

**Resumen**

*En este artículo se destaca la importancia de introducir la Biotecnología en la formación inicial y permanente de los profesores de biología, como disciplina que aproxima la naturaleza de la ciencia y las necesidades sociales. Es resultado de una sistemática revisión bibliográfica, interpretación y análisis de elementos conceptuales sobre el conocimiento biotecnológico y la formación del profesor de Biología, bajo la óptica del paradigma de la complejidad.*

**Palabras clave:** formación de docentes, enseñanza de las ciencias, aprendizaje, enseñanza de la biología, biotecnología, (fuente: Tesoro de la Unesco).

# Formación de profesores de Biología a través de la Biotecnología

*Training Biology Teachers Through Biotechnology*

*Formação de professores de Biologia mediante a Biotecnologia*

**Robinson Roa-Acosta**

Magíster en Educación, con énfasis en gestión y evaluación curricular. Universidad Externado de Colombia, Bogotá, D.C., Colombia.  
Investigador, Departamento de Biología, Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, D.C., Colombia.  
robinsonroa@hotmail.com

**Cielo Yesmith Chavarro-Amaya**

Magíster en Bioética, Universidad del Bosque, Bogotá, D.C., Colombia.  
Investigadora, Departamento de Biología, Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, D.C., Colombia.  
cielochvarro@yahoo.com

**Yenny García-Sandoval**

Especialista en enseñanza de la Biología, Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, D.C., Colombia.  
Coordinadora de la línea de Investigación en Biotecnología y Educación, Departamento de Biología, Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, D.C., Colombia.  
yenny182@yahoo.com

**Abstract**

*The article emphasizes the importance of introducing biotechnology as an initial and permanent part of the curriculum for training teachers in the field of biology, which is regarded as a discipline focused on the nature of the science and the needs of society. It is the result of a systematic bibliographic review, interpretation and analysis of conceptual elements concerning biotechnological knowledge and the training of biology teachers, from the standpoint of the complexity paradigm.*

**Key words:** Teacher training, teaching science, learning, teaching biology, biotechnology (Source: Unesco Thesaurus).

**Resumo**

*Este artigo mostra a importância de introduzir a biotecnologia na formação inicial dos professores de biologia como a disciplina que avizinha a natureza da ciência e as necessidades sociais. O artigo é o resultado de uma revisão bibliográfica sistemática, interpretação e análise de elementos conceituais com respeito do conhecimento biotecnológico e a formação do professor de biologia desde a perspectiva da complexidade.*

**Palavras-chave:** formação de docentes, ensino das ciências, aprendizagem, ensino da biologia, biotecnologia (fonte: Tesouro da Unesco).

*“...la ciencia y la tecnología, de la que surge el mundo moderno, representan en sí mismas los principales puntos débiles de nuestra civilización”.*

*Francis Fukuyama<sup>1</sup>*

## Introducción

Progresivamente desde el siglo XX, la enseñanza y aprendizaje de las ciencias se ha convertido en materia esencial de investigación en educación. Inicialmente, la investigación se centró en el aprendizaje del estudiante y la influencia que el contexto tiene sobre él; después se empieza a tener en cuenta al profesor, fundamentalmente, su proceso formativo e incidencia que esta formación puede tener sobre la forma como evalúa, planea la enseñanza y la desarrolla en las clases. Cada vez es más evidente que el pensamiento y la actuación del profesor y del estudiante son, junto con el contexto: científico, tecnológico, etc., elementos interdependientes para el análisis pedagógico y didáctico del quehacer educativo. La mayoría de las investigaciones coinciden en que no existe suficiente coherencia entre lo que piensan, dicen y hacen los docentes de ciencias, es decir, teoría y práctica no son recíprocas.

Algunos investigadores señalan que la manera de enseñar la ciencia es consecuencia de la enseñanza y aprendizaje que previamente ha tenido el profesor, no solo profesional, sino también desde sus primeros años de escolaridad. A este respecto, puede afirmarse que las concepciones sobre la ciencia y su naturaleza empiezan a constituirse desde muy temprana edad, por lo cual pueden tener una gran influencia en su metodología, y en la manera como estructura, organiza y secuencia la enseñanza y aprendizaje de conocimientos, actitudes y procedimientos. Dependiendo de la forma como se enseña, se aprende y se forma el pensa-

miento; esto debe obedecer a las transformaciones que la sociedad, en las últimas décadas, continuamente está teniendo, como resultado del acelerado avance de la ciencia y la tecnología. Básicamente, se podría decir que la manera de pensar y actuar en el mundo actual se ha manifestado, fundamentalmente, por el exitoso paradigma de las ciencias clásicas, y el más reciente, y resultado del anterior, el paradigma de la complejidad.

Como se verá más adelante, la Biotecnología surge de y en las ciencias, y se convierte en un campo de conocimiento interdisciplinario y en uno de los motores de transformación social –cambio de paradigma–, que necesariamente debe incluirse en la educación científica, crítica y propositiva del presente y futuro ciudadano. Precisamente, la complejidad y la Biotecnología, así como la formación de profesores de Biología, es en esencia lo que se presenta a continuación.

## Antecedentes

En torno a todas las aplicaciones y alcances que tiene la Biotecnología en lo económico, político, cultural, social y ambiental, cabe preguntarse si sus adelantos van acompañados de un aumento en los niveles de comprensión de la temática por parte de los estudiantes, ciudadanía y profesores. Para el caso de los dos primeros, como para tomar decisiones sobre los usos alimenticios, médicos y ambientales, y para los profesores, como para enseñarla y contribuir a la formación, en los estudiantes, de una visión cercana a la naturaleza de las ciencias, posturas críticas y propositivas con fe de causa.

A raíz de la manipulación genética de algunos animales, plantas y microorganismos, que desde la Biotecnología se viene realizando hace varios años, y la información transmitida sobre esto por los medios de comunicación televisivo y radial, la manera de concebir lo vivo y la vida sufre una transformación, lo cual requiere necesariamente de un acompañamiento del sector educa-

<sup>1</sup> Fukuyama, F. *El fin del hombre*. Consecuencias de la revolución biotecnológica. Barcelona, España: Ediciones B, 2003, p. 13.

tivo, muy especialmente desde la enseñanza de la Biología. Valbuena, *et al.* (2001) señalan que es responsabilidad del sistema educativo aportar en la formación de las nuevas generaciones, para que asuman estos avances científicos y tecnológicos de una forma crítica y ética.

En este sentido, ya se han presentado algunos estudios y propuestas que abren el horizonte para encaminar tal idea. Es así como Grevechova, *et al.* (1995) ponen de relieve que puesto que en la actualidad circulan por el mundo entero una serie de conocimientos propios de la Biotecnología, ha llegado el momento de introducir una formación inicial en este nuevo campo de conocimiento en los programas de la educación básica, lo cual permitiría a los educandos, por una parte, comprender los fundamentos moleculares de la vida, y por otra, tener una visión próxima sobre aquellos modos concretos a los cuales recurre la naturaleza y la misma persona para resolver sus problemas. Agregan que la Biotecnología puede desempeñar un papel importante en la educación científica y contribuir a identificar las propuestas que trae la ciencia y la tecnología conjugadas, que generan cambios de pensamiento; el conocimiento de las leyes biológicas les permitiría valorar en toda su dimensión problemas fundamentales de la humanidad, como la conservación de la naturaleza y la salud de la población. Aclaran que el entendimiento de las complejas relaciones entre crecimiento, satisfacción de necesidades y equilibrio ecológico exige de cualquier persona educada, independientemente de la actividad que realice, el estudio de las bases de la Biotecnología.

Castellanos, *et al.* (1996) establece que existen nuevas exigencias en la formación de profesores para las futuras asignaturas involucradas con la Biotecnología, o con la materia misma, y destacan que, entre otras cosas:

- Actualmente los programas educativos, en sus diferentes niveles, no permiten un

desarrollo integral de la Biotecnología en Colombia. Gran parte del problema puede ser solucionado estructurando los programas de formación a todo nivel, teniendo en cuenta las connotaciones reales, presentes y futuras de la Biotecnología.

- Es inminente la creación de una asignatura en el nivel de educación básica, con carácter teórico-práctica, que como objetivo principal tenga la divulgación de los principios y procesos fundamentales de la Biotecnología.
- A nivel universitario, actualmente no existen programas dedicados a formar profesionales con el perfil requerido para asumir la responsabilidad del desarrollo integral de la Biotecnología.

