

BIOTECNOLOGÍA AGROECOLÓGICA Y TRANSGÉNESIS. NUEVAS PERSPECTIVAS  
EN LA SOBERANÍA ALIMENTARIA  
AGROECOLOGICAL BIOTECHNOLOGY AND TRANSGENESIS. NEW  
PERSPECTIVES ON FOOD SOVEREIGNTY

Yuniel Leyva Pérez, [yleyvap@uho.edu.cu](mailto:yleyvap@uho.edu.cu), Doctor en Ciencias Pedagógicas. Departamento Biología-Geografía, Universidad de Holguín-Cuba.

Alejandro Miguel Hernández Peña, [hernandezp@uho.edu.cu](mailto:hernandezp@uho.edu.cu), Doctor en Ciencias Pedagógicas. Departamento Biología-Geografía, Universidad de Holguín-Cuba.

Guanín Roberto Valle Santos, [gvalles@uho.edu.cu](mailto:gvalles@uho.edu.cu), Máster en Ciencias. Departamento Biología-Geografía, Universidad de Holguín-Cuba.

### **RESUMEN**

El manejo de agroecosistemas con métodos sostenibles y ambientales mediante el uso racional y eficiente de la tierra para la producción de alimentos y energía constituye uno de los objetivos principales de la Biotecnología agroecológica como parte de la biotecnología moderna. En este sentido es de suma importancia la obtención de organismos transgénicos a partir de métodos y técnicas moleculares de gran impacto en el mundo desarrollado. La utilidad de los organismos transgénicos en la agroecología en condiciones cubanas permite mayor productividad de la especie vegetal en un determinado ecosistema. De gran importancia en los momentos actuales lo constituye la producción de alimentos, aspecto que constituye una premisa dentro de los ejes estratégicos socioeconómicos del país. El resultado que se presenta forma parte de las acciones desarrolladas por el proyecto empresarial de Biotecnología vegetal: apoyo al desarrollo local a partir del vínculo docencia-investigación-producción de los estudiantes de la carrera Biología y Agronomía de la Universidad de Holguín.

**Palabras clave:** Biotecnología, agroecología, transgénesis, soberanía alimentaria

### **ABSTRACT**

The management of agroecosystems with sustainable and environmental methods through the rational and efficient use of the land for the production of food and energy constitutes one of the main objectives of agroecological biotechnology as part of modern biotechnology. In this sense, it is of the utmost importance to obtain transgenic organisms from molecular methods and techniques of great impact in the developed world. The utility of transgenic organisms in agroecology under Cuban conditions allows greater productivity of the plant species in a given ecosystem. Food production is of great importance at present, an aspect that constitutes a premise within the strategic socio-economic axes of the country. The result presented is part of the actions developed by the Plant Biotechnology business project: support for local development from the teaching-research-production link of the students of the Biology and Agronomy career at the University of Holguín.

**Key words:** Biotechnology, agroecology, transgenesis, food sovereignty

### **INTRODUCCIÓN**

La agroecología y la biotecnología han sido presentados en ocasiones como paradigmas opuestos y mutuamente excluyentes. En este caso el debate en torno a estas ciencias resulta interesante y novedoso, debido a que muchos comparten el criterio de la relación con posiciones filosóficas y políticas que ha permitido confusión entre la agroecología y la biotecnología. El hecho está a criterio de estos autores que ambas juegan papeles complementarios en el desarrollo de un modelo más sostenible

de la agricultura, lo que permitirá satisfacer la demanda de alimentos sin ocasionar daños al medio ambiente. Se coincide en este orden con Robert (1992) quien plantea que no se debe ignorar la tecnología por parte de los agroecologistas; la biotecnología vegetal constituye una de las múltiples herramientas que la agricultura moderna tendrá que incorporar para enfrentar con éxito los retos de una agricultura sostenible y sustentable en el presente siglo, dada las nuevas circunstancias del modelo socioeconómico del país quien enfatiza de la mayor productividad sostenible a largo plazo.

