

Enseñanza de la biotecnología en las carreras de Ingeniería industrial, Agronomía y Forestal

Teaching biotechnology as part of degree programs in Industrial Engineering, Forest Engineering, and Agronomy

Juan J. Silva Pupo,¹ Orlando González Paneque,² Yanet Hernández Jerez,³ Mijail Bullain Galardi⁴

¹ Universidad de Granma, Cuba.
jsilvap@udg.co.cu

² Universidad de Granma, Cuba.
ogonzalezp@udg.co.cu

³ Universidad de Granma, Cuba.
yhernandezj@udg.co.cu

⁴ Universidad de Granma, Cuba.
mbullaing@udg.co.cu

RESUMEN

En el artículo se recogen las experiencias en la enseñanza de la Biotecnología en las carreras de Agronomía, Forestal e Industrial a partir del diseño de las asignaturas optativas de Elementos de Biotecnología, Micropropagación y Procesos Biotecnológicos, impartidas por el colectivo del Centro de Estudios de Biotecnología Vegetal de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Granma. Se caracteriza la disciplina a la que pertenece cada una de estas asignaturas, el tiempo total y las tipologías de clases empleadas, así como el sistema de conocimiento. Los resultados docentes, evaluados mediante las calificaciones finales, mostraron un mejor desempeño de los estudiantes de la carrera de Ingeniería Industrial, que aprobaron la asignatura de Procesos Biotecnológicos con 4,47 puntos de promedio.

PALABRAS CLAVE: enseñanza de la biotecnología, procesos biotecnológicos, micropropagación y asignaturas optativas.

ABSTRACT

This paper presents experiences gained by teaching biotechnology as part of degree programs in Industrial Engineering, Forest Engineering, and Agronomy. Biotechnology includes such elective courses as Elements of Biotechnology, Micropropagation, and Biotechnological Processes taught by the staff from the Center for Plant Biotechnology Research in the Faculty of Agricultural Sciences at the University of Granma. Majors offering such courses, number of teaching hours, types of lessons, and knowledge system are also presented. Student performance, assessed by using final grades, showed a better performance of Industrial Engineering students, with them getting such a good grade as an A in Biotechnological Processes.

KEYWORDS: *learning network, personal learning environments, social networks.*

RECIBIDO: 17/6/2016

ACEPTADO: 15/7/2016

Introducción

La biotecnología es, esencialmente, el uso de las bacterias, levaduras, células animales y vegetales, cuyo metabolismo y capacidad de biosíntesis se orientan hacia la fabricación de sustancias específicas. La biotecnología, ante todo, constituye un proceso de producción (Sasson, 1998); además se considera una actividad multidisciplinaria y multifacética con aplicación en los campos de la salud humana y animal, agricultura, ambiente, industria y alimentos con gran repercusión en la esfera económica (Herrera, 2002).

El desarrollo de la biotecnología en Cuba tuvo su génesis en los primeros aldabonazos de la Revolución Cubana, mediante la Campaña de Alfabetización en 1961, la Reforma Universitaria de 1962 y la apertura de centros de investigación como el Instituto de Investigaciones de Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA) y el Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CNIC), al que se ha catalogado como la cuna de la biotecnología cubana. Todo ello precedido por las conocidas ideas de Fidel expresadas durante la celebración del XX aniversario de la Sociedad Espeleológica de Cuba en el año 1960, donde hace referencia a que el futuro de Cuba sería necesariamente un futuro de hombres de ciencia, porque se sembraban las oportunidades para la inteligencia. Veinte años después, en 1980, se conoce la existencia del interferón, una sustancia con posibilidades de ser utilizada en la terapia del cáncer. La obtención del interferón en el contexto cubano permitió detener el dengue hemorrágico causante de la muerte de 158 personas, de ellos 102 niños. Actualmente se conoce que la cepa que provocó tal tragedia no circulaba en América Latina. Esos avances propiciaron, primero, la creación del Frente Biológico, luego, el Polo Científico del Oeste y, actualmente, BioCubaFarma, organización superior de dirección de la economía que agrupa a numerosos centros de investigación y plantas productoras creados con una importante cartera de productos biotecnológicos, muchos de ellos únicos de su tipo en el mundo.

