

## La enseñanza y capacitación en Biotecnología desde la perspectiva de la Educación General

Gerardo Arroyo Cruzado

Recinto de Río Piedras Universidad de Puerto Rico

[g\\_arroyocurz@yahoo.com](mailto:g_arroyocurz@yahoo.com)

### Resumen

La Biotecnología se presenta como una promesa para la reactivación y desarrollo de la economía de Puerto Rico y de otros países caribeños. Sin embargo, la mayor parte de nuestra población carece de los fundamentos teóricos que le permita comprender los diversos tópicos inter y multidisciplinarios que conforman y acompañan a esta disciplina. En este trabajo se describen tres proyectos que se desarrollaron en el Departamento de Ciencias Biológicas para la enseñanza a estudiantes universitarios y para la capacitación de educadores de escuela y profesores universitarios. Los tópicos de éstos son concernientes a la biotecnología desde la perspectiva de la Educación General. Uno de los proyectos descritos se llevó a cabo como parte del Programa de Intercambio entre el Departamento de Ciencias Biológicas de la Facultad de Estudios Generales de la Universidad de Puerto Rico y la Escuela de Biología de la Universidad Autónoma de Santo Domingo. Estos proyectos tienen como objetivo la formación de individuos con conocimiento científico actualizado, y capaces de analizar, evaluar y tomar decisiones en una sociedad tecnológicamente dinámica.

Palabras claves: biotecnología, educación general, aprendizaje activo, talleres de capacitación

### Abstract

Biotechnology presents itself as a promise for the reactivation and development of the economy in Puerto Rico and other Caribbean countries. Nevertheless, a large part of our population lacks the fundamental theories that enable the comprehension of diverse inter and multidisciplinary topics that make up and accompany this discipline. In this work are described three projects which were developed in the Department of Biological Sciences for the education of university students and preparation of educators in schools and universities. These topics are of concern to biotechnology from the perspective of General Education. One of the projects described was realized as part of the Exchange Program between the Department of Biological Sciences of the General Studies College (UPR-RP) and the School of Biology of the Autonomous University of Santo Domingo (UASD). The objective of these projects is the formation of individuals with actualized scientific knowledge, capable of analyzing, evaluating and making decisions in a technologically dynamic society.

Key words: biotechnology, general education, active learning, training workshops

## **Introducción**

Varios países caribeños están incursionando en el trayecto industrial de la alta tecnología en las biociencias. Cuba y Puerto Rico pueden mencionarse como dos ejemplos relevantes de aquellos que se encuentran en una intensa búsqueda de recursos económicos fundamentados en este tipo de desarrollo tecnológico. Otros países de nuestra zona, sin embargo, han quedado muy rezagados en este camino.

En Puerto Rico, el gobierno insular intenta utilizar como agente catalizador, para reactivar el crecimiento económico, al establecimiento y desarrollo de proyectos de investigación para la producción de fármacos mediante procesos biotecnológicos (Ortiz, 2006). La población isleña, mientras tanto, se mantiene dividida entre aquellos que ven a la Biotecnología como un nirvana y los que la ven como una némesis. Por otro lado, estudios indican que la mayor parte de la ciudadanía no tiene claro el concepto Biotecnología, ni lo que éste abarca (De la Cruz, 2005). Éstos, son ciudadanos que carecen de fundamentos teóricos que le permitan participar en la toma de decisiones en una sociedad que pretende crearse un futuro sostenido sobre uno de los aspectos más innovadores de las ciencias y las tecnologías.

Este trabajo parte de una definición actualizada de Biotecnología y de diversos ejemplos que ilustran aquellos aspectos interdisciplinarios que conforman a esta disciplina y los tópicos multidisciplinarios que le acompañan. Luego se describirá el curso académico que ha sido diseñado y que se ofrece en el Departamento de Ciencias Biológicas (en adelante DCB) de la Facultad de Estudios Generales (en adelante FEG). En este curso se promueve la inmersión de estudiantes universitarios en un aprendizaje activo de la biotecnología enfocado en la filosofía y misión de la FEG. Además, se presenta una breve descripción del proyecto para la capacitación de educadores de Ciencias Naturales del nivel intermedio y secundario.

