

Actividad 4. Estar informado para dar una opinión: avances y controversias de la biotecnología

PROPÓSITO DE LA ACTIVIDAD

Describir las diversas aplicaciones de la biotecnología, analizando y discutiendo los avances en múltiples áreas, como la biología sintética, y evaluando las controversias sociales, económicas, éticas y ambientales generadas por su aplicación.

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

OA 6. Analizar el desarrollo del conocimiento de biología celular y molecular en Chile y el mundo, considerando diversas líneas de investigación y la relación entre ciencia, tecnología y sociedad.

OA 7. Analizar aplicaciones biotecnológicas en diversas áreas como tratamientos para el cáncer, preservación y uso de células madre, y producción de organismos transgénicos, entre otros, y evaluar sus implicancias éticas, sociales y legales.

OA c. Describir patrones, tendencias y relaciones entre datos, información y variables.

OA h. Evaluar la validez de información proveniente de diversas fuentes, distinguiendo entre evidencia científica e interpretación, y analizar sus alcances y limitaciones.

OA i. Analizar críticamente implicancias sociales, económicas, éticas y ambientales de problemas relacionados con controversias públicas que involucran ciencia y tecnología.

ACTITUDES

Pensar con apertura a distintas perspectivas y contextos, asumiendo riesgos y responsabilidades.

DURACIÓN

10 horas pedagógicas

DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD

Observaciones al docente

La evaluación consta de tres partes, las cuales pueden ser desarrolladas en conjunto o en forma independiente, según estime el docente y de acuerdo con las necesidades de los estudiantes.

I. ¿Qué es la biotecnología?

- Los estudiantes analizan una aplicación cotidiana que involucra a la biotecnología, utilizando un video como el siguiente; la discusión se orienta con las siguientes preguntas:

El arte de la fabricación de quesos

www.curriculumnacional/link/https://www.youtube.com/watch?v=YitfA5Rt910

(Fuente: SENATV)

- ¿Qué componentes se requiere para producir queso fresco?
 - ¿Cuáles de estos componentes son biológicos?
 - ¿Qué procesos biotecnológicos están implicados en la fabricación del queso fresco?
 - ¿Qué ventajas y desventajas tiene la elaboración de queso fresco comparado con el consumo de leche fresca?
 - ¿Qué variables se podrían manipular para producir otros tipos de quesos?
- Tomando como referencia la elaboración del queso y complementándolo con otros ejemplos, construyen una definición de biotecnología.

Observaciones al docente

Si bien definir es una habilidad compleja, ya que requiere de un conocimiento acabado de lo que se quiere explicar en un enunciado, el análisis de aplicaciones biotecnológicas usadas en la vida diaria permite llegar a una definición cercana a la aceptada internacionalmente: *La biotecnología se refiere a toda aplicación tecnológica que utilice sistemas biológicos y organismos vivos o sus derivados para la creación o modificación de productos o procesos para usos específicos (Convention on Biological Diversity, Article 2. Use of Terms, United Nations, 1992).*

Al respecto, oriente la discusión para generar la definición, complementando al final su propuesta con una como la sugerida. Puede mostrar procesos como los implicados en la elaboración del yogurt, cerveza o el pan.

- Los estudiantes leen un texto como el siguiente, que describe la biotecnología clásica y moderna, y responden preguntas como éstas:
 - ¿Cuál es la importancia de la biotecnología?
 - ¿Cuáles son las diferencias que se establecen entre la biotecnología tradicional y la biotecnología moderna?
 - ¿Qué áreas o disciplinas aplican técnicas biotecnológicas?
 - Buscan información sobre la importancia del cuajo y de la quimosina en la elaboración del queso.

- Analizan las implicancias económicas, éticas y ambientales que surgen de las aplicaciones biotecnológicas clásicas y modernas.

La biotecnología

La biotecnología es el empleo de organismos vivos para la obtención de un bien o servicio útil para el hombre. Así, la biotecnología tiene una larga historia, que se remonta a la fabricación del vino, el pan, el queso y el yogurt. El descubrimiento de que el jugo de uva fermentado se convierte en vino, que la leche puede convertirse en queso o yogurt, o que se puede hacer cerveza fermentando soluciones de malta y lúpulo fue el comienzo de la biotecnología, hace miles de años. Aunque en ese entonces los hombres no entendían cómo ocurrían estos procesos, podían utilizarlos para su beneficio. Estas aplicaciones constituyen lo que se conoce como biotecnología tradicional y se basa en la obtención y utilización de los productos del metabolismo de ciertos microorganismos.