En este análisis no debe soslayarse la tradición científica y médica cubanas, aun en la época de la colonia, que dio hombres tan ilustres como Tomás Romay y Carlos J. Finlay, este último considerado por la UNESCO como uno de los microbiólogos más importantes de todos los tiempos.

En los *Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución* (PCC, 2011) se plantea: sostener y desarrollar los resultados alcanzados en el campo de la biotecnología, la producción médico-farmacéutica, la industria del software y el proceso de informatización de la sociedad, las ciencias básicas, las ciencias naturales, los estudios y el empleo de las fuentes de energía renovables, las tecnologías sociales y educativas, la transferencia tecnológica industrial, la producción de equipos de tecnología avanzada, la nanotecnología y los servicios científicos y tecnológicos de alto valor agregado. Recientemente,

en el *Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social hasta el 2030* (PCC, 2016) se incluyó como uno de los sectores estratégicos el farmacéutico y las producciones biomédicas. Aunque las potencialidades de las biotecnologías son más determinantes en los diferentes planos económicos, favorecen al sector energético mediante las fuentes renovables de energía como el biogás, la producción de alcoholes, la disminución de las cargas de azufre en el petróleo pesado que se extrae en Cuba, en la producción de alimentos y en la conservación de la biodiversidad y del medioambiente, claves para el desarrollo de la industria turística.

La enseñanza de la biotecnología ha sido identificada por numerosos países como un factor básico en la formación ciudadana, importante para dar respuesta a la demanda de una opinión pública versada en estos conocimientos (Lock, 1996); por esto, se ha convertido en pocos años en una necesidad educativa, no solo en el mundo académico, sino también en la sociedad en su conjunto. Los científicos y también los políticos, los comerciales, los productores, los abogados, los periodistas, los economistas y la población en general están relacionados de una forma u otra con los avances en esta rama; a la vez, la biotecnología continúa en desarrollo con los progresos de otras ciencias como la biología, la bioquímica, la genética, la microbiología, las ingenierías vinculadas a procesos (química, bioquímica o industrial), y con otras ciencias como la física, las matemáticas y las ciencias de la computación (Negrín *et al.*, 2007).

Según las *Indicaciones complementarias al documento base para la elaboración de los planes de estudio «D»* (MES, 2007a), las asignaturas optativas son aquellas que se incluyen en el plan de estudio, y de entre las cuales el estudiante debe seleccionar una cantidad determinada para cursar de forma obligatoria. Estas asignaturas se utilizan, en general, para garantizar la ampliación y actualización de variados temas científico-técnicos relacionados con la profesión.

El objetivo de este artículo es presentar los resultados del diseño e impartición de asignaturas optativas de perfil biotecnológico en las carreras de Agronomía, Forestal e Industrial.

El desarrollo de la biotecnología en la Universidad de Granma

La Universidad de Granma tiene dentro de su estructura de investigaciones al Centro de Estudios de Biotecnología Vegetal, aprobado por resolución ministerial en 1998. Este centro posee como líneas de investigación la propagación, el mejoramiento genético y la conservación de recursos fitogenéticos por métodos biotecnológicos, así como el estudio de los estreses abióticos, principalmente salinidad y sequía, y la evaluación de microorganismos con tolerancias a esas condiciones. Los principales resultados están relacionados con las siguientes temáticas:

- Micropropagación de especies como ñame (*Dioscorea alata*, L.), cúrcuma (*Curcuma longa*, L.), clavel español (*Dianthus caryophyllus* L.), limón criollo (*Citrus aurantifolia* Christm. Swing.) y morera (*Morus alba*, L.).
- Embriogénesis somática en cacao (*Theobroma cacao*, L.), boniato (*Ipomoea batatas*, Lam Poir) y soya (*Glycine max* L. Merrill).

- Conservación *in vitro* de germoplasma en ñame (*Dioscorea alata*, L.), boniato (*Ipomoea batatas*, Lam Poir), clavel español (*Dianthus caryophyllus* L.) y cacao (*Theobroma cacao*, L.).
- Selección de cepas de *Rhizobium* tolerantes a la salinidad en frijol caupí (*Vigna anguiculatus*, L. Walp.).

Las investigaciones más importantes se desarrollan en los siguientes tópicos:

- Perfeccionamiento de la micropropagación y la embriogénesis somática en las especies citadas anteriormente.
- Obtención de metabolitos secundarios en cacao (*Theobroma cacao*).
- Ecofisiología de la uva caleta (*Coccolobus uvifera*).

