidos generales que todos los especialistas en ciencias biológicas deben conocer, es posible y necesario manejar diferentes modelos de organismo vivos,

biomoléculas y procesos metabólicos que se correspondan en mayor medida con los perfiles de cada carrera, que faciliten el aprendizaje y que incrementen la motivación por esta ciencia.

LITERATURA CITADA

- Álvarez C., M. Dalla-Serra, C. Potrich, I. Bernhart, M. Tejuca, D. Martínez, I. F. Pazos, M. E. Lanio y G. Menestrina (2001) Effects of lipid composition on membrane permeabilization by Sticholysin I and II, two cytolysins of the sea anemone *Stichodactyla helianthus*. *Biophys. J.* 80: 2761-2774.
- Buchanan B. B., W. Gruissem y R. L. Jones, Eds. (2000) *Biochemistry and Molecular Biology of Plants*. Rockville: Courier Companies, Inc. 1367 pp.
- Delfín J., I. Martínez, W. Antuch, V. Morera, Y. González, R. Rodríguez, M. Márquez, A. Saroyán, N. Larionova, J. Díaz, G. Padrón y M. Chávez (1996) Purification, characterization and immobilization of proteinase inhibitors from *Stichodactyla helianthus*. *Toxicon*. 34(11/12): 1367-1376.
- Gil D., R. García-Fernández, M. Alonso-del-Rivero, E. Lamazares, M. Pérez, L. Varas, J. Díaz, M. Chávez, Y. González-González y M. Mansur (2011) Recombinant expression of ShPI-1A, a non-specific BPTI-Kunitz-type inhibitor, and its protection effect on proteolytic degradation of recombinant human miniprotein expressed in *Pichia pastoris*. *FEMS Yeast Res.* 11(7): 575-586.
- González Y., M. S. Araujo, M. L. V. Oliva, C. A. M. Sampaio y M. A. Chávez (2004) Purification and preliminary characterization of a plasma kallikrein inhibitor isolated from sea hares *Aplysia dactylomela* Rang, 1828. *Toxicon*. 43: 219-223.
- González Y., A. S. Tanaka, I. Y. Hirata y M. Alonso del Rivero (2007) Purification and partial characterization of human neutrophil elastase inhibitors from the marine snail *Cenchritis muricatus* (Mollusca). *Comp. Biochem. Phys. A.* 146(4): 506-513.
- González-González Y., D. Gil, M. Alonso-del-Rivero, V. Besada, J. Gil, M. S. Araujo, *et al.* (2010) Novel protease inhibitors active against human neutrophil elastase and plasma kallikrein with therapeutic potentialities: Structure-function relationships. *Biotecnología Aplicada*. 27(4): 310-313.

- Lanio M. E., V. Morera, C. Álvarez, M. Tejuca, T. Gómez, F. Pazos, *et al.* (2001) Purification and characterization of two hemolysins from *Stichodactyla helianthus*. *Toxicon*. 39: 187-194.
- Lanio M. E., C. Álvarez, F. Pazos, D. Martínez, Y. Martínez, F. Casallanovo, *et al.* (2003) Effects of sodium dodecyl sulfate on the conformation and hemolytic activity of St I and St II, two isotoxins purified from *Stichodactyla helianthus*. *Toxicon*. 41: 65-70.
- Madigan M. T., J. M. Martinko, D. A. Stahl y D. P. Clark (2012) *Brock Biology of Microorganisms*. Thirteenth Edition. San Francisco: Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings. 1043 pp.
- Montero L. A. (2012) Visión de la ciencia y la tecnología: problemas actuales *Temas*. 69: 4-11.
- Nelson D. L. y M. M. Cox (2005) *Lehninger Principles of Biochemistry*. Fourth Edition. 1119 pp. (en línea). Disponible en: <http://www.whfreeman.com/lehninger4e>. Último acceso: 15 de diciembre de 2006.
- Plan de Estudio D^a. Carrera de Biología (2007). 228 pp.
- Plan de Estudio D^b. Carrera de Microbiología y Virología (2007). 231 pp.
- Reytor M. L., Y. González, I. Pascual, A. Hernández, M. A. Chávez y M. Alonso del Rivero (2011) Screening of protease inhibitory activity in extracts of five Ascidian species from Cuban coasts. *Biotechnología Aplicada*. 28: 77-82.
- Tejuca M., C. Álvarez, M. E. Lanio e I. F. Pazos (1994) Effects of different factors on the hemolytic activity of a cytolysin from *Stichodactyla helianthus*. *Rev. Biología*. 8: 39-46.
- Tejuca M., M. Dalla-Serra, C. Potrich, C. Álvarez y E. Menestrina (2001) Sizing the radius of the pore formed in erythrocytes and lipid vesicles by the toxin sticholysin I from the sea anemone *Stichodactyla helianthus*. *J. Membrane Biol.* 183: 125-135.
- Tejuca M., M. Dalla-Serra, M. Ferreras, M. E. Lanio y E. Menestrina (1996) Mechanism of membrane permeabilization by sticholysin I, a cytolysin isolated from the venom of the sea anemone *Stichodactyla helianthus*. *Biochemistry*. 35: 14947-14957.
- Veitía R., M. Tejuca, C. Álvarez, M. E. Lanio y F. Pazos (1995) Cinética de la hemólisis inducida por una citolisina de *Stichodactyla helianthus*: efecto de la temperatura y de cationes divalentes. *Rev. Biología*. 9: 15-21.

• • •

Editor para correspondencia: Amelia Gort Almeida