Los científicos actualmente comprenden en detalle cómo ocurren estos procesos biológicos lo que les ha permitido desarrollar nuevas técnicas a fin de modificar o copiar algunos de dichos procesos naturales para poder lograr una variedad mucho más amplia de productos. Los científicos hoy saben, además, que los microorganismos sintetizan compuestos químicos y enzimas que pueden emplearse eficientemente en procesos industriales, tales como la fabricación de detergentes, manufactura del papel e industria farmacéutica.

La biotecnología moderna, en cambio, surge en la década de los '80, y utiliza técnicas, denominadas en su conjunto "ingeniería genética", para modificar y transferir genes de un organismo a otro. De esta manera, es posible producir insulina humana en bacterias y, consecuentemente, mejorar el tratamiento de la diabetes. Por ingeniería genética también se fabrica la quimosina, enzima clave para la fabricación del queso y que evita el empleo del cuajo en este proceso. La ingeniería genética también es hoy una herramienta fundamental para el mejoramiento de los cultivos vegetales. Por ejemplo, es posible transferir un gen proveniente de una bacteria a una planta, tal es el ejemplo del maíz Bt. En este caso, los bacilos del suelo fabrican una proteína que mata a las larvas de un insecto que normalmente destruyen los cultivos de maíz. Al transferirle el gen correspondiente, ahora el maíz fabrica esta proteína y, por lo tanto, resulta refractaria al ataque del insecto.

(Fuente: www.curriculumnacional/link/http://www.argenbio.org/index.php?action=novedades¬e=30)

- En pequeños grupos, investigan ejemplos de aplicaciones biotecnológicas y exponen sus resultados en afiches informativos, los cuales comparten con la comunidad escolar.

II. Analizando las aplicaciones, ventajas y controversias de la biotecnología moderna

- Utilizando un video como el siguiente, los estudiantes profundizan en las técnicas empleadas por la biotecnología moderna para generar aplicaciones en diversos ámbitos de la industria, la medicina o el cuidado del medio ambiente.

Biotecnología: sus técnicas y aplicaciones

www.curriculumnacional/link/https://www.youtube.com/watch?v=CMHhNjCC3KE

(Fuente: Profe en c@sa)

- Elaboran infografías con cada técnica señalada, la relación con una aplicación específica y las ventajas y desventajas que ha generado su desarrollo, complementando la información del video con una breve investigación.
- Luego, analizan y discuten las implicancias éticas, sociales y legales producto de las aplicaciones biotecnológicas, como el uso de células madre, la clonación, la terapia génica y los organismos genéticamente modificados (GMO), utilizando noticias, videos o publicaciones disponibles en internet, revistas o diarios.

Observaciones al docente

Evalúe junto con sus estudiantes la validez de las fuentes disponibles, ya que existen numerosos mitos y prejuicios sobre las aplicaciones biotecnológicas, sobre todo respecto de las plantas transgénicas (que con un tipo de GMO).

Los estudiantes pueden revisar información en bibliotecas científicas o bases de datos utilizadas por los científicos, como PubMed, Scopus, Scielo Chile, entre otras, y comparar estas fuentes con información no científica disponible en la web.

III. Analizando las aplicaciones, ventajas y controversias de la biología sintética

- Los estudiantes leen y analizan el siguiente artículo científico relacionado con los fundamentos de la biología sintética.
- Responden las preguntas a continuación, utilizando argumentos y vocabulario científico:
 - ¿Cuál es la importancia de la biología sintética en la ciencia y la tecnología?
 - ¿Cuáles son los fundamentos de la biología sintética?
 - ¿En qué áreas o aplicaciones se desarrolla esta tecnología científica?
 - ¿Qué ventajas y desventajas surgen del desarrollo de esta tecnología?
 - ¿Qué implicancias éticas, sociales, ambientales y económicas surgen de las aplicaciones de la biología sintética?

De dónde viene la biología sintética

Antes de explicar de dónde viene la biología sintética, veamos de qué se trata. Se conoce como biología sintética o ingeniería de sistemas biológicos, al diseño y la construcción de nuevos componentes, dispositivos o sistemas biológicos, así como al rediseño de sistemas biológicos existentes. Dicho así, parecería que la vida se reduce a la suma de 'componentes, dispositivos y sistemas'. Reducir la vida al funcionamiento coordinado de maquinarias moleculares que se guían por un manual de instrucciones escrito en un abecedario de cuatro letras (el código genético), es muy conveniente y atractivo para los biólogos moleculares y para los que buscan mercantilizarlo todo. Si este reduccionismo funciona, entonces podríamos reescribir los manuales de instrucciones (los genomas), ensamblar nuevas maquinarias moleculares, coordinarlas a nuestro antojo y eureka, ¡inventar nuevas formas de vida que hagan lo que queremos y que, además, sean una invención que podamos patentar! De esto se trata la biología sintética, su objetivo tecnológico es generar entidades biológicas (fundamentalmente microorganismos)

que cumplan funciones que no se encuentran en la naturaleza o que simulen procesos naturales a escala industrial. El objetivo económico, al cual se supedita el tecnológico, es patentar procesos biológicos.

