

# El desafío de enseñar y aprender metabolismo en cursos de grado

Diana L. Vullo

Departamento de Química Biológica, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. Área Química, Instituto de Ciencias, Universidad Nacional de General Sarmiento-CONICET. J.M. Gutiérrez 1150, (B1613GSX) Los Polvorines, Buenos Aires, Argentina.

Contacto: Diana L. Vullo - dvullo@ungs.edu.ar

## Resumen

La enseñanza de temas como metabolismo representa un desafío en todos los niveles de cursos universitarios. Cómo planificar las clases para hacerlas amenas y cómo evaluar correctamente lo que se aprende es un tema que compete a todos los profesores pero que no es fácil de afrontar. La comprensión de los fenómenos y la integración de conceptos son los obstáculos a superar que requieren de la ocupación y preocupación de los profesores y del trabajo conjunto con los estudiantes.

El objetivo de este artículo es hacer una mirada crítica sobre la enseñanza del metabolismo en cursos de grado de nivel universitario y tratar de aportar algunas alternativas que puedan ayudar a un mejor desenvolvimiento de las clases y fomentar una mayor interacción entre los estudiantes y los docentes a cargo.

**Palabras clave:** aprendizaje del metabolismo, estrategias de enseñanza, objetivos de aprendizaje.

## Abstract

Teaching metabolism is a challenge at any level in undergraduate courses. The class design is crucial to make easier the learning process in order to achieve success by accomplishing the learning goals. Backward design is a way that could help in the teaching/learning process, which requires a commitment of both teachers and students. The aim of this article is to enumerate some teaching strategies as new alternatives to improve the learning of metabolism and the interaction between students and teachers as well.

**Keywords:** teaching and learning metabolism, teaching strategies, teaching objectives, learning outcomes.

## Introducción

La enseñanza de metabolismo en cursos de Química Biológica o Bioquímica, hasta mismo de Microbiología, en donde los niveles de conocimiento básico de los estudiantes difieren ampliamente entre sí, generalmente se convierte en un desafío. Los estudiantes de Química suelen tener inconvenientes a la hora de pensar bajo una visión “biológica”, con lo cual se les hace problemática la asociación de las vías metabólicas con una localización celular.

Por otra parte, los estudiantes de Biología poseen inconvenientes al enfrentarse con la interpretación química del tema, no pudiendo visualizar mecanismos redox y ni hablar de los aspectos termodinámicos del metabolismo. En cambio para los estudiantes de medicina, enfermería o bien carreras relacionadas con las ciencias ambientales, los objetivos de aprender metabolismo se encuentran más que alejados aún de sus respectivas afinidades. La separación entre los fenómenos químicos y biológicos es un obstáculo difícil de eliminar a lo largo de las clases de metabolismo. A estos inconvenientes relacionados con la formación básica de los estudiantes, se suma el hecho de que los libros de texto, que generalmente se utilizan para los cursos, contienen toda la información pero en forma poco integrada. Con lo cual la información se incorpora en compartimentos que no permiten la asociación de los conceptos que se tratan de transmitir. Este hecho aparece muy evidente cuando en cursos posteriores se hace referencia a algún concepto ya estudiando previamente, como es el caso en el dictado de metabolismo microbiano en cursos de Microbiología General, luego de haber cursado Química Biológica.

Habitualmente, la dinámica de las clases teóricas se centra desde el profesor en una exposición oral de los tópicos acompañada por una serie infinita de diapositivas. Y desde los estudiantes en una posición cómoda en una silla de escuchar lo que se dice y eventualmente anotar algo en las copias impresas de las diapositivas. Ambas posiciones requieren de un mínimo esfuerzo, ya que para el profesor lo más sencillo es preparar de esa manera su clase y por parte de los estudiantes, la clase no exige ninguna instancia de su elaboración personal. Como consecuencia de esto, la aparición de la tentación de memorizar resulta habitual en los estudiantes para que luego en el examen se regurgite toda esa serie de sustratos, enzimas, moléculas transportadoras de electrones, energía, etc. que caen en el olvido inmediatamente a la salida de la evaluación. Esta tentación de los estudiantes se ve facilitada por la forma en la cual es evaluado el tema.

El objetivo de este artículo es hacer una mirada crítica sobre la enseñanza del metabolismo en cursos de grado de nivel universitario y tratar de aportar algunas alternativas que puedan ayudar a un mejor desenvolvimiento de las clases y fomentar una mayor interacción entre los estudiantes y los docentes a cargo.

