

REFERENTES DE LA BIOTECNOLOGÍA PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS NATURALES¹

Por: Robinson Roa Acosta²

Resumen

Este artículo presenta algunas de las características que subyacen a la Biotecnología como campo de conocimiento científico, al igual que analiza las implicaciones que tiene para la enseñanza de las ciencias naturales, y la necesidad de que el profesor esté actualizado para que pueda llevar este conocimiento al aula de clase de manera didáctica, conociendo su naturaleza e interconexiones económicas, políticas y ambientales desde un enfoque sistémico, complejo y crítico.

Palabras clave: Enseñanza, Biotecnología, profesor, ciencias naturales.

Abstract

This article presents some characteristics that underlie biotechnology as a field of scientific knowledge, as well as it analyzes the implications that it has for natural sciences teaching, and the need that the teacher has to be up-to-dated so that he can bring this knowledge to the classroom in a didactic way, knowing its nature and economic, political and environmental interconnections from a systemic, complex and critical approach.

Key words: teaching, Biotechnology, teacher, life sciences.

Introducción

A la dinámica social actual concurren diversas investigaciones de diferente naturaleza así como propuestas que tienen diferente alcance e impacto, algunas acelerando los procesos de desarrollo dependiendo el contexto y su manera de pensar la política, economía, cultura, tecnología y sociedad. Es una constante que el ritmo de desarrollo de la investigación en educación, por parte de los profesores, y su respectiva implementación en las aulas de clase, se encuentre de manera

¹ Este escrito representa una parte del avance de tesis doctoral, correspondiente al grupo de investigación Conocimiento Profesional del Profesor de Ciencias. Universidad Pedagógica Nacional de Colombia.

² Profesor, Secretaría de Educación de Bogotá. Profesor investigador, Departamento de Biología. Departamento de Postgrado en Educación. Estudiante del Doctorado Interinstitucional en Educación en Ciencias. Universidad Pedagógica Nacional de Colombia. Universidad Francisco José de Caldas. Universidad del Valle. robinsonroa@hotmail.com, rroa@pedagogica.edu.co

muy distante del desarrollo del conocimiento científico, por lo cual la enseñanza y aprendizaje, por lo menos de las ciencias, tiende a rezagarse dejando a los estudiantes sin los contenidos de conocimientos que contienen variados matices de complejidad e implicaciones en la vida de la humanidad.

Son múltiples e interrelacionados los conocimientos sobre los cuales los profesores deben poner más atención para poderlos secuenciar, organizar y estructurar, de acuerdo con la epistemología e historia que les subyace y al contexto al cual va dirigido, haciendo de esta manera que los contenidos a enseñar tengan un claro proceso de trabajo didáctico que permita aprendizajes más cercanos al estudiante, desarrollados con referentes sobre su naturaleza y actividad científica.

Algunos de los contenidos de conocimiento que cada vez adquieren y requieren mayor atención tanto para investigarlos como para llevarlos al aula de clase podrían ser: contaminación ambiental, tratamiento de enfermedades, políticas de investigación espacial, producción de medicamentos y alimentos, aplicación e implicación de productos y servicios biotecnológicos. Para efectos de este escrito solo se tendrá en cuenta el caso particular de la Biotecnología y el nivel de desarrollo del conocimiento didáctico de su contenido, sin negar la articulación que ésta tiene con los otros tipos de contenidos.

Esto tiene sentido, dado que con el aumento del conocimiento biotecnológico se ésta generado una transición en la maneras de concebir la vida y lo vivo, al igual que una gama de posturas que van desde los que apoyan hasta los que rechazan la Biotecnología. Por lo tanto, es importante establecer una aproximación de análisis en cuanto a su estructura, origen, didáctica, observando cuidadosamente su alcance no solo en lo social sino también en su contenido, identificando lo que se ha propuesto hasta el momento en cuanto a qué, cómo, para qué, y por qué enseñarla en el aula de clase.

Al respecto se encuentran investigaciones y propuestas de llevar la enseñanza de la Biotecnología al aula de clase desde preescolar, pasando por la educación básica y media hasta la formación de profesores de Biología, sin embargo, estas aún se encuentran en estado embrionario, de manera fragmentada y difusa, por lo que es necesario identificar los aspectos que desde la didáctica de las ciencias se han desarrollado, para así proponer elementos que conduzcan a la concreción del conocimiento didáctico del contenido biotecnológico.