Por último se reseña los aspectos más relevantes de un proyecto que se llevó a cabo como parte del Programa de Intercambio entre el DCB (UPR-RP) y la Escuela de Biología de la Universidad Autónoma de Santo Domingo (en adelante EB-UASD). Este

proyecto consistió en ofrecer, a profesores y estudiantes de esta renombrada institución del hermano país, un mini curso en el que se discutieron temas de actualidad y relevancia en la Biotecnología y en el que los participantes se capacitaron en procedimientos y técnicas concernientes a esta disciplina.

### **Biotecnología y Sociedad**

La Biotecnología podría definirse como la disciplina que comprende el diseño, modificación y/o desarrollo de entidades biológicas para su utilización en diversas fases de producción. El concepto entidad puede estar constituido por un organismo vivo o alguna estructura o molécula de origen biológico. Es posible ilustrar, a través de varios ejemplos, cómo esta disciplina mostró un acelerado desarrollo a partir de 1973, año en que se creó el primer organismo transgénico (Johnson, 1996; Krauzer y Massey, 2001).

Como primer ejemplo se puede señalar a los plásmidos, vectores diseñados para la ingeniería génica. Los plásmidos son ADN extracromosomal que existen en la naturaleza y confieren características y capacidades particulares a las bacterias que lo poseen. Los biólogos moleculares notaron su gran potencial como vectores de ADN foráneo y así surge el ADN recombinante. Para las décadas de los ochenta y los noventa se diseñan y se construyen decenas de estos plásmidos con secuencias apropiadas para diversos trabajos en genética molecular.

Como muestra, se describe al plásmido pGem 7, vector que el autor ha utilizado en sus investigaciones dirigidas a caracterizar aquellas regiones que regulan la expresión de genes de polimerasa III. Al construir este plásmido, se le ha colocado una secuencia génica que le conferirá a la bacteria que la integre, resistencia al antibiótico ampicilina. Otra región de la molécula, aquella en donde se inserta el ADN foráneo, contiene una secuencia diseñada con el fin de reconocer diferentes enzimas de restricción para poder formar un ADN recombinante. A su vez, esta secuencia le permite al investigador la posibilidad de producir cortes unidireccionales en los genes exógenos insertados en este plásmido, lo que permite identificar elementos reguladores críticos

para la expresión del gen bajo estudio (Cintrón et al.1999).

Un segundo ejemplo, la técnica conocida como Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR) ha ido evolucionando desde los ochenta y es a su vez responsable de haber acelerado investigaciones en múltiples áreas de las biociencias. Esta técnica, que permite la replicación de ADN *in vitro* de manera logarítmica, comenzó utilizando una polimerasa (enzima) extraída de un organismo procariota termófilo (*Thermus aquaticus*). Más adelante, se le hicieron modificaciones a la polimerasa para que fuera activada según las necesidades del investigador mediante una reacción antígeno – anticuerpo (Erlich, 1989). En los noventa se desarrolló la técnica para la síntesis de ADN a partir de ARN utilizando una transcriptasa reverso proveniente de un retrovirus. Actualmente se mercadea un kit para la clonación de genes mediante la PCR y con el cual no se necesita utilizar bacterias.

El ejemplo número tres muestra la incursión de la biotecnología en las fronteras de la nanotecnología mediante el diseño y construcción de moléculas en el rango de  $10^{-9}$  para utilizarlas como instrumentos de investigación o terapéuticos. A finales de la década del noventa y principios del siglo 21 vemos un auge en este segmento de la industria de productos biomédicos (Seeman, 2004).

El cuarto ejemplo es referente a un tópico muy polémico en aspectos éticos. Esto es, el desarrollo de células madres humanas a partir de embriones clonados. Las polémicas se fundamentan principalmente en el requerimiento de diseccionar un blastocisto (embrión humano de 6 días) para extraer células embrionarias pluripotenciales, es decir que tengan la capacidad de diferenciarse en diversos tipos de tejidos (Lanza y Rosenthal, 2004).

