

Aprendizaje basado en problemas en Biología Celular: una forma de explorar la ciencia

Problem-Based Learning in Cell Biology: A Way to Explore Science

Magdalena García Irlas, Yolanda Segovia Huertas¹ y Jose Miguel Sempere Ortells

Departamento de Biotecnología, Universidad de Alicante

¹yolanda.segovia@ua.es

Recibido 25/03/2013 – Aceptado 07/08/2013

Resumen

Con el fin de desarrollar el aprendizaje autónomo, el trabajo en equipo y mejorar la comunicación tanto oral como escrita de los alumnos de Biología Celular, hemos diseñado una serie de actividades en grupo fundamentadas en el aprendizaje basado en problemas. Cada grupo de estudiantes tenía que buscar una enfermedad humana cuya causa fuera consecuencia de un mal funcionamiento de las membranas celulares. El resultado debía ser presentado en una comunicación escrita y una comunicación oral como si se tratara de una comunicación científica a un Congreso. Así, hemos acercado la disciplina a una situación real a la que el alumnado se enfrentará como profesional. Aunque la valoración de los resultados de aprendizaje difiere entre el alumnado y el profesorado, analizamos las ventajas de este tipo de estrategia didáctica frente a la tradicional lección magistral.

Palabras clave: Biología Celular, aprendizaje colaborativo, aprendizaje basado en problemas, estudios del Grado en Biología

Abstract

In order to develop strategies for autonomous learning and teamwork, and to improve written and oral communications skills for students of cell biology, we have designed several team activities founded on problem-based learning. Each team had to research a particular human disorder caused by dysfunctional proteins of cell membranes. The results were presented in a written and oral presentation in the same way as a scientific talk in a conference. Therefore, we have approached our discipline to a real situation that students will face as professionals. Although the assessment of learning outcomes differs between students and teachers, we analyze the benefits of this type of teaching strategy by comparing it to traditional methods based in lecture classes.

Keywords: Cell Biology, Collaborative Learning, Problem-Based Learning, Degree in Biology

1. Introducción

Uno de los problemas a los que se enfrenta el profesorado de la asignatura de Biología Celular, del grado en Biología, es la enorme cantidad de conocimiento generado en las últimas décadas en el ámbito de la biología celular y molecular. No sólo eso, el ritmo de expansión de su conocimiento crece de forma exponencial. Por poner solo un ejemplo,

podemos mencionar la apoptosis, un concepto establecido en el año 1972 por Kerr (et al) pasó de 755 artículos publicados entre 1972 y 1990, a 41.745 entre 1990 y el año 2000, y a 155.885 entre el 2000 y el 2010 (estas cifras se han tomado de la base de datos de The National Libraries of Medicine PubMed). Esto nos demuestra, por una parte, el increíble progreso realizado en el conocimiento de la biología celular; por otra, la enorme cantidad de conocimiento que nos queda por aprender.

Este gran incremento de la información nos obliga a reflexionar sobre la enseñanza de la biología celular, ya que es prácticamente imposible cubrir todos los contenidos que los programas de las asignaturas pretenden que un estudiante universitario sea capaz de aprender. Si tenemos en cuenta que el Plan de Estudios del Grado en Biología sólo dedica 40 horas teóricas y 24 prácticas a esta asignatura, queda claro que nuestra labor como profesores no es transmitir el máximo posible de conocimientos, sino ayudar al alumno en la elaboración de modelos mentales que le permitan futuros aprendizajes, guiarlo en la adquisición de un cuerpo de conocimientos científicos cada vez más abundante y arbitrar los medios para que los estudiantes sean capaces de aplicar los principios científicos en situaciones lo más parecidas posible a las que se van a enfrentar como profesionales (Wright y Boggs, 2002; Allen y Tanner, 2002a,b; DiCarlo, 2006; Alberts, 1998, 2009).