## **Detección del problema**

Biggs (1) separa dos niveles dentro del sistema de enseñanza denominados *sistema pobre* y *sistema bueno*. Un *sistema pobre* es aquel en el cual los componentes tales como la dinámica y contenido de las clases y las evaluaciones no están integrados y por lo tanto no pueden sustentar un nivel alto de aprendizaje. En este sistema solamente una minoría de estudiantes posee la capacidad de recibir y aprender. En cambio, en el denominado *sistema bueno*, todos los aspectos de enseñanza incluyendo las instancias de evaluación, están dedicadas en forma integral al aprendizaje. Un ejemplo de un *sistema pobre* sería el citado por Ramsden (2), sobre un comentario de un estudiante de psicología acerca de su enseñanza:

*“Odio decir esto, pero lo que tienes que hacer es tener una lista; escribes diez puntos importantes y los memorizas, luego harás todo perfecto en el examen... Si tienes la capacidad de dar un poco más de información – y de hecho es lo que hice- para completar dos páginas escritas, entonces tendrás una buena nota.”*

Si bien esta expresión proviene de un estudiante de psicología, que además se graduó con todos los honores, es aplicable a este contexto también. El problema no es el estudiante, sino que el problema es que el sistema de evaluación no está alineado con los objetivos de enseñanza (1).

Desde la perspectiva del profesor, la secuencia en la enseñanza cualquiera sea el curso será:

Objetivos del curso ® objetivos deseados de aprendizaje ® actividades en clase ® evaluación

Mientras que para el estudiante, la perspectiva es bien diferente, en cuyo caso la secuencia será:

Evaluación ® actividades en clase ® aprendizaje

Para el profesor, la evaluación es el cierre del proceso de aprendizaje, mientras que para los estudiantes es el comienzo. Es decir, los estudiantes aprenderán los temas que ellos piensan en los que serán evaluados, no los que están en el programa y mucho menos lo que se ha dado en clase. Ahora, si los contenidos incluidos en el programa se reflejan en la evaluación, las actividades planeadas por parte del profesor y las actividades que desarrollará el estudiante en clase apuntarán a un blanco en común.

Como conclusión, el problema está en la divergencia que existe entre los objetivos de enseñanza que plantea el profesor y el aprendizaje neto por parte del estudiante. Este problema es general e independiente de la temática del curso que se dicte. La idea ahora es encontrar una solución aplicada al tema que concierne este artículo: enseñar y aprender metabolismo.

## **Objetivos de enseñanza y aprendizaje**

Para encarar la solución del problema, resulta conveniente definir en forma precisa lo que significa objetivos de enseñanza y de aprendizaje. Los objetivos de enseñanza son los que se plantea el profesor al diagramar su curso, mientras que los objetivos de aprendizaje se los puede definir como el resultado que se espera sobre los estudiantes como consecuencia de sus clases. Es muy importante que los estudiantes reciban los objetivos del curso no solamente enumerando los contenidos, sino haciendo explícito el nivel de entendimiento de los temas que el profesor pretende de ellos. Una vez especificados los objetivos, es tarea del profesor elegir el camino adecuado para cumplirlos y elaborar una evaluación que refleje desde la perspectiva del profesor la calidad de la enseñanza/aprendizaje y desde la perspectiva del estudiante los contenidos que tienen que saber y entender.

Ahora ejemplos aplicados al tema metabolismo:

### **Ejemplo N°1**

El objetivo de enseñanza en términos generales sería:

- Comprender mecanismos de obtención de energía: respiración y fermentación.

Este objetivo aparecería en la descripción del curso, en la presentación del programa analítico y para el profesor incluye la serie de conceptos que los estudiantes deberían conocer.

En cambio, para que el estudiante reciba el mensaje, los objetivos de aprendizaje que deriven de este objetivo base deben ser explícitos y describir puntualmente lo que el profesor pretende (generalmente encabezados por verbos (1)). Estos objetivos además de estar descriptos dentro del detalle del curso, deberían ser recordados sobre todo al finalizar la clase correspondiente:

- Definir procesos termodinámicamente favorables.
- Conocer el significado de potencial de oxidorreducción y su relación con energía libre de Gibbs.
- Relacionar la producción de energía con mecanismos redox.
- Describir el papel de las moléculas transportadoras de electrones en los procesos catabólicos.
- Diferenciar enlaces químicos de alta energía en moléculas biológicas.
- Distinguir moléculas transportadoras de energía.
- Diferenciar obtención de ATP a partir de fosforilación a nivel sustrato de la obtención por fosforilación oxidativa.
- Establecer diferencias en los rendimientos de obtención de energía en base a tablas de potenciales.
- Interpretar el flujo de electrones y su relación con la producción de energía.
- Tener una visión integrada de los pasos de la respiración: glucólisis, ciclo de Krebs, cadena respiratoria y la fosforilación oxidativa acoplada.