Pero la vida, los organismos vivos y en su versión más simplificada la célula, no se restringen al resultado predecible de una sumatoria de mecanismos dirigidos por las instrucciones de los genomas. Las entidades biológicas interactúan entre sí y con su medio, y si bien el nivel molecular es fundamental, los demás niveles de organización e interacción también lo son¹. Más aún, los genomas también son moldeados por el contexto en que se desarrolla la vida. Por esto no es posible predecir completamente la performance de un organismo vivo y menos aún la de un organismo cuya información genética ha sido manipulada o sintetizada 'de novo'. El determinismo reduccionista ayuda a entender, pero no explica la vida. Sin embargo, los desarrolladores de la biología sintética parados en este paradigma autoproclaman la infalibilidad de sus desarrollos biotecnológicos y nos exponen a todos a las consecuencias no previstas de sus 'invenciones'.

Actualmente los principales desarrollos de la biología sintética se vinculan a la producción de biocombustibles, polímeros, enzimas, fármacos y otros productos químicos y sustitutos de sustancias naturales de alto valor de uso común en la industria alimenticia, farmacéutica y cosmética (vainilla, estevia, azafrán, sándalo, opiáceos, entre otros) por medio de microorganismos biosintéticos. Existen también inversiones en el desarrollo de plantas capaces de fijar nitrógeno o que fijen carbono de forma más eficiente. Detrás de estos desarrollos están grandes conglomerados económicos y grupos de interés que ejercen presión para posicionar a esta tecnología como indispensable para el desarrollo y para aportar soluciones a la crisis climática².

Convergencia de tecnologías

Como tecnología, la biología sintética surge de la convergencia de avances en campos como la biología molecular, computación e ingeniería. En particular, el desarrollo de dos grupos de tecnologías la han impulsado: el secuenciamiento de próxima generación y las tecnologías de síntesis de ADN. Las primeras permiten 'leer' con mayor eficiencia la información genética contenida en los seres vivos que conformamos la biósfera y las segundas permiten usar esa información y 'reescribirla', dando origen a dispositivos biológicos en teoría funcionales. Esto último es el objetivo principal de la biología sintética.

El secuenciamiento de próxima generación hace referencia a técnicas cada vez más rápidas, precisas y baratas en la lectura de secuencias genómicas³, lo que ha dado lugar a la llamada era de la megagenómica, en la que se secuencian (o leen) unas 15 peta bases (10^{15} o mil millones de megas) por año a nivel mundial. Esta enorme generación de información se deposita en bancos de datos que contienen secuencias de ADN de todo tipo de organismos. En paralelo, el desarrollo de la bioinformática permite obtener información de estas bases de datos, con lo que se identifican y analizan secuencias que luego pueden manipularse y utilizarse para el diseño de secuencias genéticas que codifiquen determinadas funciones a expresarse en determinado contexto biológico.

Las tecnologías de síntesis de ADN permiten transformar los diseños hipotéticos, elaborados a partir del análisis de secuencias, en dispositivos génicos concretos que pueden ser testeados y eventualmente utilizados para crear o manipular sistemas biológicos. Ya en la década de 1960 surgieron los primeros intentos de sintetizar genes⁴ por métodos químicos a partir de nucleótidos (sus unidades constitutivas). Sin embargo, pasaron varias décadas para desarrollar la capacidad de sintetizar oligonucleótidos (secuencias cortas de ADN) de forma rápida y barata con buenos grados de fidelidad, y ensamblarlos en genes, grupos de genes e incluso genomas completos mediante métodos de síntesis de genes. En el año 2003 se publicó el primer trabajo que daba cuenta de la síntesis de un genoma completo de un bacteriófago desarrollado por el grupo de Craig Venter en el Institute for Biological Energy Alternatives de EEUU. En 2010 este grupo obtuvo la primera célula controlada por un genoma sintético.

El principal escollo tecnológico de la biología sintética es lograr que los dispositivos génicos que crea funcionen en los organismos en que los que son introducidos. Esto es que, una vez diseñados, ensamblados e integrados al genoma de un organismo, produzcan el efecto deseado. El proceso por el cual se generan y evalúan funcionalmente este tipo de organismos constituye un ciclo de ensayo y error que intenta ajustar el diseño y la producción de los dispositivos génicos sintéticos para que cumplan los objetivos para los que fueron diseñados, lo cual no siempre se logra. Esto muestra lo empírico del procedimiento y la imposibilidad de prever completamente el desempeño que tendrá un organismo manipulado mediante biología sintética.

