

# Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC) en la enseñanza universitaria de Biotecnología. El caso de la velocidad específica de crecimiento microbiano ( $\mu$ )

Lucas Adolfo Mauro Ruberto, Walter Patricio Mac Cormack, Ariel Calabro, Julián Rodríguez Talou

Universidad de Buenos Aires. Argentina. [lruberto@ffyb.uba.ar](mailto:lruberto@ffyb.uba.ar)

[Recibido en noviembre 2010, aceptado en marzo 2012]

En este trabajo se presenta un análisis de las ideas relacionadas al concepto de velocidad específica de crecimiento microbiano ( $\mu$ ) que presentaron estudiantes universitarios que cursaban la orientación en biotecnología del último año de la carrera de Bioquímica (Facultad de Farmacia y Bioquímica, Universidad de Buenos Aires, Argentina). El estudio se realizó en base a las respuestas que dieron los estudiantes, de manera anónima, frente a la solicitud espontánea de que explicaran qué entendían por  $\mu$ . El análisis se focalizó en la identificación de los factores que podrían relacionarse con las ideas que mostraron los estudiantes, entre las que se incluye el tratamiento previo del concepto, la tendencia a la reducción funcional, el pragmatismo y la posibilidad de que se trate de concepciones alternativas pero en un campo muy específico y aplicado de las ciencias como es la biotecnología. Se plantean estrategias aplicadas para la reconstrucción del concepto de  $\mu$  considerando estos factores. Las experiencias y conclusiones que surgen de este trabajo pretenden contribuir al desarrollo del Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC) para ciencias aplicadas en general, y para la biotecnología en particular.

**Palabras clave:** conceptos específicos; biotecnología; velocidad específica de crecimiento; conocimiento didáctico del contenido.

## Pedagogic Content Knowledge (PCK) in university Biotechnology teaching. The microbial specific growth rate ( $\mu$ ) case

In this work, a study based on the university student's conception about microbial specific growth rate ( $\mu$ ) is presented. The study was focused on last year students of the Biochemist career (Buenos Aires University, Argentina). It was developed considering the answers given anonymously by the students when they were spontaneously asked about the meaning of  $\mu$ . The analysis was focused in the identification of factors which could be related with the students' ideas about  $\mu$ , such as the previous work with the subject, the tendency to the functional reduction, the pragmatisms and the possibility of alternative conceptions, but related with a specific field of applied sciences, such as biotechnology. Strategies aiming to the reconstruction of the  $\mu$  concept were proposed considering these factors. The experiences presented in this work will contribute to the development of the Pedagogical Content Knowledge (PCK) in applied sciences, particularly in biotechnology.

**Keywords:** specific concepts; biotechnology; specific growth rate; pedagogical knowledge content.

## Introducción

La didáctica de las ciencias enfrenta desafíos singulares en relación a la enseñanza de conceptos. Si bien una parte importante de la enseñanza en esta área del conocimiento está focalizada en el estudio de procedimientos, existe cierto acuerdo acerca de que la enseñanza de éstos procedimientos solo es eficaz cuando se dispone de los conocimientos conceptuales adecuados. Esto ha reorientado las propuestas de innovación e investigación didáctica hacia la comprensión de los núcleos conceptuales de la ciencia (Pozo y Gómez Crespo, 2006). Estas propuestas reconocen la dificultad que la comprensión de estos conceptos representa para los alumnos y asumen que uno de los principales obstáculos es la existencia de concepciones alternativas a los conceptos científicos que se pretenden enseñar. Es por ello que se plantea que la enseñanza de conceptos en ciencias requiere estrategias didácticas específicamente diseñadas.

Una dificultad adicional está relacionada con el hecho de que el aprendizaje de conceptos admite matices cualitativos o niveles, a diferencia del aprendizaje de datos o hechos, que es de carácter “todo o nada”. Comprender un conjunto de datos requiere la generación de un marco conceptual, es decir, relacionar esos datos dentro de una red de significados (construida sobre la comprensión de conceptos) que explique por qué se producen y qué consecuencias tienen. Conocer un dato permite reproducirlo o predecirlo pero no darle sentido o interpretarlo (Pozo y Gómez Crespo, 2006). Esto implica que un alumno puede “saber” sin “comprender” o que puede conocer parcialmente el significado de una idea sin poder establecer las relaciones que ésta admite. Esta situación es de difícil diagnóstico, y puede manifestarse también en estadios avanzados y específicos de carreras universitarias, donde los docentes asumen que los estudiantes conocen (en general cierto) y entienden (no siempre), ciertos conceptos solo porque los mismos han sido enseñados en etapas más tempranas del currículo o plan de carrera.