Sin embargo, la necesidad de cubrir los contenidos del programa ha dado lugar a que, tradicionalmente, esta asignatura se haya impartido a través de clases magistrales basadas en la transmisión del conocimiento por parte del profesorado y la evaluación ha consistido en exámenes de tipo test y/o ensayo que enfatizan sobre todo el aprendizaje y memorización de conceptos y datos. Como ha sido sugerido en muchos trabajos (DiCarlo, 2006; Coil et al, 2010; Fisher, 2011), el uso de las metodologías didácticas tradicionales como la lección magistral no estimula el desarrollo de las capacidades que debe tener todo científico, entre ellas, el razonamiento crítico, la gestión de la información en fuentes adecuadas, la interpretación de datos, el trabajo en equipo, las habilidades para comunicar sus conocimientos, etc.

Es por ello que, a lo largo de los últimos veinte años, se han publicado numerosos trabajos, tanto teóricos como empíricos, que muestran claramente la eficacia de las metodologías activas en los logros de los objetivos de aprendizaje que acabamos de mencionar (Springer et al, 1999; Allen y Tanner, 2002, 2003; Fernández, 2006; Chamany et al, 2008; Wood, 2009; Coil et al, 2010; Allen, 2011). Estos trabajos destacan que los alumnos que estudian en diversas formas de interacción con los compañeros y el profesor, demuestran un mayor rendimiento que los que lo hicieron en un sistema de enseñanza tradicional y tienen unas actitudes más positivas hacia la asignatura, mayor motivación para el estudio y están más satisfechos con su experiencia que aquellos que tienen menos oportunidades de interactuar con sus compañeros y profesores (Johnson, 1991; Smith et al, 1992; Johnson y Johnson, 1994, 1995; Johnson et al, 1998). Por otra parte, los estudiantes que trabajan en grupos de aprendizaje aprecian más al profesor y consideran que él los apoya y los acepta más, tanto en el plano personal como en el académico (Fiechtner y Davis, 1992; Johnson et al, 1991).

Pero diseñar nuevas situaciones de aprendizaje no sólo requiere replantear el papel y

las responsabilidades del profesor y de los estudiantes. Requiere también un nuevo enfoque de las asignaturas, en cuanto a los contenidos, los objetivos, la metodología didáctica y el método de evaluación. En este contexto, en los últimos años hemos implementado diversas metodologías activas en nuestra práctica docente, entre ellas el trabajo colaborativo y el aprendizaje basado en problemas. El principal objetivo del presente trabajo es guiar a los estudiantes en el desarrollo de sus habilidades para comunicar información compleja (tarea que deberán hacer como futuros profesionales), en una reunión científica. De esta manera, el estudiante debía navegar en el vasto conocimiento de la biología celular, seleccionar la documentación, analizarla, integrarla, sintetizarla y, finalmente, comunicarla. Dichas actividades no sólo han contribuido a que integren conocimientos de nuestra disciplina con los de otras materias del currículo, sino que han permitido la interacción alumno-alumno y alumno-profesor y han dado lugar a una relación más dialógica, reflexiva y, por tanto, más gratificante para el profesorado.

2. Implementación de nuevos entornos de aprendizaje

La experiencia se realizó con 59 alumnos matriculados en la asignatura de Biología Celular, que se imparte en el primer curso del Grado en Biología. A partir de los contenidos del programa, diseñamos una actividad en grupo para el aprendizaje de la función e importancia de las membranas celulares a través de su implicación en diferentes enfermedades humanas. La elección de este tema se basó en la dificultad del alumnado para comprender la función de las membranas, según nuestra experiencia en años anteriores, y confirmada por trabajos de otros autores (García Barrutia et al, 2002). El proceso de implementación de las actividades fue el siguiente:

1. Se dedicaron tres sesiones de una hora (programadas en el plan de estudios) para la puesta en común de los conceptos generales referentes a la estructura, composición y función de la membrana celular. En dichas sesiones se trataron los conocimientos necesarios para la realización del posterior trabajo, que debía realizarse fuera del aula.

2. A continuación, una hora de clase se dedicó a exponer, con un ejemplo, cómo se debía proceder a la comunicación oral de un trabajo de investigación. Asimismo, les explicamos la forma de evaluar la fiabilidad las fuentes bibliográficas y solucionamos las posibles dudas que cada grupo tuviera en relación a la documentación del trabajo.

