

## Biotecnología moderna: el caso del Arroz Dorado

Entre sus múltiples y variados objetivos, la biotecnología moderna busca resolver problemas puntuales en diferentes áreas, tales como la agricultura, la alimentación, y la salud (ver Cuaderno N° 11, 21, 27, 29, 45). Un caso representativo lo constituye la obtención mediante técnicas de ingeniería genética de el *Arroz Dorado*. Este desarrollo tiene gran relevancia social, ya que apunta a resolver un problema de salud que afecta especialmente a países del tercer mundo: la deficiencia en vitamina A (ver Cuaderno N° 17).

La deficiencia de vitamina A (DVA) es una de las principales causas de ceguera y muerte prematura en los niños que viven en sociedades que basan su alimentación en el arroz, como muchos países asiáticos y africanos (ver figura 1)



Figura 1. Mapa de incidencia mundial de la deficiencia en vitamina A. Fuente: [www.sightandlife.org](http://www.sightandlife.org)

La vitamina A está involucrada en procesos tales como:

- Visión (nocturna, diurna y colores)
- Integridad de células epiteliales frente a infecciones
- Respuesta inmunológica
- Hematopoyesis (formación de células sanguíneas)
- Crecimiento esquelético
- Fertilidad (masculina y femenina)
- Embriogénesis

### El problema de la deficiencia en vitamina A

*“Una nutrición incrementada en vitamina A podría prevenir aproximadamente 1,3-2,5 millones de muertes anuales entre chicos menores a 5 años” (Boletín de la Organización Mundial de la Salud, 1992)*

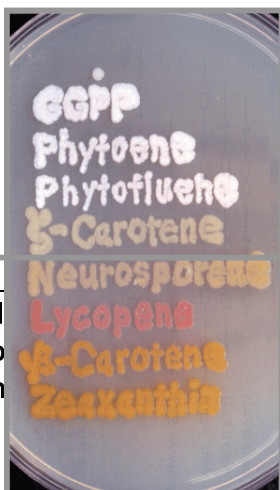
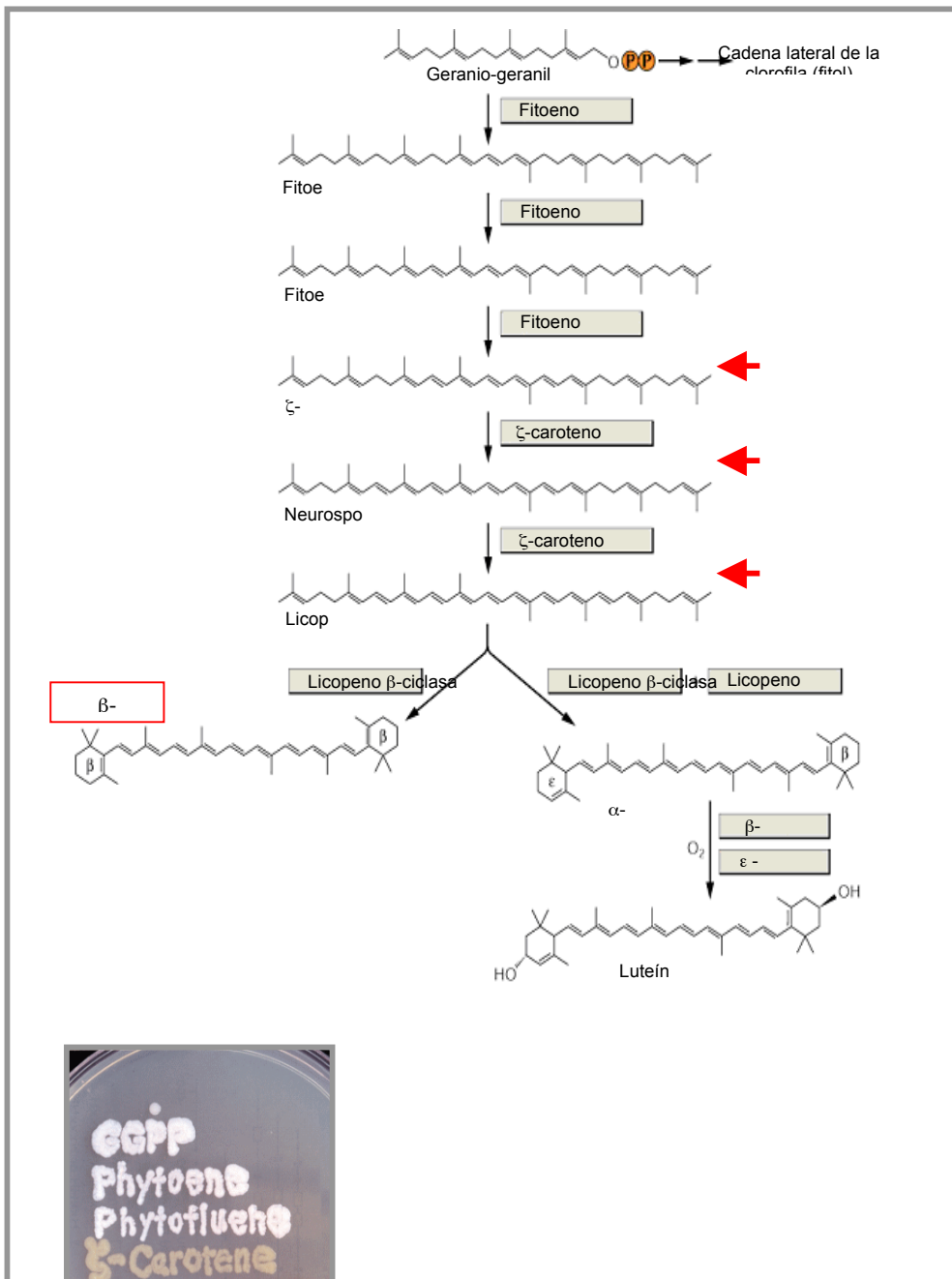
La deficiencia de micronutrientes esenciales, como vitamina A, iodo, hierro o zinc, son la mayor causa de morbilidad (susceptibilidad creciente a la enfermedad) y mortalidad en todo el mundo. Estas deficiencias afectan particularmente a los niños, deteriorando su sistema inmunológico y su desarrollo normal, provocando enfermedad e incluso la muerte. La manera de evitar la deficiencia en micronutrientes es mediante el consumo