Podemos considerar la Biotecnología Vegetal tan antigua como la misma acción de los humanos sobre los vegetales con el objetivo de obtener de ellos productos para la alimentación u otros usos, por tanto, tan antigua como la Agricultura. Sin embargo, ha sido en el siglo XX con la introducción de la Genética primero y de la Biología Molecular después, que se ha desarrollado esta disciplina en su forma actual. Desde 1983 ha sido posible obtener plantas con modificaciones genéticas obtenidas con métodos moleculares. Estas plantas han sido el objeto de regulaciones especiales y de un intenso debate. El desarrollo de la Genómica permite la extensión de estas aplicaciones y de otras que no requieren de técnicas de transformación. En cualquier caso, la Biotecnología Vegetal ha demostrado su utilidad para responder a los retos que la producción agrícola tiene en el próximo futuro. La producción de alimentos y otros materiales en un entorno de crecimiento de la población y de cambios en el clima está necesitando utilizar todo el conocimiento disponible en la actualidad.

Por su parte Puigdomènech (2014) en su artículo “La Biotecnología Vegetal en el entorno europeo” realiza un análisis de la importancia de la Biotecnología vegetal en el entorno europeo y reconoce la importancia de la Genética y la Biología Molecular en la obtención de organismos transgénicos de importancia en la biotecnología agroecológica. Para ello es de suma importancia el conocimiento de los principales métodos y técnicas de la Biología Molecular para la obtención de especies de plantas mejoradas genéticamente. Precisamente el objetivo de nuestro trabajo radica en ofrecer argumentos desde la biotecnología y la ingeniería genética para el tratamiento en condiciones de biofábricas para el desarrollo de bancos de germoplasmas que permitan el mejoramiento genético de variedades vegetales y así de esta forma reducir las importaciones que realiza el país en función de especies modificadas para su mayor productividad.

En este sentido el desarrollo de la biotecnología vegetal en Cuba ha ido dando pasos en términos de mejoramiento genético de variedades de especies vegetales y constituye un área priorizada por el gobierno cubano. Varios análisis subsisten en torno a la producción de alimentos, debido a que constituye un eje estratégico en el desarrollo del país. Muchos son los autores que en el orden internacional, nacional y local desarrollan investigaciones relacionadas con la biotecnología vegetal, entendida esta como la acción de los humanos sobre los vegetales con el objetivo de obtener de ellos productos para la alimentación u otros usos, por tanto, tan antigua como la Agricultura.

Por su parte como una de las acciones desarrolladas en el país es la creación del Plan de Soberanía Alimentaria y Educación Nutricional en julio del presente año, el mismo realiza un análisis profundo de los antecedentes, plan de acción y temas estratégicos para llevar a cabo la seguridad alimentaria y nutricional a todas las personas, elemento que se reconoce en la Constitución de la República en su artículo 77. En este sentido constituye una necesidad que, en el sector de la educación y la ciencia,

específicamente los centros de investigación y universidades aplican y promueven la ciencia de la Agroecología. En este sentido, a partir de las demandas comienzan a implementarse programas y proyectos de investigación con enfoque agroecológico, en los que participa la comunidad científica y académica junto a los productores. Hoy se implementa un Sistema Integrado de Gestión del conocimiento para el desarrollo agroindustrial sostenible por los Ministerios de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, de Educación Superior y de la Agricultura, cuyos resultados contribuirán al logro de la soberanía alimentaria.

### **Desarrollo**

Según Puigdomènech (2014) en el siglo XX comienza la era de biotecnología con la introducción de la Genética y luego la Biología Molecular, dos ciencias que aportan las bases para el desarrollo de la biotecnología vegetal como disciplina en su forma actual. Desde 1983 ha sido posible obtener plantas con modificaciones genéticas obtenidas con métodos moleculares. En este orden el desarrollo de la Genómica permite la extensión de estas aplicaciones y de otras que no requieren de técnicas de transformación. Para ello la biotecnología vegetal ha demostrado su utilidad para responder a los retos que la producción agrícola tiene para el presente y futuro de la agroecología.