En este mismo sentido, Ahumada (1986) resalta que aunque parece existir en algunos países –aun de América Latina– la tendencia a crear carreras de Biotecnología, la recomendación en este sentido no es positiva, dada la multiplicidad de disciplinas que confluyen en este campo y la complejidad de sus interacciones.

Valbuena (1998) advierte que a pesar de que las aplicaciones biotecnológicas están introduciéndose como elemento cultural de la humanidad, existe como problemática la deficiente formación en lo que concierne a los aspectos básicos de la Biotecnología en la mayor parte de la población colombiana, lo cual hace necesario el trabajo pedagógico desde los niveles de educación básica y media, por lo que se requiere abordar la situación relacionada con el deficiente nivel de actualización de los profesores en ejercicio, máxime cuando los avances en este campo son tan acelerados.

Al respecto, en algunos países ya se han empezado a diseñar programas para la enseñanza de la Biotecnología, buscando preparar a los ciudadanos y ciudadanas en la historia, principios, aplicacio-

nes, implicaciones sociales, éticas, bioseguridad y consideraciones legales, mediante el desarrollo de actitudes críticas y argumentadas referentes a los adelantos científicos.

Entre los estamentos internacionales y países que lideran programas de Biotecnología se encuentran:

- E.I.B.E. (Iniciativa Europea para la Enseñanza de la Biotecnología), que está conformada por varios países (Bulgaria, Polonia, República Checa, Grecia, Suiza, Holanda) (<http://www.eibe.info/>).
- Las organizaciones internacionales de países como Dinamarca, España, Estados Unidos, Irlanda. El conjunto de la Comunidad Europea se ha propuesto programas de educación en Biotecnología, para el público en general y para los profesores de ciencias (Moreno, *et al.*, 1992; Padilla, *et al.*, 1997).
- Otros países, como Tailandia, Japón y Filipinas, están implementando estrategias biotecnológicas para mejorar la enseñanza de las ciencias naturales (Parra y Reguero, 2001).

Para el caso de Colombia, la investigación y las aplicaciones biotecnológicas, y la formación académica, aún son escasas; el Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional de Colombia está realizando esfuerzos por socializar los conocimientos sobre las herramientas de uso frecuente en la Biotecnología, con el fin de llevar a cabo programas integrales, para actualizar los conocimientos de los profesores del área de ciencias naturales (Parra y Reguero, 2001).

Por su parte, la Línea de Investigación en Biotecnología y Educación de la Universidad Pedagógica Nacional propone la Biotecnología como elemento importante para la enseñanza de las ciencias; han descrito e interpretado proyectos escolares de corte biotecnológico en varias instituciones de educación básica y media, y han propuesto

unidades didácticas bajo el modelo de enseñanza-aprendizaje como investigación, queriendo de esta manera acercar al estudiante a la naturaleza de las ciencias y el establecimiento de las relaciones ciencia-tecnología-sociedad.

Igualmente, algunas experiencias subrayan la pertinencia y necesidad de incorporar la Biotecnología en la enseñanza de las ciencias. Mascarenhans (1997) destaca, como experiencia en educación biotecnológica, que esta permite a los profesores realizar un trabajo multidisciplinario con la ética y la economía, entre otras razones para persuadir a los estudiantes escépticos sobre la conexión entre la Biología y el mundo real. Roa y Urbina (2005) señalan que al introducir la Biotecnología en la enseñanza de la educación básica y media, esta debe responder al interés de los estudiantes, con el fin de fortalecer, formar o desarrollar actitudes científicas, como la curiosidad, la creatividad, la disciplina de trabajo, el análisis de resultados, la formulación de problemas, la flexibilidad, así como generar un pensamiento sistémico, complejo y creativo.

Por su parte, Pulido, *et al.* (2006) presentan, como resultado de la implementación de la Biotecnología con estudiantes de educación media, a través de situaciones problema, que estos exploran alternativas, superan la mera asimilación de conocimiento ya elaborado y alcanzan una mayor comprensión de conceptos biológicos, lo cual favorece el abordaje de fenómenos complejos. Melo, *et al.* (2005) señalan que la Biotecnología debe ser tenida en cuenta en el trabajo académico que se desarrolla hoy en día en las instituciones escolares, que es necesario que los docentes generen espacios de reflexión, mediante la ubicación del estudiante en un contexto científico, cultural y social.

En cuanto a la naturaleza de las ciencias, se plantea que en la formación del profesor se deben contemplar los conocimientos suficientes para que sea creativo en la enseñanza de las ciencias,

es decir, no solo debe conocer su disciplina, sino también la manera como la pedagogía y la didáctica, así como la filosofía y la historia, intervienen para generar aprendizajes significativos en los estudiantes, cercanos a la manera como se ha construido dicho conocimiento. Cabe resaltar lo expresado por Mellado (1996), respecto a que las concepciones de los profesores sobre la naturaleza de la ciencia afectan las concepciones de los estudiantes, e influyen en la conducta de los profesores en el aula y en el ambiente de clase.

Fernández, *et al.* (2002) concreta que las concepciones de los profesores sobre la naturaleza de las ciencias incluyen reduccionismos y deformaciones, que pueden estar obstaculizando una correcta orientación de la enseñanza, por lo cual se ve la conveniencia de sacar a la luz las posibles deformaciones que la enseñanza de las ciencias podría estar transmitiendo, por acción u omisión; de este modo se favorecería el cuestionamiento de concepciones y prácticas adoptadas acríticamente –por impregnación ambiental–, y aproximarse a concepciones epistemológicas más concretas, susceptibles de incidir positivamente en el aprendizaje de las ciencias.

La manera como se enseñen y aprendan los sistemas vivos, a partir del análisis, interpretación y comprensión de su naturaleza natural viva, puede suponer, *per se*, un obstáculo para alcanzar a comprender su origen, funcionamiento y transformación, dadas las características que les subyacen como tales: adaptación, evolución, reproducción, autocontrol, autorregulación, autopoiesis, entre otras, que son resultado de los múltiples elementos que convergen y emergen, y que conforman de manera simultánea y sinérgica los sistemas vivos. Según el nivel de claridad sobre su funcionamiento y función, es posible que los ciudadanos y ciudadanas puedan tomar decisiones de fondo en relación con el uso responsable de productos y aplicaciones biotecnológicas. Acercar a esta complejidad

requiere necesariamente explicitar la historia y la epistemología en la enseñanza de la Biología.

Al describir la Biotecnología se evidencian elementos importantes, que pueden mejorar la enseñanza y aprendizaje de las ciencias<sup>2</sup>, entre los cuales cabe destacar: su naturaleza interdisciplinar, carácter paradigmático, las relaciones ciencia/tecnología/sociedad/ambiente (CTSA), estado actual de difusión de información que concierne a diversos tópicos (renovación de tratados de comercio, clonación, Proyecto Genoma Humano, terapia génica, consumo de organismos modificados genéticamente –transgénicos–, patentes de genes, productos recombinantes, etc.); ellos incluyen debates de corte ambiental, social, ético, político, religioso y económico, lo que lleva a un acercamiento en la comprensión del conocimiento científico desde la vida cotidiana de los estudiantes.

Otros elementos particularmente formativos son: la posibilidad de abordar el trabajo pedagógico a partir de actividades que incluyan la historia de la Biotecnología, con una aproximación a la naturaleza de las ciencias<sup>3</sup>; el debate bioético y el dilema moral, de especiales características ante algunas aplicaciones y técnicas que subyacen a su objeto de investigación; la comercialización (fecundación *in vitro*, investigaciones con células madre, la clonación, terapia génica, venta y consumo de transgénicos) y el establecimiento de relaciones entre contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales.

Ante las características que reviste la Biotecnología, por los adelantos científico-tecnológicos de final del siglo XX e inicio del XXI, queda la pregunta sobre cuál es la imagen que se está formando sobre esta a través de los diferentes medios

2 Ciencias naturales y ciencias sociales, entre otros campos de conocimiento, como se presentará más adelante.

3 En este sentido, se destaca que en el estudio de la bibliografía referente a la Biotecnología no se encuentran documentos que recojan sistemáticamente su aparición, principios que la fundamentan, métodos, metodologías, productos, finalidades, por lo que está por construirse formalmente el conocimiento biotecnológico desde la perspectiva epistemológica.

de comunicación, al igual que conocer cuál es la educación en ciencias que se está ofreciendo a los presentes y futuros ciudadanos, que redundan en el conocimiento social de las técnicas, aplicaciones, implicaciones y posturas críticas sobre tales adelantos, a partir del conocimiento formal de investigación y epistemología que le subyace.