Ejemplo N°2 (extraído de las actividades desarrolladas en el Taller de Enseñanza de la Microbiología, IX Congreso de Microbiología General-SAMIGE2013; [www.samige.org.ar](http://www.samige.org.ar))

El objetivo de enseñanza en términos generales sería:

- Relacionar la nutrición y el metabolismo microbiano.

En cambio los objetivos de aprendizaje serían:

- Conocer las categorías nutritivas y relacionar éstas con el reciclado de los materiales en la naturaleza.
- Conocer grupos microbianos indicadores de distintos tipos de metabolismo productor de energía.
- Diseñar medios de cultivo para el desarrollo de los mismos.
- Relacionar aspectos del metabolismo y su utilidad para conocer la identidad de los microorganismos mediante pruebas fisiológicas específicas en distintos tipos de muestras.

## **Estrategias en clase**

En una estructura “convencional” de clases, diagramada en clases teóricas separadas de las clases de problemas y trabajos prácticos de laboratorio, las clases teóricas presentan el mayor grado de conflicto a la hora de enfrentarse con temas de metabolismo. Es bien sabido que el tiempo de atención en clase es corto y rápidamente los estudiantes incurren en la distracción. Los resultados de investigaciones en general muestran que el tiempo de atención medio de los estudiantes disminuye luego de 10 minutos, es por ello que mantenerlos atentos es crucial para la transmisión eficiente de los contenidos. Mantener la atención es lo más difícil en una clase teórica si es que no se utilizan estrategias y herramientas didácticas que despierten el interés en el tema particular que se está tratando. La pirámide de aprendizaje desarrollada por *National Training Laboratories for Applied Behavioral Sciences* (<http://www.ntl.org>) indica que los estudiantes sólo retienen un 5% de los materiales que se les presenta en una clase teórica tradicional. Mientras que si se agrega un espacio de discusión grupal a las clases como componente, las velocidades de retención aumentan a un 50% y a un 90% si se les pide a los estudiantes que traten de transmitir a otros los tópicos que se les ha enseñado (3).

A modo de ejemplo, *Mc Graw Center for Teaching and Learning* de la Universidad de Princeton, USA, ha desarrollado una guía para docentes con algunos consejos para aplicar en clase, en este caso particular para mantener la atención (<http://www.princeton.edu/mcgraw/library/sat-tipsheets/engage-students/>):

- a) Suministrar en material impreso un esquema básico de la clase a dar para generar la posibilidad a los estudiantes de focalizarse, tomar notas de los detalles y tener la capacidad de realizar conexiones.
- b) **Durante la clase cambiar el material y variar la forma de trabajo cada 15 minutos:**
  - Usar materiales visuales como mapas o tablas de datos para ayudar a plantear preguntas o identificar un problema.
  - **Hacer preguntas ayudando a los estudiantes a encontrar las repuestas mediante opciones.**
    - Hacer referencia específica al material de lectura, poniendo en claro la relevancia de cada tema.
    - **Distribuir materiales impresos con problemas a resolver en el momento.**
    - Invitar a otros profesores a dar pequeñas presentaciones insertas en la clase, de acuerdo a su área de investigación.
- c) Demostrar energía y entusiasmo en clase mediante el contacto visual, haciendo expresiones faciales, seleccionando un lenguaje vívido y con movimientos continuos dentro del aula.
- d) Usar ejemplos, hacer resúmenes periódicos de la clase dictada hasta el momento y hacer pausas que permitan a los estudiantes procesar la información y las ideas.
- e) Generar participaciones futuras asignando una tarea al final de la clase en donde los estudiantes identifiquen una pregunta que la clase les haya disparado.