El quinto ejemplo es quizás más conocido y discutido en América del Sur que en las Antillas. El desarrollo de cultivos transgénicos como el de la soja trae reflexiones y discusiones por la manera en que estos monocultivos afectan las industrias agrícolas de los países que la practican. Además, se señala como posible consecuencia una diversidad de efectos adversos en la biodiversidad en aquellas regiones productoras de

estos cultivos transgénicos. Por otro lado, se intenta resaltar beneficios, como el desarrollo de una cepa de arroz transgénico que produce altos niveles de caroteno, con el fin de proveer este importante precursor vitamínico a poblaciones que fundamentan su dieta en arroz (Starr y Taggart, 2008).

Mediante los ejemplos descritos, se puede constatar como a la Biotecnología le acompañan temas de interés científico, social, económico y ético de gran trascendencia. Dentro del aspecto científico, son temas de discusión los beneficios biomédicos, el desarrollo farmacológico, la preservación de especies en extinción, pero también el impacto ambiental del desarrollo de cultivos transgénicos entre otros (Evans y Relling M.V., 1999; Brown, 2001). En el aspecto económico es importante estudiar el impacto en el desarrollo industrial y la competencia que se genera entre compañías y entre naciones. Es necesario también, evaluar los mecanismos mediante los cuales, productos innovadores atraen el muy apetecible capital de riesgo, o la estrategia que un país y sus centros universitarios establecerán para enfrentar los retos de los requerimientos industriales (Pallarito, 2004).

Corresponde entonces, analizar y evaluar diversos aspectos éticos y jurídicos que podrían estar en conflicto con esta búsqueda de progreso mediante la Biotecnología. Dos reconocidos bioeticistas puertorriqueños, la Dra. Lilliam Gayá y el Dr. Leonides Santos y Vargas nos invitan a reflexionar sobre *Los aspectos éticos de la clonación de seres humanos* y sobre el *Desarrollo de la Bioisla y su impacto en nuestro ethos* (Gayá, 2002; Santos y Vargas, 2006). En Chile, la Dra. Carolin Valdebenito junto a los doctores Alexis Lama y Fernando Lolos reflexionan sobre el impacto de la biotecnología en la imagen social de la mujer (Valdebenito et al., 2006). En Argentina, la Dra. Teodora Zamudio ofrece, en la Escuela de Derecho de la Universidad de Buenos Aires, un curso sobre Regulación Jurídica de las Biotecnologías (Zamudio, 2010).

### **Diseño de un curso de Educación General**

Lo antes descrito hace imperativo la capacitación de los docentes y de la población en general en estas nuevas tendencias en las biociencias y la tecnología. En Puerto Rico,

éste era un aspecto de la revolución tecnológica que se había quedado en espera. Para cumplir con la misión del DCB con los alumnos universitarios y la comunidad, la cual consiste en contribuir a la formación del individuo como ente social, con un trasfondo de conocimiento científico actualizado que le permita integrarse y participar en el desarrollo de una sociedad dinámica en aspectos de investigación y tecnología, le fue solicitado al autor diseñar el curso *Ciencia, Biotecnología y Sociedad*.

#### *Descripción y Metodología Aplicada*

En una breve descripción del curso se debe señalar que: 1- Este curso es una alternativa para cumplir con el requisito de Ciencias Naturales del componente de Educación General (para estudiantes cuya concentración no es en Ciencias Naturales); 2- Se discuten temas relacionados a los descubrimientos científicos y sus aplicaciones biotecnológicas desde una perspectiva multidisciplinaria; y 3- El estudiante llevará una secuencia de experiencias de laboratorio que le permitan conocer la metodología científica, desarrollar destrezas intelectuales propias del investigador y familiarizarse con técnicas y procedimientos propios de la disciplina concerniente. Los cinco temas medulares de este curso de educación general son: Naturaleza de las Ciencias Biológicas, Química de la Vida, Fisiología Celular, Genética Molecular y Biotecnología. Se implementa principalmente el método dialógico con el fin de lograr que los estudiantes estén inmersos en un aprendizaje activo (Uvodic et al., 2002).