---

El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología de ArgenBio. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso.

de una dieta variada y equilibrada, rica en vegetales, frutas y productos animales. Lo importante es consumir alimentos con alta proporción de nutrientes, también llamados “biofortificados”. Por ejemplo, las variedades de batatas que acumulan pro vitamina A (precursor de la vitamina A) se caracterizan por su color anaranjado, lo que permite al consumidor reconocer estos alimentos naturalmente biofortificados. Pero, no todos los cultivos tiene variedades biofortificadas, ni todas las variedades fortificadas tiene estos componentes en toda la planta. Por ejemplo, las plantas de arroz producen beta-carotenos (considerados como pro vitamina A) en el tejido verde pero no en el endosperma que es la parte ingerible de la semilla (figura 2). Otros nutrientes, como la vitamina B, que se encuentra en la cubierta de la semilla, se

pierden con el salvado durante el procesado de los granos.



El Cuad  
desarro  
Biotecn  
que se

otecnología" es una herramienta didáctica creada y pedagógico del Programa Educativo Por Qué . Su reproducción está autorizada bajo la condición de propiedad de este recurso.

**Figura 2. Ruta de biosíntesis de carotenoides.** Arriba se muestra la ruta de biosíntesis de los carotenoides en plantas, señalando con flechas las enzimas que están ausentes en el endosperma de arroz. A la izquierda, se pueden observar estrías con bacterias transformadas con las distintas enzimas, a fin de ir "armando" la ruta biosintética de los carotenoides. El color es consecuencia de la funcionalidad de los genes introducidos, y de la presencia de carotenoides sintetizados como resultado.

### ¿Qué son los carotenos?

Los carotenos pertenecen al grupo de los carotenoides, que incluye un vasto número de compuestos liposolubles fuertemente pigmentados (rojos, anaranjados, amarillos). Están presentes de forma natural en muchas frutas, granos, aceites y vegetales (plantas verdes, zanahorias, batatas, calabaza, espinaca y pimientos verdes, entre otros). Existen más de 50 carotenoides que pueden ser convertidos en vitamina A, en insectos, peces, reptiles, aves y mamíferos. Los carotenos alfa, beta y gama se consideran pro-vitaminas porque se pueden convertir en vitamina A activas. De todos ellos, los beta-carotenos son los que contribuyen casi en su totalidad como pro-vitamina A en los alimentos.

### El arroz como fuente primaria de alimento: sus limitaciones y mejoramiento

El arroz es el alimento principal de más de 3 billones de personas, siendo la mayor fuente de hidratos de carbono y también de proteínas en países del sudeste asiático y África. Pero, el arroz es una fuente pobre en varios micronutrientes esenciales. Por eso, una dieta basada en arroz es la causa primaria de carencia de micronutrientes en gran parte de los países subdesarrollados, particularmente hierro, zinc y vitamina A. Las consecuencias de esta malnutrición incluyen, entre otras, disminución de la capacidad mental, ceguera, mayor mortalidad infantil, baja productividad laboral e inestabilidad.