3. Para la realización del trabajo sobre una enfermedad causada por un funcionamiento defectuoso de alguna proteína de membrana, los alumnos se dividieron en grupos de tres personas. Cada grupo debía realizar una búsqueda sobre las posibles patologías descritas, seleccionar una de ellas y buscar información reciente sobre los mecanismos moleculares implicados. En dicha fase, los estudiantes identificaban aquello que necesitaban aprender y los aspectos que debían investigar. Este es el primer paso que cualquier científico debe realizar cuando se enfrenta ante la necesidad de aprender algo completamente nuevo. Como libro de texto básico se aconsejó *Biología Molecular de la Célula* (Alberts et al, 2002) y se propusieron algunas revistas de revisión útiles para el trabajo.

4. Una vez elegida la patología de membrana, cada grupo se reunió con el profesor para comunicar el tema de trabajo elegido, la documentación, y las posibles dudas surgidas para la realización del mismo.

5. El seguimiento del trabajo fue realizado en las sesiones de tutoría requeridas por el alumnado.

6. Se presentó a los alumnos una rúbrica de evaluación (tabla 1) con el fin de establecer las características finales que debía tener el trabajo, los criterios de evaluación con los posibles niveles de consecución de los mismos y el nivel de competencias que debían adquirir (Wright y Boggs, 2002; Allen y Tanner, 2006; Villalustre y Del Moral, 2010).

Criterios para la evaluación de la exposición oral		Muy bien	Bien	Regular	Mal
Título					
	¿Está la información resumida en el título?				
	¿Es legible?				
	¿Incluye los nombres de los autores?				
Membrana celular afectada					
	Esquema o dibujo de la membrana y las moléculas implicadas en la patología				
	En caso de que sea de un orgánulo, describir su función y adjuntar una imagen del mismo				
	¿Cuáles son las funciones de la molécula implicada en la patología en cuestión, en condiciones fisiológicas normales?				
	¿Cuáles son las consecuencias de un funcionamiento defectuoso de las moléculas implicadas en la patología?				
Enfermedad, síntomas, perspectivas de futuras investigaciones					
	Descripción de los signos de la enfermedad				
	¿Cómo se altera la función celular				
	¿Qué consecuencias tiene para el organismo?				
	¿Existe tratamiento?				
	¿Cuáles son las líneas de investigación abiertas?				
Estética de la presentación					
	¿Se lee bien?				
	Buena organización de los contenidos				
	Utilización adecuadas de figuras				
	Adecuación al tiempo disponible				

Tabla 1. Rúbrica de evaluación con los criterios para la exposición oral (modificado de Wright y Boggs, 2002).

7. Finalmente, cada grupo debía presentar un informe escrito al profesor sobre el trabajo realizado y presentarlo oralmente al resto de los estudiantes, apoyándose en una presentación en *Power Point*. La presentación oral obligaba a sintetizar la información de forma coherente y demostraba el grado de comprensión y dominio del tema.

8. Una vez finalizadas las actividades, la evaluación del proceso abarcó los siguientes aspectos: a) evaluación de la exposición oral, según la rúbrica de evaluación presentada en la tabla 1. En el informe escrito se valoró también la adecuación, coherencia y cohesión del discurso; b) valoración de la experiencia por parte de los alumnos, para lo que realizamos un cuestionario (presentado en el siguiente apartado) en el que se comparaba esta experiencia con el aprendizaje siguiendo la metodología tradicional; c) valoración de la experiencia por parte del profesor, tanto desde la perspectiva del aprendizaje del alumnado como del trabajo realizado por el profesor.

3. Evaluación de los nuevos entornos de aprendizaje

3.1. Evaluación del trabajo realizado por el alumnado

La media de las calificaciones obtenidas por los estudiantes en las tareas de aprendizaje basado en problemas fue de 7,5 sobre 10. Nos parece un buen rendimiento que puede deberse a que, por una parte el alumnado conocía los objetivos y criterios de evaluación desde el inicio del trabajo y, por otra, al hecho de que la mayor parte de los grupos acudió regularmente a las sesiones de tutorías con el profesor para la resolución de dudas y realizar un seguimiento de las tareas propuestas. Esto permitía al alumnado reforzar los puntos débiles del trabajo y hacer las modificaciones oportunas.

