

Conceptos claves, laboratorios de investigación y bases de datos: estrategias para la enseñanza de Bioquímica en siglo XXI

Betsy M. Martínez-Vaz

Biochemistry Department, Hamline University, Saint Paul, Minnesota, Estados Unidos.

Contacto: Betsy M. Martínez-Vaz - bmartinezvaz01@hamline.edu

Resumen

La Bioquímica es probablemente la materia interdisciplinaria que más se enseña en las facultades de ciencias y escuelas de medicina alrededor del mundo. El carácter interdisciplinario de esta materia, presenta un reto para la enseñanza efectiva, el diseño curricular y la integración de estrategias pedagógicas en el salón de clases. Este artículo examina las tendencias pedagógicas que han influenciado la enseñanza de la bioquímica en las pasados años. En la primera parte del artículo se describe el diseño curricular inverso (Backward Design), una de las estrategias nuevas para desarrollar cursos de Bioquímica con un enfoque conceptual. También se discuten los cambios en la enseñanza de técnicas experimentales de Bioquímica enfatizando la incorporación de investigaciones auténticas en cursos de laboratorio de nivel sub-graduado. La segunda parte analiza el impacto de la revolución genómica, las bases de datos biológicos y la bioinformática en la enseñanza de la Bioquímica. El artículo finaliza con una descripción de varias actividades que utilizan herramientas bioinformáticas para mejorar la enseñanza de conceptos fundamentales y preparar a los estudiantes para aprender Bioquímica con los retos que esta disciplina enfrenta en el siglo XXI.

Palabras claves: Bioinformática, Diseño Inverso, Bases de Datos, Laboratorios Investigativos

Summary

Biochemistry is probably the most interdisciplinary subject taught in universities and medical schools around the world. The interdisciplinary nature of this field, presents a challenge to effective teaching, curriculum design and implementation of instructional strategies in the classroom. This article examines the educational trends that have influenced the teaching of Biochemistry in the past years. The first part of the paper describes Backward Design, a modern technique used to develop courses with a conceptual approach. The incorporation of inquiry based laboratory exercises and authentic (grant-funded) research into undergraduate Biochemistry courses is also discussed. The second part of this paper analyzes the impact of the genomic revolution, the availability of biological databases and bioinformatics in Biochemistry teaching. The article ends with a description of various activities that use bioinformatics tools to enhance the teaching of fundamental concepts and prepare students for learning Biochemistry with the challenges facing the discipline in the XXI century.

Keywords: Bioinformatics, Backward Design, Biological Databases, Inquiry-Based Laboratory Exercises

¿Qué debemos enseñar, contenido ó conceptos?

Uno de los mayores retos para la enseñanza de la Bioquímica es la cantidad de contenido que parte de esta

materia. En los últimos años, el nivel de información que tenemos acerca de sistemas biológicos ha crecido de manera exponencial debido a la secuencia de cientos de genomas y la facilidad de predecir y modelar la estructura de muchas proteínas. La nueva realidad en el campo de la educación científica es que hay más información de la que podemos enseñar sin comprometer la calidad del aprendizaje. Por lo tanto, a la hora de diseñar un curso, es importante decidir, si el enfoque va a ser en contenido ó en conceptos básicos.