El Centro de Estudios de Biotecnología Vegetal dispone de un importante capital humano conformado por doctores en ciencias agrícolas y biológicas (6), másteres en Biotecnología, Ciencias Agrícolas y Química Biológica (3), auxiliar técnico docente (1), recién graduados universitarios y técnicos en adiestramiento (2) y personal técnico de apoyo (3). La formación de los recursos humanos se ha visto favorecida con el apoyo de instituciones como el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, el Instituto de Biotecnología de las Plantas de la Universidad Central de Las Villas, el Centro de Bioplasmas de la Universidad de Ciego de Ávila y la Universidad de La Habana. También la educación se ha beneficiado por los intercambios y entrenamientos con las Universidades de Ghent y Amberes (Bélgica), el Instituto de Investigaciones para el Desarrollo (IRD) y Universidad de las Antillas-Guayana (Francia), Universidad de Rostock (Alemania), la Universidad Politécnica de Madrid y el Centro de Investigaciones Biológicas (España).

El mejoramiento de la infraestructura ha sido posible con los proyectos internacionales de cooperación al desarrollo, financiados por las Diputaciones Forales de Bizkaia y Álava (País Vasco, España) con la decisiva participación como contraparte extranjera de la Asociación de Amistad Euskadi-Cuba. También han sido esenciales los dos proyectos del Consejo Flamenco Interuniversitario (VLIR) que se han desarrollado como parte de la cooperación belga. En el 2014 se aprobó la Cátedra UNESCO en Biotecnología Agrícola para el Desarrollo Local, por acuerdo conjunto de la UNESCO y la Universidad de Granma. Los proyectos ejecutados han permitido la adquisición de equipamiento de laboratorio, cristalería, reactivos, literatura docente y científica y el intercambio internacional. Todo ello ha contribuido a que se puedan impartir asignaturas de perfil biotecnológico.

Caracterización de las asignaturas de perfil biotecnológico

Las asignaturas de contenido biotecnológico se corresponden con las tendencias internacionales de incluir ese tipo de conocimiento en los currículos de la formación profesional en las carreras de perfil biológico y agropecuario. La introducción de los conceptos de las asignaturas optativas en el plan de estudio D permite la presentación de contenidos novedosos en las carreras,

que en anteriores planes de estudio no estaban concebidos. Las asignaturas impartidas de perfil biotecnológico se desarrollan en las facultades de ciencias agrícolas y de ciencias económicas y empresariales, de manera que se perfecciona el currículo de las carreras de Agronomía, Forestal e Ingeniería Industrial. Las tres asignaturas tienen como invariante que son optativas y se imparten en el tercer año de la carrera, en el segundo semestre (tabla 1). El hecho de que se realice en el tercer año responde a que en asignaturas precedentes, como Química, Bioquímica, Microbiología, Fisiología Vegetal y Genética se presentan nociones básicas para la comprensión de los procesos biotecnológicos. Para la optativa de Procesos Biotecnológicos se decidió incluir contenidos relacionados con los microorganismos, por no existir precedencia de esos contenidos en la formación universitaria del estudiante de Ingeniería Industrial.

Tabla 1. Ubicación docente de las asignaturas impartidas de perfil biotecnológico

FACULTADES	CARRERAS	ASIGNATURAS	TIPO DE ASIGNATURA	AÑO	SEMESTRE	DISCIPLINA
Ciencias Agrícolas	Agronomía	Elementos de Biotecnología	Optativa	3 ^{ero}	Segundo	Biología
	Forestal	Micropropagación	Optativa	3 ^{ero}	Segundo	Silvicultura
Ciencias Económicas y empresariales	Industrial	Procesos biotecnológicos	Optativa	3 ^{ero}	Segundo	Procesos Tecnológicos

Las asignaturas de Elementos de Biotecnología y de Procesos Biotecnológicos se diseñaron en función de las demandas realizadas por los colectivos de las carreras de Agronomía e Industrial, mientras que la asignatura de Micropropagación estaba concebida dentro del plan de estudio de la carrera Forestal.