Pero sobre todo, nos consideramos muy satisfechos con el trabajo realizado porque nuestro objetivo principal en el diseño de estas actividades fue que el alumnado adquiriera una serie de competencias que debe tener un científico y que difícilmente se pueden conseguir a través de una enseñanza tradicional centrada en el profesor como transmisor de conocimientos. Dichas competencias adquiridas han sido:

- Buscar, analizar y sintetizar la información sobre un tema propuesto.
- Aplicar sus conocimientos sobre la estructura, composición y función de las membranas celulares para explicar una determinada disfunción celular como consecuencia de mecanismos moleculares defectuosos.
- Integrar los conocimientos de una estructura celular, con la función de la célula y su relevancia en el organismo.
- Trabajar en equipo, lo que supone debatir, dialogar, tolerar y, no menos importante, respeto por los demás y responsabilidad en el trabajo.
- Comunicar los resultados de su trabajo.

Por otra parte, el hecho de relacionar la biología celular con la patología ha despertado el interés del alumnado por la asignatura y comprenden su relación con otras disciplinas del plan de estudios, como la Bioquímica, Fisiología, Genética, Inmunología, entre otras.

3.2. Evaluación del proceso según la opinión de los alumnos.

En la tabla 2 se presenta el cuestionario con las afirmaciones que se plantearon a los estudiantes, su valoración como promedio (\bar{X}) y la desviación típica (σ). Las afirmaciones debían ser valoradas del 1 al 5, donde 1 es muy en desacuerdo y el 5 muy de acuerdo.

IMPLICACIÓN DEL PROFESOR	\bar{X}	σ
1. El profesor utiliza diferentes tipos de metodologías para el aprendizaje activo	4,27	0,80
2. El uso de nuevas metodologías se acompaña de nuevos métodos de evaluación.	3,57	0,84
3. El estilo de trabajo del profesor es diferente cuando usa metodologías activas	3,67	1,00
4. El trabajo colaborativo contribuye a la mejora del aprendizaje.	3,84	0,95
5. El profesor demuestra su preparación en la utilización de metodologías alternativas a la lección magistral.	3,90	0,91
6. El profesor organiza bien el trabajo.	4,31	0,82
7. Me hubiera gustado tener más atención por parte del profesor.	2,51	1,35
8. Acudo regularmente a las tutorías individuales.	2,81	0,70
9. El profesor me ha atendido cuando lo he necesitado.	4,61	0,62
10. La atención recibida del profesor me ha ayudado en el aprendizaje.	4,1	0,93
ESPACIOS Y RECURSOS		
11. Los recursos materiales de la Universidad son adecuados para la docencia basada en metodologías activas.	2,50	1,12
12. El espacio de trabajo y equipamiento en las aulas es adecuado y permite el uso de metodologías activas y el trabajo en grupo.	2,70	0,88
13. Los tiempos de duración de las clases son adecuados para la implementación de las metodologías activas.	2,23	1,07
14. El elevado número de alumnos por grupo facilita el uso de metodologías activas.	2,00	0,90
15. Las infraestructuras y equipamientos están pensados para clases magistrales.	3,3	1,05
PROCESO DE APRENDIZAJE		
16. Prefiero la evaluación final.	2,44	1,35
17. Prefiero las técnicas didácticas tradicionales.	3,35	1,40
18. He mejorado la capacidad de aprender de forma autónoma.	3,57	0,91
19. He mejorado en los procesos de síntesis, análisis y razonamiento crítico.	3,5	0,42
20. He aprendido a gestionar adecuadamente la información obtenida a través de las Tics.	3,47	0,61
21. He aprendido más con las metodologías activas que con el sistema tradicional.	2,48	1,40
22. He mejorado la capacidad para la resolución de problemas.	2,95	1,2
23. He aprendido a organizar la información proporcionada por el profesor.	3,91	0,7
24. He mejorado mi expresión escrita y oral.	3,32	1,09
25. He mejorado mi planificación para el estudio y el reparto de tareas.	2,90	1,36

HABILIDADES SOCIALES		
26. He mejorado la capacidad para trabajar en equipo.	3,20	1,40
27. Es interesante trabajar en equipo.	3,25	1,53
28. Me ha defraudado trabajar en equipo porque algunos compañeros son muy exigentes.	2,52	1,31
29. Es difícil trabajar en equipo porque algunos compañeros no muestran responsabilidad den el trabajo.	3,80	1,12
30. Soy más responsable en mis estudios y con mis compañeros cuando trabajo en grupo.	3,73	1,20