Recientemente, varias sociedades científicas han organizado programas para identificar los conceptos claves ó las llamadas “grandes ideas” de cada materia. Esta tendencia comenzó cuando La Asociación Americana para el Avance de las Ciencias (AAAS) publicó el documento “ Visión y Cambio”, el cual describe los conceptos más importantes para la enseñanza de las Ciencias Biológicas . Por otro lado, la Sociedad Americana de Bioquímica y Biología Molecular ha identificado cinco conceptos claves que todo instructor debe incluir como parte de la enseñanza efectiva de esta materia, éstos incluyen: 1) evolución, 2) transformación de materia y energía, 3) homeostasis, 4) transferencia de información biológica y 5) estructura y función de macromoléculas . Dichos esfuerzos reflejan uno de los cambios más drásticos en la enseñanza de la Bioquímica, la eliminación de detalles y contenido extenso, para diseñar cursos basados en conceptos fundamentales. Una de los mayores retos de este enfoque es la implementación en el salón de clases. ¿Cómo sabemos que el personal docente esta de acuerdo con los llamados conceptos claves para la educación en Bioquímica? ¿Aceptamos los conceptos claves redactados por las sociedades científicas? ¿Cuáles son los beneficios de tomar cursos enseñados con un marco conceptual? Rowland y un equipo de educadores en la Universidad de Queensland, realizaró una encuesta entre 120 docentes para investigar esta preguntas . El estudio reveló que los conceptos identificados por los participantes estaban a la par con los principios fundamentales para la enseñanza de las Ciencias Biológicas y la Bioquímica señalados por la Asociación para el Avance de las Ciencias y la Sociedad Americana de Bioquímica y Biología Molecular. Utilizando esta información, Rowland diseñó un curso introductorio de Bioquímica utilizando un mapa conceptual, el cual mostraba a los estudiantes al comienzo de cada lección para enfatizar la relación entre el material a cubrirse en clase y los principios fundamentales de la disciplina. Al final del curso, la mayoría de los estudiantes (88%) reportaron que habían entendido el propósito de incorporar conceptos en lugar de detalles y extenso contenido en las lecciones. Un 65% de los estudiantes indicaron que pensaban más profundamente sobre el contenido de la clase debido a la utilización del mapa conceptual. Por otra parte, el 60.6% de los estudiantes señalaron que el enfoque conceptual les ayudó a ver los vínculos entre el curso de Bioquímica y otras materias. Al momento, el estudio de Rowland es la única investigación que ha documentado la efectividad de un curso basado en conceptos fundamentales de Bioquímica. Actualmente, la Sociedad Americana de Química y Sociedad Americana de Bioquímica y Biología Molecular están llevando a cabo una serie de talleres para promover el desarrollo e implementación de cursos basados en conceptos fundamentales en instituciones con programas para sub-graduados de Bioquímica . Los resultados de la implementación de estos cursos estarán disponibles en un futuro cercano.

De acuerdo a Rowland y Matos, la enseñanza de la Bioquímica utilizando conceptos es una tendencia pedagógica efectiva que tiene el potencial de transformar nuestro salón de clases . Sin embargo, muchas veces es difícil modificar nuestros cursos para cambiar el enfoque de contenido a conceptos. Como científicos, la mayoría de nosotros fuimos educados en un sistema que consistía de cursos basados en conferencias y lecciones diseñadas para cubrir una gran cantidad de temas relacionados a nuestra disciplina

en el periodo limitado del semestre académico. Tomando en consideración nuestras experiencias, a menudo nos preguntamos: ¿Cómo voy comenzar a incorporar más conceptos en mis cursos? ¿Qué cantidad de contenido voy a sacrificar para dedicarle tiempo a la utilización y aplicación de conceptos fundamentales de Bioquímica? Una de las formas más efectivas de modificar nuestros cursos y lograr un enfoque conceptual apropiado es diseñando la clase de atrás hacia adelante, utilizando el modelo de “Diseño Inverso” ó Backward Design, como se conoce en inglés.

Construyendo un curso con el modelo de “Diseño Inverso”

Como instructores universitarios, normalmente acostumbramos a construir un curso identificando el material que deseamos enseñar. Seleccionamos libros, artículos esenciales, y luego trazamos un programa de acuerdo a nuestro calendario académico. Utilizando esta técnica creamos un plan de estudios al instante! Sin embargo, la desventaja de este método es que permite que se diseñe un curso basado en una lista de lecturas y no en los objetivos ó conceptos que los estudiantes deben de aprender. La manera más efectiva de construir un curso es pensar en los objetivos de aprendizaje y no en los libros de texto ó artículos que los estudiantes pueden leer.