### Marco teórico

Según diversos autores (Resnick, 1987; Leinhardt y Greeno, 1986; Wilson et al. 1988), planificar y enseñar un tema determinado implica una actividad cognitiva compleja para la cual el docente debe involucrar o aplicar conocimientos provenientes de distintos dominios.

El conocimiento didáctico del contenido (CDC) es un concepto introducido y desarrollado por Shulman (1986, 1987) que refiere al saber que utilizan los profesores en el proceso de enseñanza, que les permite representar y formular el cuerpo de conocimiento de una materia de manera que resulte comprensible para los estudiantes. Una de las manifestaciones más claras del CDC es la manera en que un cuerpo de contenidos es transformado (por el docente) para ser enseñado. Dicho en otras palabras, el CDC es el saber que tiene un docente que le permite colaborar para que un estudiante comprenda un aspecto específico de una materia. El CDC se nutre de fuentes diversas, entre ellas las vivencias del profesor cuando estudiante, las experiencias al frente de la clase y las actividades de perfeccionamiento docente entre otras. El CDC se crece y evoluciona a lo largo de la carrera de un docente (Hlas y Hildebrand, 2010). Además, se ha postulado que el desarrollo de CDC específicos es necesario para la preparación de docentes efectivos (Cochran et al., 1993; Watzke, 2007).

Se ha postulado que el CDC para la enseñanza de las ciencias incluye varios componentes. Entre ellos se encuentran los conocimientos del docente referidos a la forma en la que los estudiantes comprenden tópicos específicos en ciencias y también aquellos conocimientos relacionados a estrategias instruccionales específicas. En ese sentido Magnusson et al. (2002) proponen que parte del CDC en ciencias consiste en el conocimiento de los profesores respecto a los conceptos o tópicos que resultan a los estudiantes difíciles de aprender y/o comprender. Estos autores destacan que algunos conceptos de la ciencia resultan difíciles de aprender por ser muy abstractos o por no tener conexión con las experiencias cotidianas de los estudiantes (por ejemplo: el mol, la síntesis proteica o la mecánica cuántica). Luego sugieren (traducción del texto original en inglés) “*Los profesores necesitan conocer qué tópicos caen en esa categoría y qué aspectos de esos tópicos son los que resultan más difíciles para los estudiantes.*” (pag 105).

Teniendo en consideración la problemática antes planteada, este trabajo investigó las ideas relacionadas con el concepto de *velocidad específica de crecimiento microbiano* ( $\mu$ ) que presentaron estudiantes universitarios de un área muy específica de las ciencias aplicadas como es la Biotecnología, pretendiendo así contribuir al desarrollo de su CDC.

## Análisis de contenido

La cinética de crecimiento es un campo de la microbiología que se dedica a describir la forma en la que crece o aumenta de tamaño una población de microorganismos. El concepto de “velocidad específica de crecimiento” ( $\mu$ ) en microbiología constituye una de las ideas centrales que permiten explicar cuantitativamente el crecimiento de un microorganismo. Sobre este concepto se basa la construcción de otro, también importante, conocido como tiempo de duplicación (td). Estos conceptos toman una relevancia mayúscula en el campo de la biotecnología y la microbiología industrial, en donde la forma y la velocidad con la que los microorganismos crecen están relacionadas con la obtención de bienes y, como consecuencia, una descripción cuantitativa del crecimiento se hace indispensable. Si bien  $\mu$  y td son conceptos diferentes, ambos reflejan la capacidad intrínseca de un microorganismo para crecer en ciertas condiciones. Por otro lado, las unidades en las que se expresa cada una de ellas son similares (*tiempo*<sup>-1</sup> para  $\mu$  y *tiempo* para td) pero conceptualmente diferentes. Estos dos factores, junto con el escaso espacio dedicado a la descripción de este tema que se encuentra en la bibliografía general de microbiología (y que se sugieren frecuentemente durante las carreras del área), hace que el significado del concepto de  $\mu$  no quede claro entre los estudiantes.