La inclusión de la asignatura de Procesos Biotecnológicos responde a la potencial transformación biotecnológica existente en la industria alimentaria de Granma, particularmente la láctea y la producción de alcoholes por fermentación en la destilería de la Unidad Estatal de Base (UEB) «Arquímedes Colina», perteneciente a la Empresa Azucarera de la región. Destacar además que en el sector agropecuario se emplean procesos biotecnológicos como la micropropagación de plantas en la Biofábrica de la provincia y la producción de microorganismos para el control de plagas en los Centros de Reproducción de Entomófagos y Entomopatógenos.

En la tabla 2 se refleja el total de horas de cada asignatura y su distribución por tipología de clases, de modo que exista una similitud en el total de horas. Con respecto a Procesos Biotecnológicos es mayor la distribución de tiempo por tipología de clases. En todos los casos se incluyeron conferencias, prácticas de laboratorio, seminarios y clases prácticas. El contenido de las asignaturas fue dividido en dos temas, uno general y otro aplicado. Las prácticas de laboratorio se efectuaron en laboratorios de Biotecnología, de Microbiología, ambos de la Facultad de Ciencias Agrícolas profundizando en: el manejo y explotación de equipamiento de laboratorio, preparación de medios de cultivo, el aislamiento y cultivo de microorganismos, la desinfección

de explantes vegetales para el cultivo *in vitro* y la multiplicación de plantas en el flujo laminar. Las clases prácticas se utilizaron para realizar visitas a los centros productivos donde se ejecutan procesos como la fermentación alcohólica y la micropropagación de plantas.

Tabla 2. Distribución del tiempo por tipología de clases

ASIGNATURAS	TOTAL DE HORAS	CANTIDAD DE HORAS POR TIPOS DE CLASES				
		CONFERENCIAS	PRÁCTICAS DE LABORATORIO	SEMINARIO	CLASE PRÁCTICA	EVALUACIÓN PARCIAL
Elementos de Biotecnología	36	10	16	4	4	2
Micropropagación	30	10	6	8	4	2
Procesos Biotecnológicos	44	14	12	8	8	2

En cuanto a los seminarios, se hace uno por cada tema y un tercero para la presentación, en forma de taller, de los resultados del trabajo extraclase. El sistema de evaluación estuvo conformado por una prueba parcial, la participación en las conferencias, los seminarios, un trabajo extraclase con la presentación de los resultados en forma de taller y preguntas en las prácticas de laboratorio. Todos estos mecanismos evaluativos se crearon para compensar el hecho de que ninguna de las asignaturas tiene examen final.

La enseñanza de la biotecnología no solo está bien consolidada en el posgrado (doctorados y maestrías) y en el pregrado, sino que también viene incorporándose en la enseñanza general y media en países como Argentina, Venezuela, Puerto Rico y Colombia, por citar algunos ejemplos. En cuanto al fortalecimiento del desarrollo de competencias se evidencia una pertinencia en la forma de abordar las asignaturas, ya que los estudiantes muestran agrado y en su quehacer diario aplican no solo los saberes y conocimientos, además los usan en situaciones cotidianas, se proyectan como futuros científicos. En cortas palabras, han pasado del saber al saber hacer (Bejarano y Basto, 2011). A propósito, Occelli, Malin y Valeiras explican sobre la enseñanza de la biotecnología que:

la Biotecnología ha sido incluida en el *curriculum* de Argentina desde 1990, sin embargo no se conoce la situación de aprendizaje de los estudiantes, es por ello que se buscó determinar cuál es el conocimiento referido a la biotecnología que poseen los estudiantes de las escuelas secundarias de Córdoba. A partir de los resultados se pudo concluir que los alumnos en su mayoría no comprenden el significado del término Biotecnología. Se destaca una percepción positiva hacia las posibles mejoras que puedan brindar estos procesos en distintas áreas. En cuanto a los medios de información, reconocen a la escuela como el medio más utilizado. Por último a partir del estudio comparativo, encontramos que los alumnos que tienen una formación específica en Biotecnología comprenden mejor el término (Occelli, Malin y Valeiras, 2011, pp. 227-242).

La Cátedra UNESCO en Biotecnología Agrícola para el Desarrollo Local de la Universidad de Granma desarrolla conferencias de motivación y formación

vocacional en biotecnología en preuniversitarios de la provincia y el montaje de exposiciones con muy buena acogida por los estudiantes y el colectivo de profesores.