El método de diseño inverso descrito por Wiggins y McTighe, consiste de tres partes, 1) identificar los resultados deseados, 2) determinar evidencia aceptable y 3) planear experiencias de aprendizaje (Gráfico, #1) . De manera más sencilla, antes de construir un curso debemos preguntarnos: 1) ¿qué queremos que nuestros estudiantes aprendan?, 2) ¿cómo vamos a determinar o medir lo que han aprendido? y 3) ¿qué actividades vamos a utilizar para transmitir conocimiento y evaluar el aprendizaje?

martin1.jpg

Gráfico 1- Pasos para implementar el diseño curricular inverso.

La mejor manera de hacer la transición del método de enseñanza tradicional a la enseñanza basada en conceptos es utilizar la técnica de diseño inverso. Podemos comenzar aplicando esta técnica a uno de los conceptos claves que normalmente enseñamos en el curso de Bioquímica. Después que haber practicado con un concepto, podemos ampliar el diseño inverso y utilizarlo para la planificación de un curso complemento en el siguiente periodo académico. La tabla número uno, muestra un ejemplo de cómo utilizar el diseño inverso en la enseñanza de uno de los conceptos claves de Bioquímica: estructura y función de proteínas (Tabla I).

<p>Resultados Esperados</p>	<p><u>Al final de esta unidad, los estudiantes podrán:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Identificar e ilustrar los aminoácidos básicos 2. Reconocer los diferentes niveles de estructura de proteínas. 3. Describir las interacciones y enlaces químicos que forman los diferentes niveles 4. Especular y discutir como ciertos cambios en la secuencia de aminoácidos afectan la función de una proteína 5. Explicar las conservación de secuencias y estructuras de proteínas en organismos
<p>Métodos de Evaluación</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Prueba corta con contiene ejercicios para identificar y dibujar aminoácidos, péptidos y hidrógeno 2. Redactar ensayo sobre las diferencias en la secuencia y estructura de la hemoglobina en personas saludables y pacientes de anemia falciforme 3. Presentación oral corta (en el laboratorio) acerca de la conservación y función de las globinas. Los argumentos para la presentación deben estar basados en los resultados de las búsquedas hechas con <i>BLAST</i>
<p>Actividades de Enseñanza</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Construcción de un péptido utilizando modelos moleculares 2. Visualización de las estructuras tridimensionales de la hemoglobina y la mioglobina con <i>PDB</i> y <i>Cn3D</i>. 3. Búsqueda <i>BLAST</i> para comparar las secuencias de hemoglobina y mioglobina y discutir la evolución de las globinas 4. Discusión grupal de un caso genético de anemia falciforme

Tabla 1- Plan de diseño reverso para enseñar los conceptos de estructura y función de proteínas

La planificación de cursos utilizando la técnica de diseño inverso, ayuda a enfocar el material que vamos a enseñar y motiva a los estudiantes a aprender conceptos en lugar de memorizar

información. Otra ventaja del diseño inverso, es que nos obliga a considerar los métodos de evaluación (*assessment*) antes de crear las actividades de aprendizaje. Con este método diseñamos actividades de evaluación basadas en lo que estudiantes deben saber ó pueden ejecutar al final de un curso, en lugar de la cantidad de capítulos ó artículos que podemos discutir durante el semestre. Esta técnica tiene numerosos beneficios para el instructor y el estudiante. En mi opinión, los beneficios más importantes de este método es que ayuda a los estudiantes a reflexionar sobre los objetivos y resultados que deben lograr durante su participación en cualquier curso de nivel universitario ó entrenamiento profesional. Con respecto al profesor, el diseño inverso provee más coherencia entre los objetivos, resultados y los métodos de evaluación y planificación de la enseñanza. Los profesores se concentran más en el estudiante y logran una visión más efectiva de la evaluación del aprendizaje de sus alumnos.

El Laboratorio de Bioquímica: ¿Protocolos ó Proyectos de Investigación?

Otra tendencia moderna en la enseñanza de Bioquímica es el desarrollo de cursos de laboratorio investigativas. Las actividades de laboratorio tradicionales consisten de experimentos individuales, con protocolos que los estudiantes leen y ejecutan como recetas de cocina. En los pasados años la educación científica ha evolucionado para desarrollar proyectos que han remplazado los ejercicios de laboratorio y los experimentos individuales. Además, muchas instituciones universitarias han implementado proyectos de investigación auténtica en los cursos de laboratorio para estudiantes de licenciatura .