Velocidad específica de crecimiento  $\mu = \left(\frac{1}{x}\right) \left(\frac{dx}{dt}\right)$  unidades  $\frac{1}{t}$

Tiempo de duplicación  $td = \frac{\ln 2}{\mu}$  unidades  $t$

Como ejemplo de lo arriba mencionado acerca de los textos que son de uso común en carreras universitarias, puede destacarse que en las obras *Brock Biología de los Microorganismos* (Madigan, Martinko y Parker, 2003) y *Microbiología* (Prescott et al., 2001) no se le atribuye gran relevancia al concepto de  $\mu$  en los capítulos donde se describe el crecimiento microbiano. En ambos textos, la discusión del crecimiento microbiano se centra sobre el tiempo de generación (al que consideran un sinónimo del tiempo de duplicación). En *Brock Biología de los Microorganismos*, sólo se hace un desarrollo matemático del origen de  $\mu$  en un apéndice (A5). En *Microbiología* la descripción matemática del crecimiento microbiano se focaliza en el tiempo de duplicación y en la velocidad media de crecimiento. Esto hace muy probable que los estudiantes que usen este texto como fuente, no descubran este concepto, salvo expresa mención y referencia por parte de los docentes.

En cuanto a la bibliografía más especializada, solamente en *Principles of Microbe and Cell Cultivation* (Pirt, 1972) (sólo sugerida en el último año de la carrera de Bioquímica y escrita en idioma inglés) se hace referencia al significado de  $\mu$ . En este sentido, el autor postula que  $\mu$  representa la velocidad de crecimiento por unidad de biomasa. Adicionalmente plantea una analogía con otro concepto similar pero del campo de las ciencias económicas. Relaciona el concepto de  $\mu$  con el de tasa de interés compuesto y muestra que una  $\mu$  de 0,1 h<sup>-1</sup> es equivalente a una tasa de interés compuesto de 10% por hora. De esta definición se desprende la idea de que  $\mu$  es la “cantidad de biomasa que se genera por unidad de biomasa existente en un período de tiempo determinado”.

## Objetivo

El objetivo de esta propuesta es conocer las dificultades que los estudiantes de la Carrera de Bioquímica con orientación en Biotecnología de la Facultad de Farmacia y Bioquímica, Universidad de Buenos Aires, Argentina, presentan para la comprensión del significado de un parámetro relacionado a la descripción cuantitativa del crecimiento microbiano (la velocidad específica de crecimiento o  $\mu$ ) y plantear estrategias instruccionales específicas que pretenden

contribuir a la construcción del CDC para la enseñanza de un concepto esencial en el área de la biotecnología.

## Metodología

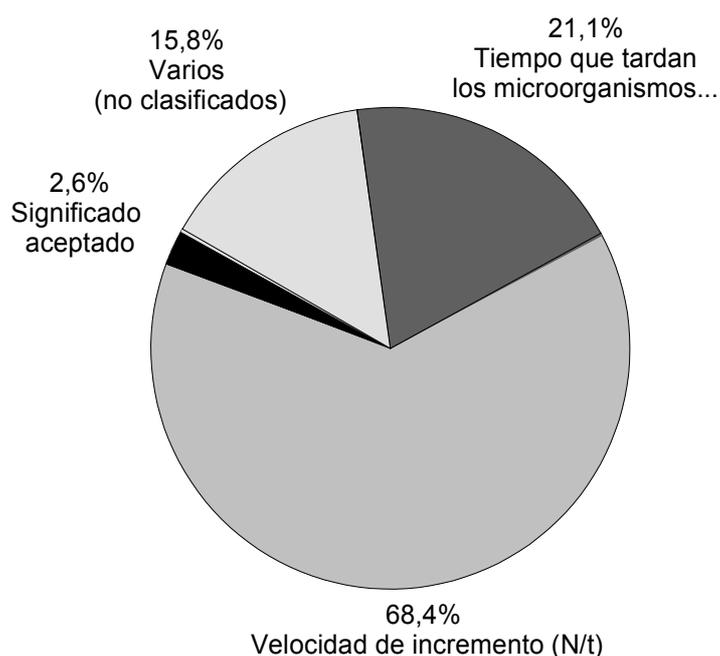
Este trabajo se realizó a partir de la información obtenida de un grupo de estudiantes universitarios ( $n=38$ ) que cursaban la materia Biotecnología I correspondiente al 1er cuatrimestre del ciclo de orientación profesional de la carrera de Bioquímica (orientación Biotecnología) de la Facultad de Farmacia y Bioquímica (Universidad de Buenos Aires, Argentina). La metodología utilizada fue la realización de una pregunta (de índole no evaluativo y que se realizó sin previo aviso durante clase) referida al significado de  $\mu$ . Se solicitó a los estudiantes que, de manera concisa, en un breve lapso de tiempo (10 minutos) y anónimamente, escribieran en un papel cual consideraban ellos que era el significado de  $\mu$  (velocidad específica de crecimiento) referida al crecimiento microbiano, aclarando previamente que no iban a ser evaluados con esta pregunta.