En razón de esto, cabe expresar que la Biotecnología debe entenderse como una posibilidad de enseñanza de las ciencias, que dadas sus características puede favorecer la enseñanza y aprendizajes significativos y con sentido; no se trata de convertirla en la piedra angular de la enseñanza del conocimiento, ni mucho menos del aprendizaje. De acuerdo con Gagliardi y Giordan (1986), decidir cuál es la información o conocimiento que se va a enseñar no puede hacerse únicamente desde los resultados de la ciencia, ni tampoco solo en función de supuestas necesidades sociales. No se trata de oscilar entre la información teórica de ‘moda’ (por ejemplo, la introducción de la Biología molecular) y las ‘recetas prácticas’, lo importante es lograr que los estudiantes desarrollen la capacidad de aprender y de utilizar los conocimientos científicos.

La Biotecnología cobra, entonces, un sentido muy particular en la formación del profesor de Biología, y en general para los profesores de ciencias, por un lado, ante la posibilidad constante de contextualizar su formación, y por otro, frente a las características que reviste su surgimiento histórico como campo interdisciplinar, lo que le puede facilitar la construcción de una concepción cercana a la naturaleza de la ciencia, traducción e interpretación del conocimiento biotecnológico, convirtiéndose a la vez en una estrategia pedagógica que facilita la enseñanza y el aprendizaje en los estudiantes de manera próxima a como se han desarrollado las ciencias<sup>4</sup>.

<sup>4</sup> Valga aclarar que a cada disciplina de conocimiento le subyace una epistemología particular; no obstante, las investigaciones en didáctica de las ciencias señalan algunas visiones distorsionadas sobre las mismas, que deben ser superadas en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias.

Concatenar los elementos de conocimiento de tipo pedagógico, didáctico, histórico, filosófico, sociológico, cultural, ambiental y económico, entre otros, en la formación de profesores de Biología, requiere ubicarse y contextualizarse en el paradigma de la complejidad.

### Aproximación a la idea de complejidad

Para Morin (2001), existe complejidad cuando no se pueden separar los diferentes componentes que constituyen un todo (como lo económico, lo político, lo sociológico, lo psicológico, lo afectivo, lo mitológico), y cuando hay tejido interdependiente. “Una inteligencia incapaz de encarar el contexto y el complejo global se vuelve ciega” (p. 14).

Dado que el hombre se encuentra en un constante cambio de pensamiento, promovido por el desarrollo científico y tecnológico, expresado a través de la globalización, con frecuencia se ha vuelto una necesidad hacer referencia a la complejidad en menor o mayor medida, desde variados textos y contextos, con la finalidad de generar la concepción más cercana sobre la manera de comprender el comportamiento de un objeto de estudio o situación problema, según su naturaleza.

Precisamente, la idea central de la complejidad gira alrededor del hecho de que existen ciertos aspectos de la naturaleza de las ciencias, de las dimensiones socioculturales, sociopolíticas, socioeducativas, socioeconómicas, históricas, filosóficas y religiosas, que no son fáciles, y a veces posibles, de interpretar, analizar, comprender e integrar, y, por lo tanto, controlar y predecir; lo anterior implica ver las ciencias, enseñanza y aprendizaje desde múltiples puntos de vista, en una interdimensionalidad simultánea.

Puede decirse que la dinámica que ha tomado la comprensión del mundo tiene sus raíces hincadas propiamente en la ciencia clásica, caracterizada principalmente, según Gómez (2002), por querer separar los fenómenos que se van a estu-



diar, en todos los componentes necesarios, con el convencimiento de que el estudio de cada uno por separado es la única vía posible para comprender el todo, que no es más que la suma de las partes. También, le es propio tener presentes algunos conceptos operativos que la refuerzan, tales como la evidencia, fragmentación, causalidad lineal, exhaustividad, inmutabilidad, irrefragabilidad, universalidad y reversibilidad, que han tenido un éxito formidable y los ha hecho suficientemente sólidos y resistentes al cambio.

Entre los difusores más destacados de este paradigma se encuentran Francis Bacon, Galileo y Newton, quienes pensaban que a partir de la experimentación y con el método deductivo era posible establecer leyes generales para la naturaleza, con lo que supuestamente quedaba abierto el camino para predecir y controlar (concepción causa-efecto determinista) todos los eventos futuros en relación con el comportamiento de la naturaleza, dadas unas condiciones iniciales.

Durante siglos, este paradigma clásico de la ciencia dominó fuertemente la manera de concebir y explicar el mundo, pero con el transcurrir del tiempo se desarrollan conocimientos, se suscitan reflexiones y propuestas, que promueven la disertación en torno a la manera como se ha establecido y comprendido el conocimiento por los científicos y la sociedad, así como los factores determinantes en el progreso del conocimiento. Roa (2006) señala que la racionalidad y la científicidad comenzaron a ser redefinidas y complejizadas con los trabajos de Bachelard, Popper, Kuhn, Holton, Lakatos, Feyerabend y Toulmin, 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.

Entre los aportes que concurrieron gradualmente y movilizaron la perspectiva hacia la complejidad se encuentran: el azar y la aleatoriedad en

el comportamiento de la naturaleza; el principio de incertidumbre; la teoría del caos y el principio de la entropía. Morin (1984) y Giordan, *et al.* (1988) resaltan, prioritariamente, el estructuralismo, y la teoría de la información y la cibernética. En tanto, Morin (2001) reconoce la teoría de los sistemas formulada por Bertalanffy como la que puso en entredicho, progresivamente, la validez del conocimiento reduccionista –característico del paradigma clásico de las ciencias–, al establecer que la mayoría de los objetos de la Física, de la Astronomía, de la Biología, de la Sociología –átomos, moléculas, células, organismos, sociedades, astros, galaxias– se encuentran formados y conformados por sistemas.

No obstante, cabe aclarar que dentro de las ciencias clásicas se produjeron muchos adelantos científicos, que fueron y son la base para la continuación del desarrollo del conocimiento, y que el paradigma de la complejidad, en términos de López (1997), no rechaza de plano, como inservibles, los preceptos de la ciencia clásica –fragmentación, simplificación, reduccionismo y determinismo–, sino que destaca sus límites de validez y alerta ante el hecho de que su aplicación puede convertirse en auténticas trampas para el pensamiento, en verdaderos obstáculos para la comprensión de nuestra realidad natural y social.

En consecuencia, en el desarrollo del conocimiento disciplinar en las ciencias clásicas y los elementos de conocimiento develados para la complejidad, se inicia un acercamiento entre las disciplinas, para poder construir cuerpos de conocimientos que expliquen el mundo de manera interrelacionada con otras disciplinas, lo que conduce a nuevas formas de concebir y pensar el mundo. En este sentido, los conocimientos se comunican en sentidos múltiples, para dar sentido, coherencia y claridad a las explicaciones de problemas particulares, globales y emergentes. Esta concepción del conocimiento va más allá de los referentes teóricos, conceptuales, procedimientos y metodología

utilizados para el estudio de un problema, situación o fenómeno social, político, cultural, económico o biológico.

De tal manera, puede extrapolarse que el comportamiento de la sociedad cambia, y también la forma de producir conocimiento en las investigaciones, aulas de clase, comunidad y organizaciones. En los sistemas de educación no puede ser distinto; los ejes de planeación curricular, planes de estudio, metodologías para la formación del profesor, así como las estrategias pedagógicas y didácticas, deben estar en función del panorama complejo, que no permite la formación de un pensamiento delimitado por un solo campo disciplinar, ni mucho menos un enfoque miope en la enseñanza de la ciencia y sus posibilidades de aprendizaje en el contexto cultural, político, tecnológico, social y económico (Roa, 2006).

En términos de educación, según algunos autores, en sí misma esta encierra un entramado que muchas veces no es visible, y si lo es, entonces resulta complicado de explicar y controlar, dado que se trata del desarrollo y puesta en marcha de capacidades, comportamientos y actitudes hacia el mundo, así como de la formación o conformación de percepciones sobre el mismo. La suma de las individualidades en una institución conforma un entramado de percepciones diferentes sobre lo que, cómo y qué se enseña, aprende y evalúa, entre otras cosas. Por lo que pensar en un sistema educativo implica integrar todos los componentes (pedagogía, didáctica, evaluación, gestión y administración) como un todo que está en constante dinámica. La complejidad en este sentido se fragua por las construcciones que tanto profesores como estudiantes han recibido y realizado sobre el mundo de manera individual y colectiva, de acuerdo con su nivel de formación académica e interacción con el mundo. Se trata, entonces, de pensar y actuar en la complejidad, para evitar la fragmentación, reduccionismo y determinismo.