Los laboratorios basados en proyectos de investigación enfatizan el aprendizaje práctico y el desarrollo de las destrezas de pensamiento crítico que son esenciales para mejorar la educación de futuros científicos. Estos esfuerzos tienen dos objetivos principales: 1) hacer que los cursos de laboratorio sean más representativos del trabajo que se hace para desarrollar investigaciones genuinas y 2) lograr que los estudiantes pasen más tiempo "pensando como científicos" en lugar de siguiendo instrucciones que a menudo no tienen contexto investigativo.

Los laboratorios con enfoques investigativos pueden diseñarse de varias maneras. Una de las formas más comunes consiste en enseñar un grupo de técnicas durante las primeras semanas del semestre y luego motivar a los estudiantes a formular varias hipótesis que se puedan demostrar utilizando dichos procedimientos. Por ejemplo, en las primeras semanas de un curso introductorio de Bioquímica, se pueden hacer experimentos para aprender a detectar y medir la actividad de una enzima. Luego de dominar esta destreza, los estudiantes utilizan los próximos períodos de laboratorio, para revisar la literatura científica, formular varias hipótesis y desarrollar un proyecto de investigación acerca de los factores que afectan la actividad de la enzima estudiada. Kimbrough utilizó este concepto de manera exitosa y desarrolló un laboratorio investigativo para estudiar la actividad de la Catalasa, una enzima abundante en frutas y vegetales . Otros ejemplos de laboratorios de bioquímica con enfoques investigativos incluyen ejercicios basados en purificación de proteínas y en el aislamiento de balsas lipídicas utilizando membranas celulares de levaduras .

Otra forma de crear laboratorios investigativos, es mediante la incorporación de proyectos de investigación subvencionada (financiados por subvenciones científicas) en el currículo de

bioquímica y biología molecular. Estos esfuerzos son parte de una nueva tendencia educativa que promueve la participación activa de estudiantes sub-graduados en la colección y análisis de datos experimentales que forman parte de las investigaciones auténticas, comúnmente llevadas a cabo en instituciones universitarias. Este modelo de enseñanza se ha utilizado para integrar estudiantes sub-graduados en muchas investigaciones modernas, como la anotación de genomas bacterianos, la síntesis de tintes y compuestos antraquinónicos, y la evaluación de polímeros para la remoción de metales pesados en el agua .

Los cursos de laboratorio con enfoque investigativo han sido implementados de manera exitosa en muchas instituciones académicas . La evaluación de las clases que han implementado este enfoque, indica que este estilo de enseñanza es efectiva y mejora las actitudes de los estudiantes hacia las ciencias y la investigación científica . También estos estudios han reportado que el currículo de laboratorio investigativo, tiene un impacto positivo en la confianza que los estudiantes tienen en sus habilidades técnicas y el en entendimiento del método científico .

La Revolución Genómica: Bases de Datos y Recursos Virtuales que han Transformado la Enseñanza de la Bioquímica

Vivimos en un época donde la tecnología es utilizada para resolver problemas y tomar decisiones. Nuestros estudiantes necesitan estar preparados para a unirse a una fuerza laboral que trabajará con secuencias de genomas, simulaciones moleculares y bases de datos gigantescas. Por lo tanto, es importante incorporar actividades virtuales y ejercicios de bioinformática en el currículo de Bioquímica. Las redes cibernéticas contienen muchos recursos gratuitos que se pueden utilizar para crear actividades interactivas y apropiadas para el salón de clases. Estos recursos permiten la creación de tareas individualizadas y ejercicios de grupo que ayudan a fortalecer el aprendizaje.