Ahora, llevando esta serie de consejos a clases de metabolismo, las opciones que aparecen en bibliografía como exitosas son diversas como por ejemplo:

- a) Utilización de animaciones para mejorar el aprendizaje de la respiración a diferentes niveles educativos (4), <http://vcell.ndsu.nodak.edu/animations/> .  
Cabe destacar que el material en castellano disponible es pobre, generalmente se encuentran en idioma inglés.
- b) Aprovechar recursos virtuales para el desarrollo de programas de actividades interactivas, tales como OMLeT (*On Line Metabolism Learning Tool*), diseñado por Stevens *et al.* (5).
- c) Usar modelos con material concreto, como el desarrollado por Boomer y Latham (6), en donde la respiración y fotosíntesis se trabaja con bloques Lego.
- d) Organizar trabajos grupales como por ejemplo la construcción de un mapa celular integrando todas las vías metabólicas, descripto por Del Bianco (7); o para estudiantes de medicina el diseño de una enfermedad que esté relacionada con alguna falla en alguna vía metabólica particular (8). Otro trabajo grupal aplicado para estudiantes de Microbiología se basó en postular una vía metabólica degradativa para un determinado sustrato (9). Lo interesante de estos trabajos grupales es que no necesariamente el profesor es el encargado de la corrección, sino que se puede introducir la corrección por pares. De esta manera se puede calificar no sólo el trabajo realizado por el grupo, sino también el trabajo realizado por los correctores.
- e) Incluir estudios de caso como por ejemplo el metabolismo del etanol para introducir reacciones biológicas de oxidación y extrapolar al metabolismo de azúcares (10). Es decir comenzar con la oxidación biológica de etanol a acetaldehído, papel de la pareja redox NAD+/NADH e interpretar potenciales relacionándolos con la bioenergética. Otro estudio de caso interesante es el discutir sobre las bebidas energizantes y su relación con el metabolismo celular (11), basado en el trabajo de Heidemann y Urquhart (12).

Estas alternativas son flexibles y adaptables a cada curso en particular, teniendo en cuenta el número y la diversidad de estudiantes a quienes esta dirigido y por sobre todas las cosas la carga horaria del mismo.

Otra estrategia para tener en cuenta es utilizar el recurso de hacer una pausa en la clase para introducir una pregunta con opciones de respuesta. Por ejemplo durante las primeras clases de respiración:

### Ejemplo N°1

En la respiración aerobia:

- a) la glucosa es oxidada totalmente a  $\text{CO}_2$ .
- b) la glucosa es oxidada totalmente a  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ .
- c) la glucosa es oxidada totalmente a  $\text{CO}_2$  y el  $\text{O}_2$  reducido a  $\text{H}_2\text{O}$ .
- d) la glucosa es reducida totalmente a  $\text{CO}_2$  y el  $\text{O}_2$  es oxidado a  $\text{H}_2\text{O}$ .

### Ejemplo N°2

La producción de energía a partir de glucosa en una respiración es máxima si el aceptor de electrones es el  $\text{O}_2$  porque:

- a) El rendimiento energético está relacionado con la diferencia de los potenciales redox (DE) entre la reducción del  $\text{O}_2$  y la oxidación de la glucosa a  $\text{CO}_2$ .

- b) Por fosforilación oxidativa siempre se obtiene un mayor número de moléculas de ATP.
- c) Por oxidación de la glucosa a  $\text{CO}_2$  se producen más moléculas de NADH que entran en la cadena respiratoria.

Todas estas estrategias coinciden en un punto: alejar al estudiante de su situación pasiva en clase y mantenerlo activo con un trabajo a realizar. La idea es que se realice durante las clases, por lo que invierte su tiempo en tratar de elaborar y comprender los contenidos que se le transmite. A veces los tiempos son limitados como para dar todos los contenidos que se pretende, pero siempre es válido sacrificar algo en cantidad que mejore la calidad del aprendizaje.

## Evaluaciones

La evaluación es la instancia clave en la cual se pone en evidencia el éxito o el fracaso en el cumplimiento de los objetivos planteados. La confección de la misma es fundamental para que el estudiante pueda expresar realmente lo que ha aprendido y lograr ser transmitido a sus evaluadores. La taxonomía de Bloom (13-18) es una herramienta muy útil para elaborar problemas o preguntas, teniendo en cuenta el nivel que se quiere alcanzar en la respuesta del estudiante. Si el profesor pretende cierto grado de manejo en ciertos temas, la taxonomía de Bloom sugiere ciertas palabras clave a incorporar en las preguntas para guiar al estudiante en sus respectivas respuestas. La Tabla 1 resume los seis niveles a los que se hacen referencia con sus correspondientes palabras clave en forma de verbos asociados.