Algunos aspectos para el análisis de la implementación de la Biotecnología en la educación

Para empezar vale la pena ofrecer una visión general de algunos aspectos que pueden ayudar a comprender mejor la importancia y características de la Biotecnología, las cuales serán desarrolladas a lo largo del análisis del tema.

Como dato temporal y un poco cuantitativo, no obstante que la Biotecnología ha tenido un fuerte desarrollo científico a partir de la construcción del modelo del ADN desde mediados del siglo XX,

sin desconocer que las técnicas artesanales vienen desde el hombre primitivo, las publicaciones sobre la necesidad de llevar la Biotecnología al aula de clase y de estudiar su incorporación al currículo, se encuentran desde la década de los ochenta del mismo siglo, haciéndose cada vez más notorio el número de publicaciones en la primera década del siglo XXI.³

Roa y Valbuena (2009) señalan que pese al gran volumen de información y de hechos sobre las aplicaciones biotecnológicas, es posible que no haya la suficiente ilustración y comprensión en la sociedad de las aplicaciones e implicaciones de dichos desarrollos, tanto por parte de la ciudadanía, como de estudiantes y profesores. Se puede también anotar que, como se presentará más adelante, se pueden generar concepciones sobre la naturaleza de dicho conocimiento que podrían estar distorsionando la manera como se ha construido, así como su estructura y función.

Para Mueller, *et al.* (2009) la Biotecnología y la genómica son ejemplos relevantes y de vanguardia, temas de actualidad para el aprendizaje de los estudiantes del siglo XXI. Señalan que estos temas resultan ser desafiantes para los profesores en la planeación de las clases y en la enseñanza, así como en el aprendizaje de los estudiantes, debido a que requiere un enfoque más analítico, no obstante, que los temas son muy llamativos para ellos.

Roa (2009)⁴, recoge algunos elementos generales sobre la dinámica que se puede vislumbrar en la Biotecnología y su educación:

Elevado desarrollo de investigaciones en Biotecnología, muy pocas relacionadas con la enseñanza, aprendizaje, formación de profesores, historia o epistemología.

Utilización y divulgación social de su conocimiento, a través de medios de comunicación (radio, televisión, internet), como fuente para informar sobre control de plagas –con organismos modificados genéticamente-, mejoramiento de productos alimenticios, solución o tratamiento de patologías humanas, entre otras cosas. Ante esto, es de esperar que la manera de concebir y entender lo vivo, y las posibilidades de interactuar con él y con la vida, cambien al variar su dinámica natural.

Dilema bioético, bondades, daños o efectos que la transformación artificial tiene para los ecosistemas y la humanidad.

- Los seres vivos a diferencia de los inertes tienen propiedades muy particulares: adaptación a diferentes ambientes, evolución, reproducción, capacidad de autopoiesis y autorregulación, entre otras cosas, lo cual encierra en su conjunto elementos que ponen en evidencia su complejidad y por ende, la dificultad que representa para la enseñanza, aprendizaje y comprensión de su conocimiento.
- Se encuentra que la Biotecnología es referenciada de manera indistinta como ciencia, disciplina, interdisciplinar, multidisciplinar o simplemente como campo de conocimiento, esto indica un problema epistemológico.
- Carencia de formación de los profesores en Biotecnología y su didáctica.

Los contenidos biotecnológicos a desarrollar en las clases de ciencias naturales

El acercamiento hasta el momento realizado a las publicaciones internacionales, permite conocer las potencialidades y relevancia de la Biotecnología para la enseñanza y naturaleza de las ciencias, propuestas de contenidos, metodologías y actualización de los programas de formación inicial y permanente de profesores de Biología. Igualmente puede evidenciarse que los procesos de corte biotecnológico llegan al aula mediante diferentes mecanismos y bajo diversos objetivos, que van desde los formativos en el plano conceptual, su utilización para el desarrollo de habilidades y destrezas que buscan aportar desde lo referente a competencias laborales hasta su inclusión en propuestas didácticas que pretenden contribuir a mejorar las actitudes frente a la ciencia y su aprendizaje, y a la formación de de ciudadanos y ciudadanas con apropiación social de la ciencia, o alfabetización científica y tecnológica, que promueva la discusión, reflexión y crítica frente a procesos biotecnológicos.