La manera más común de utilizar recursos cibernéticos en la enseñanza de Bioquímica, es mediante ejercicios de bioinformática que consisten en el alineamiento y comparación de secuencias de proteínas ó DNA. Los instrumentos más comunes para este tipo de ejercicios son las Herramientas de Búsqueda de Alineamientos Locales (*BLAST*), desarrolladas por el Centro Nacional de Información en Biotecnología (*NCBI*) y Banco de Datos de Estructuras de Proteínas (*PDB*) . Las herramientas de NCBI proveen el recurso más completo y el de mayor utilidad en las lecciones de Bioquímica acerca de la evolución, regulación y función de macromoléculas. Esta bases de datos contiene enlaces a páginas para visualizar la localización de genes en un genoma y provee alineamientos a secuencias con alta similitud entre diferentes organismos. También los instrumentos de NCBI permiten la identificación de segmentos en la secuencias de proteínas y DNA (*Domains* y *Motifs*), que son importantes para función de dichas moléculas. Por otra parte, el Banco de Datos de Estructuras de Proteínas, es uno de los recursos más útiles para enseñar la relación entre la estructura y la función de macromoléculas . El PDB contiene una página de recursos educativos que se pueden utilizar para desarrollar lecciones (Tabla II). Estos instrumentos incluyen estructuras animadas, planes para lecciones e instrucciones para crear modelos de papel de ácidos nucleicos, virus y proteínas. El PDB publica un serie llamada “La molécula del mes”, la cual describe la estructura y características funcionales más importantes de

diferentes macromoléculas .

El salón de clases, *BLAST* se utiliza con frecuencia para comparar una secuencia particular, contra una base de datos que contiene millones de secuencias de DNA y proteínas. Este programa produce alineamientos locales entre cada pareja de secuencias y genera un valor de significado estadístico para cada alineamiento . Los resultados de los alineamientos de *BLAST* proveen enlaces a bases de datos con información acerca de estructuras, motivos (*motifs*) y dominios (*domains*) de diferentes familias de proteínas (*BLAST conserved domain database*, *CBLAST* y *Cn3D*). Otras capacidades de *BLAST* incluyen la conversión de una secuencia de nucleótidos en secuencia de proteínas y viceversa (*BLASTX*, *TBLASTX*, y *TBLASTN*), seguido por el alineamiento y comparación de dichas secuencias contra diferentes bases de datos. Los programas de *BLAST* también permiten búsquedas de semejanza entre una secuencia particular y las proteínas presentes en los genomas de organismos específicos. Dada la utilidad de las herramientas disponibles en los programas de *BLAST*, dichos instrumentos han sido descritos como la mejor alternativa para enseñar conceptos de bioquímica básica como evolución y la estructura y función de macromoléculas . Además, las búsquedas en *BLAST* son muy apropiadas para crear actividades de aprendizaje cooperativo que ayudan a fortalecer las destrezas de interpretación y evaluación de datos científicos . *BLAST* ha revolucionado la manera en la que estudiamos las secuencias de proteínas. Este programa nos permite ir de una comparación básica entre las estructuras primarias de varias proteínas a una visualización rápida de las estructuras tridimensionales de dichas moléculas. La transición es muy fácil utilizando los enlaces a *CBLAST* y *Cn3D*. También podemos utilizar *BLAST* para asignar proyectos en los que los estudiantes investigan la conservación de genes y proteínas en los genomas de diferentes especies.

La secuenciación de genomas ha generado vasta información acerca del metabolismo de macromoléculas y compuestos químicos en diversos organismos. Esta información ha sido compilada en base de datos metabólicas que están disponibles gratuitamente en las redes cibernéticas. Una de las formas más efectivas de integrar recursos virtuales en un curso de Bioquímica es utilizando dichas bases de datos metabólicas para estudiar los principios fundamentales del metabolismo, especialmente cuando examinamos las rutas metabólicas de los hidratos de carbono y las grasas en varios organismos. Tradicionalmente, en las lecciones de metabolismo, acostumbramos a mostrar carteles con todas las reacciones y enzimas necesarias para la síntesis ó degradación de compuestos esenciales. Estos carteles tienen varias limitaciones, incluyendo el espacio y el diminuto tamaño de las estructuras y reacciones ilustradas. Hoy día, podemos obtener carteles interactivos de la mayoría de las vías metabólicas utilizando varias bases de datos basadas en información genómica. Dos de las bases más prominentes de metabolismo son la Enciclopedia de Genes y Genomas de Kyoto (KEGG) y la colección BioCyc (Tabla II). Estas bases de datos son de gran utilidad en el estudio del metabolismo ya que muestran las conexiones entre las enzimas, compuestos y diferentes rutas metabólicas de forma interactiva. También cuentan con potentes capacidades para búsqueda y comparación de procesos metabólicos entre diferentes organismos . Por ejemplo, podemos utilizar ambas bases de datos para encontrar carteles interactivos presentando las vías de glucólisis y gluconeogénesis y la relación de estas con otros procesos metabólicos. Cuando observamos estos carteles,