Sistema de conocimiento propuesto

Para la realización de la propuesta del sistema de conocimientos se tuvo en cuenta la amplia experiencia internacional existente en carreras de Agronomía, Forestal, Biología, Farmacia y otras, la literatura científica y docente disponible y el sitio web desarrollado por el profesor Pierre Debergh de la Universidad de Ghent (Bélgica), lo que permitió disponer de una excelente información para la elaboración de la propuesta.

El sistema de conocimiento de las asignaturas de Elementos de Biotecnología y Micropropagación (tabla 4) son muy similares por pertenecer al perfil agrícola, aunque difieren en un aspecto: la conferencia sobre la conservación de los recursos fitogenéticos se imparte en la primera y no en la segunda, debido a que existe otra asignatura optativa en el plan D de Ingeniería Forestal que trata sobre la conservación de los recursos genéticos forestales e incluye las vías biotecnológicas.

En la asignatura de Micropropagación se profundizó en la embriogénesis somática porque es una de las vías de propagación *in vitro* que se emplea en las especies forestales. En la asignatura de Procesos Biotecnológicos fue necesario incluir conferencias sobre las bacterias y hongos, ya que los estudiantes no tenían referencias de esos contenidos en la carrera.

Tabla 3. Sistema de conocimiento en cada asignatura

ASIGNATURAS	SISTEMA DE CONOCIMIENTO
Elementos de Biotecnología	Introducción a la Biotecnología. El desarrollo de la Biotecnología en Cuba. Fundamentos teórico-prácticos del cultivo de tejidos vegetales. Factores que determinan la respuesta <i>in vitro</i> . Medios de cultivos. Tipo de explante. Especie o genotipo. Condiciones ambientales. Cultivo de órganos, tejidos, células y protoplastos. Organogénesis y embriogénesis somática. Micropropagación. Etapas. Factores que inciden en las etapas. Ejemplos. Mejora genética y conservación de germoplasma. Uso de los microorganismos como biofertilizantes y bioplaguicidas.
Micropropagación	Introducción a la Biotecnología. El desarrollo de la Biotecnología en Cuba. Fundamentos teórico-prácticos del cultivo de tejidos vegetales. Factores que determinan la respuesta <i>in vitro</i> . Medios de cultivos. Tipo de explante. Especie o genotipo. Condiciones ambientales. Cultivo de órganos, tejidos, células y protoplastos. Organogénesis y embriogénesis somática. Micropropagación. Etapas. Factores que inciden en las etapas. Ejemplos. Embriogénesis somática como método de propagación <i>in vitro</i> . Otras aplicaciones del cultivo de tejidos vegetales.
Procesos biotecnológicos	Generalidades de la Biotecnología. Procesos biotecnológicos. Tipos de PB. Avances de la biotecnología en Cuba. Sector médico farmacéutico, agropecuario e industrial. Bacterias y hongos. Cultivo <i>in vitro</i> de plantas. Fundamentos. Tipos de cultivos <i>in vitro</i> . Organogénesis y embriogénesis somática. Fermentación láctica y alcohólica. Micropropagación. Otros procesos biotecnológicos.

En relación a la bibliografía, al no existir libros de texto específicos para cada una de las asignaturas, se emplearon libros que se encontraban en la biblioteca

de la universidad. En el caso de la asignatura de Procesos Biotecnológicos se empleó el libro de *Microbiología Agropecuaria*, tomo I, de Mayea (Mayea, 2004) para las conferencias sobre las bacterias y los hongos. Se preparó un compendio de temas biotecnológicos que fue impreso y puesto a disposición de los estudiantes. También se utilizaron artículos científicos actualizados, tesis de doctorado y maestría de los integrantes del centro de estudios. Los principales libros empleados fueron:

- *Propagación y mejora genética por Biotecnología* (Pérez, 1998).
- *Fundamentos teórico prácticos del cultivo de tejidos vegetales* (FAO, 1990).
- *Cultivo de Tejidos en la Agricultura. Fundamentos y aplicaciones* (Roca y Mroginski, 1991).

La bibliografía citada anteriormente sirvió de base para la concepción de cada una de las asignaturas. Se ha tomado la decisión de preparar un libro de texto que abarque los contenidos de las tres materias, para ello se pretenden utilizar las ediciones internas de la Universidad de Granma para su impresión.