La producción de alimentos y otros materiales en un entorno de crecimiento de la población y de cambios en el clima está necesitando utilizar todo el conocimiento disponible en la actualidad. La acción de los humanos sobre los vegetales para obtener de ellos alimento y otros productos ha sido constante desde el inicio mismo de las sociedades sedentarias y posiblemente desde mucho antes. Por ello puede argumentarse que al domesticar plantas y al tratar los productos vegetales con microorganismos en las fermentaciones se iniciaba la Biotecnología Vegetal, milenios antes de que la palabra misma fuese inventada. Sin embargo, el desarrollo en el siglo XX primero de la Genética y después de la Biología Molecular han dado paso a maneras distintas de actuar sobre los vegetales para obtener de ellos lo que necesitamos dando lugar a lo que llamamos la Biotecnología Vegetal moderna o la Biotecnología Vegetal propiamente dicha. Europa ha estado siempre en la vanguardia del desarrollo de las Biotecnologías, pero en este momento es también el lugar donde los debates y conflictos sobre su uso se dan de forma más intensa.

El trabajo de laboratorio como vía para la vinculación de la teoría con la práctica constituye la idea central para el análisis. La experimentación como método esencial es el que se utiliza en la preparación y capacitación a los miembros del proyecto para la obtención de organismos transgénicos a partir de la instrumentación de métodos y técnicas de Biología Molecular en las biofábricas para el abordaje de las diferentes áreas para la implementación durante la investigación. Lo que permite declarar los pasos a tener en cuenta para su implementación. En este sentido se utilizan otros métodos de investigación científica, los que permitieron el análisis en torno a la relación existente entre la agroecología y la Biotecnología vegetal, lo que en síntesis permite su discusión de las causas que se producen en la práctica. Fueron utilizados análisis-síntesis, histórico – lógico, inducción – deducción e hipotético – deductivo, los que favorecieron las valoraciones desde diferentes posiciones teóricas. Del nivel empírico se emplearon la observación participante, entrevistas grupal e individual y encuestas, los que contribuyeron a determinar las causas del problema. Para el control de las normas básicas de rigurosidad y objetividad científica se empleó, como recurso

metodológico, la triangulación de fuentes para la interpretación y búsqueda de las regularidades derivadas de los métodos empíricos empleados.

Una profundización en el estudio de los principales métodos y técnicas utilizadas en la biotecnología Agroecológica para la obtención de organismos transgénicos lleva a realizar un análisis de todo lo relacionado con la Biotecnología moderna la cual parte de las definiciones y aplicaciones de la Biología Molecular. Para ello Carrasco (2014) en síntesis plantea que esta ciencia se ocupa fundamentalmente del estudio de los flujos de información genética en una célula y la Biotecnología como rasgo general se encarga del uso de sistemas u organismos vivos para generar un producto útil.

En su artículo “Estado del Arte de la Biotecnología Colombiana” Forero (2011) reconoce que la biotecnología es entendida como un enfoque multidisciplinario que utiliza organismos vivos o sustancias derivadas de ellos para hacer o modificar un producto, incluyendo el mejoramiento de algunas características en animales y vegetales económicamente importantes, esto permite que constituya una herramienta básica y útil para el desarrollo de la agroecología, la industria y la salud humana.

La mayoría de las investigaciones en el campo de la Biotecnología se desarrollan en países desarrollados, en la década del 90 en nuestro país se comienza a dar pasos en este sentido, pero fundamentalmente en la creación de medicamentos biotecnológicos para uso humano. Como parte de las acciones desarrolladas por el gobierno cubano para sustituir importaciones y llevar a cabo la productividad de diferentes especies vegetales se hizo un llamado por parte de la dirección del país a las universidades para a partir de su potencial científico comenzar a revertir la situación existente en el campo de la agroecología y que los alimentos lleguen a la población, que en síntesis es el objetivo que se persigue.