Tabla 2. Cuestionario 1 para conocer la opinión de los alumnos

Las primeras 10 preguntas pretendían conocer la opinión del alumnado acerca de la actitud e implicación del profesor en el uso de las metodologías activas y que valoraran este método de aprendizaje. Mientras la actuación del profesor es bien valorada tanto en su preparación, organización del trabajo y atención al alumno, el aprendizaje a través de metodologías activas, aunque es bien valorado, recibe la misma calificación que las metodologías tradicionales, y el alumnado no cree que mejore su aprendizaje con la utilización de estas técnicas. Estos resultados coinciden con los obtenidos en trabajos previos, tanto realizados por nuestro equipo como por otros autores (Wright y Boogs, 2002). Pensamos que uno de los motivos de su escasa valoración respecto a la enseñanza tradicional podría deberse a que ésta ha sido utilizada a lo largo de toda su vida y les hace sentir más seguros. También puede ser que desconfíe de su propia capacidad y la de sus compañeros para la construcción del aprendizaje y confíe más en los conocimientos que transmite el profesor. Además de su inexperiencia en estas técnicas, el hecho de que requieran más tiempo y responsabilidad en el trabajo, pueden ser motivos para no considerarlas mejor que las tradicionales. Finalmente, si el alumnado dispusiera de más tiempo para la realización de trabajos en grupo, tanto en el aula como fuera de ella, es posible que se sintiera más seguro del trabajo realizado.

En cuanto a su valoración de los espacios y recursos materiales disponibles en la universidad para facilitar la utilización de tales técnicas, la mayoría opina que no son adecuados, debido al elevado número de alumnos, al escaso tiempo disponible para la implementación de dichas metodologías, así como por su falta de adecuación de las aulas para el trabajo en equipo. Estamos de acuerdo con esta opinión, dado que las metodologías activas requieren un número de alumnos reducido con el fin de que los grupos no sean numerosos y el profesorado pueda dedicar el tiempo que requieran para orientarlos en el aprendizaje. También el aula es un factor esencial que puede condicionar el proceso enseñanza-aprendizaje, ya que de su organización depende la posibilidad de establecer una fluida comunicación entre todos los miembros del grupo. Por último, las metodologías activas requieren mayor tiempo de dedicación fuera del aula. Esto es un claro inconveniente para el alumnado, ya que encontrar tiempo para reunirse todos los miembros del grupo puede resultar difícil. Sin embargo, las nuevas tecnologías de la información y de la comunicación (TICs) ponen a disposición del alumnado numerosos mecanismos para el trabajo en grupo sin tener que compartir el mismo espacio.

Uno de los aspectos más destacados del presente trabajo es que con estas técnicas, el alumnado no cree mejorar su aprendizaje respecto al sistema tradicional. Sin embargo,

valoran bien las cuestiones sobre su mejora en la expresión oral y escrita, la capacidad para resolver problemas, para buscar y gestionar la información obtenida a través de las TICs y el aprendizaje autónomo.

Por último, en cuanto a su opinión sobre la mejora de las habilidades para el trabajo en equipo, aunque no lo consideran especialmente interesante, manifiestan ser responsables cuando trabajan en grupo. El aspecto más crítico en este punto es que consideran insuficiente el trabajo de sus compañeros y esto perjudica sus calificaciones. Según nuestra opinión, en el trabajo colaborativo, evaluar es uno de los elementos que más dificultades generan en el profesor, pues no siempre es posible identificar la contribución y el rendimiento individual en un trabajo de grupo. En ocasiones puede penalizarse o premiarse a unos alumnos por la actuación de otros estudiantes en sus equipos; los alumnos evaluados de acuerdo con factores que no controlan (el trabajo de sus compañeros de equipo) pueden frustrarse y se resisten al aprendizaje colaborativo. Para evitar estos inconvenientes, el profesorado debe estructurar la tarea de aprendizaje de manera que su realización requiera tanto el trabajo individual como el del grupo, de manera que “los aprovechados” queden en evidencia y el profesor pueda tomar decisiones al respecto. En cualquier caso, nuestra opinión es que el resultado de un grupo es más enriquecedor que el trabajo individual y, dado que el alumnado es reticente porque tradicionalmente no ha sido entrenado para ello, es una función del profesorado demostrarlo.