Quizá uno de los aspectos que más se mencionan ante la necesidad de enseñar la Biotecnología están relacionados con su gran cantidad de aplicaciones e implicaciones éticas y políticas, el consumo de productos biotecnológicos (de manera “irreflexiva” por parte de la gran masa de la sociedad) e identificación humana (por muerte, demandas de paternidad, acceso carnal, etc.), lo cual significa que todos estos elementos, en la práctica, se acercan a los sujetos como productos de la ciencia y la tecnología en los que está implicado lo vivo y su manipulación, asunto que tiene consigo implicaciones éticas. Así, para la enseñanza de las ciencias representa un reto y una oportunidad abordar los conceptos y procedimientos científicos implicados en los procesos biotecnológicos.

García y Roa, (2009), señalan que para vincular la Biotecnología en el plano educativo deben tenerse en cuenta, aspectos como las concepciones del docente respecto a la ciencia, selección de estrategias didácticas para su inclusión y análisis del contenido, que es el docente como actor principal, a quien corresponde poner en escena la Biotecnología en educación básica y media, dependiendo de la concepción del docente respecto a esta interdisciplina.

Respecto a los contenidos, es inminente la necesidad de concretar cuáles y cómo se desarrollarían, bajo qué concepciones epistemológicas, nivel académico de formación del profesor, objetivos didácticos, contextuales, y diferentes tipos de intereses (políticos, de consumos, posiciones críticas ambientalista, conservacionistas, investigativas, formación de profesores, actualización, etc.).

La Unesco (1990), señala que los contenidos en Biotecnología deberán contemplar una visión general, su historia, principios y aplicaciones, implicaciones sociales y consideraciones para su implementación. Como contenidos específicos para enseñar en las clases de ciencias, en especial de Biología, propone temas sobre Genética Humana, fermentación, inmunología práctica, Biotecnología vegetal.

En cuanto a esto, investigaciones y propuestas de actividades escolares con contenidos específicos han arrojado resultados que permiten ir construyendo elementos de análisis sobre cómo podría

pensarse llevar la Biotecnología a las clases. Así por ejemplo, Melo, *et al.* (2005) proponen una unidad didáctica relacionada con la “Obtención Biológica de Nitrógeno” la cual ha aportado una nueva perspectiva de trabajo académico para la incorporación de la Biotecnología en la educación media.

Valbuena (1998), esclarece que a partir de actividades prácticas en el laboratorio, bajo la técnica de cultivo de tejidos vegetales *in vitro*, y formulación de proyectos de los estudiantes, obtuvo los siguientes resultados: problematización conceptual; establecimiento de jerarquías e interrelaciones entre conceptos biológicos; entender el manejo de variables y condiciones experimentales; sistematización, reflexión, análisis contextual y conceptual; adquisición de destrezas en el manejo de material de laboratorio; proposición de proyectos; desarrollo de un lenguaje técnico y en cierta medida próximo al científico sobre la aplicación biotecnológica; valoración del trabajo escolar y recurso genético, así como para la conservación de la diversidad; mejoramiento del clima escolar; fortalecimiento de actitudes para la discusión, disciplina de trabajo y posturas éticas; manifestación de expresiones artísticas a través del dibujo o a la contemplación de lo estético, de lo vivo.

Por su parte, Bolaños, *et al.* (2003), con el fin de mejorar el trabajo académico, ha desarrollado unidades didácticas de Biotecnología con el modelo de enseñanza aprendizaje como investigación, propuesta por Gil (1993), mediante la elaboración y aplicación de programas guía de actividades, buscando generar cambios conceptuales, procedimentales, metodológicos y actitudinales en los estudiantes. En este sentido, Pulido, *et al.* (2006:144), agrega que “...la implementación de la unidad didáctica con el método de enseñanza-aprendizaje como investigación presentó resultados favorables que podrían ser de alternativa para superar algunas concepciones equivocadas sobre el trabajo científico: visión empírica y atórica; rígida (algorítmica); aproblemática y ahistórica; exclusivamente analítica; acumulativa; lineal; del sentido común; elitista; individualista y socialmente neutra, que se transmite implícita o explícitamente por la enseñanza tradicional Gil (1993).”