podemos visualizar conexiones a otras vías que participan en el metabolismo de los hidratos de carbono, como el ciclo de Krebs, el proceso de fotosíntesis y la síntesis de almidón. Al apuntar con el cursor en el nombre de cualquier compuesto, los programas muestran una página con toda la información acerca de dicha sustancia, incluyendo la estructura y otras rutas metabólicas en las cuales participa. Si presionamos el enlace con el nombre de una enzima, abrimos una página que muestra la reacción catalizada por esta proteína, acompañada por información acerca de su localización cromosomal y regulación genética. KEGG y BioCyc también pueden mostrar rutas metabólicas específicas para cientos de organismos, incluyendo bacterias, plantas, hongos, parásitos y seres humanos. Estas herramientas proveen una oportunidad única para comparar y discutir la conservación de reacciones químicas y del metabolismo en diferentes tipos de organismos. El carácter interactivo de estas bases de datos permiten la utilización de las mismas en desarrollo de ejercicios aprendizaje activo ó cooperativo en el salón de clases.

Otro recurso virtual muy útil para la enseñanza de Bioquímica, es la Base de Datos de Biocatálisis y Biodegradación de la Universidad de Minnesota (*UM-BBD*). Es éste un instrumento que provee información acerca de las rutas de degradación biológica de cientos de compuestos orgánicos, incluyendo aminoácidos, pesticidas y explosivos. La base de datos también contiene una herramienta que permite predecir la ruta de biodegradación de muchas sustancias químicas, utilizando un programa de predicción basado en las reacciones existentes en la base de datos y la literatura científica . El usuario solo tiene que dibujar la estructura del compuesto cuya degradación quiere predecir y el *UMBBD* muestra una página con el grupo de reacciones que tienen la mayor probabilidad de participar en el metabolismo de dicha sustancia. Otro de los recursos de la Base de Datos de Biocatálisis y Biodegradación de la Universidad de Minnesota, es que muestra las conexiones entre las rutas de degradación de compuestos tóxicos y el metabolismo celular. El uso de este instrumento ayuda a que los estudiantes comprendan como los microbios convierten un explosivo ó un pesticida en una sustancia simple, que se puede conectar con el metabolismo celular para generar nutrientes y producir energía. El *UM-BBD* es un recurso ideal para aplicar los conceptos de materia y transferencia de energía que forman parte de la mayoría de los cursos sub-graduados de Bioquímica.

Base de Datos ó Recurso Virtual	Dirección Cibernética
Enciclopedia de Genes y Genomas de Kyoto (KEGG)	http://www.genome.jp/kegg/
Base de Datos BioCyc	http://biocyc.org
<i>BLAST</i> - Centro Nacional de Información en Biotecnología (NCBI)	http://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi

Banco de Datos de Estructuras de Proteínas (<i>PDB</i>)	http://www.rcsb.org/pdb/101 luego buscar Educational Resources
Estructuras- Centro Nacional de Información en Biotecnología (<i>NCBI</i>)	http://www.ncbi.nlm.nih.gov/Structure/MMDB/mmdb.shtml
Dominios de Proteínas- Centro Nacional de Información en Biotecnología (<i>NCBI</i>)	http://www.ncbi.nlm.nih.gov/Structure/cdd/cdd.shtml
Base de Datos de Biocatálisis y Biodegradación de la Universidad de Minnesota	http://umbbd.ethz.ch

Tabla II- Direcciones ciberneticas para recursos virtuales y bases de datos de utilidad para la enseñanza de Bioquímica.