En el año 2019 como parte de estas acciones surge el proyecto empresarial de biotecnología vegetal: apoyo al desarrollo local a partir del vínculo docencia-investigación-producción de los estudiantes de la carrera Biología y Agronomía de la Universidad de Holguín. El mismo cuenta con una serie de acciones para llevar a cabo los tres procesos es decir la docencia-investigación-producción en las cuales se trabaja en un primer momento en la capacitación a todos los investigadores en torno a las principales temáticas. Precisamente una de las acciones está encaminada a la preparación del colectivo de investigadores de los principales métodos y técnicas de la Biología Molecular en la Biotecnología moderna para la obtención de organismos transgénicos.

Para ello uno de los objetivos principales de la biotecnología moderna es lograr que una célula realice una tarea específica y útil de manera predecible y controlable. Por ejemplo, que las células de la planta de maíz produzcan una nueva proteína que sea capaz de eliminar a insectos que se alimentan de ella, es decir una proteína insecticida. Esto sería útil ya que permitiría reducir el uso de insecticidas químicos y aumentaría la productividad para el agricultor. En la actualidad, la biotecnología moderna permite lograr este tipo de maíz. Por tanto, estamos hablando de un producto **TRANSGÉNICO**. ¿Cómo se obtiene un organismo transgénico? ¿Cuáles son las técnicas que se emplean para lograrlo?

El objetivo fundamental es el desarrollo de productos biotecnológicos a partir de técnicas específicas. La mayoría de estas técnicas permiten estudiar biomoléculas, en particular ADN, ARN y proteínas, y se las denomina **técnicas de biología molecular**. Por otra parte, se denomina ingeniería genética a las técnicas que se usan

específicamente para transferir genes de un organismo a otro y construir fragmentos de ADN recombinante (combina ADN de diferentes organismos). Así, es posible no sólo obtener las proteínas recombinantes de interés sino también mejorar cultivos y animales. En este sentido la ingeniería genética, aunque es la tecnología con mayor potencial para mejorar los cultivos, es sólo una de las múltiples biotecnologías de que disponemos. Hay muchas otras como son las técnicas de cultivo *in vitro* para la propagación clonal, la limpieza, certificación y almacenamiento de germoplasma o el cultivo de células haploides y el rescate de embriones como apoyo al fitomejoramiento tradicional que son mucho más baratas y menos sofisticadas pero perfectamente adecuadas para resolver gran cantidad de problemas agrícolas.

### **Principios de las técnicas de trabajo con ácidos nucleicos**

Las técnicas de biología molecular y de ingeniería genética se basan en una característica particular que tienen los ácidos nucleicos: las bases A (adenina), T (timina), C (citosina) y G (guanina) que forman parte de las moléculas de ADN y de ARN tienen la capacidad de hibridar con bases complementarias. Es decir, las bases al enfrentarse pueden formar enlaces entre sí siguiendo siempre la siguiente regla: A se une con T y C se une con G. Así, si un investigador busca estudiar un **gen de interés**, basta con conocer al menos una parte de su secuencia, para poder construir una porción complementaria que permita “pescar” de algún modo a ese gen de interés. Esa porción pequeña de ácido nucleico se denomina “sonda” y al sintetizarla en el laboratorio se le suele poner alguna marca que permita visualizarla luego fácilmente (por ejemplo, fluorescencia), como se representa en anexo I.

Otro principio subyacente en las técnicas de biología molecular es que el ADN, debido a su estructura química y molecular, es mucho más estable que el ARN, por lo cual la mayoría de las técnicas más fácilmente manipulables son con ADN. Por último, otro principio de las técnicas es que se usa lo que natura dio. Es decir que las enzimas que se usan para cortar y pegar fragmentos de ADN, o para sintetizar fragmentos de ADN, provienen de organismos. Estas enzimas se mejoran para que trabajen eficientemente en las condiciones de laboratorio. Otro aspecto de gran importancia lo constituyen las etapas en la obtención de un organismo transgénico. En la consulta a diferentes fuentes durante el desarrollo de este análisis se precisa que la obtención de un transgénico implica la participación de un organismo que dona el gen de interés y un organismo receptor del gen que expresará la nueva característica deseada.