Luego de la recolección de la información se trabajó sobre el significado de  $\mu$  en base a lo propuesto por Pirt (1972), desarrollado más arriba en la sección “Análisis de contenido”. A continuación se desarrolló una explicación de por qué las unidades en las que se expresa  $\mu$  son las de la inversa del tiempo y se relacionó este concepto con otros similares, como la velocidad específica de consumo de sustrato  $q_s$  ( $\text{g}_{\text{sust}} \text{g}_{\text{biomasa}}^{-1} \text{h}^{-1}$ ), la velocidad específica de formación de producto  $q_p$  ( $\text{g}_{\text{prod}} \text{g}_{\text{biomasa}}^{-1} \text{h}^{-1}$ ) o la velocidad específica de consumo de  $\text{O}_2$  ( $\text{moles}_{\text{O}_2} \text{g}_{\text{biomasa}}^{-1} \text{h}^{-1}$ ).

Como tercera fase se planteó una discusión oral referida a la diferencia en los valores de  $\mu$  si se considerara el incremento del número de células o el incremento de la masa de los mismos comparando esta situación con la estimación del incremento de la población humana en la Tierra (considerando individuos o kg de individuos).

## Análisis de los datos

Las respuestas escritas por los estudiantes fueron luego analizadas buscando elementos comunes que permitiesen realizar una clasificación o agrupación de las mismas. Los criterios de agrupación surgieron de las respuestas dadas por los estudiantes, como por ejemplo considerar a  $\mu$  “el tiempo que tarda...”, o incluir en la respuesta la idea de “duplicación”. El resultado de este análisis (figura 1) mostró que solo 1 (2,6%) de los estudiantes refirió al significado correcto de  $\mu$  mientras que el resto respondió con ideas alternativas a esta. En este sentido, 23 estudiantes se refirieron al significado de  $\mu$  como “la velocidad a la que se incrementa la biomasa”, cuando en realidad ésa definición corresponde a una velocidad no específica, que describe el aumento en la masa de microorganismos por unidad de tiempo (por ejemplo con unidades de  $\text{g h}^{-1}$ ). Por otro lado, 8 estudiantes (21,1%) relacionaron el concepto a la idea de “el tiempo que tarda la biomasa...”. Los 6 alumnos restantes (15,8%) refirieron a ideas distintas que no pudieron ser clasificadas. Otra observación relevante surge del hecho de que 11 estudiantes (28,9%) asociaron, de una u otra manera, el significado de  $\mu$  a la duplicación de la biomasa, aunque ésta última no se encuentre relacionada directamente con el concepto de tiempo de duplicación.



**Figura 1.** Resultados obtenidos a partir del análisis de las respuestas escritas por los estudiantes ( $n=38$ ) a la pregunta respecto del significado de  $\mu$  (velocidad específica de crecimiento).

Resulta interesante el hecho de que, si bien existía entre los alumnos la idea de que  $\mu$  es una velocidad o un tiempo, no fuese considerado que las unidades en las que se expresa este parámetro ( $h^{-1}$ ) no corresponden a las utilizadas para describir una velocidad o un periodo de tiempo. Este comportamiento podría explicarse considerando lo postulado por Viennot (1988) respecto a las formas de razonamiento, quien describe la reducción funcional como la tendencia a no tener presentes todas las variables que intervienen en un problema concreto. En ese sentido, Pinto (1996) afirma que la reducción funcional también implica no diferenciar nociones relacionadas. Elementos de ambas afirmaciones hechas por los mencionados autores se encuentran presentes en el caso aquí reportado y podrían jugar un rol importante en la comprensión y el aprendizaje de este concepto, por lo que resulta conveniente que sean consideradas por los docentes.

## Conclusiones

La experiencia descrita anteriormente permite elaborar varias conclusiones y proponer diferentes estrategias.

La variedad de ideas referidas al significado de  $\mu$  evidenciadas en este análisis sugiere distintos orígenes posibles. El enfoque alternativo de la descripción del crecimiento microbiano basado en el tiempo de generación, contenido en los principales libros de consulta, así como también en materias previas en el currículo, parece ser una de las principales causas para esta falta de claridad respecto al concepto de  $\mu$  como descriptor del crecimiento microbiano. Las unidades (poco intuitivas) en las que se expresa este parámetro, y la tendencia a la reducción funcional arriba mencionada son elementos que, combinados contribuyen a que los estudiantes no presenten concepciones adecuadas respecto al significado de  $\mu$ .