**Figura 3. El arroz como alimento.** El arroz es la mayor fuente alimentaria de más de media población mundial, y carece de gran parte de los nutrientes esenciales. La gente que no puede sustentar una dieta variada sufre diferentes deficiencias. Además, algunos nutrientes importantes del arroz se pierden durante el pulido, pero el grano no procesado no puede ser almacenado, debido a la presencia en la capa externa de lípidos susceptibles a la oxidación, que vuelven al grano rancio y no apto

para consumo. Fuente: [www.goldenrice.org](http://www.goldenrice.org)

---

El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología de ArgenBio. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso.

Según datos de la Organización Mundial de la Salud, la deficiencia en vitamina A (DVA) por una dieta pobre causa la ceguera de entre 250.000 y 500.000 niños cada año. La DVA compromete el sistema inmunológico de aproximadamente el 40% de los niños menores de cinco años en países subdesarrollados, aumentando peligrosamente el riesgo de desarrollar severas enfermedades a partir de afecciones comunes de la infancia. De hecho, más de la mitad de los niños que pierden su vista mueren dentro del año de quedar ciegos.

La deficiencia en micronutrientes puede compensarse con programas de suplementación o por modificación de los alimentos (ver Cuaderno N° 91). En el caso de los programas de suplementación, requieren un financiamiento constante, y no siempre alcanzan a los individuos más necesitados. La segunda estrategia incluye la fortificación de alimentos comunes (durante el procesamiento), o el consumo de alimentos enriquecidos en micronutrientes a partir de técnicas de mejoramiento vegetal. En este último caso, es necesario que exista germoplasma (ver Cuaderno N° 89) disponible con esas características, y un proceso de mejoramiento tradicional por cruzamiento (ver Cuaderno N° 5), o a través de técnicas de ingeniería genética (ver Cuaderno N° 4, 27, 67). En cada caso, se ha acuñado el término de “biofortificación” para aquellos cultivos que proveen niveles aumentados de minerales o vitaminas. Aplicado al cultivo de arroz, un programa de biofortificación permite el acceso a la tecnología en forma irrestricta a través de sus semillas.

### Una solución: el desarrollo del “Arroz Dorado”

Como se mencionó, no hay germoplasma de arroz que tenga como característica la producción y acumulación de beta-carotenos en el endosperma del grano. Por lo cual, el programa de biofortificación en pro-vitamina A quedó enfocado exclusivamente a la introducción por ingeniería genética de los genes necesarios para lograr ese objetivo. Así se creó el *Proyecto Golden Rice* (GR) o **Arroz Dorado**.

En el arroz dorado se han introducido por ingeniería genética dos genes al material genético del arroz. Estos genes codifican para las enzimas *fitoeno sintetasa* y *fitoeno desaturasa*, necesarias para completar la ruta metabólica que permite la síntesis y acumulación de beta-carotenos en los granos de arroz (ver Figura 2). De hecho, la intensidad del color dorado en el nuevo arroz es un indicador de la concentración de beta-carotenos en el endosperma (figura 4).



**Figura 4. Granos de arroz dorado.** Los granos de arroz dorados son fácilmente reconocibles por su color amarillento, un color más intenso significa mayor contenido de beta-carotenos. Tomada de <http://www.goldenrice.org>

El primer evento de arroz dorado fue obtenido en 1999, y desde ese momento se han desarrollado nuevas líneas con mayor contenido de beta-carotenos. El objetivo del

---

El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología de ArgenBio. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso.





programa de desarrollo del arroz dorado ha sido proveer la dosis diaria recomendada de provitamina A a través de la ingesta de 100-200 g de arroz, que es la cantidad ingerida normalmente por los niños de las sociedades más afectadas. Para otros países, el arroz dorado podría ser de todas formas un complemento valioso para la dieta, contribuyendo a la reducción de las enfermedades relacionadas con la carencia de provitamina A.

### Crónica de un éxito...

En 1991 comenzó el proyecto para desarrollar el Arroz Dorado de la mano de dos científicos Ingo Potrykus y Peter Beyer. El primero trabajaba en transformación genética de arroz, y el segundo estudiaba la ruta de biosíntesis de unos compuestos denominados *terpenoides* en la planta ornamental narciso. Un estudiante de doctorado del Dr. Potrykus había descubierto que en el endosperma del arroz se encontraba una molécula precursora del beta-caroteno, llamada geranio-geranil pirofosfato (GGPP). Teóricamente, con la presencia de cuatro enzimas (fitoeno sintasa, fitoeno desaturasa, z-caroteno desaturasa y licopeno ciclasa), podría obtenerse beta-caroteno a partir del GGPP. Sin embargo, las probabilidades de que las enzimas funcionaran coordinadamente y en la dirección esperada, sin causar alteraciones fisiológicas, eran muy bajas.