Las etapas del trabajo son básicamente cinco:

1. Corroborar que existe un gen que codifica para la característica de interés.
2. Clonar el gen de interés.
3. Modificar el gen para que funcione mejor en el organismo receptor.
4. Transferir el gen al organismo receptor.
5. Caracterizar el organismo receptor transformado

A continuación, se detalla cada una de estas etapas y las técnicas que involucran.

#### **1. Corroborar que existe un gen que codifica para la característica de interés**

Cuando se encuentra una característica en un organismo que resulta interesante para transferir a otro organismo debe verificarse que es producto de un gen. Para verificar que la característica de interés está codificada en el ADN y que no es resultado de la interacción con el medioambiente, se aplican técnicas de genética. Si la característica se atribuye a una proteína, que es producto directo de un gen, será más sencillo transferir esa característica a un organismo que no la tiene.

## 2. Clonado del gen

Una vez que se determina que el organismo donante posee un gen que codifica para la característica de interés, los biólogos moleculares se lanzan a la tarea de conseguir ese gen, es decir: “clonar” el gen. Clonar un gen significa tenerlo puro en el tubo de ensayos, o mejor aún, dentro de un vector (una molécula mayor de ADN que permite guardar fragmentos de ADN en forma estable y práctica por más tiempo). **La tarea de clonar involucra varias técnicas que se describen a continuación:**

Extracción de ADN. Las extracciones de ADN de todos los organismos guardan cierta similitud y consisten en romper las células para liberar su contenido y separar el ADN liberado del resto de los componentes celulares.

Búsqueda de un gen entre la mezcla de genes del ADN. Si se conoce una pequeña porción de la secuencia del gen que se está buscando, es posible construir una sonda que permita “pescar” el fragmento de ADN que contiene esa misma secuencia. Una vez aislado ese fragmento se lo estudia más detalladamente. La técnica de PCR (siglas en inglés de Reacción en Cadena de la Polimerasa) permite amplificar la cantidad de ADN y esto facilita el clonado del gen de interés. La técnica de PCR se representa en el **anexo II:**

La imagen representa la utilización de la técnica de PCR que permite obtener, a partir de una sola molécula de ADN, millones de copias de un fragmento de ADN particular. La base de esta técnica consiste en que la enzima polimerasa de ADN cumpla su función: sintetizar ADN a partir de un pequeño fragmento llamado cebador, y de los nucleótidos (A, C, G y T). Las nuevas moléculas de ADN sintetizadas en cada ciclo sirven de molde para ciclos siguientes. Por lo tanto, la PCR es una reacción de amplificación de fragmentos de ADN en forma exponencial y al final del ciclo 35-40 en el tubo de ensayos existen millones de copias del fragmento de interés.

Una vez terminada la PCR, se realiza una técnica conocida como “electroforesis en gel de agarosa” para visualizar los millones de fragmentos de ADN de interés, como muestra en el **anexo III:**

**Electroforesis en gel de agarosa.** Esta técnica consiste en armar un gel de agarosa, con pequeños huecos en un extremo donde se deposita (“siembra”) el contenido del tubo de PCR. El gel es sometido a corriente eléctrica de modo que el ADN, que es una molécula cargada negativamente, se desplaza por el gel hacia el polo positivo. Cuanto más pequeño es el fragmento de ADN más rápido se desplaza y llega hasta el extremo opuesto. Al preparar el gel se agrega la sustancia bromuro de etidio que se intercala entre las bases del ADN y permite visualizarlo al ser iluminado con luz UV. Las bandas luminosas corresponden a los fragmentos de ADN amplificados.

**Secuenciación:** Una vez que se visualizó el resultado del PCR en el gel de agarosa, la “bandita” del gel que contiene el ADN de interés se recorta y se purifica el ADN. Luego se realiza la secuenciación que consiste en conocer la cantidad y el orden en que se ubican los nucleótidos en el fragmento de ADN analizado. Actualmente se realiza en un secuenciador automático utilizando nucleótidos marcados fluorescentemente, que son leídos por un láser acoplado a una computadora.

