

# Artículos de Reflexión

Aproximación al estatus epistemológico de la biotecnología: implicaciones didácticas **193-206**

Nydia Esperanza Espinel Barrero, Édgar Orlay Valbuena Ussa

Valores democráticos en escenarios de aprendizaje de las matemáticas: conexiones entre la diversidad y la cultura juvenil **207-221**

Gloria García Oliveros, Eileen Navarrete Serrato, Tatiana Samboní Trujillo





## Aproximación al estatus epistemológico de la biotecnología: implicaciones didácticas

- Approaching the Epistemological Status of Biotechnology: Didactic Implications
- Aproximação ao status epistemológico da biotecnologia: implicações didáticas

### Resumen

En Colombia, desde hace ya varios años, se han empezado a incluir contenidos relacionados con la biotecnología en las clases de Ciencias Naturales de la escuela. En este sentido, dentro del marco del conocimiento profesional del profesor, para poder enseñar biotecnología es fundamental conocer acerca de su estructura disciplinar, lo que incluye conocimiento sobre sus estructuras sustantiva y sintáctica, y por ende de su historia y epistemología. En este artículo de reflexión partimos de mostrar la dificultad existente para definir la biotecnología y la ambigüedad alrededor de su estatus epistemológico; no obstante, a partir del análisis de las relaciones entre ciencia y tecnología presentes en la biotecnología, consideramos la biotecnología actual como una tecnociencia. De esta manera, presentamos luego una aproximación a las estructuras sustantiva y sintáctica de la biotecnología y finalmente señalamos que entre las implicaciones didácticas del reconocimiento de tecnociencia como estatus epistemológico de la biotecnología, se encuentran, la identificación de contenidos de enseñanza, así como el diseño y uso de estrategias didácticas, entre ellas los debates, los juegos de roles y el análisis de noticias de prensa y televisión, orientadas a la comprensión de los fenómenos biotecnológicos y al desarrollo de capacidades para participar en una sociedad democrática.

### Palabras clave

epistemología de la biotecnología; conocimiento disciplinar; estructura sustantiva de la biotecnología; estructura sintáctica de la biotecnología; enseñanza de la biotecnología

Nydia Esperanza Espinel Barrero\*  
Édgar Orlay Valbuena Ussa\*\*

\* Estudiante del Doctorado Interinstitucional en Educación. Universidad Pedagógica Nacional. Grupo de investigación Conocimiento Profesional del Profesor de Ciencias. Bogotá-Colombia.  
neespinelb@gmail.com código  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7002-1315>

\*\* Profesor-investigador del Departamento de Biología, Universidad Pedagógica Nacional. Coordinador del Grupo de investigación Conocimiento Profesional del Profesor de Ciencias. Bogotá-Colombia.  
valbuena@pedagogica.edu.co código  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4185-3862>



## Abstract

For several years now, Colombian schools have started to include biotechnology-related content in science class. In this sense, in order to teach biotechnology, and as part of the teacher's professional knowledge, it is essential to know about its disciplinary structure, including knowledge about its substantive and syntactic structures, and therefore its history and epistemology. In this reflection paper, we start by showing the existing difficulty in defining biotechnology and the ambiguity of its epistemological status; however, based the analysis of the relations between science and technology present in biotechnology, we consider current biotechnology as a techno science. Then, we present an approach to the substantive and syntactic structures of biotechnology and, finally, we note that the didactic implications of recognizing techno science as an epistemological status of biotechnology include the identification of teaching contents, as well as the design and use of teaching strategies, such as debates, role playing, and analysis of press and television news, aimed at understanding the biotechnological phenomena and the development of capacities to participate in a democratic society.

## Keywords

epistemology of biotechnology; disciplinary knowledge; substantive structure of biotechnology; syntactic structure of biotechnology; teaching biotechnology

## Resumo

Na Colômbia, desde há vários anos, tem se começado a incluir conteúdos relacionado com a biotecnologia nas aulas de Ciências Naturais na escola. Nesse sentido, dentro do marco do conhecimento profissional do professor, para poder ensinar biotecnologia é fundamental saber acerca de sua estrutura disciplinar, o que inclui conhecimento sobre suas estruturas substantiva e sintática e, portanto, da sua história e epistemologia. Neste artigo de reflexão, partimos de apresentar a dificuldade existente para definir a biotecnologia e a ambiguidade ao redor do seu status epistemológico. Contudo, a partir da análise das relações entre ciência e tecnologia, presentes na biotecnologia, consideramos a biotecnologia atual como uma tecnociência. Dessa forma, apresentamos em seguida uma aproximação às estruturas substantiva e sintática da biotecnologia. Finalmente, assinalamos que entre as implicações didáticas do reconhecimento de tecnociência como status epistemológico da biotecnologia estão: a identificação de conteúdos de ensino, assim como o design e uso de estratégias didáticas, entre elas o debates, os jogos de interpretação de personagens e a análise de notícias da imprensa e televisão, norteados para a compreensão dos fenômenos biotecnológicos e ao desenvolvimento de capacidades para participar em uma sociedade democrática.