Nivel pretendido alcanzar		Verbos asociados sugeridos en las preguntas que componen la evaluación
<b>1: Recuerdo</b>	®	Identificar, reconocer, definir, nombrar, seleccionar
<b>2: Comprensión</b>	®	Describir, explicar, dar ejemplos, resumir, interpretar, discutir
<b>3: Aplicación</b>	®	Predecir, calcular, aplicar, resolver, demostrar, modelar, usar
<b>4: Análisis</b>	®	Comparar, clasificar, categorizar, analizar, diagramar, fundamentar, distinguir
<b>5: Evaluación</b>	®	Comparar, modificar, componer, derivar, dar opinión, convencer, evaluar, contrastar
<b>6: Creación</b>	®	Desarrollar, crear, juzgar, planificar, compilar, combinar

**Tabla 1. Niveles de aprendizaje acorde a la Taxonomía de Bloom y sus palabras clave (en forma de verbos) asociadas.**

A modo de ejemplo, las siguientes preguntas fueron elaboradas y clasificadas según los criterios que se expusieron anteriormente. Algunas fueron extraídas de exámenes parciales de la materia Química Biológica de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (Universidad de Buenos Aires), mientras que otras pertenecen a exámenes parciales de materias del Área Química, Instituto de Ciencias de la Universidad Nacional de General Sarmiento (19, 20).

En estos dos ejemplos, se evaluó el mismo concepto pero en dos niveles diferentes:

### Ejemplo N°1

#### *Nivel 1: Recuerdo*

Escriba la estructura química (Fischer o Haworth) de la fructosa-6-fosfato.

#### *Nivel 2: Comprensión*

La estructura de la molécula de la D-(-)-fructosa (proyección de Fischer) es la siguiente:

[File:D-Fructose.svg](#)

a) Identifique las partes de la molécula reactivas a un proceso de fosforilación. Indique el por qué.

b) Escriba un producto posible de la reacción de fosforilación.

### Ejemplo N°2

#### *Nivel 1: Recuerdo*

Solamente nombre todas las enzimas regulatorias (que son reguladas por metabolitos u hormonas) de la glucólisis y vía de las pentosas.

#### *Nivel 2/3: Comprensión/Aplicación*

¿Qué es una enzima regulatoria? Fundamente su definición con un ejemplo identificándola en la vía metabólica en la que cumple su función catalítica y explique en dos renglones la importancia de la misma.

Una alternativa interesante es la resolución de problemas en los exámenes parciales aplicando una metodología de examen a libro abierto. De esta manera, se permite un manejo con niveles superiores de exigencia como los siguientes:

### Ejemplo N°3

#### *Nivel 3/4: Aplicación/ Análisis*

Compare en forma de cuadro la respiración aerobia, respiración anaerobia y fermentación, teniendo en cuenta sus sustratos iniciales, productos finales, rendimiento energético y recuperación de los transportadores de electrones.

### Ejemplo N°4

#### *Nivel 3/4: Aplicación/ Análisis*

Identifique las reacciones de oxidación y de reducción dentro de la vía glucolítica, cuyo esquema se adjunta. Indique cuáles de ellas son exergónicas y cuáles son endergónicas. Fundamente su respuesta.

¿Qué ocurriría con el rendimiento energético final si la glucólisis se interrumpiera en el compuesto 2-fosfoglicerato?

De los ejemplos surge que la asignación de los niveles es flexible y varía de acuerdo al criterio de cada docente. Generalmente se ven situaciones límite entre dos niveles contiguos. Ahora bien, los niveles de las preguntas deben estar asociados con los objetivos de aprendizaje planteados al inicio de la clase y a su vez los estudiantes deben tenerlos absolutamente en claro a la hora de encarar la evaluación a la que se les enfrenta. En esto es lo que se centra este desafío que significa enseñar y aprender metabolismo.

## Conclusiones

La enseñanza del metabolismo en cursos universitarios generales como Química Biológica o Bioquímica o bien en cursos más avanzados como Microbiología General representa un desafío a diario. La actualización y renovación constante es la clave para seguir adelante superando obstáculos. El diseño de las clases con una dinámica que sorprenda día a día al estudiante es fundamental para despertar el interés en los temas áridos que se manejan dentro del metabolismo. Este diseño fundamentado en la planificación hacia atrás (*backward design*), es decir basado en desde la evaluación, es una variante que ayudaría a poder cumplir los objetivos de aprendizaje que se pretenden.