**Construcción del vector recombinante:** Esta etapa consiste en “recortar y pegar” ADN para insertar el gen de interés dentro de un vector (son en general moléculas de ADN circulares). Para recortar el ADN se utilizan enzimas de restricción (ver El Cuaderno 34) y para pegar fragmentos de ADN se utilizan enzimas ligasas. Como muestra la imagen el vector abierto y el fragmento de interés se agregan al tubo de

ensayos en presencia de la enzima ligasa. Al fragmento de ADN dentro del vector se denomina “inserto” y el nuevo vector se conoce como “vector recombinante” (**ver anexo IV**)

### **3. Modificar el gen**

La ventaja de tener el gen clonado en un vector, es que se puede transferir a una bacteria que, al multiplicarse en el laboratorio, también multiplica al vector que porta. De esta forma se logra tener millones de copias del vector recombinante para poder modificar el inserto que lleva dentro. Modificar el inserto significa agregarle pequeñas secuencias de ADN, mediante el uso de ligasas, necesarias para que el gen funcione correctamente en el organismo receptor. Por ejemplo: existen estudios que demuestran que si se clona un gen Bt de una bacteria para luego ponerlo en maíz, se debe agregar un promotor que funcione bien en plantas, es decir, que permita que las células vegetales expresen la proteína Bt. El promotor es una región fundamental del gen ya que determina cuándo y dónde se expresará el gen.

### **4. Transferir el gen al organismo receptor**

El gen de interés se puede introducir en células vegetales o animales y dar lugar a la formación de un organismo genéticamente modificado (OGM) o transgénico. La introducción de nuevos genes por ingeniería genética en plantas origina los llamados cultivos transgénicos o genéticamente modificados (OGM). En la producción de estos cultivos hay una primera etapa en la que se introduce el gen de interés en las células vegetales. Este proceso también se denomina transformación. En muchas especies vegetales (especialmente en las dicotiledóneas) es posible introducir genes a través de una bacteria del suelo, llamada **Agrobacterium tumefaciens**.

Para las monocotiledóneas se ha desarrollado un método alternativo, denominado “bombardeo con micropartículas”. La segunda etapa consiste en regenerar una planta completa a partir de la única célula transformada. El resultado es una planta completa que lleva el gen de interés en cada una de sus células. Por último, se realiza el mejoramiento por cruzamiento para transferir el gen incorporado a variedades de alto rendimiento.

### **5. Caracterizar el organismo receptor transformado.**

Una vez obtenido el OGM, se debe demostrar, entre otras cosas, si tiene una (o más) copias del transgen, y cómo y en qué tejidos se expresa el gen. Para lograrlo se extrae el ADN del organismo y se lo analiza. La técnica de PCR, ya explicada, permite amplificar el transgen, si es que está en el genoma del organismo, y es una técnica rápida para verificar si el organismo ha sido transformado o no. Para estimar cuántas copias del gen se insertaron en el genoma del organismo se utiliza la técnica denominada **Southern Blotting (ver anexo v)**:

Precisamente esta es la representación esquemática de la técnica de **Southern Blot**. En este ejemplo se analiza la presencia de un cierto gen en ADN de tres individuos. Esta técnica consiste en extraer ADN del organismo en estudio, fragmentar el ADN en forma aleatoria con enzimas de restricción, someter los fragmentos de ADN a electroforesis en gel de agarosa, y transferir los fragmentos de ADN desde el gel a una membrana (de nitrocelulosa o nylon). Luego, para detectar cuántas copias del transgen quedaron integradas al genoma del organismo, se utilizan sondas marcadas (radioactivamente, con fluorescencia, u otros métodos). La membrana se baña en una solución que contiene la sonda y se “revela” (como una radiografía) para ver si quedó



marca en algún fragmento de ADN. En la ilustración las tres muestras de ADN poseen al menos una copia del gen transferido.