Mellado y Cariacedo (1993) ratifican la necesidad de evitar reduccionismos, ya que la educación es un fenómeno extraordinariamente complejo, y las simplificaciones pueden a veces aportar ignorancia (Morin, 1992) si no se sabe apreciar los aspectos globales. Así mismo, en la educación se debe considerar el conocimiento visto de manera anclada a otros conocimientos de naturaleza diferente, pero con un mismo fin, explicar y comprender el mundo. Al respecto, Correa (2006) señala que hoy no solo se discute la capacidad explicativa de los paradigmas, sino las transformaciones de los modos de conocer y del lugar que ocupan en la sociedad, y propone profundos cambios sobre las formas de producir conocimiento, la manera como se miden y controlan los resultados, sus formas de circulación y consumo, pero principalmente sobre la certeza de sus propios resultados.

### La Biología en el contexto de las ciencias clásicas

A través del tiempo la Biología fue teniendo transformaciones, que ampliaron, cambiaron o complementaron las concepciones sobre su objeto de estudio. En varias ocasiones sus investigaciones y resultados han sido puestos en el centro de discusión desde variados ámbitos sociales y científicos, y ello ha generado, a través de su historia, fluctuaciones de conocimiento o desconocimiento como ciencia<sup>5</sup>, al no ser compatibles con los preceptos que marcaba el paradigma clásico de las ciencias, predominante en el momento.

De acuerdo con Mayr (2006), “en los siglos XVII y XVIII los estudiosos del mundo viviente, tanto en las escuelas médicas como entre los historiadores naturales (teología natural), sentaron en forma activa las bases de una ciencia biológica” (p. 33). “...es extraordinario cómo ha cambiado la

5 “...la existencia de la biología como campo de estudio fue casi universalmente ignorada por los historiadores y filósofos” (Mayr, 2006, p. 33).



Biología en los últimos doscientos años: primero la afirmación de la Biología como ciencia válida en el lapso que va desde 1828 hasta 1866, luego la revolución darwinista, después la genética y la nueva sistemática, y finalmente la revolución de la Biología molecular” (p. 22).

Sin duda, el paradigma de las ciencias clásicas tuvo gran influencia en la Biología, hasta tanto no se fundamentaran justificadamente las propiedades de su objeto de estudio, que la hacían diferente a otros campos de conocimiento. La intención era hacer prevalecer la idea de una ciencia unificada –centrada en la física–, sobre la cual se reduciría toda explicación y se daría el estatus de ciencia.

El tema del reduccionismo se remonta al siglo XVII, cuando la filosofía mecánica planteó que todos los hechos y leyes de la física fueran explicados o ‘reducidos’ a las interacciones locales entre partículas impenetrables de la materia. Una versión distinta plantea que los hechos y procesos que ocurren en diferentes ámbitos de la naturaleza (por ejemplo, el biológico) sean reducidos a las leyes de la mecánica. En el caso del estudio de los seres vivos, dicho ideal se expresó sobre todo en la primera versión, mediante la metáfora del organismo-máquina, la cual desempeñó un importante papel en la construcción de explicaciones mecánicas de procesos como la circulación de la sangre. Ella se basa en la idea de que las partes de un organismo y sus interacciones se consideran suficientes para explicar los procesos biológicos, de manera análoga a la explicación del funcionamiento de un reloj, en el que las partes (pernos, cuerdas, resortes) y sus relaciones son suficientes para dar cuenta de su comportamiento (Suárez, 2005).

Al respecto, Mayr (2006) expresa claramente cómo la física era en ese momento el centro para poder explicar cualquier fenómeno. “El reduccionismo es la filosofía declarada de los fisicalistas. Se reduce todo a sus partes más pequeñas, se determinan las propiedades de esas partes, y así se habrá

explicado todo el sistema. Sin embargo, en un sistema biológico hay tantas interacciones entre las partes –por ejemplo, entre los genes del genotipo– que un conocimiento completo de las propiedades de las partes más pequeñas brinda necesariamente una explicación sólo parcial. Nada es tan característico de los procesos biológicos como las interacciones en todos los niveles, entre los genes del genotipo, entre los genes y el tejido, entre las células y otros componentes del organismo, entre el organismo y su ambiente inanimado, y entre los diferentes organismos. No obstante, las interacciones de los componentes deben considerarse tanto como las propiedades de los componentes aislados” (p. 53).

Para Fernández, *et al.* (2002), la “visión exclusivamente analítica”, que resalta la necesaria parcelación inicial de los estudios, su carácter acotado, simplificadorio, olvida los esfuerzos posteriores de unificación de construcción de cuerpos coherentes de conocimiento cada vez más amplios o el tratamiento de problemas entre distintos campos de conocimiento que pueden llegar a unirse, como ha ocurrido tantas veces. En concordancia, Mayr (2006) subraya que “no existen en el mesocosmos sistemas inanimados que sean tan complejos como los sistemas biológicos de las macromoléculas y las células... El análisis aporta casi siempre una mejor comprensión de estos sistemas, aunque la reducción en el sentido estricto de la palabra es imposible... Los sistemas biológicos son sistemas abiertos; los principios de entropía, por lo tanto, no son aplicables. A causa de su complejidad, los sistemas biológicos se encuentran ricamente dotados con capacidades tales como la reproducción, el metabolismo, la replicación, la regulación, la adaptación, el crecimiento y la organización jerárquica. En el mundo inanimado no existe nada por el estilo” (p. 46). Por ello, en Biología es imposible hablar de fenómenos absolutos, todo está ligado a tiempo y espacio, sin que ningún suceso pueda tener validez permanente.

Según lo anterior, Suárez y Martínez (1998) expresan que la idea de dar cuenta de las teorías, leyes y/o hechos empíricos de una disciplina científica, en términos de otra considerada más fundamental, es decir, la idea de reducir la primera a la segunda, puede caracterizarse como un problema de relación epistemológicamente significativa entre las distintas áreas del conocimiento.

En relación con las distintas posturas utilizadas para debatir sobre el reduccionismo, Sarkar (1991) ha elaborado una detallada taxonomía, que en este artículo, solo a manera de ilustración, se presentará superfluamente para tenerla como referente. En la clasificación, el autor identifica al menos tres tipos de modelos de reduccionismo: teórico, explicativo y antológico o constitutivo. El primero, ejemplificado por los modelos de Ernst Ángel (1949) y Kenneth Schaffner (1967, 1974) (citados por Sarkar), se refiere a una relación de explicación de una teoría por otra que se presume más fundamental. El segundo, entre el que se destacan los modelos de Stuart Kauffman (1971) y William Wimsatt (1976a, 1976b) (citados por Sarkar), se refiere a aquellas explicaciones en las que se da cuenta de un fenómeno o proceso a partir de sus partes constitutivas, esto es, se trata de lo que comúnmente se conoce como explicaciones mecanicistas; este es el modelo más utilizado para explicar el caso de la Biología molecular. El tercer modelo es el reduccionismo ontológico, en que se requiere que ningún fenómeno viole las leyes de la física. Los dos primeros modelos reduccionistas son el centro de diferentes discusiones que tienen que ver con la mencionada relación de la Biología con otras ciencias, en particular la física y la química, así como la cuestión del determinismo biológico.

Otro aspecto sumamente importante en el paradigma de la ciencia clásica son las leyes naturales, desde las que se puede operar y predecir con certeza el comportamiento de un fenómeno o experimento en un tiempo y espacio dados. Este

pensamiento, que orienta el determinismo, no da cabida para incorporar (López, 1997) conceptos de inestabilidad, fluctuación, desorden, evolución, creación, autoorganización, ambigüedad, paradoja y contradicción, así como los de aleatoriedad y variación.

En términos de Mayr (2006): “Las leyes desempeñan, por cierto, un papel más bien pequeño en la construcción de teorías biológicas. La razón principal para la menor importancia de las leyes en la formación de la teoría biológica es quizá la significativa función que cumple el azar y la aleatoriedad en los sistemas biológicos<sup>6</sup>. Otra razón del pequeño papel de las leyes es la singularidad de un alto porcentaje de fenómenos en los sistemas vivientes, así como también la índole histórica de los hechos...” (p. 45). La mayor parte de las teorías biológicas no se basan en leyes, sino en conceptos, como, por ejemplo, el de evolución, biopoblación, selección, especiación, filogenia, competencia, adaptación, biodiversidad, desarrollo, ecosistema y función; con mayor contundencia y “en contraposición con los procesos puramente físicos, los biológicos no sólo están controlados por leyes naturales sino también por programas genéticos. Esta dualidad aporta en forma plena una clara demarcación entre procesos inanimados y vivientes” (Mayr, 2006, p. 48).