Las experiencias de laboratorio son un complemento esencial, pues a través de éstas, el estudiante podrá desarrollar diversas destrezas del conocimiento tales como indagar, experimentar, analizar, y evaluar, al tiempo que practica intensamente el método científico (Eisenkraft, 2003). Esta se ha diseñado como una secuencia de experimentos. Los estudiantes comienzan transformando una cepa de bacterias en transgénica, la cual producirá una proteína fluorescente propia de una medusa (Shaner et al., 2005). Luego, esta proteína se aísla por procedimientos similares a los que utiliza la industria farmacéutica. Además, los estudiantes desarrollan un cultivo de *E. coli* transgénico para aislar el ADN recombinante que estos organismos unicelulares tienen integrado (Vázquez et al., 2003). Mediante el mecanismo de pre/post pruebas,

se ha evidenciado un notable aprovechamiento de los estudiantes en aspectos conceptuales y tecnológicos (Fig. 1). La figura 1a muestra como aumenta en un 56% la comprensión del concepto ADN recombinante en los estudiantes al finalizar el curso. Igualmente se puede observar un notable aumento en aquellos estudiantes que pueden diferenciar claramente en que consiste clonar un gen al compararlo con clonación de un animal (Fig. 1c). En aspectos de la tecnología que se ha utilizado en el laboratorio para el análisis de los resultados experimentales, los estudiantes muestran un marcado desarrollo en el conocimiento de sus fundamentos (Fig.1b). La técnica de electroforesis se utiliza para separación de moléculas y aquel que la trabaja debe conocer los diversos aspectos físicos y químicos que la comprenden. De relevancia es el dato que indica el aumento de estudiantes (77%) que tienen una visión mas clara de aquellas polémicas y aspectos bioéticos que acompañan al tópico clonación de embriones humanos (Fig. 1d).

Fig. 1a. Definición concepto ADN Recombinante.

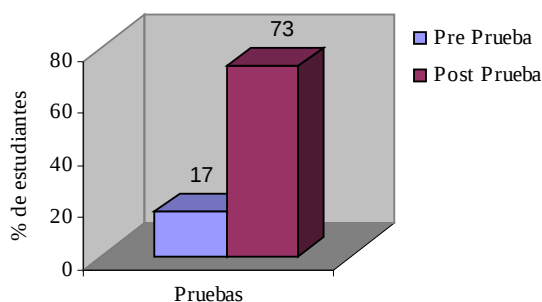


Fig. 1b. Fundamentos de Electroforesis.

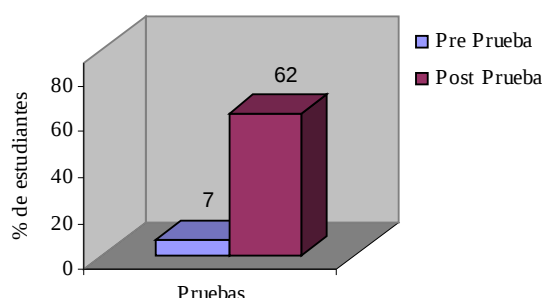


Fig 1c. Comparación Clonación genes vs. Clonación Embrión humano.

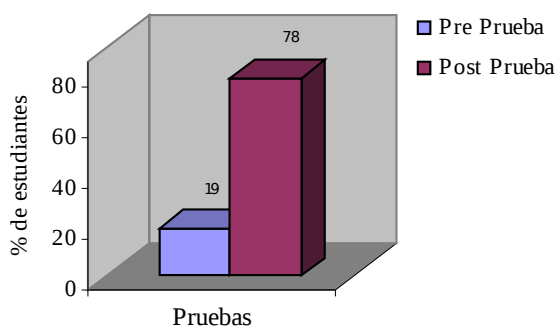


Fig. 1d. Reconocimiento de polémicas sobre clonación de embriones humanos con fines terapéuticos y reproductivos.