### **Conclusiones**

De forma general el conocimiento de métodos y técnicas de biología molecular y de ingeniería genética se puede implementar al trabajar conceptos tales como: la estructura y la función del ADN, el código genético universal y la síntesis de proteínas, la célula, las biomoléculas, función de las enzimas, la relación entre biotecnología tradicional y biotecnología moderna, aplicaciones de la biotecnología moderna.

El objetivo del tema tratado no es hacer una descripción pormenorizada de las técnicas de laboratorio, sino dar conceptos básicos que permitan comprender su aplicación en el marco de la biotecnología moderna. Por tal motivo, se sugiere incorporar estos conceptos y darle seguimiento a través de otras acciones destinadas a la preparación y capacitación de los miembros del proyecto. Para comprender las técnicas explicadas se requiere que los investigadores tengan presente la estructura del ADN y su función. A su vez, se sugiere trabajar en conjunto con aspectos de rígen físico-química dada la alta complejidad a la hora de explicar los procesos y fenómenos asociados a ello específicamente en lo referido a las propiedades de las moléculas y los mecanismos en los que se basan las diferentes técnicas (por ejemplo, la electroforesis, el marcado radiactivo, la fluorescencia, el empleo de luz UV, etc.)

El empleo de esquemas explicativos constituye un recurso fundamental particularmente al abordar temas vinculados con procesos o estructuras “invisibles” a simple vista. Estos esquemas reúnen un máximo de información de forma simple y visual, y tienen un carácter estructurante que favorece la expresión de relaciones entre los elementos que lo integran y su organización. Sin embargo, el análisis e interpretación de los esquemas explicativos conlleva ciertas dificultades que requieren de un trabajo sistemático por parte de los investigadores.

Este trabajo podría orientarse a construir equivalencias con otros lenguajes, es decir, hacer traducir los textos en esquemas y los esquemas en textos; explicitar los códigos y simbolismos empleados; interpretar los procesos implicados en la representación. Este es un modo de trabajo que a nuestro juicio hay que seguir trabajando con los investigadores en la cual detalladamente un esquema que representa la elaboración de una planta transgénica y en la que se aplican los conceptos referidos a las técnicas empleadas para lograrlo.

Asimismo, la actividad de laboratorio se acompaña de un cuestionario que permite realizar un análisis detallado de los resultados, para ayudar en la interpretación de un práctico que es sencillo de realizar, pero que requiere de una profundización del contenido tratado para su correcta interpretación.

### **Referencias bibliográficas**

Animación de varias técnicas cuyos archivos pueden descargarse para usar en una computadora sin estar conectados a Internet.

<http://www.dnalc.org/resources/BiologyAnimationLibrary.htm>

DNA recombinante: las herramientas del oficio.

<http://www.argenbio.org/h/biotecnologia/index.php> Sitio del Consejo Argentino



para la información y el desarrollo de la biotecnología. Índice de contenidos de biotecnología. Incluye texto, imágenes, animaciones, glosario.

Diego, G., Pablo S. (2004). El Cocinero Científico. Cuando la ciencia se mete en la cocina. Apuntes de alquimia culinaria”. Editorial Siglo XXI, Buenos Aires.

Forero. G. (2011). Estado del arte de la Biotecnología colombiana. Universidad EAN. Colombia.

Helena. C., Nuñez. B. (2000) Biología 6ta Edición. Editorial Panamericana.

León, G. (2020) ISBN: 1998-3021 (edición digital), 2147- 8942 (edición impresa). Depósito legal: LE-903-07. México.

Library of Crop Technology” desarrollado por la Universidad de Nebraska, EEUU. Algunas explicaciones y animaciones están en español, pero la mayoría están en inglés. <http://croptechnology.unl.edu/listLessons.cgi>

Puigdomènech, P. (2019). La Biotecnología Vegetal en el entorno europeo. *AmbioCiencias*, 12, 70-80. Revista de divulgación científica editada por la Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales de la Universidad de Mexico.

Robert. M. (2019) Biotecnología y Agroecología: ¿Paradigmas opuestos o complementarios? *Agrociencia serie fitociencia* vol. 3 num. 1. Colombia.