Tras ocho años de trabajo, obtuvieron las primeras plantas de arroz transgénico (ver Cuaderno N° 2) que expresaban altas cantidades de fitoeno (caroteno incoloro) en el endosperma de las semillas, como resultado de la introducción del gen que codifica para la *fitoeno sintetasa* (PSY, de narciso). Las plantas eran fértiles y su apariencia (fenotipo) era normal, demostrando que la vía metabólica presente en el endosperma podía “desviarse” hacia la producción de beta-carotenos a partir de GGPP (la molécula precursora), y que esta modificación no tenía consecuencias en la fisiología y desarrollo de la planta.

Este resultado alentó al equipo para comenzar un proyecto destinado a resolver la deficiencia en hierro, y para dar el paso siguiente que era la introducción de la segunda enzima *fitoeno desaturasa* (CRT1), necesaria para completar la ruta. Este segundo paso trajo algunos inconvenientes ya que se obtuvieron plantas fenotípicamente alteradas. Hasta que, al introducir cambios en los métodos de transformación, obtuvieron en 1999 las tan ansiadas plantas, con granos de arroz de color amarillento. Del total de carotenoides que contenían esos granos, el 85% era pro-vitamina A o beta-caroteno. Estas líneas de arroz obtenidas constituyeron la prueba de que el desarrollo planteado podía funcionar. Restaba ahora superar los niveles de pro-vitamina A alcanzados, para lograr cubrir los requerimientos diarios en la dieta de un niño consumiendo una cantidad razonable de arroz.

### Una nueva generación de Arroz dorado

Demostrado el hecho de que con dos enzimas (PSY y CRT1) podía sintetizarse beta-caroteno en el endosperma de arroz, el paso siguiente era estudiar la actividad de esas enzimas para optimizar su rendimiento. Una forma de hacerlo era introducir

---

El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología de ArgenBio. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso.

genes homólogos (que codifican para la misma enzima) obtenidos de parientes más cercanos evolutivamente al arroz, esperando que funcionen mejor en ese nuevo entorno. Así, reemplazando el gen de narciso para la enzima PSY por otras versiones de distintas plantas, los investigadores hallaron que los genes obtenidos de maíz y arroz daban mejores resultados, llegando a obtener hasta 20 veces más de pro-vitamina A respecto de las primeras plantas desarrolladas (figura 5).



Wild type      Arroz dorado 1      Arroz dorado 2

**Figura 5. Nuevas generaciones de arroz dorado.** La imagen muestra el progreso realizado desde la prueba del arroz dorado 1 hasta la nueva generación de arroz dorado 2, que contiene niveles de  $\beta$ -caroteno que permitirían proveer a los niños de países afectados con la dosis necesaria de pro-vitamina A. Tomado de <http://www.goldenrice.org/>

### Cultivo de arroz dorado en los países más necesitados

Para lograr el objetivo de disminuir la deficiencia de pro-vitamina A en los países pobres que se alimentan a base de arroz, el arroz dorado debía llegar a manos de los granjeros de esos países sin cargos ni restricciones. Debían conseguir el permiso de aquellos organismos que habían financiado el proyecto, lo que podía ser acordado, pero el problema residía en todos los derechos de patentes de los procedimientos implicados para el desarrollo del Arroz Dorado. Por ejemplo, los procedimientos de transformación vegetal. Afortunadamente, dada la relevancia del desarrollo, varias empresas otorgaron libertad de licencias para que se pudiera utilizar el Arroz Dorado de manera “humanitaria”, y así llegar con él a los lugares que realmente lo necesitan. El proyecto del arroz dorado intenta que agricultores de países subdesarrollados puedan obtener las semillas sin costo, y cultivar la nueva variedad de arroz sin cambiar sus costumbres y metodologías agrícolas (figura 6).



**Figura 6. Cultivo de arroz.** Las fotos muestran cómo los agricultores de países asiáticos cultivan arroz. Tomado de [www.goldenrice.org](http://www.goldenrice.org)

---

El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología de ArgenBio. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso.



Esta línea representa un esquema de producción sustentable y económica para los agricultores a lo largo de 2 años de cultivo:

1 semilla > 1 planta >  $10^3$  semillas/20g >  $10^6$  semillas/20kg >  $10^9$  semillas/20t >  $10^{12}$  semillas/20.000 t

2 años



Según este esquema, cada semilla tiene el potencial de producir de manera sustentable, en dos años, alimento para 100.000 personas con deficiencia de vitamina A.