En resumen, los instrumentos de *BLAST* y las bases de datos de vías metabólicas han revolucionado las lecciones de Bioquímica. Estos materiales proveen la oportunidad de enseñar los conceptos claves de esta disciplina incorporando tecnologías modernas como carteles metabólicos interactivos, alineamientos de secuencias de macromoléculas y la visualización de estructuras de proteínas en tres dimensiones. Estas herramientas permiten llevar la ciencia del siglo XXI a las aulas Bioquímica.

¿Hacia dónde vamos? El Futuro de la Enseñanza de la Bioquímica

La disponibilidad de herramientas tecnológicas y el diseño curricular inverso nos dirigen a enseñar Bioquímica con un enfoque práctico, centrado en las capacidades y contribuciones del estudiante a nuestra disciplina. La tecnología ha impactado los métodos de evaluación y las tareas que asignamos en nuestros cursos. Podemos evaluar el dominio de un concepto pidiéndole a los estudiantes que graben videos cortos explicando dicho concepto en lugar de contestar preguntas ó completar un examen. Las rutas metabólicas se pueden enseñar utilizando tabletas electrónicas que permiten acceso a carteles interactivos y bases de datos. Las redes ciberneticas han motivado el desarrollo de grupos de interés y tutores a distancia. Ahora podemos hacer que nuestros estudiantes contribuyan y comparten proyectos de investigación con científicos alrededor del mundo, utilizando la información y herramientas disponibles en el internet.

Nos estamos alejando de los cursos en los cuales los profesores dictan lecciones todos los días y evalúan a los estudiantes utilizando exámenes y experimentos de laboratorio basados en temas aislados. Esta es la época de los conceptos claves y el “aula volteada”. Las nuevas tendencias en la enseñanza de Bioquímica exigen que el estudiante participe activamente en el proceso de aprendizaje. En lugar de tener profesores que dicten lecciones, nuestros salones de clases se van

a convertir en centros de discusión científica, en los cuales los estudiantes discuten los conceptos fundamentales de Bioquímica y los aplican a la resolución de problemas comunes en esta disciplina. Nos dirigimos hacia la enseñanza interactiva, basada en el aprendizaje de equipo y en la incorporación de problemas investigativos en el salón de clases. La utilización de conceptos claves junto a la implementación actividades bioinformáticas en nuestros salones de clases son herramientas esenciales para entrenar los bioquímicos del siglo XXI.

Referencias

1. **American Association for the Advancement of Science** (2009) Vision and Change in Undergraduate Biology Education: A Call to Action.
2. **Mattos C, Johnson M, White H, Sears D, Bailey C, Bell E** (2013) Introduction: promoting concept driven teaching strategies in biochemistry and molecular biology. *Biochemistry and Molecular Biology Education* 41:287-288.
3. **Tansey JT, Baird T, Cox MM, Fox KM, Knight J, Sears D, Bell E** (2013) Foundational concepts and underlying theories for majors in "biochemistry and molecular biology". *Biochemistry and Molecular Biology Education* 41:289-296.
4. **Rowland SL, Smith CA, Gillam E, Wright T** (2011) The concept lens diagram: A new mechanism for presenting Biochemistry content in terms of big ideas. *Biochemistry and Molecular Biology Education* 39:267-279.
5. **Mattos C, Johnson M, White H, Sears D, Bailey C, Bell E** (2013) Promoting concept driven teaching strategies in biochemistry and molecular biology. *Biochemistry and Molecular Biology Education* 41:287-288.
6. **Duis JM** (2011) Organic Chemistry educators' perspectives on fundamental concepts and misconceptions: an exploratory study. *Journal of Chemical Education* 88:346-350.
7. **Wiggins G, McThige, J** (2005) *Understanding by Design* (Association for Supervision & Curriculum Development) 2 Ed.
8. **DiBartolomeis, SM** (2011) A semester-long project for teaching basic techniques in molecular biology such as restriction fragment length polymorphism analysis to undergraduate and graduate students. . *CBE Life Science Education* 10:95-110.
9. **Kimbrough D, Magoun MA, Langfur M** (1997) A laboratory experiment investigating different aspects of catalase activity in an inquiry - based approach. *Journal of Chemical Education* 74:210-212.
10. **Knutson K, Smith J, Wallert MA, Provost J.** (2010) Bringing the excitement and motivation of research to students; using Inquiry and research-based learning in a year-long biochemistry Laboratory. *Biochemistry and Molecular Biology Education* 38:317-323.
11. **Parra K, Osgood MP, Pappas D.** (2010) A Research-based laboratory course designed to strengthen the research-teaching nexus. *Biochemistry and Molecular Biology Education* 38:172-179.
12. **McKenzie N, McNulty J, McLeod D, McFadden M, Balachandran N** (2012) Synthesizing novel anthraquinone natural product-like compounds to investigate protein-ligand interactions in both an in vitro and in vivo assay: an integrated research-based third-year chemical