Es importante considerar que el conocimiento de las concepciones que los estudiantes tienen respecto a una idea o concepto, puede ayudar a los docentes a diseñar acciones que permitan organizar y optimizar el proceso de enseñanza-aprendizaje, enriqueciendo así su conocimiento didáctico del contenido.

Por un lado aparece como obvio que el significado de  $\mu$  debe retomarse y reforzarse al inicio del curso de Biotecnología I, ya que a lo largo del mismo, éste concepto es fundamental para la construcción del conocimiento relacionado con procesos más complejos que requieren una descripción cuantitativa del crecimiento microbiano, como son los procesos de cultivo en lote, lote alimentado y continuo.

### ¿Qué se puede hacer?

- Generar un conflicto cognitivo en los estudiantes

Exponer a los estudiantes a la situación de descubrir que no conocen el significado correcto de un concepto que creían conocer aparece como una muy buena estrategia inicial. Este conflicto desencadena un desequilibrio en la estructura cognitiva del estudiante que lleva a la búsqueda de un nuevo equilibrio, resultando en la construcción de un conocimiento enriquecedor. En este sentido, la realización de la encuesta puede funcionar como generador del conflicto. El posterior desarrollo del concepto y significado de  $\mu$  por parte del profesor, haciendo hincapié en las ideas previas que los estudiantes tienen (volcadas durante la encuesta), parece ser una estrategia didáctica interesante para trabajar sobre el concepto de  $\mu$ .

- Poner énfasis en lo que NO es  $\mu$

Una observación relevante que surgió del análisis de los resultados es el hecho de que un porcentaje elevado de los estudiantes relacionó  $\mu$  con “el tiempo que tarda la biomasa o el microorganismo en...”. Por esta razón, es importante reforzar la idea que, si bien  $\mu$  se expresa con unidades de inversa del tiempo,  $\mu$  no es “el tiempo que...”. La velocidad específica de crecimiento NO es un tiempo ni refleja un tiempo, sino una fracción de biomasa producida a partir de una unidad de biomasa preexistente en una unidad de tiempo.

También se observó la asociación de  $\mu$  a la idea de “duplicación de biomasa”. Si bien ésta es utilizada para describir el crecimiento microbiano, NO tiene relación directa con el parámetro aquí estudiado.

- Hacer hincapié en lo que SI es  $\mu$

Como se mencionó anteriormente, muchos estudiantes refirieron a  $\mu$  como “la velocidad con que se incrementa la biomasa”, sin considerar la idea que se trata de una velocidad específica. Por ello, durante el desarrollo del significado de  $\mu$  es importante trabajar el concepto acerca del carácter “específico” de éste parámetro, resaltando que está referido a una unidad de biomasa y haciendo hincapié en que ésa es su característica distintiva y el origen de las unidades en la que se expresa. La comparación de  $\mu$  con otras velocidades específicas (de consumo de sustrato, de formación de producto, de consumo de oxígeno) resulta muy útil ya que, por un lado, comparten la característica de ser velocidades específicas, y por el otro, se expresan en unidades que, por su naturaleza, son más claras y de comprensión más intuitiva que las de  $\mu$ .

Es importante considerar que, según postuló Driver y Bell (1993), “los alumnos se rigen por criterios pragmáticos..... Los criterios de utilidad dominan sobre los de generalizabilidad”. En este sentido, para los estudiantes, conocer un concepto resulta a veces suficiente para seguir adelante, aún sin comprenderlo profundamente. Esta “utilidad” puede tornarse una dificultad adicional para profundizar la comprensión de un concepto específico y debe ser tomada en cuenta por el docente cuando planifica su clase. Es por ello que, el desarrollo de estrategias didácticas específicas puede facilitar el proceso de enseñanza-aprendizaje en Biotecnología y en otras materias relacionadas, sobre todo en estadios avanzados de los estudios universitarios.

Esta contribución pretende desarrollar alguna de las particularidades disciplinares para la enseñanza de la biotecnología y para el desarrollo de su CDC específico, fundamentalmente evidenciando dificultades concretas para la comprensión de conceptos y proponiendo estrategias instruccionales que permitan resolver las mismas.