## Palavras-chave

epistemologia da biotecnologia; conhecimento disciplinar; estrutura substantiva da biotecnologia; estrutura sintática da biotecnologia; ensino da biotecnologia

A pesar de que en Colombia los contenidos asociados a la biotecnología no se encuentran plenamente identificados en los estándares curriculares de ciencias naturales, desde hace ya varios años en la escuela se ha empezado a incluir estos contenidos, bien sea de forma independiente, o también vinculados a proyectos pedagógicos como el del grupo Bio-Educación de la Universidad Nacional de Colombia (Buitrago, 2007)<sup>1</sup>, el grupo Biotecnología y Educación de la Universidad Pedagógica Nacional (Camelo, García y Roa, 2009)<sup>2</sup> o el de la Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia (ACAC)<sup>3</sup>. No obstante, de acuerdo con Roa y Valbuena (2013), la inclusión de la enseñanza de la biotecnología tanto en Colombia como en otros países, especialmente de Latinoamérica, se ha venido realizando sin tener en cuenta aspectos tan importantes como su epistemología, las características particulares de su contenido y sus implicaciones éticas, sociales y económicas.

En este orden de ideas, al preguntarse por los componentes del “conocimiento base” para la enseñanza, Shulman (1986) identificó el conocimiento de la materia (*subject matter*), también llamado conocimiento disciplinar, y señaló que “para pensar adecuadamente sobre el conocimiento del contenido se necesita ir más allá del conocimiento de los hechos o conceptos de un dominio, se requiere comprender las estructuras del conocimiento de la materia, establecidas por Schwab” (p. 9).

- 1 Busca incorporar elementos de biotecnología en el currículo de ciencias naturales de la educación básica y media.
- 2 Ha propuesto unidades didácticas bajo el modelo de enseñanza aprendizaje como investigación, y ha incorporado cursos electivos en la formación de futuros profesores de Biología.
- 3 Diplomados en Biotecnología para profesores de ciencias de educación básica y media realizados en 2016 en Bogotá. Para mayor información visitar la dirección <http://acac.org.co/biotecnologia/>

Para Schwab (1978, citado por Grossman, Wilson y Shulman, 1989), una disciplina está conformada por su estructura sustantiva y su estructura sintáctica. La estructura sustantiva denota la variedad de formas en las cuales los conceptos básicos y los principios de una disciplina son organizados para incorporar sus hechos, en tanto que la estructura sintáctica hace referencia al conjunto de formas en las cuales la validez o la invalidez son establecidas.

De esta manera, de acuerdo con Shulman (1986), al conocer la estructura sustantiva y sintáctica de la disciplina que enseñan, los profesores no solo podrán definir a los estudiantes las verdades aceptadas en esa disciplina, sino que también serán capaces de explicar por qué una proposición particular se considera justificada, por qué vale la pena conocerla, y cómo esta se relaciona con otras proposiciones. Asimismo, podrán entender por qué un tópico dado es particularmente central para esa disciplina mientras que otro puede ser periférico, lo cual cobra importancia en los juicios didácticos relativos al diseño curricular.

Teniendo en cuenta lo previamente dicho y, reconociendo la importancia del conocimiento de los profesores acerca de la estructura disciplinar de la biotecnología, en este documento pretendemos poner en evidencia la ambigüedad alrededor de su estatus epistemológico. Por otra parte, a partir del análisis de los modelos de relaciones entre ciencia y tecnología presentado por Acevedo (2006) reconoceremos la biotecnología como una tecnociencia, y a partir de esta consideración describiremos las características de su estructura sustantiva y sintáctica, para finalmente abordar las implicaciones de tal consideración en su enseñanza.

## Ambigüedad en el estatus epistemológico de la biotecnología

De acuerdo con Trevan, Boffey, Goulding y Stanbury (1990), el uso del término *biotecnología* se extiende desde mediados de la década de los años 70 como resultado del gran potencial de la aplicación de las técnicas emergentes de la biología molecular. A partir de entonces, la definición de la *biotecnología* ha sido abordada desde diferentes perspectivas, siguiendo intereses tanto académicos como políticos, económicos y filosóficos, entre otros; por lo que hoy en día podemos decir que no existe una única definición.

Una revisión previa de la literatura (Espinell y Valbuena, 2016) deja ver que existen dos opciones principales para definir la *biotecnología*: por un lado, emplear términos que le brinden un estatus epistemológico, entre ellos, área multidisciplinaria, técnica, tecnología y tecnociencia y por otro, hacer mención de términos como uso, aplicación, herramienta y utilización. En este sentido, encontramos que la biotecnología hace uso tanto del conocimiento científico, de ciencias como la microbiología y la bioquímica; del tecnológico, es decir, de la aplicación de técnicas y de ingeniería; como de organismos vivos (unicelulares o pluricelulares) o sus partes (células y productos). Lo que muestra que no solamente no hay un consenso en cuanto al concepto y la categorización de la biotecnología en la literatura, sino que este término está relacionado más con sus usos y aplicaciones que con el desarrollo de nuevo conocimiento científico.

En relación con lo anterior, Bud (1991) manifiesta que desde que se acuñó el término *biotecnología* en el argot popular, se han presentado tensiones entre la biología y la ingeniería en cuanto a su significado y representación, aludiendo cada campo a sus principios científicos y a su utilidad práctica, respectivamente. Estas tensiones se presentan aún hoy en día, de forma tal que la pregunta persiste: ¿es la biotecnología una ciencia, una disciplina con su propio objeto de investigación y su propia metodología, cuya intención es obtener nuevo conocimiento, o es un conjunto de técnicas y tecnologías encaminadas a encontrar aplicaciones útiles para la sociedad con beneficios económicos para quienes las producen?

La pregunta anterior nos obliga a revisar los diferentes modelos de relaciones entre ciencia y tecnología, con la intención de establecer cómo estas interactúan dentro de la biotecnología.

## La biotecnología desde la perspectiva de las relaciones ciencia-tecnología

De acuerdo con Acevedo (2006), la tensión entre el conocimiento teórico (ciencia) y el saber hacer ligado a la práctica (técnica) ha sido permanente, aunque casi siempre se decanta a favor del primero, debido al mayor estatus cultural concedido a la ciencia en los ambientes académicos. Esta imagen se ha mantenido

acríticamente hasta hoy, ocultando tanto las profundas relaciones que existen entre la tecnología y las ciencias contemporáneas como las interacciones entre la elaboración de las teorías científicas y los conocimientos producidos por las tecnologías.

En su artículo “Modelos de relaciones entre ciencia y tecnología: un análisis social e histórico”, el autor presenta el análisis de las relaciones entre la ciencia y la tecnología a partir de los cinco modelos propuestos por Niiniluoto (1997, citado por Acevedo, 2006):

1. La ciencia y la tecnología son independientes desde un punto de vista ontológico (cada una tiene su propia entidad). También son causalmente independientes o cuasi-independientes.
2. La ciencia y la tecnología tienen independencia ontológica, pero hay interacción entre ambas.
3. La tecnología se subordina a la ciencia y puede reducirse a ella; depende, pues, de la ciencia desde una perspectiva ontológica.
4. La ciencia se subordina a la tecnología y puede reducirse a ella; es decir, tiene una dependencia ontológica de la tecnología.
5. La ciencia y la tecnología son la misma cosa (tecnociencia posmoderna); esto es, no se diferencian ontológicamente. (p. 206).

Desde nuestro concepto, tres de los anteriores modelos pueden aplicarse a las relaciones que se dan entre la ciencia y la tecnología para el caso de la biotecnología.

El primero corresponde al modelo número 2, *independencia ontológica e interacción causal entre ciencia y tecnología*. De acuerdo con este modelo, aunque la ciencia y la

tecnología sean dos entidades independientes, las conexiones entre ambas son muy grandes, no obstante, hay cierta tendencia a mostrar tal interacción con un exagerado sesgo favorable al sentido que va desde la ciencia a la tecnología en detrimento del opuesto.

Es importante señalar que, para Acevedo (2006), como ejemplo de esta relación, se encuentran diversas innovaciones tecnológicas basadas en la ciencia, entre ellas, los desarrollos de las industrias electromagnética y de los tintes durante el último tercio del siglo XIX, el de la ingeniería nuclear con fines militares y civiles para la producción de energía eléctrica en el siglo XX, y las aplicaciones médicas e industriales de la biología molecular y la ingeniería genética (biotecnologías) (p. 207). Según el autor, es difícil encontrar hoy algún campo de conocimiento científico que no sea escrutado para determinar sus potenciales beneficios comerciales, por lo que las ciencias que aún no lo han hecho están en vía de dar lugar a sus correspondientes tecnologías. A la vez, en la actualidad las tecnologías también tienden a generar sus propias ciencias.

Esta última afirmación nos lleva a pensar que las relaciones entre ciencia y tecnología establecidas en el modelo número 3, según el cual *la tecnología depende ontológicamente de la ciencia*, también pueden darse en la biotecnología. Este modelo proviene de la concepción estándar de la filosofía positivista que considera a la tecnología como ciencia aplicada, una tesis que suele tener muy buena acogida entre los científicos.

Afirmar que la tecnología no es más que la aplicación de la ciencia equivale a proclamar que el desarrollo tecnológico depende jerárquicamente de la investigación científica; esto es, que el conocimiento práctico se subordina al teórico (Sanmartín, 1990). Es probable que, para muchos autores, así también esté

concebida la biotecnología, como el uso de distintos conocimientos originados en estudios científicos, con el fin de obtener aplicaciones útiles, tal es el caso de la definición presentada por la Federación Europea de Biotecnología (EFB), según la cual la biotecnología se refiere al

uso integrado de la bioquímica, la microbiología y la ingeniería genética para poder aplicar las capacidades de microorganismos, células cultivadas —animales o vegetales— o parte de los mismos en la industria, en la salud y en los procesos relacionados con el medio ambiente. (EFB, 1988, citado por Muñoz, 2012).

También es el caso de la Organización de la Industria Biotecnológica, según la cual, “en un sentido amplio, biotecnología es ‘bio’ + ‘tecnología’, es decir, el uso de procesos biológicos para resolver problemas o hacer productos útiles” (Biotechnology Industry Organization, BIO, 2005).

Ahora bien, el último modelo que consideramos puede aplicarse a la biotecnología es el número 5, según el cual, *la ciencia y la tecnología no se diferencian ontológicamente*. De acuerdo con Niiniluoto (1997, citado por Acevedo, 2006), la intensificación de las relaciones entre ciencia y tecnología a través de los tiempos ha conducido a su fusión como tecnociencia en la contemporaneidad.

De acuerdo con Acevedo (2006), la tecnociencia designa el conjunto de actividades de investigación, desarrollo e innovación (I + D + i) en las que ciencia y tecnología están profundamente imbricadas y se refuerzan entre sí para conseguir un beneficio mutuo, tanto en sus procedimientos como en sus resultados. A este respecto, Echeverría (2010) explica que la tecnociencia propiamente dicha, se caracteriza por la hibridación entre científicos y tecnólogos, pero también por la aparición de un nuevo objetivo, la innovación, que debería contribuir a mejorar la competitividad y la productividad de las empresas en los mercados. Según el autor,

desde una perspectiva filosófica, la ciencia y la tecnociencia pueden distinguirse con base en el siguiente criterio: para los científicos la búsqueda del conocimiento es un fin en sí mismo; para los tecnocientíficos, en cambio, el conocimiento científico se convierte en un medio para generar desarrollos tecnológicos e innovaciones que acaben siendo rentables en los mercados y compensen las inversiones que las empresas hacen en I + D. (Echeverría 2010, p. 143).

Esta modalidad ha transformado profundamente la estructura de la práctica científico-tecnológica en todas sus dimensiones y también ha incorporado nuevos valores a la actividad científica. Según Ziman (2003), una ciencia que no se limite a lo puramente instrumental debería ser pública, universal, imaginativa, autocrítica y desinteresada. Pero, la tecnociencia que se practica hoy suele producir sobre todo un conocimiento que es patentable, particular o local, prosaico, pragmático e interesado o parcial.



La biotecnología puede pensarse, entonces, como una tecnociencia, tal y como lo plantean Roland y Kottow (2001), quienes señalan que la biotecnología, que es una tecnociencia aplicada a lo vivo y que, en rigor, debiera llamarse “biotecnociencia” tiene la característica de no distinguir entre conocimiento y aplicación.

En este orden de ideas, Castaño (2013) señala que los nuevos conocimientos científicos sobre la capacidad de aislar, identificar y recombinar los genes han permitido a las empresas biotecnológicas obtener, con fines económicos, cultivos y alimentos transgénicos a través de distintas técnicas, como la clonación y la fecundación *in vitro*, entre otras, y obtener multimillonarias ganancias en un mercado que apenas empieza a aflorar. Lo anterior evidencia el alcance de innovaciones en términos de técnicas y productos con utilidad económica en los que están inmersos el conocimiento obtenido científicamente y el obtenido de manera tecnológica.

De esta manera, si bien los tres modelos previamente descritos pueden parecer adecuados para entender las relaciones entre ciencia y tecnología presentes en la biotecnología, nos identificamos más con el modelo de la tecnociencia, posición que defenderemos y ampliaremos en los siguientes apartados.

## La biotecnología como tecnociencia: análisis de su estructura disciplinar

Como ya hemos señalado, en la tecnociencia se destaca sobre todo la instrumentalización del conocimiento científico para cumplir el objetivo de lograr innovaciones tecnocientíficas comercialmente rentables. Otras características distintivas de la tecnociencia son el predominio de la financiación privada sobre la pública en sus actividades, su carácter

multinacional, la conexión en red de los laboratorios mediante el uso de tecnologías de la información y comunicación, la pluralidad y diversidad de agentes tecnocientíficos (Acevedo, 2011). De lo dicho nos preguntamos: ¿no son estas características de la biotecnología actual?, ¿no es hoy en día el conocimiento producido por la biotecnología, patentable, particular o local, prosaico e interesado?, ¿no se evidencia en la biotecnología la tendencia a establecer relaciones entre la investigación básica realizada por la ciencia académica y la investigación tecnológica orientada por fines comerciales?

El siguiente análisis nos permitirá respondernos a estos cuestionamientos (lo que a su vez nos llevará a respaldar nuestro posicionamiento acerca de la tecnociencia como estatus epistemológico de la biotecnología) y, de igual manera, retomar el asunto del conocimiento del profesor para la enseñanza de la biotecnología, particularmente en lo que atañe a su conocimiento disciplinar, por lo que haremos un acercamiento a la descripción tanto de la estructura sustantiva como de la estructura sintáctica de la biotecnología.

En este orden de ideas, es importante reiterar que de acuerdo con Schwab (1978, citado por Grossman, Wilson y Shulman, 1989), toda disciplina posee una estructura sustantiva y una estructura sintáctica.

La *estructura sustantiva* incluye los marcos conceptuales de explicación o paradigmas que se emplean tanto para orientar la indagación en una disciplina como para dar sentido a los datos. No es solo, por tanto, la acumulación de información factual, de conceptos y de principios generales de la materia, sino el conocimiento de los marcos teóricos, tendencias, y la estructura interna de la disciplina en cuestión. Este conocimiento es importante en la medida en que “determina lo que los profesores van a

enseñar y desde qué perspectiva” (Grossman, Wilson y Shulman, 1989, p. 14), y está asociado a la construcción epistemológica de los conceptos a lo largo de la historia (Bernal y Valbuena, 2011). La *estructura sintáctica*, por su parte, tiene que ver con el dominio del profesor acerca de “los cánones de evidencia que son usados por los miembros de la comunidad disciplinaria para guiar la investigación en el campo” (Grossman, Wilson, y Shulman, 1989, p. 15). Incluye, por tanto, el conocimiento por parte de los profesores de los paradigmas de investigación asumidos como válidos por una comunidad de investigadores en un momento determinado.

En suma, podemos decir que la estructura sustantiva permite entender elementos relacionados con la forma como se produce un conocimiento y la estructura sintáctica del conocimiento hace referencia al componente relacionado con la forma como estos conocimientos son validados en el seno de una comunidad académica.

## Aproximación a la estructura sustantiva de la biotecnología

De acuerdo con Tarazona (2003), la investigación tecnocientífica contemporánea se produce en un vaivén entre el concepto y la aplicación, entre la teoría y la práctica. Al respecto, Echeverría (2003), no solo pone de manifiesto la hibridación entre las acciones de la ciencia y de la tecnología, sino, además, la eficiencia económica a la que deben conducir dichas acciones:

Si los tecnocientíficos pretenden producir nuevo conocimiento y emprenden acciones científicas para ello (demostrar, calcular, observar, medir, experimentar, etc.), dichas acciones son literalmente inviables sin apoyo tecnológico. Recíprocamente, las destrezas técnicas y las innovaciones tecnológicas han de estar estrictamente basadas en conocimiento científico, no sólo vinculadas a él, porque así se incrementa la eficiencia económica de las acciones tecnológicas. (Echeverría, 2003, p. 143).

Tales relaciones estrechas entre producción científica y producción tecnológica de conocimiento se pueden evidenciar también en la biotecnología. Como ya se ha mencionado, la actividad industrial biotecnológica actual se apoya en gran medida en la utilización de conocimientos producidos por avances científicos recientes. La identificación de las proteínas codificadas por distintos genes, la posibilidad de separar esos genes y clonarlos, la identificación de metabolitos vegetales secundarios y de nuevos antibióticos, la purificación de enzimas, la dilucidación de su estructura, especificidad y mecanismo de reacción, las principales rutas del metabolismo microbiano, entre otros, son conocimientos obtenidos a través de la investigación en distintas disciplinas científicas, sin embargo, y de acuerdo con Avalos (1990), “la capacidad científica, esto es, el dominio del cuerpo básico de conocimientos que fundamenta la biotecnología, es una condición de especial importancia —aunque no suficiente— para

su desarrollo” (p. 15), en la biotecnología generalmente estos conocimientos permiten el desarrollo de nuevas técnicas, las cuales suelen ser llevadas a la escala que se requiera para obtener el producto suficiente que haga rentable la operación, esto normalmente es trabajo de ingeniería.

Por esta razón, puede decirse que, en la biotecnología, el conocimiento no solo se adquiere a través de los procesos de investigación científica llevados a cabo en distintos laboratorios (de universidades, centros de investigación, industrias), sino que también se adquiere a través de teorías tecnológicas (García, 2004), centradas en el diseño, la construcción, el comportamiento y la evaluación de artefactos y sistemas tecnológicos.

En cuanto a la producción de conocimiento, Muñoz (2001) señala que en la biotecnología hay tanto una organización de carácter interdisciplinar como una de carácter multidisciplinar. El proceso de producción de conocimiento en la biotecnología inicialmente es un ejercicio claramente interdisciplinar en el que interactúan y convergen varias disciplinas como la microbiología, la bioquímica, la genética, la biología molecular, la biología celular, la inmunología, la ingeniería genética y la ingeniería química, entre otras, pero por otro lado, el proceso en el que se ajustan las aplicaciones de la biotecnología tiene una lógica multidisciplinar, en el que intervienen abogados, contadores, profesionales del comercio, entre otros. Este último aspecto nos lleva a pensar en cómo es validado el conocimiento biotecnológico, lo cual será discutido en el siguiente apartado, con lo que acabamos de decir, sin embargo, lo que queremos mostrar como relevante es que no es fácil dilucidar qué caracteriza a este tipo de conocimiento ni cómo se produce, pues no se trata solo de producción de teorías científicas ni sólo de sus aplicaciones tecnológicas, existe en el fondo todo un sistema

de interacciones entre ciencia y tecnología así como con la sociedad (económicas, políticas, éticas, ambientalistas, entre otras) que ponen de manifiesto la complejidad que encierran las acciones de la investigación biotecnológica.

De igual manera, aparece la dificultad para definir el objeto de estudio de la biotecnología, así como lo que es un biotecnólogo, no solo porque la biotecnología abarque un amplio espectro de disciplinas, sino también debido a la naturaleza transitoria de la actividad exhibida por un individuo dedicado a la biotecnología. La misma persona puede ser un biotecnólogo una semana y un bioquímico, o un microbiólogo, etc., la próxima (Trevan et al., 1990). Esta indefinición viene dada además por la inexistencia de un colegio profesional activo que defina y regule los usos y competencias de los profesionales en biotecnología (Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación, Aneca, 2005).

## Aproximación a la estructura sintáctica de la biotecnología

De acuerdo con Echeverría (2003), a partir de 1980, la vinculación entre ciencia, tecnología y empresa se intensificó tan radicalmente que la producción de conocimiento científico y tecnológico se convirtió en un nuevo sector económico, popularmente denominado de nuevas tecnologías. Un nuevo sector en el que compiten diversos tipos de empresas (públicas y privadas, industriales e informacionales, grandes o pequeñas) y en el que paralelamente, los laboratorios y equipos de investigación pugnan entre sí por la obtención de proyectos públicos y contratos con empresas, buscando nichos en el mercado financiero. Surgen así nuevas modalidades de validación, explotación y rentabilización del conocimiento: licencias de uso, patentes, franquicias, suscripciones de acceso y conexión, etc.

Lo anterior deja ver uno de los mecanismos clave en la validación del conocimiento tecnocientífico, el logro de patentes, el cual se convierte en un criterio de evaluación en el diseño mismo de los proyectos tecnocientíficos, así como de su capacidad de innovación, es decir, de transferencia de los resultados a las empresas que actúan en el mercado.

Por otro lado, cabe mencionar que junto a la emergencia de la tecnociencia también ha aparecido la política científica, mediante la cual se definen los planes nacionales de I + D y las líneas de investigación prioritarias en cada país. Así, de acuerdo con Echeverría (2010),

puesto que las convocatorias públicas de proyectos y programas están reguladas y las empresas tecnocientíficas privadas pretenden generar patentes y licencias de uso, así como gestionarlas y comercializarlas, la tecnociencia ha de adaptarse al marco legal del país donde se desarrolla, lo que trae consigo una mediación jurídica significativa [...] una empresa del sector ha de tener un gabinete jurídico experto, tanto para gestionar la propiedad del conocimiento como para atender demandas y pleitos. (p. 149).

Para el caso de la biotecnología, es indudable que las grandes empresas y multinacionales, orientadas hacia la innovación y aplicación comercial, son las que han venido validando y apropiándose del conocimiento que hemos caracterizado como tecnocientífico (aunque para este caso convendría llamarlo biotecnológico), de acuerdo con sus propios intereses, principalmente económicos.

De acuerdo con Avalos (1990), la apropiación privada del conocimiento biotecnológico se está dando por la vía de una serie de arreglos institucionales que no eran frecuentes. En efecto, además de sus nexos con las universidades, la empresa privada viene haciendo uso de mecanismos que incluyen una estrecha y diversa vinculación con el sector público, lo cual es común en países que han tomado el desarrollo de la biotecnología como una pieza clave dentro de su estrategia económica como Francia, Inglaterra y Canadá. Sin embargo, en países como Estados Unidos y Japón, el gasto destinado por la industria a la investigación biotecnológica es mucho mayor al efectuado por el sector público, lo que ha traído como consecuencia la búsqueda de patentes en aras de privatizar el nuevo conocimiento, generando así una amplia variedad de debates al respecto.

Es así como han aparecido controversias relacionadas con la posibilidad de ejercer el derecho de propiedad privada sobre la vida, sobre todo en el campo de la investigación basada en técnicas de manipulación genética. En el terreno jurídico, la polémica más importante se plantea entre aquellos que sostienen que, de la actividad biotecnológica resultan descubrimientos (algo que ya existía en la naturaleza), los cuales no pueden patentarse; y aquellos que, por el contrario, argumentan que se trata de invenciones (creaciones que no existían), las que sí pueden serlo. Lo anterior ha traído como consecuencia la realización de modificaciones en el sistema legal de muchos países con respecto a la protección de

los resultados obtenidos por la biotecnología y la firma de diferentes tratados y convenios entre los cuales cabe mencionar el Convenio sobre la Diversidad Biológica de las Naciones Unidas firmado en 1992.

Todo lo anterior reitera la complejidad al hablar de la estructura disciplinar de la biotecnología, entendida como una tecnociencia, tanto en lo que se refiere a su estructura sustantiva como a su estructura sintáctica, sin embargo, debemos reconocer que, aunque lo anterior no sea fácil de analizar, la biotecnología tiene hoy en día un fuerte impacto en nuestra cotidianidad, y, por supuesto, en la de los estudiantes, por lo que sus alcances no deben ser desconocidos en las aulas de clase.

## Implicaciones didácticas de la consideración de la biotecnología como una tecnociencia

Si de acuerdo con Occelli, Malin y Valeiras (2011), la principal fuente de información acerca de contenidos biotecnológicos que tienen los estudiantes se remite a lo que se enseña en la escuela, estamos obligados a pensar en la responsabilidad y el compromiso que como docentes tenemos a la hora de presentar en nuestras clases distintos conceptos y temáticas asociadas a la biotecnología. Lo anterior conlleva al reconocimiento por parte del profesorado de ciencias naturales de la ambigüedad en la epistemología de la biotecnología, y de las razones por las cuales esta puede ser considerada como una tecnociencia, identificando así mismo las características de su estructura disciplinar.

De esta manera, durante la enseñanza de la biotecnología, entendida esta como una tecnociencia, consideramos pertinente abordar, además de conceptos científicos y tecnológicos, su historia, sus procesos y aplicaciones,

así como las implicaciones éticas, económicas y políticas de las mismas (Roa y Valbuena, 2013), poniendo en evidencia los dilemas y las cuestiones sociocientíficas (Acevedo, 1998) que subyacen a su progreso. Consideramos necesario, además, abordar contenidos procedimentales que impliquen la comunicación de los resultados obtenidos y la participación en debates, buscando el establecimiento de relaciones entre el análisis personal y grupal así como el posicionamiento frente a los desarrollos y productos biotecnológicos, y la toma de decisiones argumentadas en relación con situaciones que implican el uso y la manipulación de seres vivos con fines productivos, lo que conllevará, a su vez, a la generación de actitudes críticas frente a situaciones relacionadas con la biotecnología.

En este orden de ideas, y si en palabras de Bota (2003) entendemos que la reflexión sobre la biotecnología que se precisa en el continente latinoamericano no puede ser la misma que la que se realiza en Europa, asimismo es preciso entender que la enseñanza de la biotecnología en Colombia debe estar conectada con la realidad de nuestra sociedad, por lo que en las clases en las que se aborden temáticas asociadas a la biotecnología no se pueden quedar por fuera la discusión y el debate acerca de los riesgos para nuestra biodiversidad de la introducción de las innovaciones biotecnológicas, y los riesgos para nuestra seguridad alimentaria y ambiental del cultivo de plantas transgénicas. También, se deben considerar, por ejemplo, las implicaciones éticas de la clonación, de la producción de células madre y los peligros y beneficios en términos económicos y culturales para nuestro país de la introducción y comercialización de los productos biotecnológicos de las grandes compañías multinacionales.

En este contexto, el abordaje de los anteriores contenidos de enseñanza trae como

consecuencia la necesidad de pensar en estrategias didácticas encaminadas a contribuir al acercamiento sobre la manera como se ha construido y construye el conocimiento biotecnológico, y a la comprensión de las aplicaciones e implicaciones, normalmente controvertidas, que surgen de su desarrollo.

Al respecto Sadler y Zeidler (2004), plantean la necesidad de presentar a los estudiantes oportunidades para explorar diferentes posturas desde múltiples perspectivas a fin de colaborar en el desarrollo de espíritu crítico y fundamentado. Cabe mencionar, entonces, que entre las estrategias recomendadas en la literatura para abordar cuestiones sociocientíficas relacionadas con la biotecnología se encuentran los debates, los juegos de roles, el análisis de noticias de prensa y televisión, observación de videos, y los casos simulados (Occelli, Gardenal y Valeiras, 2012). La intención principal de dichas estrategias radicará en que los estudiantes entiendan la diversidad de posturas de los actores involucrados en las controversias presentadas, esto es, que puedan explicar y cuestionar las posiciones del campesino, el indígena, el empresario, el político, el científico, el ambientalista, etc., y en que en este proceso aprendan a aceptar miradas diferentes, a través de la interlocución entre la propia postura y la de otros, al mismo tiempo que incorporan nuevos contenidos conceptuales (Levinson, 2006, citado por Occelli, Gardenal y Valeiras, 2012).

Pensamos así, que la implementación en las clases de ciencias naturales de estas estrategias y actividades facilitará a los estudiantes el desarrollo de capacidades para participar en una sociedad democrática, al permitirles ser parte de ambientes de discusión que favorezcan su empoderamiento y su intervención crítica en las problemáticas relacionadas con la biotecnología, ejerciendo una ciudadanía situada en su realidad, crítica, y participativa.

## Conclusiones

El análisis de las relaciones entre ciencia y tecnología presentado permite considerar la biotecnología como una tecnociencia, teniendo en cuenta que dentro de sus características se encuentran la producción de nuevos conocimientos científicos bajo intereses particulares, comercialmente rentables y patentables, así como el predominio de la financiación privada sobre la pública en sus actividades, y la pluralidad y diversidad de disciplinas que participan en la producción-aplicación de su conocimiento.

Uno de los desafíos para los profesores que asumen la enseñanza de la biotecnología está en conocer y analizar su estructura disciplinar (estructura sustantiva y sintáctica), así como las razones por las cuales esta puede ser considerada una tecnociencia. Dicha consideración puede posibilitar la identificación y selección de contenidos de enseñanza relacionados con cuestiones controvertidas que surgen como parte del desarrollo de la biotecnología, además del diseño y uso de estrategias didácticas que contribuyan tanto a la comprensión general de los

fenómenos biotecnológicos como a la visibilización de las complejas interacciones entre la producción de conocimiento biotecnológico, y los distintos subsistemas de la sociedad. A través de tales estrategias los estudiantes podrán adoptar una posición crítica a partir de la cual tomar decisiones frente a las situaciones polémicas y debates relacionados con la biotecnología.

## Referencias

- Acevedo, J. (1998). Análisis de algunos criterios para diferenciar entre ciencia y tecnología. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(3), 409-420.
- Acevedo, J. (2006). Modelos de relaciones entre ciencia y tecnología: un análisis social e histórico. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 3(2), 198-219.
- Acevedo, J. (2011). *De la ciencia a la tecnociencia (III). Y, al final, tecno-ciencia*. Organización de Estados Iberoamericanos. Recuperado de <http://www.oei.es/divulgacioncientifica/opinion0050.htm>.
- Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación (Aneca) (2005). *Libro blanco bioquímica y biotecnología*. Madrid. Recuperado de [http://www.aneqa.es/var/media/150236/libroblanco\\_bioquimica\\_def.pdf](http://www.aneqa.es/var/media/150236/libroblanco_bioquimica_def.pdf).
- Avalos, I. (1990). *Biotechnología e industria. Un ensayo de interpretación teórica*. Costa Rica: IICA.
- Bernal, I., y Valbuena, E. (2011). Bio-Ponencias. Estructura sustantiva y sintáctica del conocimiento biológico. *Bio-grafía. Escritos sobre la Biología y su Enseñanza*, (edición extraordinaria), 297-310.
- Biotechnology Industry Organization (BIO) (2005). *Guide to Biotechnology*. Recuperado de <http://www.bio-nica.info/biblioteca/BIO-2006BiotechGuide.pdf>
- Bota, A. (2003). El impacto de la biotecnología en América Latina. Espacios de participación social. *Acta Bioethica*, 9(1), 21-38.
- Bud, R. (1991). Biotechnology in the Twentieth Century. *Social Studies of Science*, 21, 415-457.
- Buitrago, G. (2007). La biotecnología: "un juguete" preferido en la educación, una visión de grupo de investigación Bio-educación. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 9(2), 72-78.
- Camelo, L., García, Y., y Roa, R. (2009). Propuestas desarrolladas en la enseñanza de la Biotecnología en Bogotá: recopilación de resultados. *Revista Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, (número extraordinario), 613-617.
- Castaño, T. (2013). Ciencia, tecnología y tecnociencia. Una propuesta para su enseñanza desde CTS. *Revista Vínculos*, 10(2), 471-486.
- Echeverría, J. (2003). *La revolución tecnocientífica*. Madrid: Fondo de Cultura Económica.
- Echeverría, J. (2010). Tecnociencia, tecnoética y tecnoaxiología. *Revista Colombiana de Bioética*, 5(1), 142-152.
- Espinell, N., y Valbuena, E. (2016). Referentes epistemológicos en investigaciones sobre Biotecnología escolar. Revisión documental. *Revista Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, (número extraordinario), 386-392.
- García, F. (2004). La relación ciencia y tecnología en la sociedad actual. Análisis de algunos criterios y valores epistemológicos y tecnológicos y su influencia dentro del marco social. *Argumentos de Razón Técnica: Revista Española de Ciencia, Tecnología y Sociedad, y Filosofía de la Tecnología*, 7, 105-148.
- Grossman, P., Wilson, S., y Shulman, L. (1989). Teachers of substance: subject matter knowledge for teaching. En M. C. Reynolds (ed.), *Knowledge base for beginning teacher* (pp. 23-36). Nueva York: Pergamon Press.

- Muñoz, E. (2001). *Biotecnología y sociedad: encuentros y desencuentros*. Madrid: Cambridge University Press.
- Muñoz, M. (2012). *Biotecnología*. Bernal, Argentina: Universidad Nacional de Quilmes.
- Occelli, M., Gardenal, C. y Valeiras, N. (2012). ¿Cómo se enseñan algunas temáticas biotecnológicas controvertidas? Ponencia presentada en X Jornadas Nacionales, V Congreso Internacional de Enseñanza de la Biología, Córdoba, Argentina.
- Occelli, M., Malin, T., y Valeiras, N. (2011). Conocimientos y actitudes de estudiantes de la ciudad de Córdoba (Argentina) en relación a la biotecnología. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 10(2), 227-242.
- Roa, R., y Valbuena, E. (2013). Incursión de la biotecnología en la educación: tendencias e implicaciones. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 15(2), 156-166.
- Roland, F., y Kottow, M. (2001). Bioética y biotecnología: lo humano entre dos paradigmas. *Acta Bioethica*, 7(2).
- Sadler, T., y Zeidler, D. (2004). Negotiating gene therapy controversies. *The American Biology Teacher*, 66(6), 428-433.
- Sanmartín, J. (1990). La ciencia descubre. La industria aplica. El hombre se conforma. Imperativo tecnológico y diseño social. En M. Medina y J. Sanmartín (eds.), *Ciencia, Tecnología y Sociedad* (pp. 168-180). Barcelona: Anthropos.
- Shulman, L. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4-14.
- Tarazona, L. (2003). Tecnociencia, sociedad y valores. *Ingeniería & Desarrollo*, 14, 38-59.
- Trevan, M., Boffey, S., Goulding, K., y Stanbury, P. (1990). *Biotecnología: Principios biológicos*. Zaragoza: Acribia.
- Ziman, J. (2003). Ciencia y sociedad civil. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad*, 1(1), 177-188.

### Para citar este artículo

- Espinel, N. y Valbuena, E. (2018). Aproximación al estatus epistemológico de la biotecnología: Implicaciones didácticas. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, 43, 193-206.