### Presente y futuro del Arroz Dorado

Actualmente, las características del arroz dorado se han incorporado a las variedades más consumidas por los países asiáticos y, a su vez, se está empleando como base para mejorar su contenido en hierro, zinc, proteínas de alta calidad y vitamina E. El mecanismo utilizado para lograrlo ha sido el cruzamiento entre el arroz dorado y las variedades comerciales de interés, seleccionando luego en la descendencia los individuos con las características deseadas por técnicas de mejoramiento asistido. Existen también programas de investigación mediante técnicas de biología molecular (ver Cuaderno N° 65) para mejorar el estatus nutritivo del arroz y otros cultivos. Por ejemplo:

- sobreexpresión de una proteína para almacenamiento de hierro (ferritina) en granos de arroz, que triplicó la cantidad de hierro en el grano.
- sobreexpresión de un transportador de zinc (utilizando un gen de la planta *Arabidopsis thaliana*) en cebada, obteniéndose el doble de acumulación de zinc en las semillas.

Estos ejemplos, que aún están en la etapa de laboratorio, demuestran, junto a muchos otros, que es posible desarrollar con éxito programas de biofortificación de nutrientes en aquellos cultivos que sirven de base alimentaria. También que es importante estudiar el germoplasma (es decir, buscar variedades presentes en la naturaleza) de cada cultivo a fin de encontrar ecotipos que tengan altos niveles de micronutrientes para introducirlos a las variedades comerciales con programas de mejoramiento.

Otra alternativa que han intentado varios laboratorios, es modificar en los cultivos los niveles de aquellos compuestos que inhiben la biodisponibilidad de algunos minerales impidiendo su absorción durante la digestión. Nuevamente, este objetivo puede alcanzarse mediante mejoramiento tradicional o por inserción de genes específicos por ingeniería genética.

### CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS

Hay varios conceptos o temáticas que se pueden relacionar con el tema que aborda este Cuaderno. Algunos de ellos vinculados con la salud, y otros vinculados con el ambiente y los recursos naturales, su conservación y aprovechamiento.

Entre estos conceptos se sugiere trabajar:

---

El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología de ArgenBio. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso.



**Alimentación y Nutrición:** destacar la diferencia y la relación entre nutrición y alimentación, conceptos que suelen confundirse y emplearse como sinónimos. La nutrición es un proceso que aporta materia y energía al organismo y que incluye las funciones de digestión, respiración, circulación y excreción. Es decir que la alimentación es solo una parte del proceso de nutrición.

**Dieta balanceada, equilibrada y variada:** esta es una idea básica que se vincula con la salud de los individuos. Una *dieta balanceada* es aquella que aporta la cantidad y calidad adecuada de nutrientes que el organismo necesita para cubrir sus requerimientos de materia y de energía. Además de cubrir las necesidades nutricionales, una correcta alimentación debe ser *equilibrada* (aportar proporciones adecuadas de nutrientes), *variada* (incluir diferentes tipos de alimentos).

**Malnutrición y desnutrición:** Existe una cantidad mínima de cada nutriente que asegura la salud. Si uno no accede a la cantidad mínima que necesita corre el riesgo de padecer una carencia. Las carencias pueden ser de un solo nutriente, como en el caso de la carencia de vitamina A o de hierro, o de muchos nutrientes como en la desnutrición calórico-proteica, característica de zonas muy pobres donde no hay posibilidad de acceder a los alimentos. La carencia de una sustancia puede afectar al organismo en mayor o menor grado, según su función en el metabolismo. Pero, una mala nutrición no siempre es sinónimo de carencia; el exceso puede resultar tan perjudicial como la falta.

**Desnutrición oculta:** La falta de un solo nutriente, como el hierro, la vitamina A, o el yodo se llama “desnutrición oculta” porque puede no provocar síntomas visibles, reconocibles o asociados a la falta de un nutriente, pero si se hace un análisis de sangre se detecta. En Argentina hay un índice muy alto de anemia por carencia de hierro en la dieta.

**Diversidad biológica:** La diversidad biológica o biodiversidad no consiste solamente en la variedad de las especies, sino que concierne a la totalidad del mundo viviente, de los genes a la biosfera. Hoy se reconoce que la actividad humana forma parte de esa biodiversidad. Los hombres pueden ser agentes perturbadores de la naturaleza (contaminación, destrucción de hábitats, desaparición de especies, etc) pero también son capaces de mantenerla. En este punto se incluyen procesos de la biotecnología moderna aplicada a la agricultura y al medioambiente (biorremediación; ver Cuaderno N° 36). Es posible considerar el valor instrumental de la biodiversidad: los bienes y servicios que proporciona, los conocimientos que los científicos obtienen de ella. Pero, además, los aspectos estéticos que suscitan.