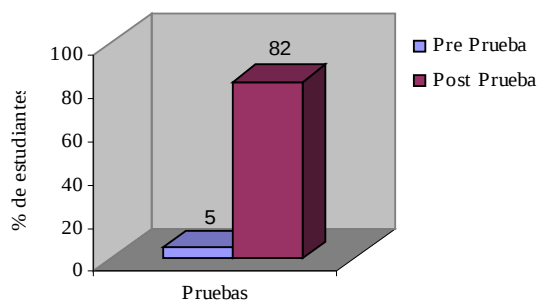


Figura 1. Desempeño estudiantil en tópicos de Biología Molecular

### **Talleres para educadores**

Durante los años noventa, la educación de las ciencias naturales en Puerto Rico se descuidó en el sistema de Educación Pública. Debido a nuevas regulaciones sobre almacenaje y manejo de reactivos químicos que se adoptaron en esa década, muchas escuelas secundarias cerraban sus laboratorios de enseñanzas. Se descuida también el mantenimiento de equipos e instrumentos básicos en biología como lo es el microscopio, primando el desarrollo de laboratorios de informática los cuales carecían de objetivos fundamentales para el desarrollo de destrezas de investigación. ¿Cómo podría diseminarse este conocimiento de las nuevas tecnologías, cómo podría capacitarse a unos educadores que quedaron en una brecha de más de diez años en los adelantos de las biociencias?

#### *Descripción de talleres de capacitación*

Como proyecto inmediato y en coordinación con el Instituto 2000 del Centro de Recursos para el Desarrollo de las Ciencias e Ingeniería de la UPR se le encomendó al autor el diseño y ofrecimiento (en los años 2003 y 2004) de diversos talleres de capacitación para educadores, en los cuales se llevaran a cabo experiencias de laboratorio relacionadas con la temática de la biotecnología. Debido a la limitación de instrumentos y para lograr una integración cabal de cada participante, cada sesión de los talleres ofrecidos se abrió a un máximo de veinte educadores de las ciencias naturales. La sesión consistió de diez días laborables durante el verano. Cada día de trabajo comprendía seis (6) horas contacto por diez (10) días de labor (total de 60 horas). Se comenzaba el día con un conversatorio introductorio de más o menos una hora y luego se llevaba a cabo las diversas experiencias de laboratorio. Se perseguía, como objetivo principal de las experiencias de laboratorio, que los educadores desarrollaran la capacidad de diseñar, modificar y practicar algunos ejercicios o experiencias en sus cursos escolares.

Entre las experiencias de laboratorio que estos educadores llevaron a cabo, se integraron tres (las primeras), que tenían el propósito de servir como actividades para romper el frío, desarrollar interacciones para trabajo de equipo y poder evaluar el nivel



de destrezas de cada participante en aspectos de investigación. Estas experiencias consistieron en un estudio de microscopía de las fases de división celular (mitosis), extracción del ADN del epitelio bucal y la preparación de soluciones químicas para la extracción de ADN recombinante. Los demás laboratorios correspondían a una secuencia muy similar a la que se describió anteriormente para el curso de Ciencias Biológicas. Cuarenta educadores fueron impactados por estos talleres.

### **Proyecto de intercambio entre UPR-RP y UASD**

Este proyecto en Puerto Rico llegó a oídos del subsecretario de la Secretaría de Educación Superior, Ciencia y Tecnología de República Dominicana, quien nos invitó a ofrecer talleres como estos a profesores y estudiantes de la Universidad Autónoma de Santo Domingo. La UASD tenía como objetivos capacitar a profesores y estudiantes en aspectos concernientes a la Biotecnología y llevar a cabo una revisión curricular en la que integrarían temas y experiencias de laboratorio relacionadas a esta disciplina en sus cursos introductorios de Biología. Además, estaban interesados en desarrollar un curso de Biotecnología de nivel subgraduado.

#### *Metodología*

El minicurso *Avances en la Biotecnología*, (ofrecido durante la primera semana de junio de 2008) fue enmarcado como parte del IV Congreso Interdisciplinario de Investigación Científica (Arroyo, 2006). Además de nueve profesores de la UASD se integraron nueve estudiantes que recibieron un crédito por participar en el mismo. El minicurso tuvo una duración de cuatro días y comprendía seis horas de trabajo por día. De éstas, una hora y media era dedicada a un conversatorio sobre tópicos de relevancia y actualidad. Se utilizaban treinta minutos para repasar los procedimientos que se llevarían a cabo durante las próximas cuatro horas en la actividad de laboratorio. Los conversatorios, desarrollados desde una perspectiva multidisciplinaria, junto al aprendizaje activo de procedimientos y tecnologías en una secuencia propia de la metodología científica, era la fórmula. Los conversatorios consistieron en los tópicos ya señalados previamente.