Melo, *et al.* (2005), resaltan que las unidades didácticas en Biotecnología deben hacer parte del currículo, organizadas alrededor de una idea central de un tema, enfatizando la naturaleza integrada de las disciplinas. La elaboración de estas unidades le da al profesor la oportunidad de tomar decisiones importantes sobre el currículo, aprendizaje y el proceso de enseñanza, desarrollando las temáticas a través de eventos manejables, interesantes y de gran significado para los estudiantes, con la metodología de investigación es posible establecer la presencia de determinadas actividades y la ubicación de las mismas en un contexto, respondiendo a la finalidad y sentido didáctico, que debe organizarse no en una secuencia lineal, sino mediante el uso de diferentes estrategias que muestren los conceptos, destrezas, etc.

En cuanto a esto, Roa y Urbina (2005), proponen que al introducir la Biotecnología en la educación básica y media a través de pequeñas investigaciones escolares realizadas por los estudiantes, éstas deben responder a sus intereses, con el fin de fortalecer, formar o desarrollar

actitudes científicas como la curiosidad, creatividad, disciplina de trabajo, análisis de resultados, formulación de problemas, flexibilidad, así como también, generar un pensamiento sistémico, complejo y creativo. Al respecto, Simonneaux (2000), propone el trabajo de actividades mediante juegos de roles y debates estructurados sobre distintas temáticas relacionadas con la Biotecnología. El fin fundamental de las estrategias didácticas puestas en práctica es abrir la escuela más allá del aprendizaje de conocimientos. Los saberes se socializan, se contextualizan, los desafíos que se plantean se debaten: se trata de un aprendizaje social.

Aznar (2000), justifica que ante la poca familiaridad demostrada por los alumnos con respecto a los conceptos referidos a la genética, no resulta extraño que no comprendan los diferentes procesos y aplicaciones de la Biotecnología, y que tengan como fuente de información primaria y fiable los reportajes y documentales televisivos, lo que conduce a sugerir la necesidad de materiales curriculares que permitan a los estudiantes desarrollar tanto una mejor comprensión de la genética básica, como la capacidad para evaluar las tecnologías genéticas de forma útil. Castellanos, *et al.* (1996), enfatiza que el programa de Biotecnología en los diferentes niveles de educación deberá ser consistente en sus planteamientos y contenidos y a la vez flexible para dar la posibilidad de adaptarse ágilmente a nuevas circunstancias, dada la velocidad con la cual evoluciona.

Desde los trabajos de investigación y propuestas realizadas, y en algunos casos desarrolladas sobre la implementación de la contenidos biotecnológicos; se pueden encontrar varios niveles para referirse a su enseñanza: desde las ciencias (Física, Química, Biología) o desde el enfoque CTS, aunque, como señalan Grevechova, *et al.* (1995) y Valbuena (1998), en algunos casos se hace énfasis, casi exclusivamente al ambiente y la conservación de los recursos naturales

Jiménez (2000) pone de relieve que desde hace tiempo se viene definiendo la alfabetización científica como, por una parte, desarrollar en nuestros alumnos y alumnas la capacidad de manejar los conceptos implicados en las noticias de carácter científico y por otra, favorecer el desarrollo del pensamiento crítico, de la capacidad de formar sus propias opiniones sobre las cuestiones científicas de actualidad. Sin embargo esta tarea no resulta fácil cuando nos enfrentamos a cuestiones tan complejas como la Biotecnología, en la que es necesario, por una, parte disponer de información actualizada sobre los conocimientos científicos implicados y por otra, contar con una serie de datos sobre los beneficios que se pueden derivar de ella así como los riesgos que entrañan su utilización.