**Biodiversidad y biotecnología:** El desarrollo de la ingeniería genética, que trata a los genes como una materia prima, ha introducido un punto de vista muy diferente sobre la biodiversidad: se la considera como una gran reserva de recursos que conviene aprovechar. Esto obedece no sólo a su capacidad de sustentar sistemas de producción estables en medios marginales. A medida que la presión demográfica aumenta, los problemas ambientales (desertificación, deforestación, erosión, etc.) se agravan, y los agricultores necesitarán nuevas variedades de cultivos que puedan crecer en condiciones adversas, sin agregarles cantidades cada vez mayores de

---

El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología de ArgenBio. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso.





fertilizantes y de productos agroquímicos. Como las posibilidades de expansión de las zonas cultivadas del mundo son limitadas, cada nueva generación de una especie vegetal tendrá que ser más productiva que las anteriores. Las técnicas actuales de la ingeniería genética hacen posible transferir genes de un organismo vivo a otro, o modificar su dotación genética para obtener nuevas propiedades más interesantes. La ingeniería genética puede aportar una solución a problemas que los medios de reproducción convencionales eran incapaces de resolver, por ejemplo, el desarrollo de variedades de cultivos con resistencia a las plagas y enfermedades más frecuentes y capaces de soportar la sequía.

**Conservación de la biodiversidad:** La diversidad se puede conservar *in situ* (en el lugar donde se produce) en estado silvestre o en las huertas, o bien *ex situ* (fuera del lugar de producción) en bancos de germoplasma situados en lugares distintos del hábitat natural de la planta. La conservación *ex situ* se da solamente en el ámbito de especies y genes, ya que consiste en conservar el germoplasma fuera de su hábitat, a través de conservación de semillas, tejidos, células vegetales o ejemplares completos. Esto da origen a cuatro formas fundamentales de conservación: bancos de semillas; bancos de conservación *in vitro*; colecciones vivas a campo; y jardines botánicos. Se sugiere revisar las consideraciones metodológicas del Cuaderno N° 89 que profundiza en conceptos tales como “recursos”, “desarrollo sustentable”, “agroecosistema”, y las técnicas para la conservación de los recursos naturales.

Este Cuaderno permite plantear un tema interesante respecto de la controversia alrededor de los alimentos transgénicos. Es importante dejar en claro que la biotecnología moderna no se propone, ni puede, terminar con el hambre en el mundo, un problema que involucra aspectos sociales, económicos y políticos complejos. Sin embargo, el ejemplo que se analiza en el texto permite concluir que la biotecnología puede responder a necesidades puntuales y ofrecer soluciones a circunstancias específicas. De este modo, la biotecnología sí puede realizar una contribución importante que se suma a otras acciones que deben implementarse para intentar paliar el hambre en el mundo.

### CONCEPTOS RELACIONADOS

Alimentación y Nutrición. Dieta y desnutrición. Malnutrición y desnutrición. Desnutrición oculta. Diversidad biológica. Biodiversidad y biotecnología. Conservación de la biodiversidad. Vitaminas: función y carencia.

### ACTIVIDADES

#### **Actividad 1. Repaso de conceptos**

Esta actividad propone un repaso de conceptos básicos trabajados en el texto. Los alumnos deben determinar si cada frase es verdadera o falsa y justificar su respuesta. En este tipo de actividades, más allá de poder responder bien el verdadero o falso, la

---

El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología de ArgenBio. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso.



validez de la respuesta radica en que los alumnos puedan justificar su respuesta mediante argumentos valederos.

- a) La carencia de vitamina A causa problemas de salud. **V – F**
- b) Existen alimentos naturalmente biofortificados. **V – F**
- c) El desarrollo del arroz dorado, es producto de un programa de mejoramiento a partir de variedades naturalmente ricas en beta-carotenos; por ello se considera un ejemplo de biotecnología tradicional. **V – F**
- d) El objetivo del programa “arroz dorado” es paliar la deficiencia en el micronutriente zinc en países del tercer mundo. **V – F**
- e) Las nuevas generaciones de arroz dorado han sido transformadas con genes para la biosíntesis de beta-caroteno obtenidos a partir de bacterias. **V – F**
- f) El arroz dorado tiene mayores niveles de beta-carotenos pero no de pro vitamina A. **V – F**