biology laboratory course. *Journal of Chemical Education* 89:743-749.

13. **Willhite DG, SE Wright** (2009) Detergent-based isolation of yeast membrane rafts: An inquiry-based laboratory series for the undergraduate cell biology or biochemistry lab. *Biochemistry and Molecular Biology Education* 37:349-354.
14. **Slade MC, Raker JR, Kobilka B, Pohl NL** (2013) A research module for the Organic Chemistry laboratory: multistep synthesis of a fluorous dye molecule. *Journal of Chemical Education* 91:126-130.
15. **Tomasik JH, Cottone, KE, Heethuis MT, Mueller A** (2013) Development and preliminary impacts of the implementation of an authentic research-Based experiment in General Chemistry. *Journal of Chemical Education* 90:1155-1161.
16. **Ditty JL, Williams KM, Keller MM, Chen GY, Liu X Parales RE** (2013) Integrating grant-funded research into the undergraduate biology curriculum Using IMG-ACT. *Biochemistry and Molecular Biology Education* 41:16-23.
17. **Seymour EL, Hunter AB, Laursen S, De Antoni T** (2004) Establishing the benefits of research experiences for undergraduates: first findings from a three-year study. *CBE Life Science Education* 88:493-594.
18. **Cunningham SC, McNear B, Pearlman RS, Kern SE** (2006) Beverage-agarose gel electrophoresis: an inquiry-based laboratory exercise with virtual adaptation. *CBE Life Science Education* 5:281-286.
19. **Shaffer CD, et al.** (2010) The Genomics Education Partnership: successful integration of research into laboratory classes at a diverse group of undergraduate institutions. *CBE Life Science Education* 9:55-69.
20. **Berry C, Baker M** (2010) Inside protein structures: teaching in three dimensions. *Biochemistry and Molecular Biology Education* 38:425-429.
21. **Schönborn KJ, Anderson TR** (2006) The importance of visual literacy in the education of biochemists. *Biochemistry and Molecular Biology Education* 34:94-102.
22. **Zardecki C** (2008) Interesting structures: education and outreach at the RCSB Protein Data Bank. *PLoS Biology* 6:e117.
23. **Newell PD, Fricker AD, Roco CA, Chandransu P, Merkel S** (2013) A Small-group activity introducing the use and interpretation of BLAST. *Journal of Microbiology and Biology Education* 14:238-243.
24. **Kerfeld CA, Scott KM** (2011) Using BLAST to teach “E-value-tionary” concepts. *PLoS Biology* 9:e1001014.
25. **Likic VA** (2006) Databases of metabolic pathways. *Biochemistry and Molecular Biology Education* 34:408-412.
26. **Gao J, Ellis LB, Wackett LP** (2011) The University of Minnesota Pathway Prediction System: multi-level prediction and visualization. *Nucleic Acids Research* 39:406-411.

La autora es Section Editor del Journal of Microbiology and Biology Education y Profesora en Hamline University