El determinismo extremo es una visión simplista de la relación causal entre genotipo y fenotipo, pues relega a un segundo plano las modificaciones que el ambiente puede generar en la expresión y estructura del material genético (Casanueva y Méndez, 2005). El debate en la actualidad se centra en si la inteligencia, obesidad, homosexualidad y agresividad, entre otros, son connaturales, culturales y/o sociales, y en qué porcentajes.

Desde inicios de los años treinta, el proyecto de

<sup>6</sup> “El determinismo constituyó una filosofía dominante de Darwin. Laplace se había jactado de que, si pudiese conocer la ubicación y el movimiento de cada objeto en el universo, entonces podría predecir cada detalle de la historia futura del mundo” (Mayr, 2006, p. 121).

la ciencia del hombre se apoya en una concepción no solo reduccionista, sino también determinista de la ciencia, según la cual podrían encontrarse explicaciones (y soluciones) biológicas que en última instancia se relacionarían causalmente con los complejos problemas sociales de inicios del siglo XX. Así mismo, el establecimiento, en los años sesenta, del código genético, reforzó no solo la estrategia reduccionista, sino también el determinismo, es decir, la idea de que los genes controlan la 'maquinaria celular' y todo el desarrollo del organismo (Suárez, 2005).

En gran parte de la historia de la Biología se encuentran casos en que fue preciso el establecimiento de explicaciones o investigaciones reduccionistas y/o deterministas, que han tenido éxito<sup>7</sup>, para dar cuenta sobre la estructura, comportamiento y desarrollo de un sistema biológico, el cual por su misma dinámica conjuga elementos externos e internos que son difíciles de controlar y predecir. Tomando un ejemplo, Gagliardi (1988) afirma que el desconocimiento de la célula impide comprender aspectos fundamentales del funcionamiento de los organismos vivos. Para construir la noción de célula no bastaron las observaciones microscópicas que pretendían el estudio de componentes cada vez más bajos: transcurrieron más de doscientos años entre las primeras observaciones y la elaboración de la teoría celular. Para poder construir la teoría fue necesario comprender que las propiedades macroscópicas de los organismos dependían de su estructura microscópica, es decir, fue necesario superar la concepción macroscópica para poder integrar las observaciones en una totalidad coherente que permitiera elaborar una teoría explicativa global, caso que también deberá darse para el debate

entre la dicotomía genotipo/fenotipo.

En consecuencia, Gagliardi (1986), citando a Howard Pattee, dispone que cada elemento de un organismo vivo tiene una serie de posibilidades de configuración, pero que el conjunto de los otros elementos lo restringe, 'obligándolo' a adoptar una de ellas. A la vez, este elemento 'participa' en la determinación de los demás. Las propiedades de un sistema complejo están determinadas por las restricciones mutuas entre los componentes que determinan la aparición de un nuevo nivel de organización.

La historia y la filosofía de la Biología muestran cómo a través de sus distintos episodios ha desarrollado y aportado conceptos que, en reunión con otros de diferente naturaleza epistemológica –física y química, por lo menos–, conducen al surgimiento de la Biotecnología como campo interdisciplinario, con una gran aplicación a la vida humana y reconocimiento económico, político, social y educativo, aunque hay que señalar que por lo menos los dos últimos aspectos, como se verá más adelante, se encuentran descuidados: lo social, en particular por los medios de comunicación, y la educación –que, desde luego, se encuentra directamente relacionada con lo social–, por la carencia de preparación de los profesores de Biología en el tema.

Así pues, en la Biotecnología, la compilación disciplinar sinérgica que se desarrolla promueve la intersección de múltiples conocimientos que se sustentan –sin la cual perdería las características esenciales que la hacen ser como es–, la convierte en un campo de conocimiento complejo, pero a la vez también es una oportunidad para hacer el acercamiento a la naturaleza de las ciencias y la globalidad del conocimiento en la formación y cualificación del futuro profesor de Biología, y el profesor en ejercicio, para que a la vez revierta en los estudiantes y ciudadanos.

7 ..."La teoría celular de Schwann y Schleiden fue tan exitosa porque mostró que tanto las plantas como los animales estaban hechos de los mismos elementos estructurales básicos: la células" (Mayr, 2006, p. 93).

### **Biotecnología: conocimiento emergente, complejo y aplicado<sup>8</sup>**

La Biotecnología, a semejanza de otros campos de conocimiento, se encuentra en expansión y aumento en complejidad, en la medida en que crece su conocimiento y evoluciona, dejando anticuadas las acotaciones disciplinares y concepciones tradicionales sobre la ciencia. Por ello, se puede considerar cada vez más abstracto su conocimiento, por lo que se debe explorar su complejidad desde las estructuras formales actuales del conocimiento y la realidad social que le da la validez.

El término “biotecnología” empezó a usarse alrededor de 1960, para designar todas las técnicas cuyo cuerpo de trabajo son los seres vivos y sus aplicaciones. No obstante, estas son muy antiguas, se inician con el establecimiento de la civilización humana; hace más de 6000 años, por ejemplo, los sumerios y babilonios conocían ya la preparación de varios tipos de cervezas, a partir de macedos y extractos de granos. El desarrollo histórico de la Biotecnología muestra la gran cantidad de aplicaciones biotecnológicas para la producción de bienes y servicios a lo largo de la historia del desarrollo de las civilizaciones humanas (Valdez, *et al.*, 2004).

Hasta la fecha las cosas no han sido diferentes, puesto que la Biotecnología, con los experimentos desarrollados y construcciones de conocimiento sobre la manipulación de los seres vivos, ha transformado, y seguramente lo continuará haciendo, las concepciones sobre el valor de la vida y de lo vivo, en términos místicos y monetarios<sup>9</sup>. Esta tiene sus raíces a partir de los conocimientos desarrollados por la Biología y su interconectividad/reciprocidad con otros de naturaleza química, física y aplicacio-

nes tecnológicas, para posteriormente continuar su creciente eclecticismo y complejidad en cuanto a las fuentes científicas que alimentan la posibilidad de desarrollo de tales aplicaciones, y en la medida en que se expande por las sociedades y es latente su alcance e impacto.

Según Dubey (1993), la Biotecnología no es una ciencia sino una disciplina emergente, donde confluyen conocimientos biológicos y tecnológicos; para la International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), la Biotecnología involucra las aplicaciones de Bioquímica, Biología, Microbiología e Ingeniería Química. En tanto para Valdez, *et al.* (2004), actualmente la Biotecnología comprende una amplia variedad de conocimientos y tecnologías, que incluyen disciplinas básicas y aplicadas, tales como la Genética, Biología celular y molecular, Química, bioprocesos, biofermentación, aplicaciones farmacéuticas y médicas, y recientemente, la genómica, bioinformática, Ingeniería Genética y la proteómica.

### **Influencia de la Biotecnología en la transformación social**

Abrams (1993) identifica como revolución científica, desde el enfoque epistemológico de Kuhn, los desarrollos que Watson y Crick dieron al proponer la estructura del ADN. Por su parte, Strohman (1997) ratifica los adelantos sobre el ADN, y agrega también los aportes de Mendel y Darwin, dándole a estos también el carácter paradigmático, por lo que ha implicado para la humanidad y el desarrollo de la ciencia.

Ante esto, no es raro que la Biotecnología se considere como una de las últimas y más grandes innovaciones tecnológicas del siglo XX (Aycardi, 1986), y que haya sido calificada como una de las revoluciones científicas y tecnológicas de nuestro tiempo –el XXI se denominó como “el siglo de la Biotecnología” (Rifkin, 1998)– o como la “revolución biotecnológica” (Sasson, 1989). Por su parte,

<sup>8</sup> Se entiende el conocimiento emergente complejo como aquel en el que concurren conocimientos fundamentales de diferente naturaleza disciplinar, y sin los cuales se formarían concepciones distorsionadas al enseñarse, explicarse y/o aplicarse.

<sup>9</sup> “...pareceremos estar inmersos en un periodo de avances monumentales en las ciencias de la vida” (Fukuyama, 2003, p. 2).