#### Respuestas:

- a) **Verdadero.** Es un caso de desnutrición de una sustancia que causa, principalmente, problemas en la visión, y puede provocar la muerte en niños en casos severos de malnutrición.
- b) **Verdadero.** Se trata de productos con alta proporción de nutrientes. Un ejemplo, es la batata que acumula vitamina A (por eso su color anaranjado).
- c) **Falso.** Es producto de la introducción, mediante técnicas de ingeniería genética, de dos genes a fin de completar la ruta biosintética de los carotenoides en el endosperma de arroz. Por ello, es un ejemplo de biotecnología moderna.
- d) **Falso.** El objetivo del programa es disminuir la deficiencia en vitamina A que tienen los países cuya dieta se basa casi exclusivamente en el consumo de arroz blanco.
- e) **Falso.** Las nuevas generaciones de arroz dorado han sido obtenidas por transformación del genoma de arroz con genes obtenidos de otros vegetales, mejorando así la actividad de las enzimas resultantes y, por ende, la cantidad de beta carotenos obtenida.
- f) **Falso.** A los carotenoides que pueden ser convertidos en vitamina A en el organismo se los conoce como pro vitamina A. Los beta carotenos son los más eficientes en tal proceso.

#### **Actividad 2. Lectura e interpretación**

El objetivo de esta actividad es analizar e interpretar un texto de actualidad que presenta nuevos desarrollos biotecnológicos en la planta de arroz destinados a promover mejoras en la salud de la población.

#### **“Producen arroz modificado con dos genes humanos”**

Nota obtenida de la sección Novedades del sitio [www.porquebiotecnología.com.ar](http://www.porquebiotecnología.com.ar). Publicado el : 19/05/2006

Un pequeño laboratorio de biotecnología de los Estados Unidos anunció que logró fabricar arroz modificado genéticamente con dos genes humanos y capaz de producir dos proteínas que reducen el riesgo de diarrea en los chicos, informó en su edición de ayer el diario español El País. Los genes incorporados al cultivo de las plantas de

---

**El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología de ArgenBio. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso.**



arroz, que pasaron con éxito los primeros ensayos realizados en Perú, dirigen la producción de lactoferrina y lisozima, dos proteínas presentes sólo en la leche, la saliva y las lágrimas femeninas. "Este arroz con lactoferrina es un proyecto interesante, porque la lactoferrina es una proteína presente en la leche materna (y no en la de vaca) que captura el hierro. Como la mayoría de las *Escherichia coli* que causan las diarreas son dependientes del hierro, este arroz podría generar un medio ambiente hostil y evitar la proliferación de estos microorganismos nocivos -explica el doctor Marcelo Criscuolo, director ejecutivo de la empresa argentina BioSidus-. Por otro lado, este tipo de técnicas de molecular farming ofrece bajos costos de producción y alta cantidad de producto." El equipo de BioSidus desarrolló plantas de tabaco modificadas que producen factor de crecimiento epidérmico, una sustancia que generan las glándulas submaxilares y que tragamos con la saliva. El factor de crecimiento epidérmico reepiteliza el tubo digestivo y podría utilizarse como cicatrizante en el tratamiento de la úlcera. En el caso del cultivo de arroz transgénico, las proteínas fabricadas por los genes humanos también podrían utilizarse en sueros de rehidratación oral. Los ensayos realizados en 135 chicos peruanos por el Instituto Especializado de Salud del Niño de Lima demostraron que la recuperación de la deshidratación que provoca la diarrea infantil con el suero enriquecido con las proteínas que produce el arroz se logró en tres días, comparados con los cinco que llevan en promedio si se los trata con los sueros tradicionales. Estos resultados se presentaron en la última reunión anual de las Sociedades Académicas de Pediatría, realizada en San Francisco, Estados Unidos. Y a diferencia de lo que se podría pensar, el laboratorio que realizó el anuncio, Ventria Bioscience, es una empresa con cultivos de arroz en 135,7 hectáreas de Greenville (Carolina del Norte, EE. UU.) y en la que trabajan tan sólo 16 empleados. Un antecedente de este arroz modificado con genes humanos es el denominado arroz dorado, por su color anaranjado, que se presentó en 2001. Este arroz contenía genes de otras plantas con capacidad de producir la fuente de la vitamina A, beta-caroteno, para contrarrestar su déficit en las poblaciones que son altas consumidoras de este alimento. El doctor Esteban Hopp, del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), subrayó que ya hay muchas plantas transgénicas que expresan genes de interés farmacéutico, incluyendo algunos de origen humano. "Nuestro grupo en el INTA, por ejemplo, está expresando vacunas orales (para uso veterinario) en plantas transgénicas a nivel experimental", detalló a LA NACION. La planta desarrollada por Ventria Bioscience se utiliza como una fábrica de proteínas y no para consumo. Acerca de las críticas de algunos sectores ecologistas que advierten que, en el campo, el polen de estas plantas podría pasar a las variedades naturales, el presidente de la compañía norteamericana, Scott Deeter, las descartó. "Usamos un sistema de contención. El arroz es una planta que se autopoliniza [la fecundación de las plantas se realiza la mayoría de las veces por la propia planta o dentro del mismo cultivo]", afirmó a El País.