Productos ‘naturales’ biosintéticos

Una rama de la biología sintética en la que hay varias empresas que detentan patentes de propiedad intelectual, es la vinculada a la producción de sustitutos de sustancias naturales. Actualmente hay iniciativas para que más de 384 ingredientes activos naturales, en su mayoría producidos por plantas, sean producidos por levaduras, algas y otros microorganismos manipulados mediante biología sintética. Para hacer crecer a estos organismos, las fuentes de carbono utilizadas provienen fundamentalmente de cultivos de caña de azúcar o maíz. De comenzar a producirse ingredientes activos derivados del cacao, el anís, la vainilla, el azafrán, el babasú, la menta, el sándalo, el ginseng, la estevia y otros, por medio de organismos manipulados por biología sintética, se reduciría el área de estos cultivos en su mayoría mantenida por campesinos y agricultores familiares, afectando sus medios de subsistencia. Impulsaría además la demanda de cultivos industriales como la caña de azúcar y el maíz, estimulando procesos de concentración y homogenización de la producción agrícola.

Un caso de estudio de la Red TECLA sobre la estevia⁵ muestra algunas aristas de este problema. El ka'a he'é en su denominación guaraní, o estevia, es una planta originaria de la región nororiental de Paraguay y del Mato Grosso de Brasil. Los pueblos guaraníes pa'í tavyterá y kaiowá la han usado por siglos por sus propiedades edulcorantes y medicinales. Su dulzor reside en los glucósidos de esteviol que se encuentran en alta concentración en sus hojas. Varias empresas se han embarcado en la generación de levaduras biosintéticas capaces de producir estos glucósidos. Todas ellas detentan patentes por el desarrollo de estas levaduras. Dado que los glucósidos serán producidos por levaduras en tanques de fermentación, la expectativa empresarial es venderlos como productos naturales. Así, productos obtenidos mediante la aplicación de la biología sintética podrían incorporarse al mercado de los productos naturales, desplazando el cultivo de la estevia realizado por campesinos de regiones tropicales tanto en América como en Asia y África.

(Fuente: Pablo Galeano, REDES-AT, Uruguay, Red TECLA.

Artículo publicado en la Revista América Latina en Movimiento No. 543: Tecnologías: manipulando la vida, el clima y el planeta 06/09/2019)

Observaciones al docente

En la página de Argenbio puede encontrar diversos ejemplos como referencia, que puede sugerir a los estudiantes para sus investigaciones:

www.curriculumnacional/link/http://www.argenbio.org/index.php?action=novedades¬e=458&opt=11

Una página que pueden utilizar los estudiantes para elaborar sus infografías es Canva, que se encuentra disponible en [www.curriculumnacional/link/https://www.canva.com/es_es/crear/infografias/](https://www.canva.com/es_es/crear/infografias/)

Una guía orientadora para crear infografías que puede consultar en el Blog de Piktochart, cuyo enlace es [www.curriculumnacional/link/https://piktochart.com/es/blog/como-crear-una-infografia-guia-completa/](https://piktochart.com/es/blog/como-crear-una-infografia-guia-completa/)

Algunos indicadores para evaluar formativamente esta actividad pueden ser:

- Investigan la contribución del conocimiento de biología celular y molecular en otras áreas del conocimiento, el desarrollo de la tecnología, el cuidado del ambiente y la vida de las personas.
- Comparan la biotecnología tradicional y moderna, describiendo el uso de ingeniería genética como un hito en su evolución.
- Investigan aplicaciones biotecnológicas en diversas áreas, como tratamientos para el cáncer, preservación y uso de células madre, y producción de organismos transgénicos y evalúan sus implicancias éticas, sociales y legales.

RECURSOS Y SITIOS WEB

Biotecnología

- www.curriculumnacional/link/https://www.chilebio.cl/biotecnologia-tradicional-y-moderna/
- [www.curriculumnacional/link/http://www.porquebiotecnologia.com.ar/](http://www.porquebiotecnologia.com.ar/)

Video sobre transgénicos

- www.curriculumnacional/link/https://www.youtube.com/watch?v=w7rx48Lm8YU

Alimentos transgénicos

- www.curriculumnacional/link/https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-75182003000100003



Terapia génica

- www.curriculumnacional/link/https://www.fda.gov/consumers/articulos-en-espanol/que-es-la-terapia-genetica-como-funciona
- www.curriculumnacional/link/http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1137-66272005000100002

Clonación

- www.curriculumnacional/link/https://www.genome.gov/about-genomics/fact-sheets/Clonacion

Células madre

- www.curriculumnacional/link/https://www.mayoclinic.org/es-es/tests-procedures/bone-marrow-transplant/in-depth/stem-cells/art-20048117

Biología sintética

- www.curriculumnacional/link/https://www.alainet.org/es/articulo/202478