La secuencia de laboratorio consistía en:

1. Transformación de una cepa de *E. coli* utilizando un plásmido que tenía recombinado un gen de una medusa que codifica para una proteína fluorescente. Ahora esta bacteria es un organismo transgénico.
2. Las bacterias se cultivaron para extraer la proteína fluorescente mediante columna de relaciones hidrofóbicas. Aquí se obtiene un producto producido por un organismo transgénico por métodos bioquímicos.
3. Se preparó un mapa del genoma del virus lambda tras digerir el ADN con enzimas de restricción.
4. Se aisló un plásmido recombinante de *E. coli* mediante el método de lisis alcalina.
5. Se trabajó un caso de tipificación por ADN para ofrecer a los participantes una experiencia en genética forense.

Los resultados de aquellas experiencias en las que se procesaba ADN se observaban y analizaban tras una separación molecular mediante electroforesis de agarosa (figura 2 y 3). Los objetivos 1 y 2 de la Escuela de Biología de la UASD se alcanzaron. El objetivo 3 está en proceso de desarrollo.

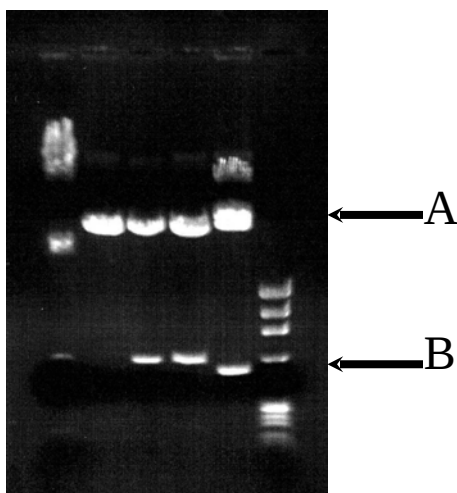


Figura 2. Electroforesis de agarosa 1% que muestra los resultados de una reacción enzimática para liberar el inserto del plásmido. A, corresponde al plásmido; B, corresponde al inserto. Resultados obtenidos en minicurso UASD.

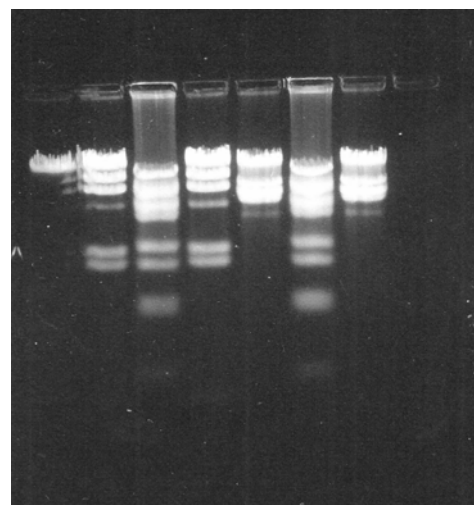


Figura 3. Simulación de una tipificación de ADN, mediante técnica de RFLP. Resultados obtenidos en minicurso UASD.

Los tres proyectos descritos en este trabajo se fundamentan en la visión que el autor tiene sobre lo esencial que es el componente de las experiencias de laboratorio para la enseñanza de tópicos concernientes a las nuevas tendencias tecnológicas en las ciencias biológicas.

### **Conclusión**

La Biotecnología es un área del conocimiento que se caracteriza por su alto nivel de complejidad, debido a la diversidad de tópicos inter y multidisciplinarios que la componen. Para una sociedad que pretende ser dinámica en investigación, innovación y producción dentro de las nuevas tendencias en las biociencias, se hace imperativo la enseñanza y capacitación de sus individuos en los diversos componentes de la biotecnología. Por esa misma complejidad, es cónsono proveer como estrategia educativa, el ofrecimiento de ese conocimiento desde la perspectiva de la Educación General.