#### Responder las siguientes preguntas:

- ¿Cuál fue el objetivo de los investigadores?
- ¿Cuáles fueron los genes utilizados para lograr dicho objetivo? ¿De qué fuente se obtuvieron?
- ¿cuál es la estrategia para que los genes mencionados permitan concretar el objetivo?
- ¿qué otros ejemplos de plantas modificadas genéticamente por ingeniería genética se mencionan en el artículo?
- ¿Qué otros argumentos se podrían agregar a la respuesta del Sr. Scout Deeter acerca de la bioseguridad del cultivo de plantas transgénicas?

#### Respuestas

- Desarrollar una variedad de arroz que al consumirla disminuya el riesgo de diarrea en los chicos.
- Eran genes para la producción de lactoferrina y lisozima, de origen humano.
- Disminuir la disponibilidad del hierro en el intestino para que las bacterias causantes de la diarrea, dependientes de tal elemento, no puedan proliferar.

---

El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología de ArgenBio. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso.



d) Plantas que producen factor de crecimiento epidérmico humano, arroz dorado y plantas para la expresión de epitopes para el desarrollo de vacunas orales.

e) Se podría agregar:

- I. en muchos países no se permite el cultivo de determinadas plantas transgénicas si existen parientes “salvajes” (presentes en la naturaleza) con quienes puedan cruzarse.
- II. En el caso de plantas como fábricas de moléculas para la producción de compuestos de interés farmacológico tales como factores de crecimiento o vacunas, no se cultivan a campo abierto, sino que se cultivan en condiciones de contención.
- III. Se eligen plantas que no estén en la cadena alimentaria, como el tabaco, para evitar cualquier tipo de inconveniente.
- IV. Existen nuevas tecnologías que permiten evitar la transferencia horizontal de genes, como por ejemplo la transformación vegetal pero introduciendo el gen de interés en el genoma de los cloroplastos, organelas que no pasan al grano de polen durante su formación.

### Actividad 3. Investigación: las vitaminas y su función

Se sabe que la carencia de vitamina A produce problemas en la visión que pueden llegar a ser graves. Esta actividad propone un trabajo de investigación grupal para entender la relación entre la Vitamina A y la función de la visión. A continuación se sugieren preguntas que pueden servir de guía para el trabajo de los alumnos. También es posible que diferentes grupos investiguen acerca de diferentes vitaminas. En algunos casos resultaría interesante si existen desarrollos en biotecnología moderna para resolver problemas de carencia de esas vitaminas en diferentes alimentos. Para esto se recomienda que los alumnos consulten la Sección Novedades del sitio de Por qué biotecnología en

<http://www.porquebiotecnologia.com.ar/doc/reportes/reportes.asp>

Preguntas guía:

1. ¿Cuál es la función de la vitamina A en el organismo?
2. La vitamina A recibe el nombre de **retinol**. ¿Qué relación tiene este nombre con la estructura del ojo? ¿Qué parte del ojo requiere de esta sustancia para funcionar?
3. ¿Cuáles son los alimentos de origen animal y los de origen vegetal que aportan vitamina A en la dieta?
4. El consumo de excesos de vitamina A puede ser riesgoso. ¿Por qué? ¿Qué efectos causa? ¿Cómo es posible llegar a la “hipervitaminosis A”?
5. ¿Cuáles son las cantidades recomendadas de vitamina A en la dieta diaria, en diferentes edades?

### Material de Consulta

- *Recursos genéticos y seguridad*. El Correo de la UNESCO. Mayo 2000.  
[http://www.unesco.org/courier/2000\\_05/sp/doss23.htm](http://www.unesco.org/courier/2000_05/sp/doss23.htm)
- *La biodiversidad, fuente de toda vida*. El Correo de la UNESCO. Mayo 2000.  
[http://www.unesco.org/courier/2000\\_05/sp/doss0.htm](http://www.unesco.org/courier/2000_05/sp/doss0.htm)
- Conservación de la biodiversidad: Colecciones *in situ* y *ex situ*; el CGIAR.  
<http://www.fao.org/FOCUS/S/96/06/04-s.htm>

---

El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología de ArgenBio. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso.





- Mc Laren, D. "Sight and life manual on vitamin A deficiency disorders (VAAD)" (2001). Disponible en <http://www.sightandlife.org/booksSALpdf/00AllMan.pdf>
- Buchanan, B., Gruissem, W., Jones, R. "Biochemistry & Molecular Biology of Plants" <http://www.goldenrice.org/>
- Medline Plus. Información de Salud. Biblioteca nacional de Medicina de Estados Unidos y los Institutos Nacionales de la Salud. <http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/002400.htm>