Fukuyama (2003) complementa explicitando que “uno de los motores básicos del proceso histórico humano lo ha constituido el desarrollo de la ciencia y la tecnología, que es lo que determina el horizonte de posibilidades de producción económica y, por consiguiente, gran parte de las características estructurales de una sociedad” (p. 35). “...existe la posibilidad de que la Biotecnología propicie cambios sumamente espectaculares” (p. 102).

Sin duda la Biotecnología, entendida como el uso y aplicaciones de seres vivos –células y tejidos, con sus consecuentes informaciones genéticas– y sus productos o derivados, para la obtención de bienes y servicios para la humanidad, tiene diversas y enormes aplicaciones, especialmente en los ámbitos de la medicina (forense y criminalística, farmacología, salud pública, patología: diagnóstico y tratamiento de enfermedades y deficiencias genéticas), la agroindustria, la producción pecuaria, la industria alimentaria, estudios de biodiversidad, biodegradación y biorremediación (Valbuena, 1998; Vicente, 2000); otros sectores influenciados son la producción de energía y textiles, la minería, peletería y papel, además de las demandas de sectores aparentemente distantes, como la Electrónica y la Informática; así también, ya promete soluciones a problemas de industrias, como la de materiales de construcción, neumáticos y aeronáutica (Krattiger, 2002). En consecuencia, su aplicación a la resolución de problemas de diferente índole afecta el desarrollo y productividad de las economías de los países, así como debería afectar el sistema educativo y político de Colombia.

De hecho, en varios países ya existen políticas tanto económicas y educativas como en investigación, patentes, transporte, uso y divulgación de la Biotecnología. Según Orozco y Chávez (2005): “A partir de la década de los ochenta la Biotecnología empieza a tener un papel importante en las políticas de algunos países, especialmente los desarrollados, que le apuestan a este campo como un elemento

clave para consolidar la competitividad y el desarrollo económico. En Latinoamérica el tema tiene relevancia, especialmente en Argentina, Brasil y México, que implementaron programas nacionales y políticas de apoyo específico para articular desde la política nacional el desarrollo integral de la Biotecnología<sup>10</sup>” (p. 7). Es pertinente también resaltar lo que estos autores establecen como los cuatro ejes sobre los que debe operar la política en Biotecnología, para la región comprendida por cuatro países de América Latina y el Caribe (Colombia, Costa Rica, Venezuela y México): el primero es la construcción de infraestructura y capacidad humana para desarrollar y manejar la Biotecnología. El segundo es el establecimiento de mecanismos de relación entre el gobierno, la academia, la empresa y las entidades multilaterales que operan en la región; estos mecanismos deben estar orientados a la creación de redes y capacidades para formular los planes, programas y estrategias, y valorar los riesgos en bioseguridad y bioética. El tercero es la construcción de un conocimiento social, a través de la divulgación y difusión encaminada a incrementar la percepción pública. El último eje es la definición de un marco de referencia normativo, en materia de derechos de propiedad intelectual y comercialización de la Biotecnología.

Poniendo énfasis en el tercer eje, se puede señalar, acorde con Fukuyama (2003), que la abundante información ofrecida por la prensa popular sobre la existencia de unos ‘genes para’ todo, desde el cáncer de mama a la agresividad, ha creado en el público la falsa conciencia de un determinismo biológico, por lo cual conviene recordar que la construcción social y cultural sigue desempeñando un papel en nuestras vidas. Suárez (2005), además, resalta que hoy en día es común en la literatura la confusión entre las explicaciones geneticistas, que son

<sup>10</sup> México no posee un programa nacional de biotecnología, como si lo tiene Argentina, que lo creó en 1982, y Brasil, que lo creó en 1981.

resultado de una estrategia de investigación reduccionista, y las explicaciones deterministas (con ejemplos como el gen de la obesidad o el gen de la homosexualidad). De esta manera, la Biotecnología se ha filtrado y entretelado, en varios contextos, de manera gradual y continua en la vida de los países. Los mecanismos de divulgación masiva –radio, televisión, internet–, cuyo plazo de aparición son más cortos que los de las publicaciones en libros y revistas especializadas de papel, han llevado a que los resultados científicos tengan una rápida difusión y dispersión (Ahumada, 1986), dejando la creciente producción literaria, y la formación académica, rezagada frente a las explicaciones de los adelantos científicos.

En este punto, cabe preguntarse qué porcentaje y en qué niveles de conocimiento la sociedad está preparada para comprender lo que significa la manipulación de seres vivos, uso de los seres vivos manipulados e impacto en la vida y permanencia de los ecosistemas. Iniciar un desarrollo de formación ciudadana sobre la Biotecnología implica el reconocimiento de su estatus; esto necesariamente significa pensar en la importancia de establecer la epistemología y la filosofía que minimicen el riesgo de fundar concepciones distorsionadas al dar a conocer los adelantos, fracasos, beneficios o procesos que modifican la naturaleza bio-lógica.

Si se reconoce que el mundo se encuentra dominado por la tecnociencia, evidenciada como una actividad social, la Biotecnología desempeña, entonces, un papel preponderante en la transformación gradual de lo que se concibe como sociedad; por ello, todos los sectores, incluido el educativo, están llamados a ser actores dinámicos en la construcción de códigos y significados comunes, que faciliten la interacción en el mundo de manera cercana a la realidad.

En suma, Quintanilla (2005) subraya que se evidencia que los profesores de ciencia y científicos, así como un número no despreciable de divulgadores

en los medios de comunicación masiva, transmiten una imagen normativa y restrictiva, bastante alejada de los contextos culturales, sociales o políticos en que científicos y científicas han contribuido al desarrollo sistemático, permanente y continuo del conocimiento en las diferentes épocas.

El carácter interdisciplinario de este campo de investigación entretela un panorama complejo de explicaciones, que van desde la perspectiva de los principios que rigen su acción, como campo de conocimiento formalizado, hasta la perspectiva de las implicaciones sociales, culturales, políticas, económicas, ambientales y éticas, que los medios acelerados de comunicación masiva no dan al público en general, lo que se presta para ambigüedades, confusión y creación de concepciones poco cercanas a la naturaleza de la ciencia y sus adelantos científicos. Como señala Adúriz-Bravo (2005), la imagen de ciencia verdadera, incuestionable, crítica y elitista, todavía goza de buena salud en el imaginario social, debido a los medios de comunicación masiva, así como la enseñanza tradicional (memorística, dogmática y magistral).

Como alternativa ante esto, es importante ampliar en Colombia los marcos normativos regulatorios, por un lado, sobre el desarrollo de investigaciones con fines biotecnológicos, y por el otro, fomentar políticas de educación que propendan por la culturización científica, que conduzcan a mejorar o crear la percepción pública, por lo menos, sobre la Biotecnología, con posturas críticas y de conocimiento de lo que significa la Biotecnología.

Esto es posible en la medida en que las estrategias de enseñanza de la ciencia se propongan contribuir al acercamiento social sobre la manera como se ha construido y construye el conocimiento científico –naturaleza de las ciencias–, y a la comprensión de las aplicaciones e implicaciones que el desarrollo de la ciencia y la tecnología tienen para la vida en el planeta. Es preciso sopesar tanto los beneficios y peligros evidentes, como también los más sutiles



les, por lo que resulta prudente suscitar reflexiones sobre la estructura del conocimiento científico y su desarrollo; Gil, *et al.* (1999) considera fundamental la formación científica de los futuros ciudadanos y ciudadanas, para hacer posible su participación en la toma fundamentada de decisiones.

### **La Biotecnología y su inclusión en la formación del profesor de Biología**

Para poder llegar a construir en la sociedad una percepción más cercana de la Biotecnología y su naturaleza, se requiere que la enseñanza de la Biología oriente sobre lo que son y representan los seres vivos en y para la naturaleza, así como para la sociedad, la cultura, la economía y la política en el mundo.

Gagliardi (1988) plantea, muy acertadamente, que los estudiantes no aprenden, o aprenden parcialmente, los conocimientos sobre las ciencias; adicionalmente, aclara que la población no se apropia de los conocimientos científicos que podrían ser útiles para mejorar la calidad de vida, ni es capaz de comprender exactamente cuáles son los problemas que plantea la producción, control y utilización de esos conocimientos.

En este sentido, el significado del conocimiento e imagen de ciencia recae, además de los medios de comunicación radial, televisiva y virtual, en el profesor de Biología, que debe tener la formación y competencias para realizar la transformación didáctica del conocimiento científico al conocimiento escolar, y llevarlo a las aulas de clase, de manera próxima al contexto del estudiante, teniendo en cuenta la naturaleza compleja de dicho conocimiento.