Sitio web del Instituto de Tecnología de Massachusetts que trata los temas de Southern, Northern, Western. <http://web.mit.edu/esgbio/www/rdna/rdna.html>

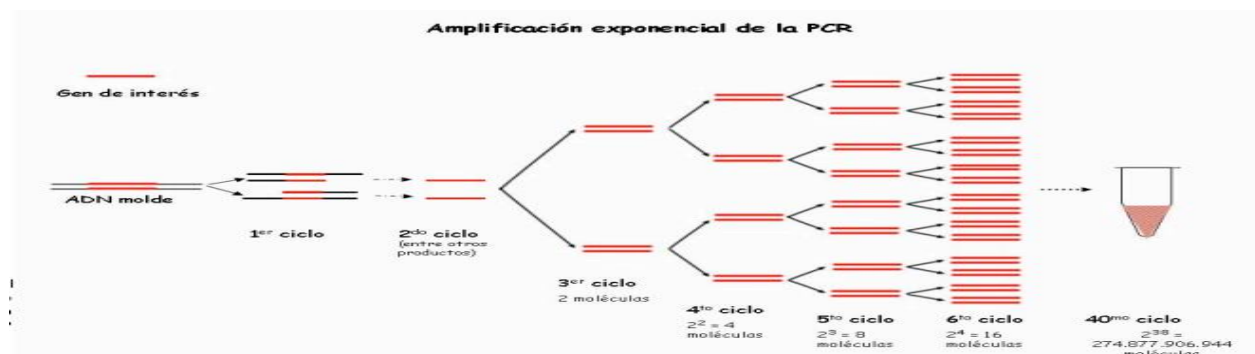
Técnicas y Simulaciones de electroforesis de geles de agarosa (un laboratorio virtual) donde se pueden ver fotografías de una corrida electroforética. <http://arbl.cvmbs.colostate.edu/hbooks/genetics/biotech/gels/>

Wettstein R. (2018). Las sondas de ácidos nucleicos” en *Ciencia Hoy*, Volumen 4 -Nº 20. Ecuador.

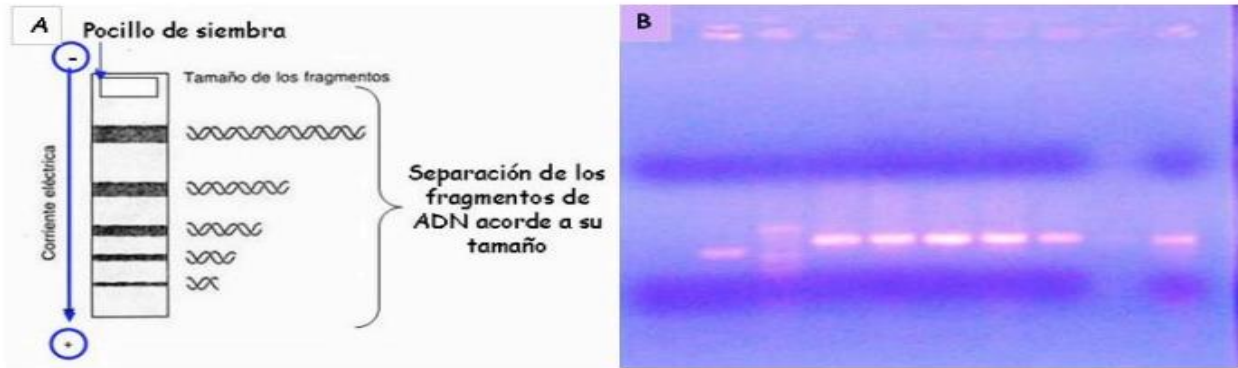
**Anexo I. Sonda de ADN marcada que hibrida con una secuencia de ADN complementaria**



## Anexo II. Amplificación exponencial de la PCR



### Anexo III. Electroforesis en gel de agarosa



### Anexo IV. Representación de los pasos de restricción y ligación para clonar un fragmento de ADN en un vector



### Anexo V. Técnica denominada Southern Blotting