3.3 Valoración de la experiencia por parte del profesor.

Hemos diseñado una experiencia con el fin de acercar la biología celular a los estudiantes, a través de su implicación en la patología, y hemos pretendido que entendieran la adquisición del conocimiento como un hecho social que se adquiere a través de un método de trabajo de investigación.

Uno de los requisitos para que el alumno aprenda significativamente es su actitud favorable hacia el aprendizaje. Por ello, hemos intentado despertar la atención de los alumnos mediante la utilización de ejemplos actuales del mundo real, definiendo claramente unos objetivos a conseguir, adecuados a su nivel de conocimientos previos y exponiendo la utilidad y aplicabilidad de dichos contenidos. Por otra parte, hemos favorecido el aprendizaje colaborativo con el fin de que los alumnos desarrollaran las competencias descritas en el apartado 3.1.

Con estas estrategias hemos detectado un aumento del interés por el aprendizaje y una participación activa en el desarrollo de las actividades. Como contrapartida, promover aprendizajes significativos en el aula requiere mayor dedicación para la planificación de actividades, formación en nuevas metodologías didácticas, tiempo de dedicación al alumno, un análisis continuo del proceso para revisar los puntos débiles, resolver los posibles conflictos que puedan tener lugar, búsqueda de prácticas alternativas, etc. Sin embargo, el hecho de que su aplicación sea eficaz, no sólo en la adquisición del conocimiento sino en la de actitudes y valores, es motivo suficiente para seguir aplicándolas en la práctica docente.

4. Conclusiones

Los resultados de la evaluación de la experiencia realizada demuestran la eficacia formativa de esta metodología basada en el aprendizaje colaborativo. Pone el énfasis en la responsabilidad individual y grupal en el aprendizaje y prepara a los estudiantes para su futuro académico y profesional. Pero también pone en evidencia las limitaciones existentes y los cambios que deben introducirse en su desarrollo. En este sentido, los dos retos más importantes son: 1) conseguir que el alumno aprenda por sí mismo sin que la carga de trabajo aumente hasta límites inasumibles. Ello implica que se deben escoger con mucho cuidado las actividades formativas que se proponen; 2) el desarrollo de herramientas de evaluación eficaces y objetivas.

Uno de los aspectos más relevantes de nuestro trabajo es el hallazgo de la diferente percepción que tiene sobre el aprendizaje el profesorado y el alumnado. Son muchos los factores que pueden estar detrás de esta discrepancia, pero consideramos los siguientes como los más relevantes:

- A lo largo de las diferentes etapas educativas, la práctica docente tradicional se ha basado, principalmente, en la transmisión de conocimientos por parte del profesor, mientras que el alumno se ha limitado a memorizar conceptos, hechos o datos que repetirá en un examen. Acostumbrado a estas prácticas, el alumnado es reacio a participar en tareas que, además de requerir una mayor inversión de tiempo, implican un cambio en el modo de trabajar. En efecto, ha de buscar y gestionar la información de diferentes fuentes bibliográficas, adaptar su trabajo al de sus compañeros y, además, comunicar esos conocimientos públicamente, algo para lo que no se les ha entrenado lo suficiente. La falta de habilidad en estas tareas le hace sentir inseguro y desconfiar de prácticas a las que no está habituado
- En relación con el párrafo anterior, el alumnado confía en los conocimientos transmitidos por el profesor y desconfía de su capacidad y la de sus compañeros en la adquisición del conocimiento. Además, invierte menos tiempo en la memorización de contenidos estructurados y organizados por el profesor.
- El alumnado considera que aprende en función de la cantidad de apuntes tomados en clase, temas y capítulos de libro que deben leer. Es decir, puede pensar que aprende más cuanto más cantidad de contenidos se le exige. En cambio, el profesor, inmerso en una reforma educativa que centra al estudiante como el verdadero núcleo de la enseñanza basada en competencias, considera más importante que el alumno aprenda a aprender y a aplicar sus conocimientos en diferentes situaciones. Este choque de intereses entre ambas partes, pueden motivar la discrepancia de opiniones encontradas en este trabajo.
- Finalmente, el hecho de que los estudiantes más aventajados deban trabajar con otros compañeros menos responsables o la necesidad de adaptar su forma de trabajar a la del grupo, puede crear disconformidad con esta forma de aprender.