No obstante, la formación biotecnológica no debe ser solo un requisito para los profesores de Biología en ejercicio, sino también para los futuros profesores, que son los que con mayor razón deberán tener claridad, para poder traducir los adelantos científicos –revolución biotecnoló-

gica– en estrategias didácticas y pedagógicas, que permitan al estudiante tener una idea cercana a la Biotecnología como campo interdisciplinar, y así elaborar sus propias conclusiones, por lo menos, sobre las consecuencias para la calidad de vida y los ecosistemas.

Quintanilla (2005) enfatiza que las prácticas de formación profesional y las cotidianas de enseñanza de las ciencias involucran situaciones problemáticas, caracterizadas principalmente por la incertidumbre, el desorden y la indeterminación, variables que implican la inmersión en conflictos de actitudes, valores, metas, propósitos e intereses de la enseñanza de las ciencias, lo cual genera nuevos desafíos en la formación temprana de profesores.

Lo más frecuente es que se incurra en visiones puramente operativistas, que ignoran completamente la contextualización de la actividad científica, como si la ciencia fuera un producto elaborado, al margen de las contingencias de la vida ordinaria (Fernández, *et al.*, 2002). Se esconde la significación de los conocimientos científicos tras la enseñanza y aprendizajes simplistas; la visión compleja de las estructuras, que se entretiene entre los conceptos y campos de conocimiento disciplinar, no se tiene en cuenta en la planeación de actividades, evaluaciones, ni discursos realizados en las prácticas pedagógicas.

El mecanicismo y operativismo en la formación de profesores de Biología, a semejanza de las ciencias clásicas, solo conduce en el ejercicio profesional a enseñar a “aprender a pensar”, de la misma manera en que otros ya han pensado; no permite que se genere la apropiación de conceptos de manera autónoma, ni que se genere la dinámica de explicaciones a partir de la extrapolación de conceptos y la interrelación disciplinar del conocimiento.

Con base en la complejidad que manifiesta la Biotecnología como campo de conocimiento emergente, es posible pensarla como un ele-

mento considerablemente importante para hacer un acercamiento del futuro profesor de Biología a la naturaleza de las ciencias, a través de su filosofía e historia, que le permita interpretar y establecer un paralelo en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias, lo cual, conjugado con la pedagogía y didáctica, conlleva a la producción de elementos conceptuales y estrategias metodológicas adecuadas para la enseñanza de conceptos biológicos. Así pues, Adúriz-Bravo (2005) anota que además de saber ciencias, es importante saber sobre las ciencias: qué son y cómo se elaboran, qué características las diferencian de otras producciones, las transformaciones que han tenido en el tiempo, cómo interactúan con la sociedad, la tecnología, entre otras.

Por consiguiente, la formación del profesor de ciencias debe contemplar elementos pedagógicos, históricos, epistemológicos, sociales y filosóficos, que le permitan interpretar y traducir los cambios que la humanidad hasta el momento ha generado (Roa, 2006). Según Gagliardi (1988), conjugar, en la enseñanza de la ciencia, los contenidos con la historia de las ciencias y la epistemología, permitiría:

- Comprender la sociedad humana, lo cual está fundamentado en la relación entre el desarrollo de nuevas técnicas de transformación que sufrió y sufre la sociedad, naturaleza, y su estrecha relación con los procesos de apropiación de los recursos disponibles.
- Establecer y comprender los mecanismos de producción y reproducción social e individual de conocimientos.
- La determinación de los obstáculos epistemológicos, para la definición de los contenidos.
- Introducir en las clases la discusión sobre la producción, la apropiación y el control de los conocimientos, a nivel social e individual. Esto es (Gagliardi, 1986), mostrar en detalle algunos de los momentos de transformación profunda de la ciencia,

e indicar cuáles fueron las relaciones económicas y políticas que entraron en juego, cuáles fueron las resistencias a la transformación y qué sectores trataron de impedir el cambio.

- Ser complemento de la enseñanza de otras disciplinas, entre otros aspectos.

Se puede deducir que estos planteamientos, entre otras cosas, permitirían mejorar la comprensión de la naturaleza de la ciencia.

Mellado (2003) subraya que pensar en una metodología en particular, para enseñar bajo una perspectiva global y compleja, no tiene en la realidad soluciones simples; por el contrario, genera más preguntas e incertidumbre que certezas.

### Consideraciones finales

Hay muchos aspectos actuales, resultado de la globalización, que todavía no vislumbran una dirección, aunque posiblemente esta sea la constante y esencia misma que se mantendrá, a no ser que se empiece a develar volver al paradigma de las ciencias clásicas. El mismo contexto que la complejidad está teniendo por la globalización, ha hecho repensar el conocimiento científico, su producción y enseñanza. Con base en esto, la Biotecnología constituye uno de los campos de conocimiento aplicados con sustanciales aportes al mundo, lo que la convierte en una variable que debe ser incluida dentro de la formación integral del profesor de Biología, para favorecer de esta manera la posibilidad de que analice situaciones problema, o dificultades en la enseñanza, que lo conduzcan a planear y desarrollar estrategias adecuadas para afrontar escenarios desconocidos previamente, pero quizá susceptibles de resolución por la aplicación de conocimientos prácticos y fundamentados.

Conocer la epistemología, la naturaleza de la ciencia; establecer cuáles han sido los tropiezos

que han tenido los diferentes conceptos científicos para llegar a ser aceptados, y establecer relaciones de reciprocidad con la enseñanza directa en el aula de clase, podría conducir a pensar la práctica pedagógica de manera más cercana a como el conocimiento ha “evolucionado”. Desde luego que este tipo de acercamiento requiere previamente realizar una serie de análisis relativos a cómo se va a enseñar un concepto que a su vez se encuentra asociado a otros que también se relacionan con otros, en una orquestación compleja. Hacer un entramado de dichos conceptos, desarrollar la capacidad de hacer conexiones múltiples en la interpretación de los adelantos científicos, problemas sociales, económicos, ecológicos, etc., capacitar en la toma de decisiones en relación con el consumo de un producto, o el apoyo en la producción, requiere la fundamentación de conocimientos de manera cercana a la globalización y complejización de la realidad, a la luz del ciudadano actual y futuro.

Dar al profesor de Biología los elementos suficientes para poder ser creativo en la enseñanza de las ciencias es un requisito indiscutible; el profesor debe conocer su disciplina, pero también la manera como la pedagogía y la didáctica intervienen para generar aprendizajes significativos, y acercar a la manera como se ha construido dicho conocimiento, así como dejar establecido que el conocimiento se encuentra interconectado con otros conocimientos, que producen una sinergia complicada de entender, pero más de enseñar, como es el caso de la Biotecnología.

Para finalizar, cabe resaltar lo anotado por Rodríguez (2006), quien pone de relieve que: “... si la enseñanza no estimula la apropiación y producción de conocimiento, de manera tal que el estudiante se habilite para participar en el desarrollo de su disciplina o profesión y desarrolle la capacidad para recontextualizar el saber con el fin de comprender y actuar en la realidad social que le corresponde vivir, se puede hablar de fracaso académico” (p. 3).