No obstante, Roa, *et al.* (2008), resaltan otros aspectos tales como que, según el nivel de claridad sobre el funcionamiento y función de los seres vivos, es posible que los ciudadanos y ciudadanas puedan tomar decisiones de fondo en relación con el uso responsable de productos y aplicaciones biotecnológicas. Ante las características que reviste la Biotecnología, por los adelantos científico-tecnológicos de final del siglo XX e inicio del XXI, queda la pregunta sobre ¿cuál es la imagen que se está formando sobre ésta a través de los diferentes medios de comunicación?, al igual que conocer ¿cuál es la educación en ciencias que se está ofreciendo a los presentes y futuros

ciudadanos?, que redundan en el conocimiento social de las técnicas, aplicaciones, implicaciones y posturas críticas sobre tales adelantos, a partir del conocimiento formal de investigación y epistemología que le subyace.

Así pues, parece que la Biotecnología tiene ciertas características muy particulares que la tornan llamativa para afianzar las relaciones CTS, así como posibilitar el acercamiento a la naturaleza de las ciencias y fortalecer las actitudes hacia la ciencia y su aprendizaje.

En relación con lo hasta ahora planteado, como es de esperarse, los pronunciamientos sobre qué tanto los profesores están preparados para asumir la enseñanza de la Biotecnología han empezado a aparecer, dado que son uno de los actores más importantes para transformar el conocimiento científico en un conocimiento enseñable³ que corresponda a su naturaleza, historia y epistemología, y que permita la formación de conocimientos de manera sistémica, compleja, contextualizada y didáctica. El profesor como representante de un campo de conocimiento y su didáctica, debe conocer, entender y comprender de primera mano ¿cuál conocimiento que enseña?, ¿cuándo enseñarlo?, ¿a quiénes enseñarlo? ¿a dónde enseñarlo y a partir de dónde?, ¿para qué y por qué enseñarlo?, ¿cómo evaluarlo?.

Al referente, Valbuena (1998) señala que ante el desarrollo de la Biotecnología es de esperar que la mayoría de profesores de Ciencias Naturales y Educación Ambiental en ejercicio no conozcan los avances conceptuales y aplicaciones en Biotecnología. Jiménez (2000), agrega que la Biotecnología es un campo en pleno desarrollo, un campo que no existía o estaba iniciándose cuando buena parte del profesorado de ciencias finalizó su formación académica. Para Parra y Reguero (2000), un programa piloto de capacitación a nivel nacional sobre Biotecnología debe involucrar a profesores y estudiantes con el fin de aplicar este conocimiento al área de las ciencias, lo cual incidirá en la orientación de los futuros profesionales.

Estos planteamientos indican que es evidente tener presente el conocimiento biotecnológico y didáctico, desde una mirada sinérgica y no yuxtapuesta, en la cualificación permanente de los profesores de ciencias en ejercicio al igual que de los futuros, muy en particular de la ciencia biológica.

A manera de conclusión

En este orden de ideas, la educación en ciencias, por lo menos las biológicas, cumple un papel fundamental en la enseñanza y comprensión de fondo de la transformación natural y artificial de los seres vivos; el aprendizaje del conocimiento escolar biológico como elemento fundamental para transformar el conocimiento superficial de las personas sobre la realidad de lo vivo debe ir al unísono con el desarrollo del conocimiento biológico y biotecnológico. Esto exige al profesor de

³ Esto entendido desde los planteamientos desarrollados por Chevallard (1997) que hacen referencia a la transposición didáctica. Del saber sabio al saber enseñando.

Biología una mayor preparación –profesionalización–, no solo en lo que respecta a su conocimiento disciplinar sino también en la manera en que el contenido biológico y biotecnológico y su conocimiento didáctico se integran para favorecer, no solamente el aprendizaje y comprensión, sino también una valoración y actitud crítica propositiva ante los adelantos científicos (Roa, 2009).

Es importante resaltar la necesidad de tener unas políticas claras sobre la apropiación social de la Biotecnología no solo para el consumo, sino también para ser incluida en la formación en todo nivel (educación básica, media y superior, especialmente en la formación del profesor de Biología) (Roa, *et al.* 2008), introduciéndola en los programas y contenidos, enfocados en concretar un conocimiento para el desarrollo de nuevas iniciativas para la investigación, el desarrollo de habilidades para el manejo de asuntos científicos y tecnológicos, que finalmente conduzcan a visualizar la Biotecnología, no como un factor más de separación entre el mundo desarrollado y el mundo en vía de desarrollo (Grevechova, *et al.* 1995), sino como una oportunidad de mejorar la calidad de vida y entender mejor el mundo desde posturas críticas, formales y contextualizadas.