Resultados docentes alcanzados

Los resultados docentes alcanzados en las tres asignaturas optativas en cuanto al porcentaje de calificaciones y al promedio del índice académico se presentan en la tabla 4. Todas las asignaturas superaron el 70 % con calificaciones de 4 y 5 puntos, lo que puede considerarse un resultado satisfactorio; es válido resaltar que Procesos Biotecnológicos obtuvo un 89,99 % de mejores calificaciones entre 4 y 5 puntos. Los resultados inferiores se alcanzaron en la optativa de Micropropagación con 72,32 %. Una tendencia similar se observó en el promedio del índice académico con 4,47 puntos en Procesos Biotecnológicos y el menor promedio en la asignatura de Micropropagación con 3,94 puntos.

Tabla 4. Resultados docentes alcanzados en las asignaturas optativas durante tres cursos

ASIGNATURAS	TOTAL DE ESTUDIANTES	PORCENTAJE DE CALIFICACIONES			PROMEDIO DEL ÍNDICE ACADÉMICO
		3	4	5	
Elementos de Biotecnología	59	22,03	37,29	40,67	4,18
Micropropagación	47	27,6	51,04	21,28	3,94
Procesos Biotecnológicos	109	11,00	31,19	57,80	4,47

Las tendencias observadas en estas asignaturas se corresponden con las tendencias generales recogidas en los informes docentes de la Universidad de Granma en los últimos cursos escolares, donde los resultados académicos de la carrera de Ingeniería Industrial son superiores a las carreras de Agronomía y Forestal.

Estos resultados demuestran la factibilidad docente y técnica de incluir contenidos biotecnológicos en las carreras de perfil agropecuario e industrial a tono con las características y las necesidades del territorio al que van dirigidos los futuros egresados. Estas experiencias deben tenerse en cuenta en el diseño

de los nuevos planes de estudio E, los cuales tendrán un menor número de horas totales al disminuirse la extensión de las carreras a cuatro años.

Conclusiones

En la impartición de las asignaturas señaladas se utilizó una amplia tipología de clases, distribuidas en conferencias, seminarios, prácticas de laboratorio, clases prácticas, la realización de una prueba parcial y la defensa de un trabajo extraclase, lo que permitió un buen proceso de enseñanza-aprendizaje y evaluación de los estudiantes.

El sistema de conocimientos diseñados en todas las asignaturas es muy similar y facilita el uso eficiente de los recursos de infraestructura y docentes existentes. Los resultados docentes alcanzados en todas las asignaturas optativas pueden considerarse satisfactorios, pues más del 70 % de los estudiantes lograron evaluaciones finales ente 4 y 5 puntos. En el caso de las asignaturas de Elementos de Biotecnología y Procesos Biotecnológicos el promedio es superior a cuatro puntos.

BIBLIOGRAFÍA

- ARROYO, G (2011): «La enseñanza y la capacitación en Biotecnología desde la perspectiva de la educación general», *Revista Umbral*, n.º 4, Universidad de Puerto Rico, Puerto Rico, pp. 66-78.
- BEJARANO, DAYANA M. y JOHANA BASTO (2011): «Enseñanza de la biotecnología; una estrategia para el fortalecimiento de competencias: investigativas, científicas y en emprendimiento en la educación media», Colombia, <<http://soda.ustadistancia.edu.co/enlinea/paginaimagenes/PRESENTACIONESyPONENCIAS/Memorias%20Ponencias/Bogota/Curriculo%20y%20Evaluacion/Mesa%201%20Septiembre%2021/DAYANA%20BEJARANO%20MU%20D10Z.pdf>> [8/6/2016].
- BOTIA, ARANDA; JUANA MARÍA RODA GARCÍA y JUAN JOSÉ (2008): Biotecnología vegetal aplicada a la farmacia, Facultad de Farmacia, Universidad Miguel Hernández, España.
- CONSEJO ARGENTINO PARA LA INFORMACIÓN Y EL DESARROLLO DE LA BIOTECNOLOGÍA (ARGENBIO) (2014): «Consideraciones didácticas para enseñar biotecnología a niños y jóvenes entre 12 y 17 años», Buenos Aires, Argentina, <http://www.argenbio.org/adu/uploads/pdf/Consideraciones_didacticas.pdf> [8/6/2016].
- FAO (1990): Fundamentos teórico prácticos del cultivo de tejidos vegetales, Roma.
- HARTMANN, H. T.; D. E. KESTER; F. T. DAVIES y R. L. GENEVE (1990): «Plant Propagation: Principles and Practices», Prentice Hall, New Jersey.
- HERRERA, L. S (2002): «Ingeniería genética», *Cuba. Amanecer del Tercer Milenio. Ciencia, Sociedad y Tecnología*, Editorial Debate, La Habana, pp. 127-141.
- LOCK, R. (1996): «Biotechnology and Genetic Engineering: Student Knowledge and Attitudes: Implications for Teaching Controversial Issues and the Public Understanding of Science», en G. Welford; J. Osborne; P. Scott (Ed.), *Research in Science Education in Europe. Current issues and themes*, London, Falmer Press.
- LÓPEZ, R. et al. (2006): Modelo profesional y plan de estudio del ingeniero agrónomo, Comisión Nacional Carrera Ingeniería Agronómica, La Habana, Cuba.

- MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR (2006): «Plan de Estudios De Carrera Ingeniería Forestal», Programas de las disciplinas, La Habana, Cuba.
- MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR (2007): Plan de Estudio de Ingeniería Industrial Presencial, La Habana, Cuba.
- MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR (2007a): Indicaciones complementarias al documento base para la elaboración de los planes de estudio «D», La Habana, Cuba.
- MUJICA, HENRY y CARMEN J. REYES (2007): «Percepción y educación sobre la biotecnología en las escuelas agropecuarias del estado Yaracuy», *Educare*, vol. 11, n.º 1, República Bolivariana de Venezuela, <<http://www.revistas.upel.edu.ve/index.php/educare/issue/view/11>> [15/6/2016].
- MAYEA, S. *et al.* (2004): *Microbiología Agropecuaria*, Tomo I, Editorial Félix Varela, Holguín.
- NEGRÍN, SONIA; C. PEREIRA y L. ZUMALACARREGUI (1992): «Avances en Biotecnología Moderna», Evento Biotecnología Habana'92, Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología, La Habana.
- NEGRÍN, SONIA *et al.* (2007): «Enseñanza popular de la Biotecnología», *Biotecnología aplicada*, vol. 24, n.º 7, La Habana, pp. 53-63.
- OCELLI, MARICEL; TANIA MALIN y NORA VALEIRAS (2011): «Conocimientos y actitudes de estudiantes de la ciudad de Córdoba (Argentina) en relación a la Biotecnología», *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, vol. 10, n.º 2, Córdoba, Argentina, pp. 227-242.
- ORDAS, RICARDO J. (2008): *Biotecnología Vegetal*, Facultad de Biología, Universidad de Oviedo, España.
- PARRA, CLAUDIA y MARÍA T. REGUERO (2000): «Algunas experiencias de la introducción de la biotecnología en la educación básica y media», *Journal of Science Education*, vol. 1, n.º 1, Bogotá, Colombia, pp. 13-16.
- PÉREZ, J. N (1998): *Propagación y mejora genética por Biotecnología*, Santa Clara, Cuba.
- PCC (2011): Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución, La Habana, Cuba.
- PCC (2016): Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social hasta 2030: propuesta de visión de la nación, ejes y sectores estratégicos, La Habana, Cuba.
- PUEBLA, MARISA; MARÍA JOSÉ YRAZOLA y RICARDO MERCADAL (2012): «Enseñar a Enseñar biotecnología: Una Mirada desde la Química, la Didáctica y las Nuevas Tecnologías de la Información y la Comunicación (NTIC's)», *Revista Electrónica Iberoamericana de Educación en Ciencias y Tecnología*, vol. 3, n.º 1, Catamarca, Argentina, pp. 75-93.
- ROCA, W. y L. MROGINSKI (1991): *Cultivo de Tejidos en la Agricultura. Fundamentos y aplicaciones*, CIAT, Colombia.
- SASSON, A. (1998): «Biotecnologías aplicadas a la bioindustria médica», *Biotecnología Aplicada*, vol. 15, n.º 4, Elfos Scientiae, p. 267, La Habana, pp. 267-275.

• • •