## Bibliografía

- ABRAMS, P. Analyzing biotech's past, present, and future. En: *Bio/Technology*, abril 1993, vol. 11, p. 450-451.
- ADÚRIZ-BRAVO, A. ¿Qué naturaleza de la ciencia hemos de saber los profesores de ciencias? Una cuestión actual de la investigación didáctica. *Tecne, Episteme y Didaxis*, 2005, número extra, p. 23-33. 2º Congreso sobre Formación de Profesores de Ciencias. Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá.
- AHUMADA, B. Hacia una política de Biotecnología en Colombia. *Revista Ciencia y Tecnología*, enero 1986, 1 (2).
- AYCARDI, E. Alcance, desarrollo y perspectivas de la Biotecnología en el país. *Colombia. Ciencia y Tecnología*, agosto-octubre 1986, vol. 4 (4), p. 28-29.
- CASANUEVA, M., y MÉNDEZ, D. Tres teorías y tres niveles en la genética del siglo XX. En: ESTANY, A. (ed.). *Filosofía de las ciencias naturales, sociales y matemáticas*. Enciclopedia iberoamericana de Filosofía. Madrid: Editorial Trotta, 2005.
- CASTELLANOS, O.; SALCEDO, L., y GREVECHOVA, R. Importancia del factor educacional en el desarrollo sostenido de la Biotecnología. *Revista Estudios en Pedagogía*, julio-septiembre 1996, 9 (2), p. 50-65.
- CORREA, F. Hacia la construcción de campos transdisciplinarios en la Facultad de Ciencias Humanas. En: *Bitácora*. Boletín de la Facultad de Ciencias Humanas, noviembre 2006, No. 31, p. 1. Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.
- DUBEY, R. *A text book of Biotechnology*. Nueva Delhi: S. Chand & Company, 1993.
- European Initiative for Biotechnology Education (EIBE). <http://www.eibe.info/>
- FERNÁNDEZ, I.; GIL, D.; CARRASCOSA, A., et al. Visiones deformadas de las ciencias transmitidas por la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 2002, 20 (3), p. 477-488.
- FUKUYAMA, F. *El fin del hombre. Consecuencias de la revolución biotecnológica*. Barcelona, España: Ediciones B, 2003.
- GAGLIARDI, R. Los conceptos estructurantes en el aprendizaje por investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 1986, 4 (1), p. 30-35.
- GAGLIARDI, R. Cómo utilizar la historia de las ciencias en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 1988, 6 (3), p. 291-296.
- GAGLIARDI, R., y GIORDAN, A. La historia de las ciencias: una herramienta para la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 1986, 4 (3), p. 253-258.
- GIL, D.; CARRASCOSA, A.; DUMAS-CARRÉ, A., et al. ¿Puede hablarse de consenso constructivista en la educación científica? *Enseñanza de las Ciencias*, 1999, 17 (3), p. 503-512.
- GIORDAN, A.; RAICHVARG, D.; DROUIN, J., et al. *Conceptos de Biología. I. La respiración. Los microbios. El ecosistema. La neurona*. España: Labor, 1988.
- GÓMEZ, L. Complejidad y ecología. En: *Revista del postgrado en gestión ambiental*, 2002, 5 (2), p. 5-11. Universidad Nacional, Colombia.
- GREVECHOVA, R.; SALCEDO, L., y CÁRDENAS, F. Biotecnología y educación básica. En: *Actualidad Educativa*, mayo-junio, 1995, 2 (7), p. 35-40.
- KRATTIGER, AF. Public-Private Partnerships for Efficient Proprietary Biotech Management and Transfer, and Increased Private Sector Investments. A Briefing Paper with Six Proposals. *IP Strategy Today*, 2002, N° 4, p. 42. Cornell University, USA.

- LÓPEZ, F. Complejidad y educación. *Revista Española de Pedagogía*, enero-abril 1997, LV (206), p. 106-112.
- MASCARENHANS, D. Sustaining biotechnology education initiatives. *Nature Biotechnology*, 1997, 15, p. 850.
- MAYR, E. *Por qué es única la Biología. Consideraciones sobre la autonomía de una disciplina científica*. Buenos Aires, Argentina: Katz Ediciones, 2006.
- MELO, C.; GARCÍA, Y.; ROA, R., *et al.* Implementación de una unidad didáctica: bacterias fijadoras de nitrógeno para la enseñanza/aprendizaje de la Biotecnología en la educación media. *Tecne, Episteme y Didaxis*, 2005, número extra, p. 187-188. Memorias. 2º Congreso sobre Formación de Profesores de Ciencias. Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá.
- MELLADO, J. Concepciones y prácticas de aula de profesores de ciencias, en formación inicial de primaria y secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 1996, 14 (3), p. 289-302.
- MELLADO, J. Cambio didáctico del profesorado de ciencias experimentales y filosofía de la ciencia. *Enseñanza de las Ciencias*, 2003, 21 (3), p. 343-358.
- MELLADO, V., y CARIACEDO, D. Contribución de la filosofía de la ciencia a la didáctica de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 1993, 11 (3), p. 331-339.
- MORENO, L.; LEMKOW, L., y LIZÓN, A. *Biotecnología y sociedad. Percepción y actitudes públicas*. Madrid: Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 1992.
- MORIN, E. *La cabeza bien puesta. Bases para una reforma educativa*. Buenos Aires, Argentina: Nueva Visión, 2001.
- MORIN, E. *Ciencia con consciencia*. Barcelona: Anthropos, 1984.
- MORÍN, E. Entrevista realizada por Javier Valenzuela para la revista *Babelia*, suplemento de *El País*, 18 de julio de 1992.
- OROZCO, L., y CHÁVEZ, F. *Construcción de indicadores en Biotecnología*. Organización de Estados Americanos (OEA) y Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología (OC y T), 2005.
- PADILLA, Y.; GÓMEZ-NIÑO, A.; VILLAMARÍA, R., y SÁENZ, M. Proyecto para introducir la Biotecnología en el currículo de la educación secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 1997, número extra, p. 485-486. Quinto Congreso Internacional de Enseñanza de las Ciencias.
- PARRA, C., y REGUERO, M. Algunas experiencias de la introducción de la Biotecnología en la educación básica y media. En: *Revista de Educación de las Ciencias*, 2001, 1 (1), p. 13-16.
- PULIDO, M.; ROA, R.; GARCÍA, Y., *et al.* Investigaciones escolares en Biotecnología: una estrategia que involucra situaciones problemáticas. En: VASCO, C. (ed.). *Ciencias, racionalidades y medio ambiente*. Bogotá: Editorial Pontificia Universidad Javeriana, 2006.
- QUINTANILLA, Mario. Historia de la ciencia y formación del profesorado: una necesidad irreductible. *Revista Tecne, Episteme y Didaxis*, 2005, número extra, p. 23-33. 2º Congreso sobre Formación de Profesores de Ciencias. Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá.
- ROA, R. Formación de profesores en el paradigma de la complejidad. *Revista Educación y Educadores*, 2006, 9 (1), p. 149-157. Universidad de La Sabana, Chía Colombia.
- ROA, R., y URBINA, J. Reflexión en torno a la introducción de la Biotecnología en la educación media y básica. Memorias. *Revista Tecne, Episteme y Didaxis*, 2005, número extra, p. 192-193. 2º Congreso sobre Formación de Profesores de Ciencias. Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá.
- RODRÍGUEZ, J. ¿Qué facultad tenemos, qué facultad queremos? La construcción de sentido en el aula de clase. En: *Bitácora*. Boletín de la Facultad de Ciencias Humanas, noviembre 2006, (31), p. 2. Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

- RIFKIN, J. *The Biotech Century: Harnessing The Gene and Remaking the World*. EE. UU.: Putmann/Tarcher, 1998, 288 p.
- SARKAR, S. Models of reduction and categories of reductionism. *Synthese*, 1991, 91, 167-194. Citado por: SUÁREZ, E. La Biología molecular: el reto de formular explicaciones reduccionistas. En: ESTANY, A. (ed.). *Filosofía de las ciencias naturales, sociales y matemáticas*. Enciclopedia iberoamericana de Filosofía. Madrid: Editorial Trotta, 2005.
- SASSON, A. Biotecnologías y los países en desarrollo: promesas y desafíos. En: *Colombia. Ciencia y Tecnología*, enero-marzo 1989, 7 (1), p. 4-8.
- STROHMAN, R. The coming Kuhnian revolution in biology. *Nature Biotechnology*, 1997, 15, p. 194-200.
- SUÁREZ, E. La Biología molecular: el reto de formular explicaciones reduccionistas. En: Estany, A. (ed.). *Filosofía de las ciencias naturales, sociales y matemáticas*. Enciclopedia iberoamericana de Filosofía. Madrid: Editorial Trotta, 2005.
- SUÁREZ, E., y MARTÍNEZ, S. El problema del reduccionismo en Biología: tendencias y debates actuales. En: MARTÍNEZ, S., y BARAHONA, A. (comp.). *Historia y explicación en Biología*. UNAD/Fondo de Cultura Económica, México, 1998.
- VALBUENA, E. Contribución al desarrollo de la Biotecnología desde la educación en los niveles de la básica y media. *Revista de la Facultad de Ciencia y Tecnología*, 1998 (4). Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá.
- VALBUENA, E.; BOLAÑO, P.; ROA, R., et al. *Incidencia de los proyectos escolares en Biotecnología en la enseñanza de las ciencias en Bogotá*. Ficha resumen de proyecto. Centro de Investigaciones de la Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, 2001.
- VALDEZ, M.; LÓPEZ, R., y JIMÉNEZ, L. Estado actual de la Biotecnología en Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, septiembre 2004, 52 (3), p. 733-743.
- VICENTE, M. Biotecnología, el arte de modificar seres nuevos para el beneficio del hombre. En: *Alambique*, 2000, 25, p. 15-25.