Esa fue la justificación para el desarrollo, en el Departamento de Ciencias Biológicas (FEG-UPRRP), de los tres proyectos descritos en este trabajo. En ellos se ha podido evidenciar que la construcción del conocimiento concerniente a la biotecnología se facilita, cuando el estudiante o docente se familiariza con ciertos procedimientos y tecnologías, propios de este campo. La ejecución de una secuencia de experiencias de laboratorio involucra a los participantes en una dinámica en la cual se practica intensamente el método científico. Esto provee un escenario ideal para el desarrollo de destrezas de investigación.

Los tres proyectos descritos se fundamentan en la visión del autor sobre lo esencial del componente de laboratorios para la enseñanza de tópicos en las ciencias biológicas.

### **Reconocimientos**

Mi agradecimiento a la Srta. Mariana Carbonell, BA, por la traducción del resumen al idioma inglés y al Sr. Jorge Rodríguez Echegaray, BS y Técnico de laboratorio en el Departamento de Ciencias Biológicas, por la preparación de las figuras y la revisión de este artículo.

## Referencias

- Arroyo, G. (2008). Avances en la biotecnología. IV Congreso de Investigación Científica, UASD-RD revista de resúmenes p. 25.
- Brown, K. (2001). Plantas transgénicas y ecosistemas. *Investigación y Ciencia*, 200, 14-19.
- Cintrón, I., Capó, L., Plazaola, A., Arroyo, G., y Candelas, G.C. (1999). A spider tRNA<sup>ala</sup> gene requires a far upstream element for expression. *Gene*, 231, 195-201.
- De la Cruz, X. (2005). El norte de la biotecnología. *Diálogo*, 181, 7.
- Eisenkraft, A. (2003). Expanding 5E model. *The Science Teacher*, 70, 56-59.
- Erlich, H. A. (1989). *PCR technology*. New York: Stockton press.
- Evans, W. y Relling, M.V. (1999). Pharmacogenomics: translating functional genomics into rotational therapeutics. *Science*, 286, 487-491.
- Gayá, L. (2002). Reflexiones bioéticas sobre la clonación de seres humanos. *Puerto Rico Health Science Journal*, 21, 361-368.
- Johnson, G. B. (1996). *How scientist think?* Dubuque, IA: Wm. C. Brown Publishers
- Kreuzer, H. y Massey, A. (2001). *Recombinant DNA and biotechnology*. Washington D.C.: ASM Press.
- Lanza, R. y Rosenthal, N. ( 2004). The stem cell challenge. *Scientific American*, 290, 92-99.
- Ortiz, R. (2006). Impulso a la economía del conocimiento. *La Universidad*, 1, 6-7.
- Pallarito, K. (2004). Fueling the fires of RNA interference. *The Scientist*, 18, 18-19.
- Santos y Vargas, L. (2006). Biotecnología y ethos puertorriqueño. *Puerto Rico Health Science Journal*, 30, 230-237.
- Seeman, N.C. (2004). Nanotechnology and the double helix. *Scientific American*, 290, 64-75.
- Shaner, N., Steinbach, P. y Tsien, R. (2005). A guide to choosing fluorescent proteins. *Nature Methods*, 12, 905-909.
- Starr, C. y Taggart, R. (2008). *Biología, la unidad y la diversidad de la vida*. México D.F., Thompson Learning.

- Udovic, D., Morris, D., Dickman, A., Post, L. y Wethermar, P. (2002). Workshop biology: demonstrating the effectiveness of active learning in an introductory biology course. *Bioscience*, 52, 272-281.
- Valdebenito, C., Lama, A. y Lolas, F. (2006). Relación mujer y biotecnología: aproximación al impacto de la bioética. *Acta Bioethica*, 12, 145-150.
- Vázquez, E., Arroyo, G., Cajigas, I. y Candelas, G.C. (2003). Upgraded expression of 5s rRNA preludes the production of fibroin by spider glands. *Journal of Experimental Zoology*, 298, 128-133.
- Zamudio, T. (2010). Regulación jurídica de las biotecnologías. Recuperado el 20 de marzo de 2010., de <http://www.biotech.bietica.org/i25htm>