La Biotecnología hasta el momento ha tenido, y muy seguramente seguirá haciendo sustanciales aportes y transformaciones a la sociedad, en aspectos como la agricultura, medicina, economía y ecosistemas, lo cual supone que la manera de percibir lo vivo está cambiando; en esto la educación en ciencias, tanto naturales como sociales, debe contemplar y analizar, dado el impacto que representa para las sociedades del mundo, la complejidad de la Biotecnología y el problema que le subyace para la concepción y elaboración de los contenidos didácticos de enseñanza, que deberán aproximarse a la dinámica en la construcción de éste conocimiento, de tal manera que le permita al presente y futuro ciudadano, conocer, comprender y tomar decisiones de fondo y no de forma como comúnmente ocurre en las sociedades que desconocen las técnicas y procedimientos que subyacen a los productos, servicios e investigaciones científicas.

Consecuentemente, en relación con las características del conocimiento biotecnológico es de fundamental importancia que los profesores en ejercicio encargados de su enseñanza tengan formación actualizada sobre el conocimiento biotecnológico, ¿cuál es su origen?, ¿cómo se estructura? y ¿cómo se organiza e investiga?, aplicaciones e implicaciones para lo vivo y para la vida humana y así tener los elementos conceptuales suficientes para diseñar y desarrollar el contenido didáctico biotecnológico. Esto es igualmente relevante de incluir en los programas de los futuros profesores de ciencias, especialmente de Biología. Así, para la educación en ciencias representa un reto y una oportunidad para abordar la enseñanza de conceptos científicos implicados en los procesos biotecnológicos.

Aunque en Colombia todavía no existe una política clara sobre la introducción de la Biotecnología al currículo por lo menos en la educación básica y media, como si la hay en la mayoría de los países de la Unión Europea, representada a través de la Iniciativa Europea para la Enseñanza de la Biotecnología (E.I.B.E.), se deben empezar a ampliar las investigaciones al referente que oriente la manera más promisoría de llevar el conocimiento biotecnológico a las clases, para que

favorezca la toma de decisiones de fondo y no de forma, es decir, conociendo y haciendo uso del significado de lo vivo y su transformación, ya no solo natural por la evolución biológica, sino también por las transformaciones artificiales, haciendo uso de la Biología celular, molecular, cromosómica y la genética, como mínimo, para no caer en las decisiones superficiales o de forma. Esto trae consigo el desarrollo de otro elemento importante y es la posibilidad de incrementar el talento humano para la investigación y producción de productos biotecnológicos, siendo ya no solamente consumidores netamente pasivos sino proactivos.

Por último, se resalta la necesidad de ver la educación en Biotecnología como un problema didáctico que debe ser investigado desde su propio conocimiento, técnicas y procedimientos y no solamente como una temática para desarrollar sin tener en cuenta la complejidad que le subyace. El conocimiento biotecnológico se caracteriza como problema específico de investigación en la didáctica de las ciencias naturales, por los alcances económicos, políticos, ambientales y bióticos, al igual que por el entramado de conceptos de diferente complejidad que lo estructuran y dan cuenta de un conocimiento sobre la naturaleza de lo vivo.

Es fundamental abrir el terreno de la educación en ciencias al respecto de la Biotecnología y analizar las posibilidades del hombre para transformar lo vivo y la vida según sus intereses, que se vislumbran no tanto altruistas con las demás especies, ni tampoco pensando tanto en su misma especie, sino más bien en el capitalismo. De ahí que deba ser estudiada su enseñanza y aprendizaje en profundidad, interpretando sus alcances desde la escuela, en y para la sociedad, al igual que para la naturaleza.

BIBLIOGRAFÍA

Aznar, V. (2000). 'Qué conocemos sobre la Biotecnología?'. *Alambique Didáctica de la Ciencias Experimentales*. N 25, Julio, 9-14.