Lo presentado resulta relevante, ya que es una muestra de la importancia de que los docentes reflexionen sobre su práctica (aún en campos tan específicos y aplicados como la biotecnología) y comprendan que investigar este tipo de problemáticas permitirá desarrollar su CDC y así utilizar la información disponible para convertirla en herramientas útiles para el diseño de actividades de aprendizaje más eficaces. En este sentido, Shulman (1986) postula que el CDC involucra también “la comprensión de lo que hace fácil o difícil el aprendizaje de un tema concreto: las concepciones e ideas previas que los estudiantes de diferentes edades traen al aprendizaje”. Resultan muy motivadoras para este tipo de investigación las palabras de Acevedo (2009), quien afirma que “los profesores que tienen éxito en la enseñanza del contenido de un tema específico probablemente han conseguido desarrollar un CDC adecuado del mismo”. Si bien la idea de profesor exitoso es, al menos controvertida, parece claro que una profunda comprensión del tema (contenidos) así como el camino didáctico necesario para su enseñanza, son elementos cruciales que pueden desarrollarse y profundizarse para una buena práctica docente, aún en campos tan específicos y aplicados como lo es la Biotecnología.

### Agradecimientos

Los autores agradecen la colaboración del equipo de la Asesoría Pedagógica de la Facultad de Farmacia y Bioquímica de la Universidad de Buenos Aires por su permanente orientación y guía, especialmente a las Licenciadas Gabriela Hara, Ianina Agustowsky y Maria Paz Florio.

### Referencias

- Acevedo-Diaz, J.A. (2009). Conocimiento didáctico del contenido para la enseñanza de la naturaleza de la ciencia (i): el marco teórico. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de la Ciencia*, 6(1), 21-46.
- Cohchran, K.F.; DeRuiter, J.A. y King, R.A. (1993) Pedagogical Content Knowledge: An integrative model for teacher preparation. *Journal of Teacher Education*, 44(4), 263-271.
- Driver, R. y Bell, B. (1986). Students' thinking and the learning of science: a constructivist view. *School Science Review*, 67, 443-456.
- Hlas, A. y Hildebrandt, S. (2010) Demonstrations of pedagogical content knowledge: Spanish Liberal Arts and Spanish Education majors' writing. *L2 Journal*, (2), 1-22.
- Leinhardt, G. y Greeno, J. (1986). The Cognitive Skill of Teaching. *Journal of Educational Psychology*, 78(2), 75-95.
- Madigan, M.T.; Martinko, J.M. y Parker J. (2003) *Brock, Biología de los Microorganismos*. Madrid: Pearson Prentice Hall. 10ma ed.
- Driver, R.; Squires, A.; Rushworth, P. y Wood-Robinson, V. (1993). *Making sense of secondary science*. New York, Routledge Ed.
- Magnusson, S.; Krajcik J y Borko H. (2002) Nature, sources and development of pedagogical content knowledge for science teaching. En Gless-Newsome J. y N. Lederman (Ed) *Examining Pedagogical Content Knowledge*. New York. Kluwer Academic Publishers.

- Pintó, R. (1991). Algunos conceptos implícitos en la primera y segunda leyes de la termodinámica. Capítulo 7. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona.
- Pirt, J. (1972). *Principles of Microbe and Cell Cultivation*. London. Blackwell Scientific Publications.
- Pozo, J.I. y Gomez- Crespo, M.A. (2006) *Enseñar y aprender ciencias*. Madrid. Ed Morata.
- Prescott, L.M.; Harley J.P. y Klein D.A. (2001) *Microbiology*. Mac Graw- Hill / Interamericana de España SA:. 5ta edición.
- Resnick, L. B.(1987). *Education and learning to think*, Washington, D.C., National Academy Press.
- Shulman, L. S. (1986). Those who understand: knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4-14.
- Shulman, L. S. (1987). Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. *Harvard Educational Review*, 57(1), 1-22.
- Viennot, L. (1988). Tendence a la réduction fonctionelle: obstacle au savoir scientifique et object de consensus, en *Construction des savoirs, obstacles et conflits*, Montréal: CIRADE, Agence d'Arc inc. 84-91.
- Watzke, J.L. (2007). Foreign language pedagogical knowledge: Towards a development theory of beginning teaching practices. *The modern language journal*, 91 (1), 63-82.
- Wilson, S. M.; Shulman, L. S. y Richert, E. R. (1988). '150 different ways' of knowing: Representations of knowledge in teaching, En J. Calderhead (ed.). *Exploring Teachers' Thinking*, New York, Taylor and Francis.