Citando la frase que el Dr. Spencer Benson (*Center for Teaching Excellence*, Universidad de Maryland, USA) siempre usa como cierre en sus escritos y conferencias:

**“TEACHING is leading students into a situation in which they can only escape by THINKING...”**

O sea:

**“Enseñar es guiar a los estudiantes hacia una situación de la cual solo puedan escapar pensando...”**

## Referencias

1. **Biggs JB** (2003). *Teaching for quality learning at university*. Buckingham: Open University Press/Society for Research into Higher Education, Segunda Edición.
2. **Ramsden P** (1984). The context of learning. En F. Marton, D. Hounsell y N. Entwistle (eds.), *The Experience of Learning*, Scottish Academic Press.
3. **Peteroy-Kelly MA** (2007). A Discussion Group Program Enhances the Conceptual Reasoning Skills of Students Enrolled in a Large Lecture-Format Introductory Biology Course. *Journal of Microbiology & Biology Education*, 8: 13-21.
4. **Rice SC** (2013). Using Interactive Animations to Enhance Teaching, Learning, and Retention of Respiration Pathway Concepts in Face-to-Face and Online High School, Undergraduate, and Continuing Education Learning Environments. *Journal of Microbiology & Biology Education* 14(1): 113-115.
5. **Stevens CM, Silver DM , Behm, B y Turner, RJ** (2007). OMLET—An Alternative Approach to Learning Metabolism: Glycolysis and the TCA Cycle as an Example. *Journal of Chemical Education* 84: 2024-2029.
6. **Boomer S, Latham KL** (2011). Manipulatives-Based Laboratory for Majors Biology – a Hands-On Approach to Understanding Respiration and Photosynthesis. *Journal of Microbiology & Biology Education* 12(2): 127-134.
7. **Del Bianco C** (2010). Creating a Cell Map as an Active-Learning Tool in a Biochemistry Course. *Journal of Chemical Education* 87: 796-798.
8. **Flynn N** (2010). “Design Your Own Disease” Assignment: Teaching Students To Apply Metabolic Pathways. *Journal of Chemical Education* 87: 799-802.

9. **McInerney MJ, Dee Fink L** (2003). Team-Based Learning Enhances Long-Term Retention and Critical Thinking in an Undergraduate Microbial Physiology Course. *Microbiology Education*, 4: 3-12.
10. **Feinman RD** (2001). Ethanol Metabolism and the Transition from Organic Chemistry to Biochemistry. *Journal of Chemical Education* 78: 1215-1220.
11. **Davis CD, Rice NA** (2008). Another can of bull: Do energy drinks really provide a source of energy? National Center for Case Study Teaching in Science de la Western Kentucky University ( [https://www.wku.edu/biology/staff/cheryl\\_davis](https://www.wku.edu/biology/staff/cheryl_davis) )
12. **Heidemann M, Urquhart G**, (2007). *En Use of case study teaching method to promote college students' critical thinking skill*, trabajo de tesis doctoral de David Richard Terry, State University of New York at Buffalo.
13. **Bloom BS** (1956). *Taxonomy of Educational Objectives, Handbook I: The Cognitive Domain*. New York: David McKay Co Inc.
14. **Dave RH** (1975). *Developing and Writing Behavioral Objectives*. R.J. Armstrong (ed.), Tucson Arizona: Education Innovators Press.
15. **Harrow A** (1972). *A taxonomy of Phycomotor Domain: A guide for Developing Behavioral Objectives*. New York: David McKay Co Inc.
16. **Krathwohl DR, Bloom BS, Masia, BB** (1973). *Taxonomy of Educational Objectives, the Classification of Educational Goals. Handbook II: Affective Domain*. New York: David McKay Co Inc.
17. **Pohl M** (2000). *Learning to Think, Thinking to Learn: Models and Strategies to Develop a Classroom Culture of Thinking*. Cheltenham, Vic.: Hawker Brownlow.
18. **Simpson EJ** (1972). *The Classification of Educational Objectives in the Psychomotor Domain*. Washington, DC: Gryphon House.
19. **Vullo DL, Castilla V, Wachsman MB** (2011). Teaching Microbiology To Future Chemists: How To Evaluate Students Properly? *Journal of Microbiology and Biology Education* 12(1): 98.
20. **Vullo DL, Ramírez S, Zalts A** (2011). Microbiology For Future Urban Ecologists: The Challenge Of Evaluation Of Student Learning. *Journal of Microbiology and Biology Education* 12(1): 97.

*La autora es miembro del Editorial Board del Journal of Microbiology and Biology Education. Profesora de la Universidad de General Sarmiento e Investigadora de CONICET*



ISSN 1666-7948

[www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar](http://www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar)

Revista QuímicaViva

Volumen 13, Número 1, Abril de 2014

ID artículo:F0193

DOI: no disponible

[Versión online](#)