Bolaños, P; Pulido, M; García y Roa, R. (2003). Investigaciones escolares de Biotecnología en educación media, una forma de integrar ciencia, tecnología y sociedad. *Revista Tecne, Episteme y Didaxis*. Universidad Pedagógica Nacional, Número extra. pp 189-191.

Castellanos, O; Salcedo, L y Grevechova, R. (1996). Importancia del factor educacional en el desarrollo sostenido de la Biotecnología. *Revista Estudios en Pedagogía*, 9 (2), Julio – Septiembre, 50-65.

Chevallard, Y. (1997). *La transposición didáctica. Del Saber Sabio al Saber Enseñado*. AIQUE, Buenos Aires.

García y Roa, R; (2009). Desarrollo de investigaciones en la enseñanza de la Biotecnología. Una revisión. *Memorias Primer Congreso Nacional de Investigación en Educación en Ciencias y Tecnología*. Asociación Colombiana para la Investigación en Ciencia y Tecnología, Bogotá.

Gil, D. (1993). Contribuciones de la historia y de la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. *Enseñanza de las Ciencias*. 11 (2), 197-212.

Grevechova, R; Salcedo, L y Cárdenas, F. (1995). Biotecnología y educación básica. *Actualidad Educativa*, 2 (7), Mayo - Junio, 35-40.

Jiménez, M. (2000). Nuevas técnicas biológicas, antiguas explicaciones. *Alambique Didáctica de las Ciencias Experimentales*. N 25, Julio. 5 – 8.

Melo, C; García, y; Roa R; Valbuena, E; Jiménez, H; Barreto, C y Chavarro, C. (2005). Implementación de una unidad didáctica: Bacterias fijadoras de nitrógeno para la enseñanza /aprendizaje de la Biotecnología en la educación media. *Revista Tecne, Episteme y Didaxis*. Universidad Pedagógica Nacional, Número extra. pp 187-188.

Mueller, A; Knobloch, N y Orvis, K. (2009). The Effects of an Active-Learning Biotechnology and Genomics Unit on High School Students' Knowledge, Motivation and Learning Experiences. *American Association for Agricultural Education Research Conference Proceedings May 20-22*, pp 272-287.

Parra, C y Reguero, M. (2000). Algunas experiencias de la introducción de la Biotecnología en la educación básica y media. *Revista de Educación en Ciencias*, 1 (1), 13-16.

Pulido, M; Roa R; García, Y; Bolaño, P; Valbuena, E; López, S y Chavarro, C. (2006). Investigaciones escolares en Biotecnología una estrategia que involucra situaciones problemáticas. En Vasco, C. (Editor). *Ciencias, racionalidades y medio ambiente*. Editorial Pontificia Universidad Javeriana. pp 139-145.

Roa, R y Urbina, J. (2005). Reflexión en torno a la introducción de la Biotecnología en la educación media y básica. *Revista Tecne, Episteme y Didaxis*. Universidad Pedagógica Nacional, Número extra. pp 192-193.

Roa, R (2009). Conocimiento profesional del profesor de Biología en formación inicial sobre el conocimiento didáctico del contenido disciplinar y biotecnológico. Documento de trabajo de investigación en doctorado.

Roa, R; García, y Chavarro, C. (2008). Formación de profesores de Biología a través de la Biotecnología. *Revista Educación y Educadores*. Universidad de la Sabana. Vol 11, No 2. pp 69-88.

Roa, R y Valbuena, É. (2009). Hacia la estructuración de la educación en Biotecnología como problema didáctico de investigación. *Memorias Primer Congreso Nacional de Investigación en Educación en Ciencias y Tecnología*. Asociación Colombiana para la Investigación en Ciencia y Tecnología, Bogotá.

Simonneaux, L. (2000). Cómo favorecer la argumentación sobre la Biotecnología entre el alumnado. *Alambique Didáctica de las Ciencias Experimentales*. N 25, Julio, 27 – 44.

Unesco (1990). *Teaching Biotechnology in School*. Science and Technology Education. Document Series N°. 39.

Valbuena, É. (1998). Contribución al desarrollo de la Biotecnología desde la educación en los niveles de la básica y media. *Revista de la Facultad de Ciencia y Tecnología*, (4). Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá.