



Educación y Educadores

ISSN: 0123-1294

ISSN: 2027-5358

Universidad de La Sabana

Roa Acosta, Robinson; González-Galli, Leonardo; Valbuena Ussa, Edgar Orlay
Implicaciones didácticas del concepto biotecnología*
Educación y Educadores, vol. 22, núm. 3, 2019, Septiembre-Diciembre, pp. 397-421
Universidad de La Sabana

DOI: <https://doi.org/10.5294/edu.2019.22.3.4>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83464752004>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

UAEH redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto

Implicaciones didácticas del concepto *biotecnología**

Robinson Roa Acosta

<https://orcid.org/0000-0002-3370-1212>
Universidad Pedagógica Nacional,
Colombia
rroa@pedagogica.edu.co

Leonardo González-Galli

<https://orcid.org/0000-0002-0713-164X>
Universidad de Buenos Aires,
Argentina
leomgalli@gmail.com

Edgar Orlay Valbuena Ussa

<https://orcid.org/0000-0003-4185-3862>
Universidad Pedagógica Nacional,
Colombia
valbuena@pedagogica.edu.co

Resumen

Este artículo hace una aproximación a la naturaleza, definiciones, circunstancias y significados del concepto biotecnología, y a sus implicaciones para la enseñanza. La aproximación al surgimiento de este concepto indica la pluralidad de significados y de disciplinas que abarca, así como su complejidad. Las conclusiones hacen evidente la importancia de su investigación en la didáctica de las ciencias y la relevancia de incluir en la formación inicial de profesores de ciencias naturales aspectos filosóficos, históricos y epistemológicos de la biotecnología.

Palabras clave (Fuente: Tesauro de la Unesco)

Biotecnología; ciencia de la ciencia; didáctica de las ciencias naturales; epistemología; formación de profesores/docentes; investigación didáctica.

* Este artículo hace parte de la tesis doctoral en educación “Configuración del conocimiento profesional didáctico y pedagógico del profesor de ciencias para la enseñanza de la biotecnología”, Doctorado Interinstitucional en Educación, Universidad Pedagógica Nacional de Colombia, Universidad del Valle, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, y de la pasantía doctoral desarrollada en el Instituto de Investigaciones CeFIEC, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires (Argentina), bajo la tutoría del Doctor Leonardo Martín González Galli. También es resultado de las reflexiones realizadas con el Doctor Edgar Orlay Valbuena Ussa, tutor de la tesis.

Recepción: 26/06/2018 | Envío a pares: 11/08/2018 | Aceptación por pares: 02/10/2019 | Aprobación: 07/10/2019

DOI: [10.5294/edu.2019.22.3.4](https://doi.org/10.5294/edu.2019.22.3.4)

Para citar este artículo / To reference this article / Para citar este artigo

Roa, R., González-Galli, L. y Valbuena, E. (2019). Implicaciones didácticas del concepto *biotecnología*. *Educación y Educadores* 22(3), 397-421. DOI: <https://doi.org/10.5294/edu.2019.22.3.4>

Didactic Implications of the Concept of Biotechnology*

Abstract

This article addresses the nature, definitions, circumstances and meanings of the concept of biotechnology, and its implications for teaching. Approaching the emergence of this concept points to the manifold meanings and disciplines it encompasses, as well as to its complexity. Conclusions highlight the importance of researching into it within science didactics and the relevance of including philosophical, historical and epistemological aspects of biotechnology in the initial training of natural science teachers.

Keywords (Source: Unesco Thesaurus)

Biotechnology; science of science; natural science didactics; epistemology; teachers education; didactic research.

* This article is part of the dissertation in education “Configuración del conocimiento profesional didáctico y pedagógico del profesor de ciencias para la enseñanza de la biotecnología,” Inter-Institutional Doctorate in Education, Universidad Pedagógica Nacional de Colombia-Universidad del Valle-Universidad Distrital Francisco José de Caldas, and the doctoral internship at the CeFIEC Research Institute, School of Exact and Natural Sciences, Universidad de Buenos Aires (Argentina), under the guidance of Leonardo Martín González Galli, PhD. It is also the result of joint reflections with Edgar Orlay Valbuena Ussa, PhD, my dissertation supervisor.

Implicações didáticas do conceito biotecnologia*

Resumo

Este artigo faz uma aproximação à natureza, definições, circunstâncias e significados do conceito “biotecnologia” e suas implicações para o ensino. A aproximação ao surgimento desse conceito indica a pluralidade de significados e disciplinas que abrange, bem como sua complexidade. As conclusões tornam evidente a importância de sua pesquisa na didática das Ciências e a relevância de incluir, na formação inicial de professores de Ciências Naturais, aspectos filosóficos, históricos e epistemológicos da biotecnologia.

Palavras-chave (Fonte: tesauro da Unesco)

Biotecnología; ciência da ciência; didática das ciências naturais; epistemologia; formação de professores; pesquisa didática.

* Este artigo faz parte da tese de doutorado em Educação intitulada “Configuração do conhecimento profissional didático e pedagógico do professor de Ciências para o ensino da biotecnologia”, no âmbito do doutorado interinstitucional em Educação, Universidad Pedagógica Nacional de Colombia, Universidad del Valle, Universidad Distrital Francisco José de Caldas e do estágio de doutorado desenvolvido no Instituto de Investigaciones CeFIEC, Faculdade de Ciências Exatas e Naturais, Universidad de Buenos Aires (Argentina), sob a orientação do doutor Leonardo Martín González Galli. Também é resultado das reflexões realizadas com o doutor Edgar Orlay Valbuena Ussa, orientador da tese.

Los conceptos científicos se encuentran en una constante mutación y muchas veces no nos percatamos de los significados que van adquiriendo, por lo que tendemos a pensar en una definición sin cuestionar su naturaleza, implicaciones y aplicaciones. Los conceptos están dotados de historia, filosofía y epistemología, y su emergencia y evolución están supeditadas a condiciones en las que pueden confluir factores políticos, sociales, culturales y económicos. En el campo de investigación de la didáctica y la pedagogía, los análisis históricos, filosóficos y epistemológicos de los conceptos científicos contribuyen a reconocer lo que puede implicar estructurarlos, organizarlos y enseñarlos, es decir: contribuye a configurarlos como contenidos curriculares.

Por lo general, los conceptos científicos empiezan a ser utilizados cotidianamente por los ciudadanos de a pie sin conocer y entender a fondo el o los significados que encierran. Para el caso específico de la biotecnología, en los medios masivos de comunicación se utilizan diariamente términos como genética, células madre, organismos transgénicos, fecundación *in vitro*, probióticos, entre otros, por lo que empiezan a circular y a interpretarse según como se hayan presentado al público, lo cual suele hacerse de manera superficial. En particular los conceptos anteriores –y algunos campos de investigación como la ingeniería genética, la biología molecular y la biología celular, incluso la bioquímica– se puede decir que están fuertemente ligados a la *bio-tecnología*, aunque las tensiones y presiones en y entre los campos anteriores respecto a su origen, objetivos y relación son incluso motivo de debates.

Debido en gran parte a que las investigaciones y producción de conocimiento biotecnológico han crecido a un ritmo muy rápido, existen dificultades para abordar análisis históricos, filosóficos y epistemológicos, lo cual conlleva limitaciones en la enseñanza de la biotecnología en los niveles de educación primaria, secundaria, media y superior. Esto puede dar lugar a que se creen ideas superfluas, sin mayor entendimiento y trascendencia sobre lo que significan.

Varias investigaciones han evidenciado las limitaciones de conocimiento de los profesores de ciencias en ejercicio respecto a la biotecnología¹, y su enseñanza². Así también se ha encontrado que los futuros profesores tienen poca formación tanto en la biotecnología *per se* como en los conocimientos para su enseñanza³. Lo anterior adquiere relevancia por lo menos en dos sentidos correlacionados. Por una parte, por lo que puede implicar abordar los contenidos de enseñanza de la biotecnología en la actualidad en la educación secundaria, a expensas de la falta de actualización de los profesores, y, por otra parte, por los acelerados avances de la biotecnología y por sus implicaciones en varias dimensiones de la vida y lo vivo (lo bioético, lo económico, lo social, lo cultural, lo jurídico).

Los alcances de las investigaciones biotecnológicas en células madre, terapia génica, transgénicos, clonación, biorremediación (suelos, agua), fitomejoramiento, etc., han suscitado análisis sobre el sentido de lo vivo y la vida, la razón y la reflexión en relación con el impacto del conocimiento biotecnológico para el mundo, en términos de la biopolítica y el biopoder. Así, autores como Abrams (1993), Strelman y Karl (1997) y Strohmman (1997), entre otros, desde la década de 1990 han reconocido que dichas investigaciones han generado una revolución científica en la biología. Por su parte, Aycardi (1986) y Sasson (1989) reconocen que el conocimiento biotecnológico ha influido en la producción agrícola e industrial de alimentos, con consecuencias en la medicina, la economía y la sociedad, desde mediados del siglo XX.

1 Véanse: Chan y Lui (2002); Wilson, Kirby y Flowers (2002); Steele y Aubusson (2004); Cabo, Enrique, García-Peña y Cortiñas (2005); Boone, Gartin, Boone y Hughes (2006).

2 Véanse: Chan y Lui (2002); Moreland, Jones y Cowie (2006); Aziz, Tegegne y Wiemers (2009); Garritz y Velázquez (2009); Gelamdin, Alias y Attaran (2013); Kidman (2010).

3 Véanse: Darçin y Türkmen (2006); Mujica y Reyes (2007); Prokop, Lešková, Kubiak y Dirand (2007); Erdoğan, Özel, Uşak, and Prokop (2009); Uşak, Erdogan, Prokop y Özel (2009); Darçin (2011); Jalil, Ocelli y Acevedo (2010); Sürmeli y Şahin (2012).

En concordancia, Rifkin (2009) y Fukuyama (2003) declaran que se espera para el siglo XXI un desarrollo y crecimiento mucho mayor de la biotecnología, no solo en la naturaleza de su investigación, sino también en sus aplicaciones. Beriain considera que “el siglo XXI comienza con innovaciones revolucionarias en el ámbito de los trasplantes genéticos a través de la ingeniería genética y de trasplantes de órganos que cambian drásticamente la estructura de la vida, así como su duración” (2009, p. 22). En este sentido, las investigaciones en el campo biotecnológico han iniciado transformaciones en varias dimensiones de la vida.

El concepto biotecnología está interrelacionado con otros conceptos que a su vez tienen conexiones con otros que están cargados de contenido, por lo que la biotecnología se torna un conocimiento de naturaleza compleja y, por tanto, más difícil aún de enseñar. Y si se admite que este concepto *per se* no garantiza que la enseñanza conduzca a entender la biotecnología, es razonable declarar que la didáctica de las ciencias tiene en este concepto un campo de investigación. Sin embargo, ante el desarrollo vertiginoso del conocimiento biotecnológico, la enseñanza formal de este contenido ha ido a un ritmo más lento, por lo que las posibilidades de entenderlo en su complejidad aún están por investigarse. Poder abordar la biotecnología reconociendo los entramados conceptuales que le subyacen denota lo exigente que puede ser para un profesor orientar este conocimiento, no tanto pensando en qué actitudes va a desarrollar, sino en cómo hacer para que la enseñanza permita aproximarse a entender los conceptos, sus significados e interrelaciones.

Es la intención de este escrito abordar el concepto biotecnología y presentar la polisemia que le subyace y lo complejo que puede resultar su enseñanza. Con tal propósito, se analiza la naturaleza que subyace al conocimiento biotecnológico *per se* y los aspectos a tener en cuenta para la enseñanza de la biotecnología y su didáctica en la formación de profesores.

Aproximación a la naturaleza de los conceptos y definiciones

Al pensar en el conocimiento de “algo”, se abren tres posibilidades: “no es conocido”, “no se conoce bien” o “se conoce bien”. La primera y tercera posibilidades pueden ser entendidas como la existencia o inexistencia de algo y, entre estas –segunda posibilidad– pueden aparecer varios matices que se mueven en la incertidumbre, en lo aparente, en las posibilidades, en lo inestable. Así también, quien se somete al insistente razonamiento de ese “algo”, rotulado con una palabra, puede estar en un constante devenir de encontrar significado(s). El nivel de conocimiento de “algo” está supeditado a la cultura y a la relación de las personas con ella. Ampliando, Fourez destaca:

Decir que “algo” es objetivo [...] es decir que es “algo” de lo que se puede hablar con sentido; es situarlo en un universo común de percepción y comunicación, en un universo convencional, instituido por una cultura. Si, por el contrario, quisiera hablar de un “objeto” que no tuviera cabida en ningún lenguaje, mi visión sería puramente subjetiva, no comunicable; en último extremo, loca. El mundo se convierte en objetos en las comunicaciones culturales. La objetividad –en todo caso, así entendida– no es absoluta, sino relativa a una cultura. (2006, p. 33)

Aprender un significado ya definido puede generar certidumbre, lo cual tiene ventajas para algunas personas –para las industrias, empresas y economías es aún más ventajoso–, ya que aprender, entender o dar significado a los conceptos –definidos o no–, dada la complejidad de ese “algo” de que trata, implica necesariamente incertidumbre. En algunos momentos en el desarrollo de las ciencias tener certeza y hacerla llegar a los demás era, y aún sigue siendo, esencial para alcanzar objetivos. Suele en tal sentido presentarse a la sociedad datos, información o conocimientos respecto a múltiples adelantos científicos y tecnológicos, utilizando conceptos que al parecer ya deben ser entendidos o deben ser

aprendidos como dados por antonomasia. Se tiende a hacerlos ver como inmutables y sin mayor alcance, como conceptos aislados unos de otros, como absolutos, fenómeno característico de las definiciones.

Seguramente, iniciar a conocer y entender “algo” representado por un concepto, acorde a las exigencias que pueda denotar el mismo, puede ser lo más lógico y común, como condición para poder entenderlo mejor. Los conceptos científicos no emergieron *ipso facto*, su devenir suele tener tiempos prolongados para que los participantes de las comunidades de investigadores los asimilen y conceptualicen según avanzan sus investigaciones. Afirmar que se comprende un concepto en su totalidad, absolutamente, es quizá ingenuo. Melo ya enunciaba que en “los conceptos median la comprensión de la verdad o la realidad, pero ¿cómo no hay verdades absolutas, no existen los conceptos absolutos!” (2013, p. 103). La definición, la certeza, no genera angustia; más bien tranquiliza. La certidumbre da seguridad, ya que se ha dicho qué es, qué significa.

La negación de la existencia de un significado a consecuencia de la no existencia de conocimiento por parte de quien tiene esta condición –“ignorancia”– no niega la posibilidad de que exista en la realidad, pero tampoco conduce a la verdad o a la realidad el tener conocimiento del significado de un concepto. La definición de los conceptos, sin duda, es necesaria en algunos casos, y para algunos campos de conocimiento. No obstante, la imperiosa tendencia a la definición pretende negar la posibilidad de pensar complejamente los conceptos, es decir, de conceptualizarlos para encontrar el sentido de los mismos según quien los piense, según sus propios intereses y relaciones que establece con otros conceptos, y no los que enajenan al concepto con otros conceptos y de paso a las personas. Esto no quiere decir que entonces cada quien dé un significado, aunque, como veremos, la polisemia es resultado de esto, como para que se advierta un significado totalmente nuevo. La proximidad, la relación, la transposición didáctica (Chevallard, 1991) se refleja en las concep-

tualizaciones de ese “algo”, y la exactitud carece de posibilidades en una perspectiva compleja.

Las palabras usadas para nombrar “algo” no derivan siempre en lo visible o inteligible por la naturaleza del conocimiento que los fundamenta. Son y adquieren significado según sean abordadas por las personas. Las comunidades académicas profundizan en los análisis de los problemas, objetos o fenómenos. Este conocimiento suele tener diferentes niveles de complejidad de acuerdo con las dimensiones que aborde, pero también se puede decir que los conocimientos de los científicos no son aprendidos *per se* por las personas, y quizá los científicos tampoco los hayan aprendido así, por lo que incluso suelen no estar conformes con las definiciones generadas en sus campos de investigación y requieran buscar alternativas conceptuales.

Por consiguiente, los conceptos van emergiendo en el ejercicio del pensamiento en las culturas –cualquiera que sea– y van representando ideas, objetos, cuerpos, cosas, fenómenos, acciones, etc., que adquieren significados de carácter abstracto, en tanto que otras se formalizan de *facto* en la realidad que se circunscribe en un contexto y momento histórico. Para Foucault

... si el lenguaje no se asemeja de inmediato a las cosas que nombra, no está por ello separado del mundo; continúa siendo, en una u otra forma, el lugar de las revelaciones y sigue siendo parte del espacio en el que la verdad se manifiesta y se enuncia a la vez. Es verdad que no es la naturaleza en su visibilidad original, pero tampoco es un instrumento misterioso cuyos poderes sólo sean conocidos por algunos privilegiados. (2010b, pp. 54-55)

Cuando los conceptos son usados, suele darse por sentado lo que significan según el contexto y quién o quiénes los utilicen, insertos como están en tales contextos (Roa, 2013). Hoy más que nunca los conceptos no son exclusivos de disciplinas especializadas, aunque algunos pueden estar más cercanos

a disciplinas afines; pero tampoco es que solo estén en los espacios académicos, que están en constante dinámica con el exterior a las disciplinas. Interpretando los planteamientos de Kuhn (2001), la validación de los conceptos, teorías y métodos no es exclusiva de las comunidades de científicos, esta se hace extensiva a lo externo, por lo que dicha validación adquiere un sentido mucho más amplio.

Consecuentemente, en un concepto se pueden identificar varios significados, aunque respecto de algunos puede haber mayor consenso. El significado de un concepto, aun cuando esté escrito en idiomas diferentes, se adquiere en mayor o menor medida por su grado de formación y desarrollo en una cultura lingüística, según el alcance y lo que represente, implique y se acepte como adecuado para él. Fourez ya ha destacado “ninguna traducción de una lengua un poco compleja –y ciertamente ninguna traducción de nuestras lenguas habituales– expresa perfectamente el discurso original” (2006, p. 93). Una palabra asignada a un objeto puede representarlo, pero puede tener diferente significado según el contexto, el orden, sentido y lógica que se le dé al conjunto de conceptos que conceptualizan el objeto, ese “algo”.

En todo caso, los conceptos tienden a tener diferente complejidad, aun cuando se suele pensar como si estos tuvieran un mismo nivel de comprensión. Bachelard ya expresaba que “se comprende que no todos los conceptos científicos llegaron al mismo nivel de madurez. Muchos permanecen todavía envueltos en un realismo más o menos ingenuo, y muchos son aún definidos dentro de la orgullosa modestia del positivismo” (2009, p. 21).

En el orbe de ideas sobre los conceptos, resultan pertinentes y esenciales las orientaciones y condiciones que Foucault ofrece para poder establecer la formación de los conceptos: “si se toma una escala más amplia, y se eligen como puntos de referencia disciplinas como la gramática, o la economía, o el estudio de los seres vivos, el juego de los conceptos

que se ven aparecer no obedece a condiciones tan rigurosas: su historia no es, piedra a piedra, la construcción de un edificio” (2010a, p. 76). Ante tal emergencia contrastante en la formación de conceptos, este autor formula varias preguntas; una de ellas, atinente directamente a las intenciones de este escrito, la explicita así:

¿Habrá que dejar esta dispersión a la aparición de su orden y ver en ella una serie de sistemas conceptuales cada cual con su organización propia, y articulándose únicamente, ya sobre la permanencia de los problemas, ya sobre la continuidad de la tradición, ya sobre el mecanismo de las influencias? [...] Más que querer reponer los conceptos en un edificio deductivo virtual, habría que describir la organización del campo de enunciados en el que aparecen y circulan. (2010a, p. 76)

Como una posible solución para esto, Foucault (2010a) exterioriza algunas relaciones y señala que

... lo que pertenece propiamente a una formación discursiva y lo que permite delimitar el grupo de conceptos, dispares no obstante, que le son específicos, es la manera en que esos diferentes elementos se hallan en relación los unos con los otros: la manera, por ejemplo, en que la ordenación de las descripciones o de los relatos está unida a las técnicas de reescritura; la manera en que el campo de memoria está ligado a las formas de jerarquía y de subordinación que rigen los enunciados de un texto; la manera en que están ligados los modos de aproximación y de desarrollo de los enunciados y los modos de crítica, de comentarios, de interpretaciones de enunciados ya formulados, etc. Este haz de relaciones es lo que constituye un sistema de formación conceptual. (p. 81)

Por consiguiente, las interconexiones entre conceptos no son una excepción, sino más bien el germen que les da significado; las conexiones no son resultado de una receta o algoritmo augurado, estas hacen

que los significados sean dinámicos según el contexto y el texto y el momento histórico, social, cultural y de desarrollo del conocimiento. Las definiciones parecen haber entrado en un momento en el que ya no se pueden sostener por sí solas. Las tensiones respecto de los significados de los conceptos ya no son exclusivas de una entre las disciplinas de conocimiento otrora llamadas cerradas, duras. La naturaleza de los conceptos puede devenir de culturas académicas o no, y se puede decir que pueden migrar en varias direcciones y de manera abierta, cuyas evoluciones tienen como simiente las mutaciones conceptuales.

Aunque se puede decir que no hay definiciones absolutas, que solo existen nociones de la realidad, quizá algunas más próximas que otras a esta, y que, como lo ha señalado Foucault (2010a), los conceptos no satisfacen circunstancias en extremo rigurosas, vale la pena enunciar lo declarado por Labastida: “Hasta fines del siglo XIX, el sujeto científico era arrogante; la ciencia ofrecía un vasto universo de certezas: Surgió, a fines del siglo XIX, cierta grieta en ese sólido edificio [...] se postuló la teoría, ampliada y restringida, de la relatividad [...]. Se levantó la teoría azarosa de los *quanta* y el principio de la incertidumbre [...]. La llama de la razón no puede, no debe apagarse” (2006, p. 13).

La complejidad no ocurre de manera súbita, sino que se va insinuando lentamente. Según Roa (2006) la racionalidad y la científicidad comenzaron a ser redefinidas y complejizadas a partir de los trabajos de Bachelard, Popper, Kuhn, Holton, Lakatos y Feyerabend, quienes intentan, cada uno con posiciones diferentes, pero con la misma intención, dar explicación a la manera como se ha venido dando estructura y orden a nuevas formas de pensar y a nuevos cuerpos de conocimiento.

En razón de lo expuesto, verbigracia, son varios los significados de definición y concepto. Según el *Diccionario de la Lengua Española*, la palabra ‘definición’ significa: “2. f. Proposición que expone con claridad y exactitud los caracteres genéricos y

diferenciales de algo material o inmaterial. 3. f. Decisión o determinación de una duda, pleito o contienda, por autoridad legítima”. En esta cita, solo se explicitan dos de las siete acepciones de ‘definición’. Como se evidencia en los posibles significados, adjetivos tales como claridad y exactitud, de la acepción 2, y determinación, de la acepción 3, dan sustento categórico de lo que significa dicha palabra. De hecho, Fourez ya había enunciado que “las definiciones y los procesos teóricos producen el efecto de darnos objetos estandarizados” (2006, p. 31-32).

Como se entiende, la definición puede tener varios significados, lo cual no es menos cierto para la de conceptos. Labastida, advirtiendo sobre la complejidad que encierra lo conceptual, afirma que “hasta el mismo término *concepto* nos arroja de bruces a insostenibles problemas. *Concepto* es un término latino y está asociado al hecho de engendrar ideas” (2006, p. 11).

En cuanto a la palabra conceptualización, para el *Diccionario de la Lengua Española* significa: “1. Reducir algo a un concepto o representación mental”. Ahora, un concepto es “2. Idea que concibe o forma el entendimiento. 3. Sentencia, agudeza, dicho ingenioso. 4. Opinión, juicio”. Estas tres acepciones, de ocho, enuncian significados puestos en el plano de lo subjetivo, lo que lleva a razonar que los significados se dinamizan según cada persona –o colectivo– y su manera de entender la realidad. Si se reconoce que la conceptualización está asociada a la acepción 2, entonces puede existir pluralidad de conceptualizaciones sobre “algo”; empero, implícitamente se tienen ciertas proximidades a lo que significa ese algo, ya sea dentro de los campos de investigación –los expertos– o fuera de estos –los legos–. En todo caso, los conceptos se distinguen de otros conceptos según la naturaleza de cada uno, como lo ha enunciado Labastida: “al formar conceptos, el hombre engendra, captura o concibe ideas: señala límites, marca frontera y separa un objeto conceptual de otros” (2006, p. 11).

El significado de los conceptos deviene de lo personal y lo colectivo. Toulmin lo ha escrito claramente: “*cada uno de nosotros piensa sus propios pensamientos; pero los conceptos los compartimos con nuestros semejantes [...]. Para comprender qué son los conceptos y qué papel desempeñan en nuestras vidas debemos considerar la relación central entre nuestra herencia lingüística y conceptual, que es colectiva*” (1977, p. 49).

Los conceptos se originan en el pensamiento de los humanos en un contexto cultural que vive la evolución conceptual y que los transmite de una generación a la siguiente. Así pues, las múltiples posibilidades de conceptualización, las interconexiones, no son rígidas, dado que los conceptos se encuentran en constante transformación. Si es así, los significados de los conceptos y de lo que representan también cambian. La reestructuración, organización, jerarquización y valoración de los conceptos es una constante dentro de los campos de conocimiento en los que las *presiones* y las *tensiones* se constituyen en las condiciones y condicionamientos para establecerse (Bourdieu, 2003).

Ahora, haciendo alusión al plano de entendimiento sobre lo que se persigue con los conceptos, en una perspectiva dialéctica, Bachelard ha ilustrado dos tendencias aparentemente contrarias: la atracción por lo singular y la atracción por lo universal, las cuales reconoce como un conocimiento en comprensión y un conocimiento en extensión:

... si la comprensión y la extensión de un concepto son, tanto la una como la otra, motivos de detención epistemológica [...] sería menester que esa palabra pudiera recibir una aceptación dinámica particular. En efecto, según nuestra manera de pensar, la riqueza de un concepto científico se mide por su poder de deformación [...] será menester entonces deformar los conceptos primitivos, estudiar las condiciones de aplicación de esos conceptos y sobre todo incorporar las condiciones de aplicación de un concepto

en el sentido mismo del concepto. Es en esta última necesidad donde reside [...] el carácter dominante del nuevo racionalismo que corresponde a una sólida unión entre la experiencia y la razón. (2010, p. 73)

En ese sentido, no se trata solo de asuntos dialécticos implicados en los conceptos, sino de darles un sentido según la experiencia que se tiene de los mismos; por lo tanto, el ejercicio de la razón y el uso que la(s) persona(s) hace(n) de su lógica tiene improntas particulares de conceptualización. Así, hay que reconocer las posibilidades en que los conceptos pueden ser organizados y relacionados, por lo que se encuentran en una constante conceptualización, es decir, que están expuestos a los posibles entendimientos, y no son definiciones taxativas, no son determinismo ni reduccionismo, absolutismos. En torno a esto, parece más adecuado lo escrito por Fourez al plantear que “una definición generalmente es la *relectura de cierto número de elementos del mundo a través de una teoría*; por lo tanto, es una interpretación” (2006, p. 31). Ejemplificando, este autor señala que:

... la definición de una célula en biología no es un punto de partida, sino el resultado de un proceso interpretativo teórico. Igualmente, no se empezó por definir qué era un electrón, para luego ver qué era en realidad: la teoría del electrón se ha desarrollado poco a poco, después de lo cual, se ha podido definir qué se entiende por esa palabra. Asimismo, consideramos el concepto de centro de gravedad o de palanca. (p. 31)

Los conceptos científicos pueden llegar a cubrir variadas dimensiones en la vida de los humanos. La difusión a través de medios de comunicación masivos y el uso de los mismos, según representen para la sociedad y las personas, y los intereses de diferente índole –político, investigativo, económico, educativo– pueden generar maneras distintas de pensar “algo”, el objeto, idea, fenómeno o problema, según se busque informar y generar polémica, resistencia, aceptación o resignación, sin mayor alcance

de las posibles implicaciones que pueden tener los conceptos científicos, o propender por formar desde la complejidad haciendo uso de lo que los conceptos pueden significar e implicar.

Surgimiento del concepto biotecnología

De acuerdo con el historiador de la biotecnología Robert Bud (1991; 1993), la palabra biotecnología fue propuesta por el ingeniero húngaro Karl Ereky, quien la usó en 1917 en el artículo “El desarrollo de cerdos a gran escala en Hungría”, publicado por el *Boletín de la Sociedad Alemana de Agricultura*, donde describe una planta industrializada de cerdos de engorde (1991, p. 449), y “dos años más tarde amplió sus ideas en un libro: *Biotechnologie der Fleisch-, Fett- und Milcherzeugung im landwirtschaftlichen Großbetriebe*”⁴ (p. 422). En el seguimiento que hace Bud (2003), describe que en tiempo de guerra en Hungría los problemas de alimentos de origen animal, en un momento en que los seres humanos clamaban ante la escasez de proteína, llevaron a alcanzar la eficiencia y el desarrollo del concepto animal-máquina, lo cual apoyó lo que el ingeniero Ereky denomina “biotecnología”. Destaca que en una serie de sus publicaciones de 1917 a 1919 se evidencia que acuñó dicha palabra.

Así pues, pensando en los animales desde la perspectiva mecanicista y de la eficiencia como puntos clave para solucionar la necesidad de este tipo de alimento, se encuentra que la biotecnología toma sentido y es utilizada en varios escritos de quien la acuña. Luego, en la mirada a la producción industrial de cerdos, de carne y de leche que hace Ereky, *grosso modo* tiene sentido acuñar la palabra bio-tecnología, dado que se hace manifiesto el uso de los animales mediante la tecnología, es decir, la utilización de lo vivo mediante procedimientos que conduzcan a un mayor rendimiento.

Hasta este punto se podría inferir que la biotecnología se conceptualiza en cuanto al uso solo

de animales, además que no se utiliza al amparo del pleno desarrollo de la ingeniería genética (las bases moleculares de lo genético aún estaban por concretarse), luego no iría más allá de pensar en grades empresas agrícolas. No obstante, Fári y Kralovánszky han subrayado que “después de 1919, Ereky ha anticipado las posibilidades y el espíritu de la investigación molecular” (2006, p. 10), aún más, presentan un fragmento de uno de los escritos en el que identifica Ereky los ácidos nucleicos en todos los organismos vivos: “Vemos que las proteínas, ya sea vegetal o animal en su origen, contienen los mismos aminoácidos. Lo mismo ocurre si comparamos los ácidos nucleicos que se encuentran en las plantas con los de los animales, los cuales están constituidos por purinas y pirimidinas, más un tipo de monosacáridos y ácido fosfórico” (Ereky, 1918b). Así que ya en 1918 se proponía una unión de la biotecnología y los ácidos nucleicos (Fári y Kralovánszky, 2006, p.10).

Adicionalmente, señalan Fári y Kralovánszky (2006, citando a Bud 1989a/b; 1991; 1993) que fue Ereky, en su obra clásica *Biotechnologie* (Berlín, en 1919), quien puntualizó la nueva disciplina. Manifiesta Lemkow (2000) que Ereky la comprendió como: “todas las líneas de trabajo con las cuales los productos son elaborados a partir de la materia prima con la utilización de organismos vivos” (p. 35). Teniendo en mente esta cita, y lo que se ha planteado anteriormente respecto a lo que entendió Ereky sobre biotecnología, es evidente que la perspectiva es más amplia, en tanto que ya no se hace alusión exclusiva a los animales, sino a organismos vivos en general.

Circunstancias proclives a la emergencia de significados de la biotecnología

A partir de la formulación del modelo del ácido desoxirribonucleico (ADN) a inicios de la década del 50, el interés internacional por la investigación sobre esta molécula se tornó cada más relevante y amplio, a la vez que las investigaciones y publicacio-

4 Traducido: “Biotecnología de la carne, la grasa y la producción de leche en las grandes empresas agrícolas”.

nes aumentaron exponencialmente. En tal sentido, Rifkin ha afirmado:

Estamos yendo de la edad de la pirotecnología a la de la biotecnología. La velocidad de los descubrimientos es verdaderamente fenomenal. Se calcula que el conocimiento biológico se duplica en estos momentos cada cinco años, y en el campo de la genética la cantidad de información se duplica cada veinticuatro meses. Las posibilidades comerciales, según los científicos, están limitadas sólo por el alcance de la imaginación humana y los dictados y caprichos del mercado. (2009, p. 38)

El surgimiento y crecimiento acelerados del conocimiento biotecnológico y su aplicación en la generación de productos y servicios derivados de seres vivos ha repercutido en los mercados y es uno de los campos de investigación que más ha predominado y augura efectos en las economías en las últimas décadas.

Ante la producción acelerada de literatura respecto a la biotecnología desde la década del 80, como señala Malajovich (2012), es posible decir que el término biotecnología en sí adquiere esta polisemia, ya que las publicaciones fueron entretejiendo las posibles maneras de darle un sentido, dirección y significado.

El inicio del cambio de paradigma es cada vez más evidente, pues las características esenciales de los seres vivos ya no son únicamente comprendidas desde posturas teológicas o a simple vista, sino que también coexisten con ellas explicaciones resultantes y comprobables a partir de la manipulación de la información genética representada en el ADN. Esto ha derivado en la modificación genética de algunos seres vivos –bacterias, vacas, cerdos, plantas, etc.–, en la adjudicación de patentes y la creación de empresas biotecnológicas, y desde allí en el lanzamiento al mercado de servicios y productos biotecnológicos. Los productos son los mismos organismos, y los que

estos producen –derivados–, una vez modificados, son utilizados, *grosso modo*, en medicina, agricultura y remediación ambiental.

En este sentido, la biotecnología adquiere poder y valor en los discursos, connotaciones contundentes en dimensiones sociales, bioéticas, políticas internacionales y nacionales, económicas y antropológicas. La naturaleza del conocimiento biotecnológico se fue constituyendo de tal manera que apenas si se dio espera para pensar en la regulación de las investigaciones y las patentes de los descubrimientos. La entrada de los contenidos de biotecnología a la educación fue mucho más lenta: solo hasta 1990 la Unesco (McInerney, 1990) señala la necesidad de llevar la biotecnología a las escuelas.

En toda la configuración de este conocimiento se fueron incluyendo conceptos, conocimientos de tradiciones científicas, por ejemplo de la química, la física, la biología y de disciplinas como genética, microbiología, virología, y de disciplinas híbridas como bioquímica y biología molecular. La estadística, la ingeniería y el periodismo tienen también un papel importante en la biotecnología. Incluso se pueden enunciar, con Aguilar (2009), una cantidad mayor de disciplinas híbridas que particularmente han venido apareciendo acompañadas del prefijo *bio*, a saber:

La ciencia pos-moderna incorpora el prefijo bio en las más variadas disciplinas. Hoy son comunes al menos 20 términos con ese prefijo: biosemiótica, biotecnología, bioestadística, bioinformática, bioingeniería, biofísica, bioquímica, biomecánica, biomedicina, biometría, biopolítica, bioeconomía, bioética, bioarte, biopsicología, sociobiología, ecobiología, bioenergética, bioantropología y biofilosofía. Este fervor biológico retrotrae al terreno de la vida toda explicación del fenómeno social, económico, político, ético o semiológico en cualquier vertiente, ya sea el propio funcionamiento de la sociedad humana, la explicación de la biología como código, información, o el propio funcionamiento de la mente según unidades

análogas a los genes, como en la Teoría de Memes. (Aguilar, 2009, pp. 359-360)

La biología, entendida como el estudio de lo vivo, ha posibilitado las compresiones y explicaciones de otros campos conocimiento al igual que ha apropiado conocimientos de otras disciplinas, algunas más influyentes que otras. Las que más tienen relación con la biología han incluido el prefijo *bio* para dar cuenta de subdisciplinas –por ejemplo: bioquímica, biofísica– que buscan estudiar desde sus objetos de investigación lo vivo. Además, llama la atención que otras disciplinas –por ejemplo: política, economía, arte– que no tienen relación directa con la biología se han visto aludidas, por lo que han incluido el prefijo *bio* (Aguilar, 2009).

En todo caso, cada disciplina tiene sus propios discursos, problemas, objetos de investigación, por lo que las que han acogido elementos conceptuales de la biología no lo harán en el sentido propio de esta. Como lo plantea Fourez: “Si quiero corregir una malformación congénita, quizá sea mejor que mi representación del mundo esté más unida a la biología que a una representación artística del cuerpo. Pero para otros proyectos, puede ser que una visión artística del mundo sea más práctica” (2006, p. 47).

Se podría inferir que ante los avances de investigación en la biología, específicamente en la biotecnología, en aspectos como transgénicos, terapia génica, fecundación *in vitro*, clonación, control de plagas, fitomejoramiento, xenotransplantes, bio-remediación, bioseguridad, biodiversidad, células madre, patentes, comercio y consumo de productos, entre otros (Fukuyama, 2003; Mendiola, 2006; Rifkin, 2009; Malajovich, 2012; Roa, 2017), el panorama de investigación sobre lo vivo o en relación con lo vivo ha aumentado. Luego, la incidencia de la biología tiene que ver con un espectro que se ha ampliado cada vez más, desde la modificación de la materia viva *per se*, pasando por la informática, la política, la economía, etc., hasta la filosofía y la ética, mientras que la educación, la didáctica y la pedagogía no deberían estar

menos interesadas. Por consiguiente, la biología ha replanteado el fenómeno de lo vivo –y de la vida– y, en cambio, otros campos lo que han buscado hacer es tener en cuenta las nuevas disposiciones de la biología para poder ampliar sus explicaciones según el fenómeno que tengan como objeto de estudio.

Teniendo en cuenta lo anterior, era de esperarse que el significado de lo vivo y la vida estén teniendo cambios. La trascendencia que ha marcado la biotecnología para mejorar características o reproducir rasgos deseables en los seres vivos ha posibilitado varias alternativas para pensarlos, a la vez que ha generado pluralidad de significados sobre la biotecnología.

Algunos significados sobre biotecnología

Definir la biotecnología era y es primordial, ya que en el fondo lo que se está manipulando científicamente –no artesanal o comúnmente mediante técnicas agrarias tradicionales– es el punto esencial desde el cual se contiene la materia vinculante con las características de todos los seres que están constituidos –“estructurados, organizados”–, a partir de información genética, es decir, todo aquello que puede estar o esté vivo.

Si bien es cierto que la manipulación de lo vivo es tan antigua como la misma aparición del hombre, esta adquiere con el tiempo características exclusivas, que puede resolver problemas de salud, alimentación y ambientales, haciendo uso directo de la información genética a través de procedimientos estandarizados y sofisticados. Dado que el conocimiento biotecnológico moderno adquirió rápidamente connotaciones relacionadas con la obtención de productos y servicios, los nichos industriales y empresariales⁵, al igual que las reuniones interna-

5 Según Díaz “el nacimiento de la industria biotecnológica habla de su dinamismo: en menos de diez años se había creado una industria altamente competitiva. Genentech fue creada por dos personas en 1976, menos de diez años después tenía casi mil empleados [...]. El fenómeno sigue: nuevos descubrimientos, nuevas empresas [...] ligadas a la

cionales para empezar a regular las investigaciones en el área y el comercio de sus productos, se tornaron urgentes para poder acordar, entre otras cosas, lo que esta significaba. La competencia de los Estados por la investigación y las patentes para poder obtener dividendos fue evidente. El surgimiento de revistas especializadas y el aumento cada vez mayor de las publicaciones daba cuenta de la dimensión de lo que se estaba y está tratando, a la vez de la pluralidad de definiciones de biotecnología que se dispararon en varias direcciones. Los aspectos de tipo normativo y ético, sobre todo, sin negar lo económico y político, requerían definir lo que era la biotecnología. El asunto adquiere trascendencia, ya que los conceptos atinentes a lo vivo y la vida están fuertemente cargados de posturas teológicas y variadas cosmovisiones arraigadas en las culturas.

En torno a la biotecnología se han elaborado diferentes significados y sentidos, según sea el contexto, uso e intereses particulares o colectivos. Al respecto, Vara (2004) ha expuesto que:

En su derrotero filológico, reinenciones y reformulaciones fueron aportadas por el danés, el sueco, el francés y, por supuesto, el inglés: quizás uno de los estadios más curiosos haya sido el momento en que, en la segunda posguerra, el término “biotechnology” fue utilizado en los Estados Unidos para designar la interacción entre hombres y máquinas –lo que para entonces en Gran Bretaña comenzaba a denominarse “ergonomics”–. El repetido cruce de fronteras nacionales y conceptuales, y la subyacente disputa del territorio de la biotecnología entre la biología y la ingeniería resultaron ser, sin dudas, importantes fuentes de variación del significado y uso de esta palabra. Finalmente, la consagración de la genética y, sobre todo, la irrupción de la primera técnica que permitió una inter-

vención directa y dirigida sobre los seres vivos –el ADN recombinante– decidiría la batalla en favor de la biología y del espíritu empresario de la ciencia norteamericana. (p. 75)

Así pues, por las aplicaciones e implicaciones que la biotecnología fue adquiriendo y por las tensiones que podrían generarse al hacer uso del recurso genético, tenía sentido asir un significado definitivo, para evitar que se “disparara” el uso de lo vivo. La perspectiva de poder económico y político de la biotecnología, la ambición de investigar, tentaba, por lo que la definición se convertía en un asunto imperativo. Sin embargo, como se podrá observar en lo que sigue, tal definición difícilmente se puede lograr, dada la dimensión y diversidad de intereses en juego.

Ya Lemkow sostenía que la biotecnología “se usa como un concepto paraguas bajo el cual se agrupan técnicas y aplicaciones que cubren diversos campos”. Expresaba este mismo autor que muchas reuniones científicas sobre biotecnología empiezan con largos debates a propósito de su definición más adecuada: “esta situación viene ejemplificada por la coexistencia de 41 definiciones diferentes de la biotecnología, en los documentos de la Comunidad Europea” (2000, p. 35). En convergencia, Maldonado señala que “no existe una única comprensión acerca de la biotecnología, y sí es posible destacar varias explicaciones sobre la misma, aun cuando sea en planos y contextos diferentes” (2004, p. 27).

Para Kennedy (1991, citado por Marsh, 2001), “la palabra biotecnología ha sido re-desarrollada al menos cuatro veces y su definición cambia en cada ocasión”. Por su parte, Malajovich pone de relieve que “si revisamos los textos de la década de 1980, años en que la expresión ‘biotecnología’ comienza a difundirse, hallaremos más de una docena de definiciones diferentes del término” (2012, p. 29). Con base en estos autores, se evidencia que no existe consenso general sobre lo que se podría entender por biotecnología.

‘proteómica’; al cultivo de las células embrionarias; empresas de bioinformática; empresas ‘genómicas’ ligadas a los usos de los resultados del Proyecto Genoma Humano, y siguen las firmas” (2005, pp. 60-61).

Ahora bien, a pesar de que los medios de comunicación han movilizado aparatajes para la promoción de información con respecto a la biotecnología, buscando generar una imagen favorable de ella, la polémica, la confusión y las protestas se han levantado de manera significativa. Según Ho, esto tiene su origen en varios países –Austria, Noruega, Suiza, Francia, Reino Unido, India, Sur de Asia, Etiopía, Brasil– “desde los primeros días de la ingeniería genética, en la década de 1970” (2001, p. 25).

Surge entonces la pregunta por cuáles son los aspectos o problemas que emergen o constituyen la biotecnología para que se genere tal situación. Lemkow ya señalaba que la confusión es “consecuencia de que el término ‘biotecnología’ es problemático en sí mismo” (2000, p.35). Luego, abordar la naturaleza de su contenido científico (su configuración disciplinar), sus significados, aplicaciones e implicaciones, sería reconocer lo problemático del concepto.

Visto así, se podría decir que cada sintagma de la palabra *bio-tecno-logía* por sí solo no daría lugar a mayores confusiones, no obstante ser analizados de manera profunda por filósofos o lingüistas, pero el análisis histórico y epistemológico comporta otros niveles de análisis, para poder entender su desarrollo como campo de conocimiento; es decir, ya no se está haciendo referencia a los sintagmas, sino a la manera como se estructura y organiza el conocimiento en su devenir como resultado de las investigaciones y su influencia en variados sentidos internos y externos al campo de conocimiento biotecnológico.

A medida que las investigaciones sobre el material genético profundizaban estructural y funcionalmente en las células, fueron surgiendo diferentes nombres para campos de investigación especializados –bioquímica, ingeniería genética, biología molecular, entre otros– que nutrían y hacían más robusta la biotecnología, además de los otros campos que, como ya se anotó (Aguilar, 2009), establecían vínculos con el prefijo *bio*.

Respecto a los nombres de los nuevos campos de investigación que van surgiendo, es llamativo el de “biotecnología de la ingeniería genética”, presentado por Ho (2001), apelativo que, aunque no representa un campo, tiene sentido, en tanto buscaba dejar en evidencia a qué se hacía referencia con la presentación del mismo y no solamente con el de biotecnología (era básicamente hacer distinción entre la biotecnología tradicional y la nueva biotecnología). Según Ho (2001), el uso del término ingeniería tiene ciertas connotaciones que indisponen a las personas, por lo que...

... las industrias biotecnológicas y sus amigos, e incluso los propios consejos de investigaciones gubernamentales, distribuyeron profusamente panfletos e informes. Su fin era promover una comprensión pública de la “modificación” genética (el término ‘ingeniería’ había sido desterrado por los promotores, sobre la base de que sonaba demasiado inamistoso y atemorizante). (p. 22)

Se puede decir que la biotecnología sigue teniendo diferentes maneras de ser entendida. Sin embargo, ya se pueden establecer por lo menos dos: de un lado, la que apunta a lo que representa el concepto, y, del otro, la que señala aquello que emerge del concepto, en contextos y con intereses particulares de investigación, comercio, industria, reflexión, etc. Así mismo, las personas pueden asignar a la biotecnología variados significados, dependiendo de su formación académica y sus creencias, intereses y comprensión del concepto –como seguramente ocurre con otros–. Lo que preocupa es que no se tenga el suficiente conocimiento para poder tomar decisiones con respecto a los productos y servicios biotecnológicos. La posible ingenuidad respecto al significado de los conceptos quizá sea un síntoma de la manera como llegan los mismos a la sociedad, a fuerza de ser usados como información de primera plana en medios de comunicación.

Ahora bien, ante el rechazo o aceptación de la biotecnología, se ha desarrollado y promovido in-

vestigación que busca medir y evaluar las actitudes hacia la biotecnología en uno o en todos sus alcances –alimentos vegetales y animales, medicamentos, etc.– en el público en general desde fines de la década de 1980 (Grice y Lawrence, 2004) y, en particular, desde mediados de la década siguiente, en estudiantes y profesores⁶.

La educación en biotecnología no ha avanzado lo suficiente, no obstante se ha buscado promoverla en instancias internacionales y nacionales, y menos lo ha hecho la investigación al respecto. Thompson ponía de relieve que desafortunadamente, en la extensa investigación sobre la opinión pública respecto a la biotecnología alimentaria, se hace poco para documentar lo que la gente quiere saber sobre la misma:

El público no puede hacer distinción entre científicos individuales, investigación científica, teoría científica y los productos específicos de la biotecnología. Así como ellos pueden tener elementos de acción-calificación en mente (que refleja la incertidumbre, la intencionalidad o consentimiento), cuando usan la palabra “riesgo”, los miembros del público puedan tener en mente amalgamas de ideas sobre los científicos, universidades, teorías, productos y empresas cuando utilizan el término “biotecnología”. (2007, p. 300)

Se pueden sumar a la cita anterior otras ideas, como las de ciencia, tecnología, vida y vivo, arraigadas en la cultura. A propósito de las definiciones de biotecnología, hay que considerar lo que entienden por tal los investigadores, los empresarios, los estudiantes, los profesores, el público en general, que pueden no coincidir en sus culturas, políticas, filosofías, economías. Convergen entonces varios factores al hacer

alusión a la biotecnología, por lo que pensar en una definición absoluta puede ser una ingenuidad.

Roa (2016) pone como ejemplo que, al leer minuciosamente seis definiciones extraídas de artículos sobre educación en biotecnología con énfasis en el profesor⁷, se evidencia que ninguna es igual, aunque de hecho algunas puedan compartir ideas. Y concluye que, más que definiciones, lo que se encuentra son conceptualizaciones de la biotecnología. De hecho, el que se presenten varias “definiciones” dificulta realizar un análisis, ya que los conectores, el orden de las palabras, el uso del plural y el singular, la ubicación de estos en el contenido de la definición, comportan significados diferentes. No obstante, el autor anterior considera que el descomponer las definiciones y analizarlas, según las ideas subyacentes, puede facilitar reconocer los posibles acentos dados a la biotecnología.

Las definiciones pueden responder a intereses de tipo territorial, académico y de Estado(s) (Roa, 2016). Por ejemplo: para el primer caso, cuando se soporta en una disciplina como la tecnología (Türkmen y Darcin, 2007; Kidman, 2010) o se piensa de manera conjunta en la ciencia y tecnología (Lamanauskas y Makarskaitė, 2008; Özden *et al.*, 2008). En el segundo caso, el ejemplo corresponde al de Lamanauskas y Makarskaitė, al introducir la definición con oraciones como “los científicos europeos están de acuerdo en que la biotecnología es...” (2008, p. 270).

Continuando, se encuentra que las definiciones mayoritariamente hacen mención de las modificaciones, aplicaciones, estructuras, usos o manipulación de los seres vivos (plantas, animales, microorganismos, etc.) (Roa, 2016). En otros casos se hacen explícitas las disciplinas que fundamentan la biotecnología: la bioquímica, la microbiología, la genética y la química, la inmunología, la genética, la ingeniería

6 Véanse: Chan y Lui (2002); Boone *et al.* (2006); Cabo, Enrique y Cortiñas (2006); Kidman (2007); Mujica y Reyes (2007); Lamanauskas y Makarskaitė (2008); Kidman (2009); Şorgo y Ambrožič-Dolinšek (2009); Uşak, Erdogan, Prokop y Özel (2009); Sürmeli y Şahin (2010); Chabalengula, Mumba y Chitiyo (2011); Darçin (2011); Erdoğan *et al.* (2012).

7 Véanse: Scott, Washer y Wright (2006); Türkmen y Darcin (2007); Lamanauskas y Makarskaitė (2008); Özden, Uşak, Prokop, Türkoğlu y Bahar (2008); Aziz *et al.* (2009); Kidman (2010).

química, la biología molecular, la biología (Lamauskas y Makarskaitė, 2008; Özden *et al.*, 2008; Aziz *et al.*, 2009; Roa y Valbuena, 2013). Otras definiciones enfatizan que la biotecnología es una tradición (Aziz *et al.*, 2009) muy antigua (Kidman, 2010) o que con ella se busca mejorar (Scott *et al.*, 2006; Aziz *et al.*, 2009), resolver problemas (Kidman, 2010) o estimular procesos (Lamauskas y Makarskaitė, 2008) en seres vivos. También las definiciones pueden incluir lo que se puede obtener, por ejemplo: plantas y animales mejorados (Kidman 2010) y ambientes más útiles a los seres humanos (Aziz *et al.*, 2009); influir en la nutrición (Özden *et al.*, 2008); desarrollar microorganismos para usos específicos: terapia genética, estructura microbianas y aplicaciones, agroquímicas (Scott *et al.*, 2006).

Es muy dicente la pluralidad de ideas que pueden ser resaltadas en unas definiciones y no en otras, y la polisemia es una constante, así como los intereses que emergen según el autor que exponga la definición (Roa, 2016). El espectro de las definiciones se puede ampliar a los análisis de algunas definiciones de biotecnología adelantados por Brown, Kemp y Hall (1998). Por ejemplo, la de Tomal (1992; 1993), quien propone “incluir la aplicación de la ingeniería y la ciencia a los organismos vivos para mejorar la calidad de vida en el sentido de incluir innovaciones tales como las válvulas cardíacas, marcapasos, y articulaciones artificiales” (p. 2). Y Brown *et al.* resaltan que la definición de la Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) establece que la “Biotecnología es la aplicación de los principios científicos y de ingeniería para el procesamiento de materiales mediante agentes biológicos para proporcionar bienes y servicios”.

El significado acordado sobre biotecnología, entre otros, en el Convenio sobre la Diversidad Biológica, realizado en el marco de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en 1992, explicita en el artículo 2: “por “biotecnología” se entiende toda aplicación tecnológica que utilice sistemas biológicos y organismos vivos o sus derivados para la crea-

ción o modificación de productos o procesos para usos específicos”.

Así pues, las omisiones o adiciones a los significados sobre la biotecnología han generado varias posibilidades según el interés sea el de formalizar la participación de unos campos de conocimientos; dejar presente que se trata de la continuidad de una práctica ya tradicional; hacer explícito que se trata de una aplicación para obtener bienes y servicio (OECD); modificar o crear productos o procesos (ONU); o mejorar la calidad de vida.

Como lo señala Vara (2004), la biotecnología no es enteramente fácil de definir, porque es usada de manera muy diferente por las personas, dependiendo del contexto. En todo caso, detrás de esta dificultad para unificar criterios sobre lo que significa la biotecnología está su historia amplia y compleja, ya que son múltiples los factores de naturaleza distinta que se intersectan, lo que da un margen amplio de posibilidades. El concepto tiene diferentes contenidos según la estructura gramatical utilizada para darles significado. En concreto, se lo enfoca según quién lo estructure y a partir del conocimiento que sobre el mismo haya elaborado. El significado del concepto está supeditado a quién lo usa o a aquello que se relaciona con él. Por lo que pueden evidenciarse diferentes maneras de ser entendido, según sea un científico, un empresario, un consumidor, un abogado, un filósofo, un profesor, un Estado, etc.

Cada cual le pone un acento particular al significado según los intereses, conocimiento del concepto, creencias y tradición culturales; *verbigracia*, EL CIENTÍFICO está inmerso en el campo de la investigación, tiene una mirada centrada en la producción de conocimiento que ayude a comprender un fenómeno natural y se mantiene actualizado en el conocimiento que se está dinamizando –aunque quizá, en una visión tradicional de la ciencias, este conocimiento puede estar distante o tener menor importancia que otros conocimientos de naturaleza más político, cultural, social, etc.–; EL EMPRESARIO tiene

puesta su mirada en el usufructo del conocimiento producto de la investigación; su posición es la de hacer uso del conocimiento para la obtención de dividendos, y su preocupación no está centrada en las características o naturaleza del conocimiento, sino en cómo aplicar el conocimiento; EL CONSUMIDOR tiene la premisa de hacer uso de productos y servicios, que le ayuden a suplir alguna necesidad (nutrición, salud, etc.), de modo que su conocimiento de la biotecnología puede variar, como en los demás casos; no obstante, suele ser quien menos comprensión tiene de la biotecnología, aunque, como usuario, puede llegar a interesarle usar su conocimiento para la comprensión de un fenómeno.

Muchas veces las comunidades científicas, en lugar de preguntarse por el significado del concepto biotecnología, están preocupadas por lo que esta pueda implicar –para continuar con sus investigaciones en sus países, dada la carga de contenido social, político, económico y bioético– y no tanto por su enseñanza.

Posibles implicaciones en la enseñanza de la biotecnología

Cabe decir que en la enseñanza del conocimiento biotecnológico es necesario poder explicitar, además de lo que hemos planteado en cuanto a las disciplinas que convergen en la misma: las connotaciones en lo social, bioético, económico, etc.; la falta de claridad respecto a lo que significa; y también, que no existe un acuerdo en la comunidad académica respecto al estatus epistemológico: multidisciplinar, interdisciplinar, como ciencia, como disciplina. Al respecto Wilches ya ponía de relieve esto:

En el caso particular de la Biotecnología, esta no se considera en sí misma una ciencia definida como tal sino por el contrario es un sinergismo multidisciplinario en el cual se involucran diferentes ciencias como la biología, bioquímica, genética, virología, agronomía, ingeniería, química, medicina, veterinaria, entre otras; su enfo-

que está direccionado [tanto] a la investigación básica como a la resolución de problemas prácticos y la obtención de bienes y servicios para el beneficio del hombre. (2010, p. 165)

Tener en mente la naturaleza del contenido biotecnológico y el campo en que deviene –la biología y/o la tecnología– implica reconocer lo problemático que puede resultar su enseñanza y, por ende, el aprendizaje, siempre que se tenga como objetivo formar para la comprensión del conocimiento, máximo cuando se trata de asuntos relacionados con la transformación de lo vivo y de la vida.

Brevemente, cabe señalar que en la experiencia obtenida por Madden (2005) en Inglaterra, al introducir los contenidos de biotecnología (siendo uno de los primeros países, junto con Estados Unidos de América, en la década del 80, en desarrollar la educación en biotecnología), manifiesta que faltó consenso sobre la definición de la biotecnología llevada a la educación, lo cual generó con el tiempo poco interés y temor. Igualmente este autor destaca que los profesores tenían conocimientos desactualizados, asunto que se ha corroborado (Roa, 2017) al analizar publicaciones de investigaciones realizadas sobre la educación en biotecnología y los profesores tanto en ejercicio como en formación inicial.

Los conceptos y contenidos de la biotecnología tienden a ser incluidos en los programas curriculares sin hacerles mayor cuestionamiento a los planteamientos anteriores, y la educación sobre la biotecnología tiende a verse como un asunto de informar y, acaso, de ambientar a las personas, estudiantes y profesores respecto a las técnicas de laboratorio actuales, pero no suele cuestionarse la enseñanza y el conocimiento y lo que implica con ello el aprendizaje. Se hace mucho énfasis en realizar investigaciones sobre las actitudes de estudiantes y profesores en torno a la biotecnología (Roa y Valbuena, 2013).

El concepto biotecnología no está aislado de otros conceptos que a su vez tienen conexiones con otros, es decir, ella está cargada de contenido como

resultado de sus interrelaciones. Pozo ya precisaba que para aprender un concepto es necesario establecer “relaciones significativas con otros conceptos. Cuanto más entretrejida esté la red de conceptos que posee un apersona en un área determinada, mayor será su capacidad para establecer relaciones significativas y por tanto para comprender los hechos propios de esa área” (1992, p. 23).

En este punto, el contenido adquiere cierta complejidad por cuanto su aprendizaje tiene diversas posibilidades de ser aprendido, y puede ser pensado para su enseñanza; no obstante, puede no ser aprendido en su totalidad, en estricto sentido, tal como los científicos lo desarrollaron. Si bien la enseñanza guarda visiones sobre la ciencia, su conocimiento y naturaleza, estas son transformadas, lo cual, en términos de Chevallard (1991), tiene razón de ser en la transposición didáctica.

No es, pues, del todo adecuado tratar los conceptos de la biotecnología de la misma manera, ya que estos, de una parte, pueden diferenciarse según su nivel de desarrollado, relaciones que establezcan con otros conceptos y el alcance que su significado tenga, y, por otra, según a quién vaya dirigida la enseñanza (estudiantes de primaria, bachillerato, pregrado, postgrado). Para Pozo, los conceptos que deben aprender los estudiantes pueden diferenciarse en principios o conceptos estructurantes y en conceptos específicos; los primeros serían muy generales y con un gran nivel de abstracción, soliendo ser útiles en la organización conceptual de las materias. Estos conceptos son transversales a los contenidos de las materias, como señalan varios autores, a lo que se suma que “difícilmente se pueden comprender nociones más específicas si no se dominan esos principios” (1992, p. 28). Los conceptos específicos serían, por su parte, aquellos que están subordinados a los conceptos estructurantes (Pozo, 1992).

Por consiguiente, abordar los contenidos de biotecnología y atender a la manera como pueden ser transformados para la enseñanza es prueba de

lo exigente que puede llegar a ser la labor para un profesor, no tanto pensando en qué actitudes va a desarrollar, sino en cómo hacer para que la enseñanza aproxime a la naturaleza del conocimiento. Al respecto, Izquierdo manifiesta que “la didáctica de las ciencias se puede considerar ‘una manera de mirar’ el conocimiento científico al tenerlo que comunicar tanto a personas expertas como no expertas, de tal manera que contribuya a su desarrollo personal. ‘Los contenidos’ pasan a ser una variable respecto a la cual se han de tomar decisiones; es decir, un ‘problema’ para la DC [didáctica en ciencias]” (2005, p. 112).

Si se tiene en cuenta la complejidad que revisite la biotecnología y la necesidad de formar de manera próxima a lo que ha acontecido en su historia, a la epistemología y la filosofía que le subyace, con las aplicaciones e implicaciones sociales, culturales y bioéticas, entonces es importante avanzar en las características que debería tener el currículo en cuanto a la naturaleza de los contenidos de enseñanza, sobre la o las asignaturas que tendrían lugar para la enseñanza. Así pues, no se trata de solo conocer las actitudes y buscar transformarlas, sino que se deberá abrir la investigación a lo que caracterizaría la *didáctica de la biotecnología*.

Con la biotecnología circulan constantemente conceptos correlacionados –proyecto genoma humano, terapia génica, transgénicos, células embrionarias, producción de órganos, etc.– que pueden representar diferentes niveles de complejidad al abordarlos en la enseñanza de manera separada o en conjunto.

Ahora bien, los conceptos de la biotecnología, y esta misma, pueden presentar diferentes niveles de comprensión según el contexto y cómo se organice y estructure el currículo, lo cual se puede ver expresado en el conocimiento de los estudiantes. Chen y Raffan (1999, citados por Kidman, 2009, p. 136) precisamente han encontrado en un estudio que “estudiantes en Taiwán no demostraron diversidad de

definiciones, contrario a lo encontrado con los estudiantes del Reino Unido”. Kidman sugiere que esto puede ser explicado por la diferencia en el enfoque de los currículos de ambos países.

Esto llama la atención sobre lo importante que es hacer investigaciones entre varios países, donde se sometan a análisis las concepciones de profesores y estudiantes sobre la biotecnología, los contenidos de los currículos y las orientaciones que estos reciben a propósito del país en que ella deviene. El crecimiento acelerado de la biotecnología no es igual en todos los países, pero, en todo caso, por las aplicaciones e implicaciones que estas investigaciones tienen para el mundo, la educación es ineludible. Sin embargo, la investigación sobre la didáctica y la pedagogía respecto de *cómo, qué y por qué enseñar, así como para qué y en dónde enseñarlo*, aún se encuentra en estado embrionario. Como todo estudio, este requiere de tiempos prolongados, asunto que las industrias y empresas no toleran, dado que es apremiante tomar decisiones rápidas. El mercado y conocimiento es extremadamente dinámico, no hay tiempo suficiente para detenerse a analizar la naturaleza e implicaciones del conocimiento que se quiere llevar a la educación formal.

Se podría decir que la premura por llevar los contenidos de biotecnología a la educación puede conducir a crear imágenes distorsionadas, simplistas, reduccionistas y deterministas de ella. Sin la intención de avanzar más en este escrito al respecto, cabe dejar planteados los siguientes cuestionamientos:

1. ¿Qué implica pensar en términos de definición y conceptualización cuando se enseña biotecnología? ¿La definición ayuda a determinar los contenidos a enseñar y muestra cómo enseñarlos?
2. ¿Es problemático que sea polisémico el concepto biotecnología al momento de estructurar y organizar el currículo? ¿Sería adecuado tener una conceptualización para cada fin: filosófico, de mercado, empresarial, de investigación, ambiental, en salud? ¿Habría que estructurar y

dar un significado particular a la biotecnología para la enseñanza? ¿Qué implica hacerlo o no?

3. ¿Qué biotecnología enseñar, con qué perspectiva: de aceptación de la biotecnología para la investigación, el consumo, para producción industrial a gran escala? ¿Es necesario tomar una posición?
4. ¿Qué implica para la enseñanza que la biotecnología cubra múltiples dimensiones de la vida?
5. ¿Si se piensa en la didáctica como campo de conocimiento e investigación del conocimiento científico, podría ella arrogarse el papel de conceptualizar dichos conocimientos?
6. ¿Qué papel tendría el conocimiento del profesor para la enseñanza de la biotecnología?

Conclusiones

Por lo general, los conceptos de la biotecnología, y sus contenidos, son incluidos en los programas curriculares sin mayor cuestionamiento. Se asume que las personas deben informarse y acaso ambientarse en los mismos, de tal manera que no les sean extraños cuando los escuchen a través de los medios de comunicación o los encuentren haciendo parte de algún escrito. Por ello, entonces, es fundamental contextualizar el conocimiento biotecnológico según la cultura, la política, los recursos naturales y la economía de cada país, haciendo entender que existen variados elementos que influyen de manera interrelacionada en la conformación de un contenido a enseñar y que se busca que sea aprendido.

El concepto biotecnología presenta variadas connotaciones y sus significados y contenidos adquieren una connotación distinta cuando ya no se refieren a contenidos científicos o disciplinares solamente –o se limitan a la información o al dato–. La naturaleza del conocimiento se transforma según las características del contexto donde se enseñe y la formación profesional de quien lo enseñe. Dado que toda enseñanza contiene visiones sobre la ciencia –conocimiento, metodología, quiénes son sus inte-

grantes, finalidades, intereses, usos–, investigar tal asunto es relevante para avanzar en la comprensión de la didáctica de la biotecnología.

Conocer la naturaleza y estructura del conocimiento del profesor de ciencias en razón de la biotecnología, al igual que buscar elementos que converjan para estructurar la organización de su conocimiento como objeto de enseñanza, se puede convertir en investigaciones conducentes a mejorar su formación inicial y en ejercicio, en particular su conocimiento profesional para la enseñanza de la biotecnología.

Los estudios en didáctica de las ciencias respecto a la enseñanza del conocimiento biotecnológico se encuentra en estado embrionario, y aun cuando se han realizado algunos análisis, responden más a asuntos de medición de valores y actitudes que a preguntarse sobre cómo y para qué enseñar contenidos de biotecnología (Roa, 2017). Podría decirse que la didáctica orientada a la biotecnología tiene un atraso de cincuenta años, que es el tiempo aproximado en que se evidencian sus avances más significativos.

Bibliografía

- Abrams, P. (1993). Analyzing biotech's past, present, and future. *Bio/Technology*, 11, 450-451. DOI: <https://doi.org/10.1038/nbto493-450>
- Aguilar, T. (2009). Biosemiótica, memética y arte transgénico. *Éndoxa: Series Filosóficas*, 23, 359-374. Recuperado de <http://e-spacio.uned.es/fez/eserv.php?pid=bibliuned:Endoxa-2009-23-5101&dsID=PDF>
- Aycardi, E. (1986). Alcance, desarrollo y perspectivas de la biotecnología en el país. Colombia. *Ciencia y Tecnología*, 4(4), 28-29. Recuperado de <http://repositorio.colciencias.gov.co/bitstream/handle/11146/1576/1986-V4-N4-Articulos-Art%204.10.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Aziz, A., Tegegne, F. y Wiemers, R. (2009). Benefits of hands-on biotechnology training workshops for secondary school educators and college students. *Journal of Biotech Research*, 1, 72-79. Recuperado de <https://search.proquest.com/openview/375588bf71bbdfe4c2daacb502813dco/1?pq-origsite=gscholar&cbl=136084>
- Bachelard, G. (2009). *La filosofía del no. Ensayo de una filosofía del nuevo espíritu científico*. Buenos Aires: Amorrortu.
- Bachelard, G. (2010). *La formación del espíritu científico*. México: Siglo XXI.
- Beriain, J. (2009). Condición humana y nuevos imaginarios socio-bio-políticos. En: Mendiola, I., *Rastros y rostros de la biopolítica* (pp. 15-29). Barcelona: Anthropos.
- Boone, H., Gartin, S., Boone, D. y Hughes, J. (2006). Modernizing the agricultural education curriculum: An analysis of agricultural education teachers' attitudes, knowledge, and understanding of biotechnology. *Journal of Agricultural Education*, 47(1), 78-89. Recuperado de <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.465.8098&rep=rep1&type=pdf>
- Bourdieu, P. (2003). *El oficio de científico. Ciencia de la ciencia y la reflexividad*. Barcelona: Anagrama.

- Brown, D., Kemp, M. y Hall, J. (1998). On teaching biotechnology in Kentucky. *Journal of Industrial Teacher Education*, 35(4). Recuperado de <https://eric.ed.gov/?id=EJ569798>
- Bud, R. (1989a). History of "biotechnology". *Nature*, 387, 10.
- Bud, R. (1989b). Janus-faced biotechnology: an historical perspective. *Trends in Biotechnology*, 7(9), 230-233.
- Bud, R. (1991). Biotechnology in the twentieth century. *Social Studies of Science*, 21(3), 415-457. <https://doi.org/10.1177/030631291021003002>
- Bud, R. (1993). *The uses of life. A history of biotechnology*. Cambridge University Press.
- Bud R. (2003). History of biotechnology. *Encyclopaedia of Life Sciences. Nature*, 1-6.
- Cabo, J., Enrique, C. y Cortiñas, J. (2006). Opiniones e intenciones del profesorado sobre la participación social en ciencia y tecnología. El caso de la biotecnología. *Revista Eureka*, 3(3), 349-368. Recuperado de <https://pdfs.semanticscholar.org/7acf/21f4a53a11587123bb1a82eda1ddof3dfbd4.pdf>
- Cabo, J., Enrique, C., García-Peña, H. y Cortiñas, J. (2005). Controversias y dilemas en el aula. El caso de la biotecnología. *Enseñanza de las Ciencias*. Número Extra. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/13305910.pdf>
- Chabalengula, V. M., Mumba, F. y Chitiyo, J. (2011). American elementary education preservice teachers' attitudes towards biotechnology processes. *International Journal of Environmental & Science Education*, 6(4), 341-357. Recuperado de <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ959423.pdf>
- Chan, S. y Lui, C. (2002). Teachers' perception of biotechnology and its implication on science curriculum development. *Asia-Pacific Journal of Teacher Education and Development*, 5(1), 139-166. Recuperado de <https://repository.eduhk.hk/en/publications/teachers-perception-of-biotechnology-and-its-implications-on-scie-5>
- Chen, S. y Raffan, J. (1999). Biotechnology: students' knowledge and attitudes in the U.K. and Taiwan. *Journal of Biological Education*, 34(1), 17-23. DOI: <https://doi.org/10.1080/00219266.1999.9655678>
- Chevallard, Y. (1991). *La transposición didáctica. Del saber sabio al saber enseñado*. Buenos Aires: Aique.
- Darçin, E. y Türkmen, L. (2006). A study of prospective Turkish science teachers' knowledge at the popular biotechnological issues. *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, 7(2). Recuperado de https://www.eduhk.hk/apfslt/v7_issue2/turkmen/index.htm
- Darçin, E. (2011). Turkish pre-service science teachers' knowledge and attitude towards application areas of biotechnology. *Scientific Research and Essays*, 6(5), 1013-1019. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/228478736_Turkish_pre-service_science_teachers'_knowledge_and_attitude_towards_application_areas_of_biotechnology
- Díaz, A. (2005). *Bio... ¿qué? Biotecnología, el futuro llegó hace rato*. Buenos Aires: Siglo XXI.

- Erdoğan, M., Özel, M., Uşak, M. y Prokop, P. (2009). Development and validation of an instrument to measure university student biotechnology attitude. *Journal of Science Education and Technology*, 18(3), 255- 264. DOI: <https://doi.org/10.1002/sce.20186>
- Erdoğan, M. et al. (2012). Assessment of preservice teachers' knowledge and attitudes regarding biotechnology: A cross-cultural comparison. *Journal of Baltic Science Education*, 11(1), 78-93. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10938/13049>
- Fári, M. y Kralovánszky, U. (2006). The founding father of biotechnology: Károly (Karl) Ereky. *International Journal of Horticultural Science*, 12(1), 9-12. DOI: <https://doi.org/10.31421/IJHS/12/1/615>
- Foucault, M. (2010a). *La arqueología del saber*. México: Siglo XXI.
- Foucault, M. (2010b). *Las palabras y las cosas: una arqueología de las ciencias humanas*. México: Siglo XXI.
- Fourez, G. (2006). *La construcción del conocimiento científico. Sociología y ética de la ciencia*. Madrid: Narcea.
- Fukuyama, F. (2003). *El fin del hombre. Consecuencias de la revolución biotecnológica*. Barcelona: Ediciones B.
- Garritz, A. y Velázquez, P. (2009). Biotechnology pedagogical knowledge through Mortimers conceptual profile. *Proceedings of the NARST Annual Meeting*, 1-18.
- Gelamdin, R., Alias, N. y Attaran, M. (2013). Students' and teachers' perspectives on biotechnology education: A review on publications in selected journals. *Life Science Journal*, 10(1), 1210-1221. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/286796794_Students'_And_Teachers'_Perspectives_On_Biotechnology_Education_A_Review_On_Publications_In_Selected_Journals
- Grice, J. y Lawrence, G. (2004). Encuestas a consumidores sobre biotecnología: ¿formular preguntas hasta obtener las respuestas deseadas, o facultar al público para expresar su opinión? *Revista CTS*, 3(1), 157-181. Recuperado de <http://www.revistacts.net/volumen-1-numero-3/31-dossier/78-encuestas-a-consumidores-sobre-biotecnologia-iformular-preguntas-hasta-obtener-las-respuestas-deseadas-o-facultar-al-publico-para-expresar-su-opinion>
- Ho, M.-W. (2001). *Ingeniería genética: ¿sueño o pesadilla?* Barcelona: Gedisa.
- Izquierdo, M. (2005). Hacia una teoría de los contenidos escolares. *Enseñanza de las Ciencias*, 23(1), 111-122. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/38990162.pdf>
- Jalil A., Occelli, M. y Acevedo, C. (2010). Conocimientos sobre biotecnología en alumnos de profesorado en ciencias biológicas de la provincia de Córdoba. Memorias IX Jornadas Nacionales y IV Congreso Internacional de Enseñanza de la Biología, Argentina.
- Kidman, G. (2007). Biotechnology education: Topics of interest to students and teachers. The World Conference on Science and Technology Education, 8 a 12 de julio, Perth, Australia. Recuperado de <https://eprints.qut.edu.au/28911/2/28911.pdf>

- Kidman, G. (2009). Attitudes and interests towards biotechnology: The mismatch between students and teachers. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology*, 5(2), 135-143. DOI: <https://doi.org/10.12973/ejmste/75265>
- Kidman, G. (2010). What is an interesting curriculum for biotechnology education? Students and teachers opposing views. *Research in Science Education*, 40(3), 353-373. Recuperado de <https://link.springer.com/article/10.1007/s11165-009-9125-1>
- Kuhn, T. (2001). *La estructura de las revoluciones científicas*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Labastida, J. (2006). Prologo. El problema del concepto. En: P. González y M. Roitman (coords.), *La formación de conceptos en ciencias y humanidades*. México: Siglo XXI.
- Lamanauskas, V. y Makarskaitė-Petkevičienė, R. (2008). Lithuanian University student's knowledge of biotechnology and their attitudes to the taught subject. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 4(3), 269-277. DOI: <https://doi.org/10.12973/ejmste/75349>
- Lemkow, L. (2000). La sociedad ante los riesgos biotecnológicos. *Revista Sostenible*, 2, 31-43.
- Madden, D. (2005). The English patient biotechnology education in the UK. En: P. Csermely, T. Korcsmáros y L. Lederer, *Science Education: Best practices of research training for students under 21* (pp. 143-152). NATO Science Series, V: Science and Technology Policy, 47. Recuperado de <http://ebooks.iospress.nl/publication/35>
- Malajovich, M. (2012). *Biotecnología*. Buenos Aires: Universidad Nacional de Quilmes.
- Maldonado, C. (2004). Tensión entre la bioética y la biopolítica. A propósito de la biotecnología. En: *Horizontes de la bioética. Salud y realidad social*. Bogotá: Academia Nacional de Medicina/Universidad El Bosque. pp. 27-46.
- Marsh, D. (2001). *Modern biotechnology in New Zealand: further analysis of data*. Department of Economics, University of Waikato. From the Biotechnology Survey 1998/99. Recuperado de <https://ideas.repec.org/p/wai/econwp/01-03.html>
- McInerney, J. (1990). *Teaching biotechnology in school. Science and Technology Education*. Document Series No. 39. Unesco-IUBS.
- Melo, L. (2013). De la polisemia de los conceptos. El concepto gen como caso particular. *Revista Bio-grafia*, 6(10), 102-107. DOI: <https://doi.org/10.17227/20271034.vol.6num.10bio-grafia102.107>
- Mendiola, I. (2006). *El jardín biotecnológico. Tecnociencia, transgénicos y biopolítica*. Madrid: Catarata.
- Moreland, J., Jones, A. y Cowie, B. (2006). Developing pedagogical content knowledge for the new sciences: The example of biotechnology. *Teaching Education*, 17(2), 143-155. DOI: <https://doi.org/10.1080/10476210600680341>
- Mujica, H. y Reyes, C. (2007). Percepción y educación sobre la biotecnología en las Escuelas agropecuarias del estado Yaracuy. *Educare*, 11(1), 1-7. Recuperado de <http://revistas.upel.edu.ve/index.php/educare/article/view/84>

- Özden; M., Usak, M., Prokop, P., Türkoğlu, A. y Bahar, B. (2008). Student teachers' knowledge of and attitudes toward chemical hormone usage in biotechnology. *African Journal of Biotechnology*, 7(21), 3892-3899. Recuperado de <https://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/59464>
- Pozo, J. (1992). El aprendizaje y la enseñanza de hechos y concepto. En: C. Coll, J. Pozo, B. Sarabia y E. Valls, *Los contenidos en la reforma. Enseñanza y aprendizaje de conceptos, procedimientos y actitudes* Madrid: Santillana. Pp. 19-79.
- Prokop, P., Lešková, A., Kubiátko, M. y Dirand, C. (2007). Slovakian students' knowledge of and attitudes toward biotechnology. *International Journal of Science Education*, 29(7), 895-907. DOI: <https://doi.org/10.1080/09500690600969830>
- Real Academia Española (2014). *Diccionario de la lengua española*. 23ª edición. Madrid: Espasa.
- Rifkin, J. (2009). *El siglo de la biotecnología. El comercio genético y el nacimiento de un mundo feliz*. Barcelona: Paidós.
- Roa, R. (2006). Formación de profesores en el paradigma de la complejidad. *Educación y Educadores*, 9(1), 149-157. Recuperado de <https://educacionyeducadores.unisabana.edu.co/index.php/eye/article/view/653>
- Roa, R. (2013). Análisis y reflexiones al realizar pasantías doctorales en educación, internacional y nacional. Memorias del II Congreso Nacional de Investigación en Enseñanza de la Biología. VII Encuentro Nacional de Investigación en Enseñanza de la Biología y la Educación Ambiental. *Revista Bio-grafías: Escritos sobre la Biología y su Enseñanza*, núm. extraordinario, 930-938. Recuperado de <https://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/bio-grafia/article/view/2494/2325>
- Roa, R. (2016). *Configuración del conocimiento profesional didáctico y pedagógico del profesor de ciencias para la enseñanza de la biotecnología*. Tesis Doctoral. Universidad Pedagógica Nacional, Colombia.
- Roa, R. (2017). Investigaciones sobre educación en biotecnología y profesores. Revisión documental (1987-2013). *Revista Bio-grafías: Escritos sobre la Biología y su Enseñanza*, 10(18) 89-110. DOI: <https://doi.org/10.17227/20271034.vol.10num.18bio-grafia89.110>
- Roa, R. y Valbuena, E. (2013). Incursión de la biotecnología en la educación: Tendencias e implicaciones. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 15(2), 117-127. DOI: <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v15n2.41274>
- Sasson, A. (1989). Biotecnologías y los países en desarrollo: promesas y desafíos. *Ciencia y Tecnología*, 7(1), 4-8. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11146/1700>
- Scott, D., Washer, B. y Wright, M. (2006). A Delphi Study to Identify recommended biotechnology competencies for first-year/initially certified technology education teachers. *Journal of Technology Education*, 17(2). Recuperado de <https://eric.ed.gov/?id=EJ1064456>
- Šorgo, A. y Ambrožič-Dolinšek, J. (2009). The relationship among knowledge of, attitudes toward and acceptance of genetically modified organisms (GMOs) among Slovenian teachers. *Electronic Journal of Biotechnology*, 12(3), 1-13. DOI: <http://doi.org/10.2225/vol12-issue4-fulltext-1>

- Steele, F. y Aubusson, P. (2004). The challenge in teaching biotechnology. *Research in Science Education*, 34(4), 365-387. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11165-004-0842-1>
- Streelman, J. y Karl, S. (1997). Paradigms and the rise (or fall?) of molecular biology. *Nature Biotechnology*, 15, 696-697. Recuperado de <https://www.nature.com/articles/nbto897-696>
- Strohman, R. (1997). The coming Kuhnian revolution in biology. *Nature Biotechnology*, 15, 194-200. DOI: <https://doi.org/10.1038/nbto397-194>
- Sürmeli, H. y Şahin, F. (2012). Preservice science teacher's opinions and ethical perceptions in relation to cloning studies. *Cukurova University Faculty of Education Journal*, 41(2), 76-86. DOI: <https://doi.org/10.14812/cufej.2012.019>
- Thompson, P. (Ed.). (2007). *Food Biotechnology in Ethical Perspective*. New York: Springer.
- Tomal, D. (1992). Biotechnology career education. *The Technology Teacher*, 52(1), 7-9.
- Tomal, D. (1993). Integrating a biotechnology program into the postsecondary curriculum. *Journal of Technology Studies*, 19(1), 33-39.
- Toulmin, S. (1977). *La comprensión humana. El uso colectivo y la evolución de los conceptos*. Madrid: Alianza.
- Türkmen, L. y Darcin, E. (2007). A Comparative Study of Turkish elementary and science education major students' knowledge levels at the popular biotechnological issues. *International Journal of Environmental & Science Education*, 2(4), 125-131. Recuperado de <https://eric.ed.gov/?id=EJ901276>
- Uşak, M., Erdogan, M., Prokop, P. y Özel, M. (2009). High school and university students' knowledge and attitudes regarding biotechnology. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 37(2), 123-130. DOI: <https://doi.org/10.1002/bmb.20267>
- Vara, A. (2004). Presentación del dossier sobre "Biotecnología y Sociedad". *Revista CTS*, 3(1), 75-78. Recuperado de <http://www.revistacts.net/files/Volumen%201%20-%20N%C3%BAmero%203/CTS3.pdf>
- Wilches, Á. (2010). La biotecnología en un mundo globalizado. *Revista Colombiana de Bioética*, 5(2), 164-169. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/1892/189218186016.pdf>
- Wilson, E., Kirby, B. y Flowers, J. (2002). Factors influencing the intent of North Carolina agricultural educators to adopt agricultural biotechnology curriculum. *Journal of Agricultural Education*, 43(1), 69-81. Recuperado de <https://eric.ed.gov/?id=EJ642504>