5. Referencias bibliográficas

- Allen, D. 2011. Recent research in science teaching and learning. *CBE Life Sciences Education*, (10):8-10.
- _____ 2011. Recent research in science teaching and learning. *CBE Life Sciences Education*, (10):132-134.
- _____ 2011. Recent research in science teaching and learning. *CBE Life Sciences Education*, (10):334-337.
- Allen, D. y Tanner, K. 2002. Approaches in Cell Biology teaching. *Cell Biology Education*, (1):3-5.
- _____ 2003. Approaches to Cell Biology teaching: learning content in context-problem-based learning. *Cell Biology Education*, (2):73-81.
- Chamany K., Allen, D. y Tanner, K. 2008. Making biology learning relevant to students: integrating people, history, and context into college biology teaching. *CBE Life Sciences Education*, (3):267-278.
- DiCarlo, S.E. 2006. Cell biology should be taught as science is practiced. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, (7): 290-296.
- Alberts, B. 1998. The cell as a collection of protein machines: preparing the next generation of molecular biologists. *Cell*, (92): 291-294.
- Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., y Walter, P. 2008. *Biología molecular de la célula*, Barcelona: ed. Omega, 5ª edición.
- Alberts, B. 2009. Making a science of education. *Science*, (323):15.
- Coil, D., Wenderoth, M.P., CUNNINGHAM, M. y DIRKS, C. 2010. Teaching the process of science: faculty perceptions and an effective methodology. *CBE Life Sciences Education*, (9):524-535
- Fischer, C.N. 2011. Changing the Science Education Paradigm: From teaching Facts to Engaging the Intellect. *Yale Journal of Biology and Medicine*, (84):247-251.
- Fernández, A. 2006. Metodologías activas para la formación de competencias. *Educatio Siglo XXI*, (24):35-56.
- Fiechtner, S.B. y Davis, E.A. 1992. *Why some groups fail? A survey of students' experiences with learning groups. In: Collaborative Learning: A Sourcebook for Higher Education*. A. S. Goodsell, M. R. Maher, and V. Tinto, Eds. National Center on Postsecondary Teaching, Learning, and Assessment. University Park, PA: Syracuse University.
- García, M.S., Jiménez, C. Fonfría, J., Fernández, J. y Torralba, B. 2002. Evolución de conceptos relacionados con la estructura y función de membranas celulares en alumnos de Enseñanza Secundaria y Universidad. *Anales de Biología*, (24):201-207.
- Johnson, D., Johnson, R. y Smith, K. 1991. *Cooperative Learning: Increasing College Faculty Instructional Productivity*. ASHE-ERIC Higher Education, Washington: The George Washington University.
- Johnson, D.W. y Johnson, R.T. 1994. *Learning Together and Alone. Cooperative, Competitive, and Individualistic Learning*. Needham Heights, MA: Allyn and Bacon.
- _____. 1995. *Creative Controversy: Intellectual Challenge in the Classroom*. Edina, MN: Interaction Book Company.
- Johnson, D.W., Johnson, R.T., y Smith, K.A. 1998. *Active learning: Cooperation in the*

- college classroom* (2nd ed.). Edina, MN: Interaction Book Co.
- Kerr J.F., Wyllie A.H. and Currie A.R. 1972. Apoptosis: a basic biological phenomenon with wide ranging implications in tissue kinetics. *Cancer*, (26): 239–247.
- Villalustre, L. y del Moral, E. 2010. E-portafolios y rúbricas de evaluación en ruralnet, Pixel-Bit. *Revista de Medios y Educación*, (37):93–105.
- Wood, W.B. 2009. Innovations in Teaching Undergraduate Biology and Why We Need Them. *Annual Review of Cell and Developmental Biology*, (25):93-112.
- Wright, R. y Boggs, J. 2002. Learning Cell Biology as a team: a project-based approach to upper-division cell biology. *Cell Biology Education*, (1):145-153.